

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»

На правах рукописи



Раззамазов Никита Иванович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИНЫ
С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ РАБОЧИМИ
ОРГАНАМИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В ПЛОДОПИТОМНИКАХ**

Специальность: 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Сороченко Сергей Федорович

Барнаул – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В ПЛОДОПИТОМНИКАХ	19
1.1 Технологические процессы при производстве посадочного материала плодовых и плодово-ягодных культур в плодопитомниках.....	19
1.1.1 Схемы размещения посадочного материала плодовых и плодово-ягодных культур в плодопитомниках.....	20
1.1.2 Виды обработки почвы в плодопитомниках	23
1.1.3 Виды борьбы с сорными растениями в плодопитомниках	25
1.2 Агротехнические требования, предъявляемые к машинам для обработки почвы в плодопитомниках	27
1.3 Анализ технических средств и способов обработки почвы в плодопитомниках, лесопитомниках и молодых садах	29
1.4 Анализ научных исследований в области взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и машин по уходу за посадочным материалом с почвой.....	38
1.5 Анализ научных исследований в области автоматизации процессов и распознавания объектов в плодопитомниках и молодых садах.....	52
Выводы по главе. Задачи исследования.....	60
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПРИСТВОЛЬНОЙ ПОЛОСЫ В ПЛОДОПИТОМНИКАХ.....	62
2.1 Принципиальная схема машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки приствольной полосы	63
2.2 Технологический процесс обработки приствольной полосы	66
2.3 Структурная схема автоматизированной системы управления рабочими органами для обработки приствольной полосы.....	72
2.4 Алгоритм работы автоматизированной системы управления рабочими органами для обработки приствольной полосы.....	75
2.5 Определение конструктивно-технологических параметров машины	84
2.5.1 Определение ширины обработанной полосы.....	84

2.5.2 Определение радиуса вращения оси рабочего органа вокруг оси вращения поворотной рамки.....	85
2.5.3 Определение рабочего диапазона модуля	88
2.6 Определение кинематических параметров машины	89
2.6.1 Определение необходимой поперечной скорости модуля	89
2.6.2 Определение абсолютной скорости конца пальца.....	90
2.7 Определение силовых параметров машины.....	91
2.7.1 Определение силы сопротивления почвы, действующей на палец.....	91
2.7.2 Определение нормального напряжения, возникающего в пальце при изгибе от действия силы сопротивления почвы	98
2.7.3 Определение продольной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы машины.....	99
2.7.4 Определение поперечной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы модуля.....	101
2.7.5 Определение силы сопротивления движению машины.....	102
2.8 Определение параметров, характеризующих задержку подачи управляющего воздействия на исполнительный механизм.....	103
2.9 Расчёт параметров машины.....	105
2.9.1 Конструктивно-технологическая схема машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки почвы в плодопитомниках	105
2.9.2 Алгоритм работы автоматизированной системы управления рабочими органами машины для обработки почвы в плодопитомниках	113
2.9.3 Определение угла конусности конца пальца	118
2.9.4 Расчёт ширины обработанной полосы.....	118
2.9.5 Расчёт радиуса вращения оси рабочего органа вокруг оси вращения поворотной рамки.....	119
2.9.6 Расчёт рабочего диапазона и необходимой поперечной скорости модуля..	120
2.9.7 Расчёт поперечной и продольной сил сопротивления почвы, действующих на рабочие органы модуля.....	121

2.9.8 Расчёт времени задержки подачи управляющего воздействия на исполнительный механизм.....	123
Выводы по главе.....	123
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАШИНЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В ПЛОДОПИТОМНИКАХ.....	127
3.1 Программа экспериментальных исследований машины	127
3.2 Описание лабораторных установок.....	129
3.2.1 Описание имитатора рядка.....	129
3.2.2 Описание имитатора модуля машины	131
3.3 Описание опытного образца машины	132
3.4 Описание лабораторных стендов	135
3.4.1 Описание лабораторного стенда имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме	135
3.4.2 Описание лабораторного стенда имитации обработки почвы в автоматизированном режиме	140
3.5 Методика проведения и обработки данных экспериментов.....	148
3.5.1 Описание проведения измерений параметров посадок в плодопитомниках и порядок обработки полученных данных	148
3.5.2 Описание проведения экспериментов на лабораторном стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме и порядок обработки полученных данных	149
3.5.3 Описание проведения экспериментов на лабораторном стенде имитации обработки почвы в автоматизированном режиме и порядок обработки полученных данных	154
3.5.4 Описание проведения лабораторно-полевого исследования опытного образца машины.....	157
3.6 Измерительные инструменты, использованные в ходе проведения экспериментальных исследований	159
3.7 Результаты экспериментальных исследований машины	160
3.7.1 Результаты измерений параметров посадок в плодопитомниках	160

3.7.2 Результаты экспериментов, проведённых на лабораторном стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме.....	167
3.7.3 Результаты экспериментов, проведённых на лабораторном стенде имитации обработки почвы в автоматизированном режиме.....	171
3.7.4 Результаты лабораторно-полевого исследования опытного образца машины.....	178
Выводы по главе.....	180
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	184
4.1 Подбор трактора.....	184
4.1.1 Требования, предъявляемые к трактору предложенного машинно-тракторного агрегата.....	185
4.1.2 Определение минимально допустимого тягового класса трактора.....	185
4.1.3 Расчёт шагового двигателя.....	189
4.1.4 Определение максимальной эффективной мощности двигателя трактора .	193
4.2 Определение интегрального показателя конкурентоспособности предложенной машины.....	196
4.3 Определение годового экономического эффекта от внедрения предложенной машины и срока окупаемости дополнительных капиталовложений.....	199
Выводы по главе.....	206
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	208
Рекомендации производству	210
Перспективы дальнейшей разработки темы.....	211
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	212
СПИСОК ТЕРМИНОВ	224
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	227
ПРИЛОЖЕНИЕ А Дипломы победителя программ Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.....	251

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Свидетельство победителя конкурсного отбора на назначение стипендии Президента Российской Федерации для аспирантов и адъюнктов по приоритетному направлению стратегии научно-технологического развития Российской Федерации	252
ПРИЛОЖЕНИЕ В Охранные документы	253
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Справка о внедрении в учебный процесс.....	258
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Акт передачи конструкторской документации опытного образца машины.....	259
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Сертификаты участника выставок разработок.....	260
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Награды, сертификаты	261
ПРИЛОЖЕНИЕ И Письмо заинтересованности в результатах настоящего исследования.....	263
ПРИЛОЖЕНИЕ К Определение зависимости скорости транспортёрной ленты от частоты тока.....	265
ПРИЛОЖЕНИЕ Л Методика определения интегрального показателя конкурентоспособности предложенной машины в соответствии с ГОСТ Р 53057–2008.....	266
ПРИЛОЖЕНИЕ М Методика определения экономического эффекта от внедрения предложенной машины и срока окупаемости дополнительных капиталовложений в соответствии с пособием О. Б. Дроновой.....	267
ПРИЛОЖЕНИЕ Н Определение часовой тарифной ставки обслуживающего персонала.....	269
ПРИЛОЖЕНИЕ П Определение усреднённой эффективной мощности двигателя трактора при работе предложенной машины	270
ПРИЛОЖЕНИЕ Р Определение эффективной мощности двигателя трактора при работе базовой машины.....	271
ПРИЛОЖЕНИЕ С Результаты расчёта технико-экономических показателей предложенной машины для различных сельскохозяйственных предприятий	276

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Обработка почвы в плодопитомниках – одна из важнейших операций при возделывании плодовых и плодово-ягодных культур. Её выполнение приводит к накоплению и сохранению влаги в почве, благоприятным воздушному и тепловому режимам, улучшению деятельности почвенных микроорганизмов, очищению почв от сорных растений, которые конкурируют с культурными растениями за питательные вещества и снижают уровень их освещённости.

Продукция, получаемая из плодов и ягод плодовых и плодово-ягодных культур, имеет высокую потребительскую ценность. Так, например, ягоды малины, земляники и смородины отличаются высоким содержанием фруктозы и глюкозы, низким содержанием сахарозы, характеризуются низкой калорийностью, богатством органических кислот, микроэлементов, дубильных и минеральных веществ, высоким содержанием витамина С, а клетчатка ягод нормализует работу кишечника и понижает содержание холестерина в крови [85, с. 8]. Плоды и ягоды являются как непосредственно продуктами питания, так и ингредиентами различной продукции: варенья, джемов, йогуртов, соков и т. д.

В настоящее время производством плодов занимаются как крупные предприятия, так и средний и малый бизнес. По состоянию на апрель 2026 года, в Ассоциации производителей посадочного материала насчитывается 193 питомника [101], из которых 164 занимаются выращиванием плодовых деревьев, ягодных кустарников, земляники садовой и материала для доращивания [102]. Отметим, что в Российской Федерации площади садов и ягодников, в которых выращивают плодовые и плодово-ягодные культуры, занимают 434,2 тысячи гектаров (по данным Росстата за 2025 год без учёта статистической информации по Донецкой и Луганской Народным Республикам, Запорожской и Херсонской областям) [16].

Ряд исследователей отмечает недостаточный уровень механизации работ и оснащённости техникой как в целом в сельском хозяйстве, так и в частности при возделывании плодовых и плодово-ягодных культур [5, 17, 44, 74, 107, 147, 169].

Об этом также идёт речь в Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года, согласно которой «парк сельскохозяйственной техники в России характеризуется критической недооснащённостью и высокой степенью износа. По данным Федеральной службы государственной статистики, количество тракторов и самоходных уборочных машин сократилось более чем в 6 раз за последние 25 лет... Такое сокращение объясняется смещением спроса в сторону более мощных и производительных машин, однако оснащённость сельского хозяйства России по сравнению с оснащённостью сельского хозяйства Канады, схожей с Россией по почвенно-климатическим условиям, урожайности и контурности полей, остаётся на крайне низком уровне. <...> При этом доля используемых сельскохозяйственных машин с вышедшими нормативными сроками амортизации и эксплуатации, то есть старше 10 лет, достигает 70 процентов...» [156].

Вышесказанное, в свою очередь, является причиной одной из проблем, которая существует у производителей посадочного материала плодовых и плодово-ягодных культур, – преобладания ручного труда при обработке почвы в приствольных зонах культурных растений, характеризующегося высокой трудоёмкостью для рабочего персонала и низкой производительностью. Также при недостаточном уровне механизации в ряде случаев представляется затруднительным соблюсти необходимые сроки выполнения технологических операций по уходу за посадочным материалом, что впоследствии негативно отражается на количестве и качестве получаемой сельскохозяйственным предприятием продукции. Стоит отметить, что механизация обработки почвы в плодопитомниках без сопутствующей ей автоматизации имеет ряд недостатков: отсутствие комфортных условий труда оператора, отсутствие достаточного обзора рабочей зоны и, как следствие, наличие повреждённых культурных растений, являющееся недопустимым.

Проблема осложняется дефицитом кадров в сельском хозяйстве. По словам министра сельского хозяйства Российской Федерации О. Н. Лут, «Кадровый дефицит есть, нам нужно 160 тысяч человек в год для обновления отрасли <...> С одной стороны, нам нужно повышать производительность за счёт цифровизации, с другой – выбирать работу из рутинных секторов, где люди работают руками. Надо ста-

раться оптимизировать эту работу, чтобы людей занимать более интеллектуальной работой» [23]. Иными словами, аграрный сектор нуждается в замене человеческого труда машинным, а роль человека в сельском хозяйстве в большей степени должна заключаться в создании и модернизации машин и оборудования, обеспечении условий для качественного выполнения ими работ.

Также отметим, что в соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации «национальными интересами государства в сфере продовольственной безопасности на долгосрочный период являются: повышение качества жизни российских граждан за счёт достаточного продовольственного обеспечения; обеспечение населения качественной и безопасной пищевой продукцией; <...> развитие производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, которые соответствуют установленным экологическим, санитарно-эпидемиологическим, ветеринарным и иным требованиям...» [80]. Согласно этой же Доктрине, «продовольственная независимость определяется как уровень самообеспечения в процентах, рассчитываемый как отношение объёма отечественного производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия к объёму их внутреннего потребления и имеющий пороговое значение в отношении фруктов и ягод не менее 60 процентов» [там же].

Потребность России в проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в области передового сельскохозяйственного машиностроения, в т. ч. в сфере питомниководства, подтверждается нынешним сложным положением страны на мировом рынке, вызванным продовольственным эмбарго, высокой стоимостью зарубежной сельскохозяйственной техники, отсутствием или недостаточным количеством запасных частей к ней, ограниченным доступом к специализированному программному обеспечению.

В связи с вышеизложенным, автоматизация обработки приствольной полосы в плодopитомниках представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Научные исследования проводились в период с 2020 по 2026 гг. в ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» (АлтГТУ) по тематике следующих НИОКР: «Разработка машины модульного типа

с автоматизированной системой управления рабочими органами для приствольной обработки почвы в плодopитомниках» в рамках исполнения обязательств по договору № 16055ГУ/2020 от 24.12.2020 г. по программе «УМНИК» и «Машина с автоматической системой управления рабочими органами для междурядной и приствольной обработки почвы» в рамках исполнения обязательств по договору № 2262ГССС15-L/90164 от 01.11.2023 г. по программе «Студенческий стартап» между Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и диссертантом (приложение А); «Разработка машины с автоматической системой управления рабочими органами для обработки почвы» в рамках исполнения обязательств по договору № 25-24 от 02.02.2024 г. и «Испытание машины с автоматической системой управления рабочими органами для обработки почвы» в рамках исполнения обязательств по договору № 72-25 от 16.07.2025 г. между ООО «Техновызов» и АлтГТУ.

Научное исследование соответствует:

– Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента от 28.02.2024 № 145, согласно которой «в ближайшее десятилетие приоритетами научно-технологического развития следует считать направления, позволяющие получить значимые научные и научно-технические результаты, создать отечественные наукоемкие технологии и обеспечивающие: <...> переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания...» [78], что подтверждается результатами оценки диссертационного исследования, проведённой в ходе конкурсного отбора на назначение стипендии Президента Российской Федерации для аспирантов и адъюнктов (приложение Б);

– приоритетным направлениям научно-технологического развития «Высокопродуктивное и устойчивое к изменениям природной среды сельское хозяйство»

и «Адаптация к изменениям климата, сохранение и рациональное использование природных ресурсов» [82].

Степень разработанности темы исследований. Научной основой для совершенствования существующих и разработки новых технических средств, а также комплексов машин по уходу за междурядьями и приствольными зонами плодовых насаждений являются работы Ф. Е. Аниферова, В. П. Горячкина, С. М. Джибилова, А. М. Егожева, М. Н. Летошнев, В. Н. Ожерельева, М. В. Ожерельевой, Е. А. Полищука, М. П. Смирнова, С. Ф. Сороченко, Е. И. Трубилина, А. Л. Хажметовой, В. В. Шевчука и многих других, в том числе коллективов учёных:

- Мичуринского государственного аграрного университета (МичГАУ): А. И. Завражнова, К. А. Манаенкова, В. В. Хатунцева и др.;

- Всероссийского научно-исследовательского института садоводства им. И. В. Мичурина (ФНЦ им. И. В. Мичурина): В. Г. Бросалина, А. А. Завражнова и др.;

- Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (ФНАЦ ВИМ): А. И. Дышекова, В. А. Зубиной, А. Ю. Измайлова, А. И. Кутырёва, И. Г. Смирнова, Д. О. Хорта и др.;

- Федерального научного селекционно-технологического центра садоводства и питомниководства (ФНЦ Садоводства): П. В. Бондарева, В. В. Бычкова, Г. И. Кадыкало, И. А. Успенского, Ю. А. Уткова, А. А. Цымбала, В. А. Шевкуна и др.

Значительный вклад в исследование взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и машин по уходу за посадочным материалом с почвой внесли такие учёные, как В. П. Горячкин, А. М. Егожев, М. Н. Летошнев, А. Б. Лурье, В. Н. Ожерельев, М. В. Ожерельева, И. М. Панов, П. М. Подолько, М. В. Сабликов, В. Г. Свиридов, Г. Н. Синеоков, М. П. Смирнов, Е. И. Трубилин, И. М. Фархутдинов, В. М. Халанский, В. В. Шевчук и многие другие, в том числе коллективы учёных:

- МичГАУ: А. И. Завражнов, К. А. Манаенков, В. В. Хатунцев и др.;

- ФНЦ им. И. В. Мичурина: В. Г. Бросалин, А. А. Завражнов и др.

Исследования в области автоматизации процессов и распознавания объектов в растениеводстве получили развитие в трудах С. М. Борисовой, Т. Гуцолы, Н. А. Киктева, Д. М. Недогреева, Е. А. Перепелкина, С. М. Сидоренко, Е. И. Трубилына, Б. Г. Турбина, М. Biliuk, X. P. Burgos-Artizzu, R. Gottschalk, M. Jewiarz, Á.S. Miralles, G. Pajares, A. Ribeiro, M. Tomasik и многих других, в том числе коллективов учёных:

- МичГАУ: А. И. Завражнова, К. А. Манаенкова, В. В. Хатунцева и др.;
- ФНЦ им. И. В. Мичурина: В. Г. Бросалина, А. А. Завражнова и др.;
- ФНАЦ ВИМ: А. И. Дышекова, В. А. Зубиной, А. Ю. Измайлова, А. И. Кутырёва, И. Г. Смирнова, Д. О. Хорта и др.

Несмотря на значительный вклад отечественных и зарубежных исследователей в указанных областях, до настоящего времени остаётся недостаточно изученной проблема автоматизации обработки приствольной полосы в плодopитомниках с учётом взаимного расположения рабочих органов технического средства для обработки почвы и культурных растений.

Цель исследования – повышение эффективности работы машины для обработки почвы в плодopитомниках за счёт автоматизации управления рабочими органами при обработке приствольной полосы.

Задачи исследования:

1. Разработать принципиальную схему машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки приствольной полосы.
2. Разработать математические модели, описывающие процесс взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой и процесс подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины при автоматизированном управлении рабочими органами.
3. Обосновать конструктивно-технологическую схему и установить параметры и режимы работы машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки почвы в плодopитомниках.
4. Провести испытания машины и выполнить экономическую оценку основных результатов исследования.

Рабочая гипотеза: автоматизация управления рабочими органами при обработке приствольной полосы позволяет достичь повышения эффективности работы машины для обработки почвы в плодopитомниках.

Объект исследования – технологический процесс обработки почвы в плодopитомниках; автоматизация обработки приствольной полосы.

Предмет исследования – закономерности взаимодействия рабочих органов с почвой; конструктивные решения, параметры и режимы работы машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки почвы в плодopитомниках.

Методы исследования. Теоретические исследования проведены с использованием законов евклидовой геометрии, математического анализа, методов теоретической механики и сопротивления материалов, элементов теории автоматического управления. Обработка данных, полученных в ходе экспериментальных исследований, осуществлена с использованием методов математической статистики, аппроксимации и интерполяции кривых.

Использованные программные продукты. В ходе выполнения исследования использованы следующие программные продукты: КОМПАС-3D [51], MathCAD [189], Microsoft Excel [188], а также среды разработки Arduino IDE [181], Visual Studio Code [179], PyCharm [112].

Научную новизну работы составляют:

- математическая модель процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой, учитывающая совмещение его поперечного перемещения с продольным;
- математическая модель процесса подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины при автоматизированном управлении рабочими органами, учитывающая задержку подачи этих управляющих воздействий;
- экспериментальные зависимости параметров, характеризующих задержку подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины, от рабочей скорости машины.

Новизна разработанных конструктивно-технологических решений подтверждена патентами на изобретения № 2767791, 2806588, 2814021, 2821886, 2851360; новизна программ управления рабочими органами подтверждена свидетельствами о государственной регистрации № 2023684665, 2025690127 (приложение В).

Совокупность достигнутых научных результатов формирует научно обоснованную концепцию автоматизированного управления рабочими органами машины для обработки почвы в плодопитомниках, основанную на бесконтактном распознавании культурных растений и формировании управляющих воздействий с учётом их защитной зоны¹⁾.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость работы составляют:

- принципиальная схема машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки приствольной полосы;
- структурная схема и алгоритм работы автоматизированной системы управления рабочими органами для обработки приствольной полосы;
- математические модели процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой и процесса подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины при автоматизированном управлении рабочими органами.

Практическую значимость работы составляют:

- конструктивно-технологическая схема машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки почвы в плодопитомниках;
- программно-аппаратный комплекс, реализующий автоматизированную систему управления рабочими органами;
- параметры и режимы работы машины;
- экономическая оценка основных результатов исследования.

Реализация результатов исследований. Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Алтайский государственный

¹⁾ Термин введён на с. 20.

технический университет им. И. И. Ползунова» (приложение Г) и в производственную деятельность ООО «Чуклин инжиниринг» (приложение Д). Право использования патента на изобретение № 2767791 «Машина для междурядной и приствольной обработки почвы» предоставлено ООО «Алтайский завод автотракторного спецоборудования» (см. приложение В).

На защиту выносятся следующие основные положения:

- математические модели процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой и процесса подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины при автоматизированном управлении рабочими органами;
- конструктивно-технологическая схема машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки почвы в плодопитомниках;
- результаты экспериментальных исследований по определению: точности позиционирования¹⁾; максимальной допустимой рабочей скорости машины; зависимостей между параметрами, характеризующими задержку подачи соответствующего управляющего воздействия на исполнительный механизм²⁾, и рабочей скоростью машины; режимов работы машины.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность полученных результатов подтверждается тем, что экспериментальные исследования проведены с использованием современной контрольно-измерительной и вычислительной техники в соответствии с методиками, изложенными в действующих государственных стандартах, и с методиками, разработанными в ходе выполнения работы, с достаточным количеством опытов и последующей статистической обработкой полученных данных. Результаты экспериментальных исследований подтверждают результаты теоретических. Полученные в ходе выполнения диссертационной работы результаты согласуются с данными, представленными ранее другими авторами по данной тематике.

¹⁾ Термин введён на с. 71.

²⁾ Термины для каждого из параметров введены на с. 74–75.

В ходе исследований разработаны и изготовлены лабораторные установки и опытный образец машины, который был представлен на выставках разработок подразделений Инжинирингового центра «ХимБиоМаш» и Студенческого конструкторского бюро АлтГТУ (приложение Е).

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и отмечены наградами на следующих мероприятиях (приложение Ж):

- городские научно-практические конференции молодых учёных «Молодёжь-Барнаулу» (г. Барнаул, 2020, 2022, 2023 гг.);
- всероссийские научно-технические конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь» (г. Барнаул, 2020, 2022–2025 гг.);
- стартап-сессии технологических предпринимателей «НТИ-ALTAI» (г. Барнаул, 2020, 2023 гг.);
- Российский Научный Конкурс Фонда Андрея Мельниченко (г. Барнаул, 2021 г.; г. Кемерово, 2022 г.);
- 31-й Международная агропромышленная выставка «АГРОРУСЬ» (г. Санкт-Петербург, 2022 г.);
- VI конкурс на соискание Национальной премии имени Александра Александровича Ежевского (2022 г.);
- конкурс бизнес-идей, научно-технических разработок и научно-исследовательских проектов под девизом «Молодые, дерзкие, перспективные» (г. Санкт-Петербург, 2023 г.);
- конкурс стипендиальной программы «Система» (2023 г.);
- III Всероссийская научно-практическая конференция «Современные цифровые технологии» (г. Барнаул, 2024 г.);
- Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы автомобильного транспорта и наземных технологических систем» (г. Барнаул, 2025 г.).

Достигнута договорённость о сотрудничестве по теме настоящего исследования с Научно-исследовательским институтом садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко (НИИСС им. М. А. Лисавенко) (приложение И).

Вклад автора. Диссертантом проведен анализ состояния вопроса обработки почвы в плодопитомниках, по результатам которого в соответствии с поставленной целью исследования определены задачи исследования; разработаны математические модели процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой и процесса подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины при автоматизированном управлении рабочими органами; установлены параметры и режимы работы машины; выполнена экономическая оценка основных результатов исследования.

Автор принимал участие в разработке принципиальной и конструктивно-технологической схем машины, структурной схемы и алгоритма работы автоматизированной системы управления рабочими органами, программ для электронной вычислительной машины (ЭВМ), лабораторных установок и опытного образца машины, проведении экспериментальных исследований. Доля личного вклада автора в получение теоретических и практических результатов исследований, в том числе в представленных опубликованных работах, составляет 80 %.

Публикации. По теме исследования опубликована 21 работа, из которых пять научных статей – в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования РФ, пять патентов РФ на изобретение, два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка условных обозначений и сокращений, списка терминов, списка литературы и 15 приложений, содержит 280 страниц машинописного текста, в том числе 79 рисунков и 24 таблицы. Список литературы включает 193 наименования литературных источников, в т. ч. 17 источников на иностранных языках.

Соответствие работы паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса [86] по следующим пунктам направлений исследований:

- П. 2. Теория и методы технологического воздействия на объекты сельскохозяйственного производства (почву, растения, животных, зерно, молоко и др.).
- П. 3. Функциональные, агротехнические и зоотехнические требования к технологиям, машинам и оборудованию для агропромышленного комплекса.
- П. 4. Механизированные, автоматизированные и роботизированные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса.
- П. 5. Мобильные и стационарные энергетические средства, машины, агрегаты, рабочие органы и исполнительные механизмы.
- П. 12. Цифровые интеллектуальные технологии, автоматизированные и роботизированные технические средства для агропромышленного комплекса.
- П. 15. Физическое, математическое и компьютерное моделирование механизированных, автоматизированных, роботизированных и биомашинных систем.

Благодарственное слово. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю Сергею Фёдоровичу Сороченко, коллективу Студенческого конструкторского бюро АлтГТУ, коллективу ООО «Интертех», доктору сельскохозяйственных наук Николаю Анатольевичу Колпакову, кандидату экономических наук Ольге Борисовне Дроновой, заведующему научно-библиографическим отделом АлтГТУ Галине Витальевне Глушковой, коллективу студентов и выпускников АлтГТУ и АГУ, семье и друзьям за содействие, помощь и поддержку, оказанные при проведении диссертационного исследования.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В ПЛОДОПИТОМНИКАХ

1.1 Технологические процессы при производстве посадочного материала плодовых и плодово-ягодных культур в плодопитомниках

Согласно ГОСТ 34231–2017, посадочный материал плодовых (ягодных) культур – это «растения, полученные с помощью методов вегетативного или семенного размножения; черенки, настольные прививки, подвои, отводки, адаптированные микрорастения плодовых (ягодных) культур, по качественным показателям соответствующие требованиям нормативной документации и предназначенные как для реализации, так и дальнейшего использования в процессе размножения», а саженец плодовой (ягодной) культуры – это «плодовое (ягодное) растение, полученное одним из способов вегетативного размножения и предназначенное для использования в качестве посадочного материала» [33].

Технология возделывания плодово-ягодных культур включает:

- предпосадочную обработку почвы;
- подготовку посадочных мест под плодово-ягодные культуры;
- посев семян и посадку культурных растений;
- междурядную и приствольную обработку почвы;
- работы по защите посадочного материала от вредителей и болезней;
- выкопку и отгрузку культурных растений;
- посадку саженцев на доращивание;
- сбор плодов.

В настоящем исследовании рассмотрен период возделывания культурных растений в плодопитомнике с момента их посадки до выкопки, в ходе которого происходит уход за посадочным материалом.

1.1.1 Схемы размещения посадочного материала плодовых и плодово-ягодных культур в плодопитомниках

Введём термины:

- защитная зона – поверхность почвы вокруг культурных растений, не подлежащая обработке во время проведения ухода за ними для предотвращения их повреждения¹⁾. В настоящем исследовании пересечение рабочим органом защитной зоны культурного растения будем рассматривать как нарушение технологического процесса приствольной обработки почвы независимо от наличия или отсутствия фактического механического повреждения растения;
- шаг культурных растений – расстояние между соседними культурными растениями вдоль ряда²⁾.

Размещение посадочного материала плодовых и плодово-ягодных культур происходит вручную или механически. В работе [154, с. 387–388] представлены следующие рекомендации по посадке саженцев плодовых культур:

- лучший способ посадки малины – ленточный при ширине ленты 50 см, с побегами, размещаемыми с шагом от 10 до 12 см;

¹⁾ На основе термина «защитная зона в лесных культурах», представленного в ГОСТ 17559–82 [30].

²⁾ Ряд исследователей для обозначения данной величины использует разные термины, сформулированные путём различных комбинаций слов «растения», «кусты», «деревья», «саженцы», «в ряду», «в рядке», а именно – «расстояние [между растениями (кустами, деревьями, саженцами)] [в ряду (рядке)]» [6, 12, 14, 27, 52, 58, 60, 68, 100, 104, 106]. Также встречаются термины «межкорневое расстояние» [41], «trunk spacing» («расстояние между стволами») [192]. В некоторых работах встречается несколько разных названий одновременно для одной и той же величины: «расстояние между [двумя соседними] луковицами [в рядке]» и «шаг посадки» [5]; «расстояние между растениями (деревьями) в ряду» и «шаг посадки [саженцев]» [8]. Введение нами термина «шаг культурных растений» позволяет: а) прийти к одному названию; б) сократить существующие термины без потери смысловой нагрузки, вкладываемой в него; в) исключить путаницу при оперировании другими терминами, также отражающими различные расстояния между культурным растением, рядом культурных растений и каким-либо объектом: «смещение культурных растений», «отклонение культурного растения» (введены на с. 44), «отклонение модуля от культурного растения» (введён на с. 65), «отклонение модуля от оси ряда» (введён на с. 89).

– лучший способ посадки земляники – однострочный с расстоянием между рядами 70...80 см и шагом культурных растений от 20 до 25 см.

Механический способ посадки предполагает применение предназначенных для выполнения этого процесса машин. Поскольку размещение посадочного материала регламентировано, то следует рассмотреть требования, предъявляемые к этим машинам. Ф. Е. Аниферов приводит следующие требования:

– при посадке виноградных саженцев допускаются отклонения от прямолинейности рядков ± 8 см, а в шаге посадки ± 10 см [8, с. 22];

– сеянцы и саженцы высаживают прямолинейными и параллельными рядами с соблюдением принятой ширины междурядий и заданного шага культурных растений [там же, с. 44];

– отклонения от геометрического места посадки допускаются для саженцев плодовых культур не более 15 см, винограда – 8 см [там же];

– наклон отдельных растений от вертикали – не более 30° [там же].

В некоторых плодопитомниках Алтайского края применяется четырёхрядный роторный щелеобразователь, разработанный сотрудниками Студенческого конструкторского бюро АлтГТУ и предназначенный для предварительной подготовки щели с заданной глубиной [89, 110, 132]. С его помощью образуется щель шириной 70 мм, глубиной от 20 до 240 мм. Отклонения ширины щели при этом – не более 5 мм.

Для посева семян в плодовых и лесных питомниках на хорошо подготовленной почве с выровненной поверхностью также может использоваться сеялка СЛП-М. Сеялка смонтирована на раме самоходного шасси Т-16М и применяется для посева семян в 3...6 рядов на грядах шириной 1 м с возвышением или понижением их до 20 см. Сеялка обеспечивает следующие схемы посева семян: четырёхстрочную – с шириной строчек 7 см и расстоянием между осями строчек 15–45–15–70 см; двухстрочную – с шириной строчек 15 см и расстоянием между осями строчек 60 см [8, с. 40].

Учёными в ряде работ представлены параметры посадок плодовых и плодово-ягодных культур в плодопитомниках, что подробно отражено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Параметры посадок плодовых и плодово-ягодных культур в плодопитомниках

Вид культуры	Диаметр защитной зоны, мм	Шаг культурных растений, мм	Ширина междурядья (между строчками), мм	Авторы, источники
1	2	3	4	5
Черная смородина, крыжовник, малина	от 300 до 400	1000; от 800 до 1500	–	Р. М. Латыпов, О. В. Гордеев, В. О. Гордеев [25, с. 195; 26, с. 6; 27, с. 28]
Малина	от 400 до 500 (при трёхлетнем возрасте растений); от 600 до 650 (при пятилетнем возрасте растений); от 950 до 1000 (при девятилетнем возрасте растений)	–		В. Г. Хомко [168] (приводится по: Ожерельев, В. Н. Разработка фрезы для ягодников / В. Н. Ожерельев // Вестник Брянской ГСХА. – Брянск : Брянский государственный аграрный университет, 2019. – С. 64–71)
Земляника	–	300	700	В. Н. Ожерельев [84]
		от 150 до 200	от 800 до 900	В. Г. Трушечкин, И. И. Чухляев, И. Н. Шахова, А. А. Цымбал и др. [158]
	–	300	900	А. А. Цымбал, И. И. Чухляев и др. [157]
		от 150 до 200	от 800 до 900	С. И. Бриль, П. М. Комиссаров, Г. П. Варламов, С. И. Филимонов [155]
Земляника (однострочная посадка)	–	от 150 до 200	от 800 до 900	
Земляника (квадратно-гнездовая посадка)		в каждом гнезде четыре растения по углам квадрата со стороны 30 см	700	

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
Семечковая (широкорядная посадка)	—	—	450, 600, 700 или 800	С. Н. Глушаков, Г. А. Потехин [24]
Семечковая (двухстрочная посадка)			700 (200)	
Вишня (рядовая посадка)	—	150	700	С. Ф. Сороченко, Н. И. Раззамазов [152]
Чёрная сморо- дина (рядовая посадка)		136		
Жимолость (рядовая посадка)		137		

1.1.2 Виды обработки почвы в плодопитомниках

Согласно сельскохозяйственному энциклопедическому словарю, «обработка почвы – приёмы механического воздействия на почву, способствующие повышению её плодородия и созданию лучших условий для роста и развития растений» [141]. После посадки растений плодовых и плодово-ягодных культур обработка почвы должна состоять в рыхлении почвы и борьбе с сорняками.

Виды обработки почвы в плодопитомниках подразделяются:

- по способу воздействия на почву (лушение, культивация, боронование, прикатывание и др.);
- по месту выполнения (приствольная, междурядная).

Согласно ГОСТ 16265–89, «рыхление почвы – технологическая операция, обеспечивающая изменение взаимного расположения почвенных отдельностей с увеличением объёма пор» и «борьба с сорняками – уничтожение сорняков или снижение их вредоносности допустимыми способами и средствами» [29].

Рыхление почвы, согласно источнику [140], «имеет целью устранить её бесструктурность и улучшить доступ в её массу воздуха, что усиливает разложение органических остатков и накопление веществ пищи в доступной для растений форме», при этом «создаётся рыхлый слой, препятствующий капиллярному поднятию влаги до поверхности и излишнему её испарению». В ходе рыхления почвы происходит её крошение, а оценка качества рыхления производится по тому, в каком соотношении находятся полученные фракции. Под фракцией, согласно толковому словарю по почвоведению, понимается «совокупность частиц почвы элементарных, размер которых лежит в определённых пределах» [131].

М. Н. Летошнев отмечает, что «основным условием плодородия почвы является прочная комковатая структура её, представленная в более или менее рыхлом слое из отдельных комочков размером от 1 до 10 мм» [64, с. 9], что также отмечено в работе Г. Н. Синеокова и И. М. Панова [143, с. 9] и в работе В. Ю. Москалевича [74, с. 30]: «Самыми ценными являются агрегаты размерами 2...10 мм, образующие комковато-зернистую структуру почвы». В работе [50, с. 7] сказано, что «в агрономическом смысле почва считается структурной, если комковато-зернистые водопрочные агрегаты размером от 10 до 0,25 мм составляют более 50 %». При этом наибольшую ценность представляют комочки размером 2...3 мм [64, с. 10; 143, с. 9].

В работе [154, с. 387] указано, что «при уходе за плантацией малины необходимо уничтожать сорняки путём 5-6 рыхлений почвы в междурядьях на глубину 12...15 см» и «при подсыхании почвы междурядья земляники обрабатывают... на глубину 5...7 см».

Введём термин: агротехнический просвет машинно-тракторного агрегата (далее – МТА) – расстояние по вертикали от опорной поверхности до наименее удалённых от неё элементов конструкции МТА над рядком¹⁾.

При разработке принципиальной и конструктивно-технологической схем машины с последующим определением её параметров следует учесть, что поврежде-

¹⁾ На основе термина «агротехнический просвет», представленного в ГОСТ 7057–2001 [34].

ние как наземной, так и корневой частей посадочного материала недопустимо. Для этого необходимо:

- предусмотреть отсутствие воздействия рабочих органов на почву в защитной зоне культурных растений;
- обеспечить достаточный агротехнический просвет МТА, который предотвратит физический контакт элементов МТА с культурными растениями при его прохождении над ними.

Таким образом, обработка почвы в плодопитомниках в период возделывания культурных растений должна быть поверхностной, обеспечивать качественное рыхление и крошение почвы в приствольной и междурядной зонах, не допускать повреждения посадочного материала.

1.1.3 Виды борьбы с сорными растениями в плодопитомниках

Различают следующие виды борьбы с сорными растениями: механический, химический, физический, биологический и комбинированный.

Механический вид борьбы с сорными растениями представляет собой ранее рассмотренные виды обработки почвы.

Химический вид, предусматривающий применение гербицидов, не решает задачу рыхления почвы и негативно влияет на экологию, а накопление химических веществ в почве и культурных растениях приводит к снижению качества получаемой продукции.

Некоторые гербициды обладают избирательным действием, которое состоит во влиянии только на сорняки, однако оно, как указано в работе [154, с. 428], «проявляется при определённых его дозах, при очень высоких дозах препарат может вызвать гибель всех растений – как сорняков, так и культурных». Помимо этого, химикаты ядовиты для человека и животных, что требует более строгого отношения к их хранению и использованию. Некоторые сельскохозяйственные угодья расположены вблизи жилого сектора, что накладывает ограничения на обращение к

химическому виду борьбы с сорными растениями. При этом в определённых случаях применение химикатов является неизбежным.

К физическому виду борьбы с сорной растительностью относятся поражение электрическим током, выжигание лазером, огневая обработка, гидравлический удар [6, с. 616].

Биологический вид борьбы с сорняками предполагает применение различных биологических агентов, в числе которых:

- промежуточные культуры;
- вирусы;
- насекомые;
- животные.

Промежуточные культуры позволяют угнетать сорные растения, но требуют дополнительных затрат времени и средств на выполнение их посева.

Насекомые и животные могут питаться сорными растениями, вирусы могут вызывать болезни у сорных растений. Однако, как отмечено в работе [151, с. 112], «подбор агентов для биологической защиты от сорняков очень затруднён узкой специализацией объектов на один вид сорного растения и длителен из-за нескольких этапов проведения исследований <...> Кроме того, существует большая доля риска в том, что избирательность агентов биометода временная и, если численность сорняка снизится и пищи фитофагу (патогену) не будет хватать, он в качестве хозяина может использовать другие (даже культурные) растения». Также, по мнению автора настоящей работы, в промышленных масштабах применение биологических агентов нерационально, поскольку необходимо поддерживать качество жизни используемых организмов на высоком уровне, а количество этих организмов должно быть достаточно большим для применения на всей площади плодопитомника.

Также известен способ борьбы с сорными растениями путём укрывания поля непрозрачной плёнкой, которая не пропускает солнечный свет, за счёт чего реакция фотосинтеза у растений не происходит. Недостатками способа являются трудоёмкость размещения и снятия плёнки.

Обращение производителей посадочного материала к существующим видам борьбы с сорными растениями продиктовано их стремлением к повышению эффективности и экономичности выполняемых процессов [6, с. 616].

Физический, химический и биологический виды борьбы с сорной растительностью не предполагают выполнения рыхления почвы. Поэтому, при необходимости (например, с целью получения более высокой урожайности, достижения более высокого экономического эффекта), возможно комбинирование описанных выше видов обработки почвы в конкретном отдельно рассматриваемом случае.

1.2 Агротехнические требования, предъявляемые к машинам для обработки почвы в плодопитомниках

К обработке почвы в садах, виноградниках и ягодниках предъявляются следующие требования [8, с. 72]:

- не допускать повреждений растений машинами и орудиями;
- максимально сокращать ширину приствольных, прикустовых полос;
- сокращать количество разъёмных борозд и свальных гребней, сильно ухудшающих рельеф поверхности почвы в междурядьях.

В источнике [73] представлены лесоводственные требования к механизированной обработке почвы при уходе за культурами, некоторые из них приведены В. Г. Свиридовым [137]:

- отклонение от прямолинейности защитной зоны должно составлять 3...10 см в ту или другую сторону движения рабочих органов культиваторов;
- глубина обработки должна составлять 4...8 см и колебание должно быть не более 2 см;
- сорняки должны быть уничтожены не менее чем на 90 % площади.

Коллективом учёных ФНЦ Садоводства (В. В. Бычков, Г. И. Кадыкало, В. А. Шевкун) определены «тенденции, которым должны удовлетворять техниче-

ские средства обработки междурядных полос многолетних насаждений и их рабочие органы» [15], среди которых:

- возможность изменения глубины обработки;
- обеспечение полного извлечения из почвы сорняков элементами рабочего органа;
- сохранение корневой системы культурного растения;
- автоматическое слежение за штампами деревьев;
- возможность работы в садах и ягодниках, имеющих различную ширину междурядий.

Исходя из данных, представленных в параграфе 1.1, в дополнение к вышесказанному сформулированы следующие агротехнические требования, предъявляемые к машинам для приствольной обработки почвы в плодопитомниках:

- при обработке почвы должно обеспечиваться уничтожение и вычёсывание сорной растительности;
- верхний слой почвы должен быть слегка комковатым;
- не допускаются необработанные полосы междурядий;
- пласт обработанной почвы должен быть хорошо раскрошен, с преобладанием мелких комков в верхнем слое почвы;
- приствольная обработка почвы должна выполняться на глубину не менее 40 мм (для существенного воздействия рабочих органов на почву) и не более 120 мм (для предотвращения повреждений корневой части рабочими органами);
- глубина обработки почвы должна быть равномерной по всему полю;
- минимальный агротехнический просвет машины должен быть не менее 500 мм;
- габаритные размеры машины должны быть такими, чтобы обеспечивался её проход в междурядьях;
- с целью снижения доли почвы, оставшейся не обработанной между соседними культурными растениями внутри рядка, следует обеспечить наименьший возможный зазор между рабочими органами (далее – рабочий зазор).

1.3 Анализ технических средств и способов обработки почвы в плодопитомниках, лесопитомниках и молодых садах

Известны машины и комплексы машин для ухода за плодопитомниками и садами, одни из которых предусматривают выполнение обработки почвы в приствольных зонах [12, 13, 43, 45, 52, 68, 109, 128, 130, 146–148, 164, 166], другие же предназначены только для обработки междурядий [14, 48, 52–54, 83, 159]. Некоторые из них реализуют автоматизацию и роботизацию отмеченных выше процессов, в том числе с использованием технологий машинного зрения и искусственного интеллекта. Исследователи отмечают высокую актуальность разработки таких комплексов, которые позволяют выполнять как можно больший спектр операций при производстве посадочного материала. При этом проблема автоматизации процесса обработки почвы в приствольных зонах культурных растений на сегодняшний день окончательно не решена. Рассмотрим решения, предложенные исследователями ранее.

В культиваторе межстрочном навесном по патенту на полезную модель № 163245 РФ [87], представленном на рисунке 1.1, рабочие органы 1 соединены с рамой 2 с помощью параллелограммного механизма 3 и управляющего устройства 4 с сидением для оператора 5. Машина позволяет механизировать процесс междурядной обработки почвы, однако имеет недостатки: ручное управление рабочими органами, приводящее к повышенным требованиям безопасности оператора, рабочее место которого находится вблизи обрабатываемых рабочими органами зон; повышенная утомляемость оператора, приводящая к снижению производительности машины; повышенная запылённость рабочего места оператора; отсутствие возможности выполнять приствольную обработку почвы.

Культиватор межстрочный навесной по патенту на полезную модель № 163824 РФ [88], представленный на рисунке 1.2, имеет камеру заднего вида 1, закреплённую на раме 2, дисплей 3, установленный на панели трактора, и гидроцилиндр управления 4, который одним концом закреплён на раме 2, а другим – на рулевой тяге 5 и посредством гидрошлангов (на рисунке не показаны) соединён со

свободной секцией гидрораспределителя трактора. Рабочие органы 6 установлены на рамках 7, расположенных на раме 2. В машине реализованы тенденции упрощения конструкции и дистанцирования оператора от рабочей зоны. Однако агрегат нельзя использовать для приствольной обработки почвы, а управление положением рабочих органов в автоматическом режиме отсутствует.

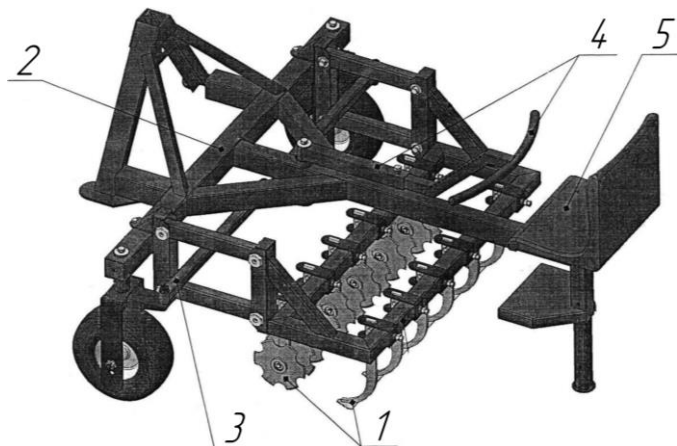


Рисунок 1.1 – Культиватор
межстрочный навесной [87]
(расшифровка позиций в тексте)

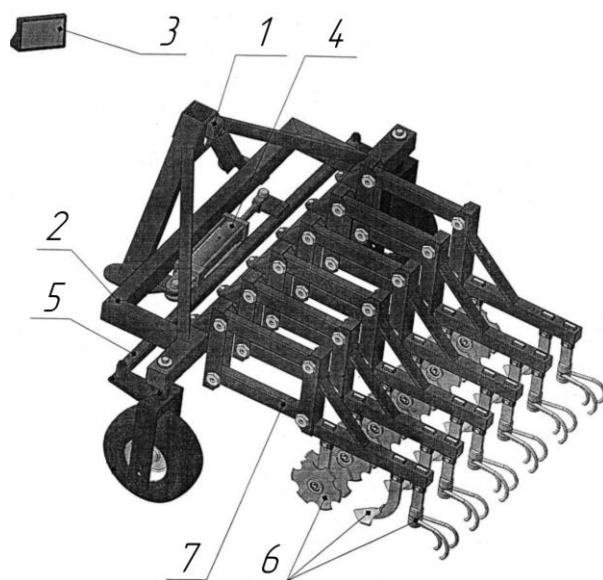
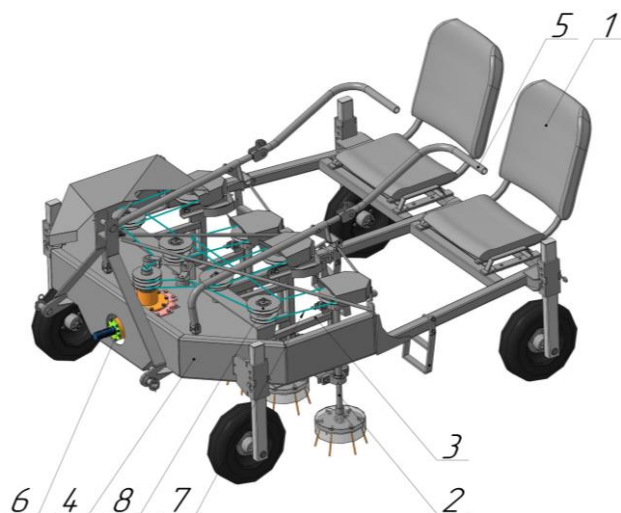


Рисунок 1.2 – Культиватор
межстрочный навесной [88]
(расшифровка позиций в тексте)

Машина для приствольной обработки почвы МПП-2 [71, 72, 91], представленная на рисунке 1.3, содержит сидения для операторов 1 и рабочие секции. Каждая секция состоит из двух ротационных рабочих органов 2 с вертикальной осью вращения, установленных на поворотных рамках 3, шарнирно соединённых с рамой 4 с возможностью поворота в вертикальной плоскости, и рычага управления 5. Механизм привода рабочих органов снабжён редуктором 6, входной вал которого соединён с валом отбора мощности (далее – ВОМ) трактора, клиновыми ремнями 7 и шкивами 8. Схема работы МПП-2 представлена в работах [119, 121]. Недостатками данной машины являются: ручное управление положением рабочих органов относительно рядка, приводящее к повышенным требованиям безопасности оператора, рабочее место которого находится вблизи обрабатываемых рабочими

органами зон; недостаточный обзор рабочей зоны; повышенная утомляемость оператора, приводящая к снижению производительности машины; сложный механизм привода.



а)



б)

Рисунок 1.3 – Машина для приствольной обработки почвы МПП-2:
а) общий вид [91]; б) опытный образец [71] (расшифровка позиций в тексте)

В механическом культиваторе Weeder Eco II [187], представленном на рисунке 1.4, предусмотрено два типа привода ротационных рабочих органов 1. Первый тип привода – от гидромоторов 2, рабочие органы 1 при этом предназначены для обработки междурядий, а их положение не регулируется. Второй тип привода – от ВОМ трактора, рабочие органы 1 при этом предназначены для приствольной обработки почвы, а их положение регулируется посредством рычагов управления 3 оператором, рабочее место 4 которого расположено на раме 5. Обеспечивается обработка двух рядков одновременно. Недостатками машины являются: ручное управление рабочими органами, приводящее к повышенным требованиям безопасности оператора, рабочие места которых находятся вблизи обрабатываемых рабочими органами зон; повышенная запыленность рабочего места оператора; недостаточный обзор рабочей зоны; повышенная утомляемость оператора, приводящая к снижению производительности обработки почвы; наличие дорогостоящего гидропривода.



Рисунок 1.4 – Механический культиватор Weeder Eco II [187]
(расшифровка позиций в тексте)

Культиватор Hoeing machine [183], одно из исполнений которого представлено на рисунке 1.5, содержит раму 1, на которой могут быть установлены стрельчатые лапы 2, зубовая фреза 3, пружинные зубья 4, бесприводные ротационные рабочие органы 5 [185], представляющие собой диск с закреплёнными по его периметру пальцами, приводимыми в движение от действия разных по направлению и значению сил сопротивления почвы. Достоинства машины: простой механизм при-

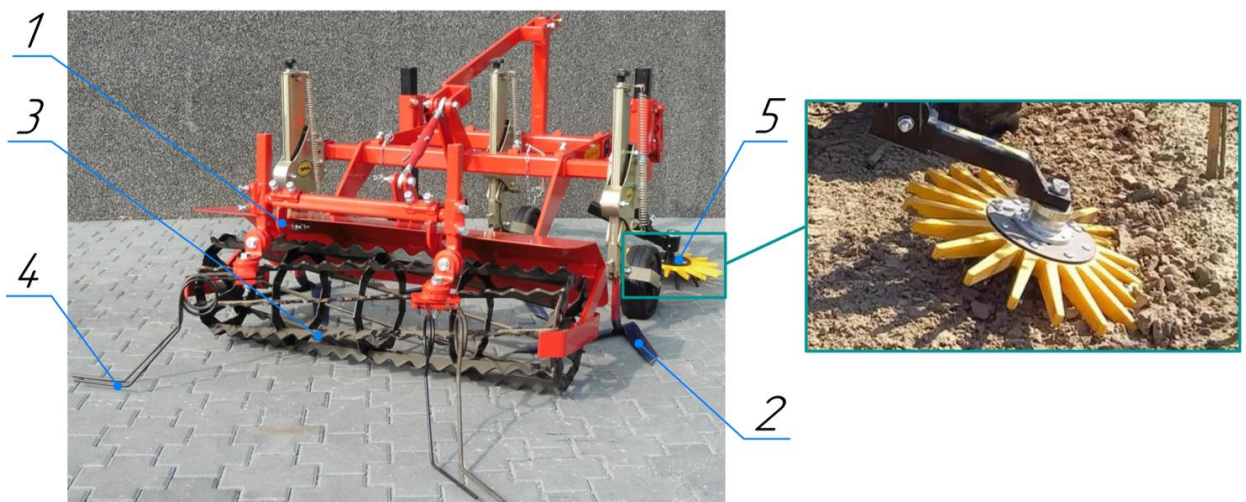


Рисунок 1.5 – Исполнение культиватора Hoeing machine [183, 185]
(расшифровка позиций в тексте)

вода рабочих органов; возможность совмещения приствольной и междурядной обработки почвы, что позволяет снизить затраты времени на выполнение работ и уменьшить количество проходов машинно-тракторного агрегата в междурядьях; минимальное участие оператора в технологическом процессе обработки почвы. Недостатки машины: отсутствие системы управления положением рабочих органов; отсутствие обработки почвы между соседними растениями внутри ряда.

В прополочном культиваторе для внутрирядной обработки Robocrop InRow Weeder [111] «используются методы анализа видеоизображения Robocrop для выявления отдельных растений с целью механического удаления сорняков между рядами и внутри ряда между растениями. Культиватор был разработан для обработки рассадных культур <...> но его можно использовать для большинства сельскохозяйственных культур с регулярными интервалами между растениями и рядами, когда листва предыдущего растения четко отделена от листвы следующего. Точности обработки 8 мм от стебля растения вполне достаточно, поскольку сорняки, находящиеся на расстоянии менее 8 мм, не выдерживают конкуренции с растением». Достоинство машины: наличие автоматизированной системы управления рабочими органами (далее – АСУ). Недостатки машины: невозможность выполнения качественной междурядной обработки почвы в плодопитомниках вследствие малой ширины захвата рабочих органов.

Автономный лазерный пропольщик Autonomous Laser Weeder оснащён камерами, лазерами, расположенными под рамой тягового средства, что позволяет располагаться достаточно близко к обрабатываемым зонам. Согласно информации, приведённой на сайте американской компании-разработчика Carbon Robotics [178], «используя компьютерное зрение на основе глубокого обучения, Autonomous Laser Weeder выявляет, нацеливается и уничтожает сорняки при автономном движении вдоль рядков культурных растений». Достоинства машины заключаются в том, что она является самоходной, содержит полностью автоматизированную систему удаления сорных растений, обладает высокой производительностью. Недостатками машины являются отсутствие процесса рыхления почвы, большие масса и габариты.

Автоматическая полольная машина Remoweed [191] предназначена для обработки почвы при возделывании овощных культур. Каждая секция машины содержит поворотные рычаги с установленными на них рабочими органами в виде ножей и инфракрасную камеру, которая позволяет определять наличие или отсутствие культурного растения. Для обработки междурядий предусмотрены стрельчатые лапы. Перед началом работы оператор посредством бортового компьютера задаёт значения следующих параметров: шаг культурных растений, средний диаметр культурных растений, диаметр защитной зоны. Оператором машины, который следит за её работой, является тракторист.

Способ прополки культурных растений в защитной зоне рядков по патенту на изобретение № 2299536 [92] включает укладку на поле совмещённых с ферромагнитными следоуказателями капельных линий, фиксирование на носителе информации о местонахождении растений путём записи сигнала в процессе посадки и последующую прополку агрегатом с магниточувствительными датчиками, считывающими этот сигнал. Достоинством способа является минимальное участие оператора в технологическом процессе обработки почвы, выступающего в роли наблюдателя за работой агрегата. Недостатком является необходимость фиксирования информации путём записи сигнала на носителе, что требует дополнительного элемента конструкции машины.

Одно из предложенных автором настоящего исследования решений – распознавание культурных растений путём получения сигнала от ферромагнитных указателей, нанесённых на стволы (например, от металлической стружки в растворе с краской для побелки), посредством магниточувствительных датчиков [97]. Фиксирование информации путём записи сигнала на носителе в этом случае исключается. Однако замечено, что при недостаточном изменении напряжённости внешнего магнитного поля датчика (обусловленной в том числе его низкой чувствительностью) он получает сигнал от ферромагнитного указателя только при физическом контакте с ним, что является недопустимым при выполнении технологического процесса обработки почвы, поскольку может привести к повреждениям культурных растений.

Целесообразность применения данного способа поставлена под сомнение по причине высокой стоимости датчиков, чувствительность которых позволяет получать сигнал от ферромагнитного указателя на достаточном расстоянии от культурного растения.

Ротационный рабочий орган по патенту на изобретение № 2033006 РФ [90], представленный на рисунке 1.6, смонтирован на наклонной стойке 1 посредством оси 2, на которой установлен диск 3 с расположенными по периферии корпусами 4 для рабочих элементов. Каждый рабочий элемент имеет зубья 5, отходящие от головки 6 вниз по образующим конической поверхности с вершиной конуса, направленной вверх. Зубья 5 имеют коническую форму с вершиной конуса, направленной вниз.

Ротационный рабочий орган по авторскому свидетельству № 1055359 СССР [2], представленный на рисунке 1.7, включает установленный на наклонной оси 1 с возможностью вращения диск 2, по периферии которого расположены роторы 3 с зубьями 4. Роторы 3 смонтированы на стойках 5, закреплённых на диске 2 перпендикулярно его поверхности. Зубья 4 каждого ротора расположены под острым углом относительно стойки 5, при этом разность между углом установки зубьев 4 относительно стойки 5 и углом наклона оси 1 составляет $0...5^\circ$.

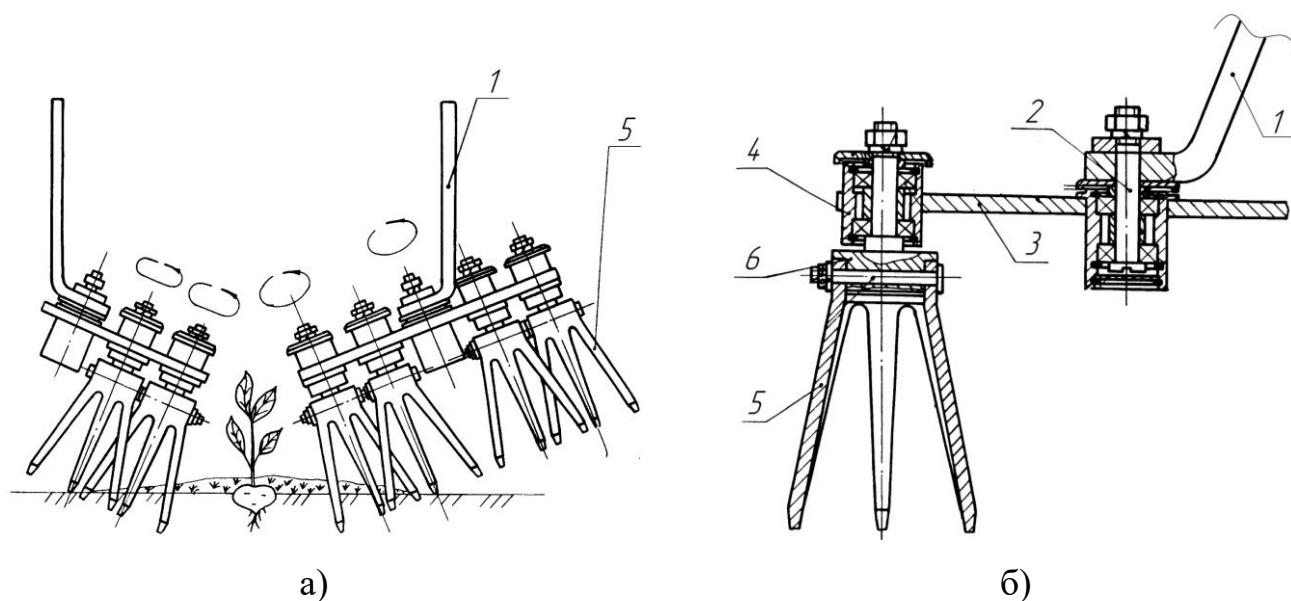


Рисунок 1.6 – Ротационный рабочий орган [90]:

а) вид сзади; б) поперечный разрез (расшифровка позиций в тексте)

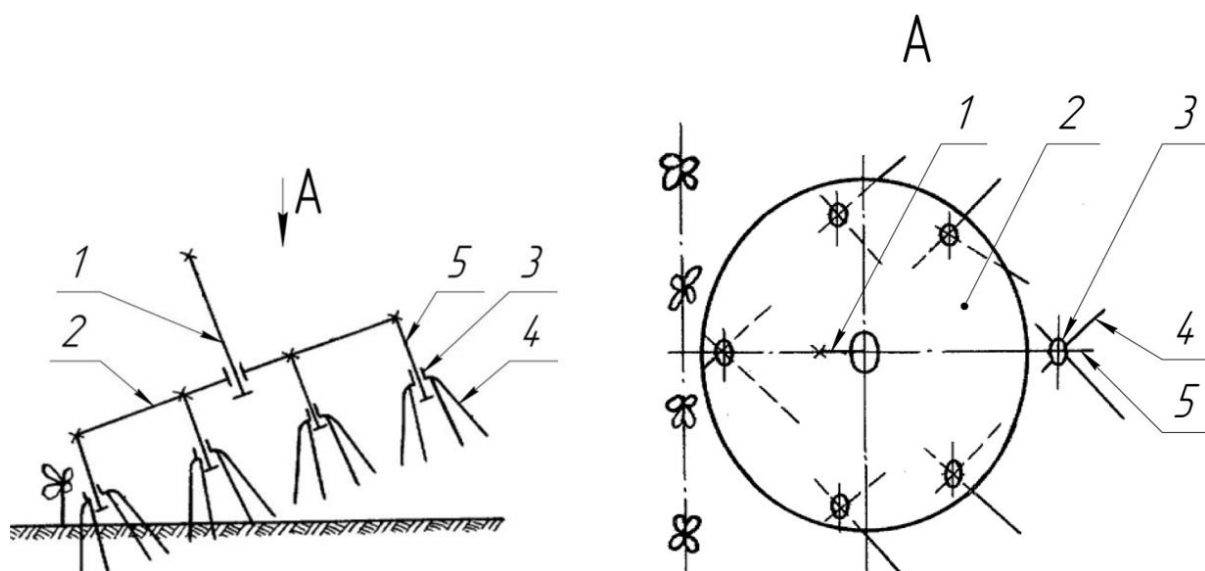


Рисунок 1.7 – Ротационный рабочий орган [2] (расшифровка позиций в тексте)

Приспособление для межкустовой обработки почвы по авторскому свидетельству № 397143 СССР [3], представленное на рисунке 1.8, включает три диска 1, на которых закреплены режущие рабочие органы 2. Диски установлены на осях 3, которые неподвижно закреплены по углам равностороннего треугольника на тройнике 4. В центре тройника 4 расположена наклонная ось 5, которая закреплена на продольной балке 6. Таким образом диски 1 могут вращаться вокруг своей оси 3 и вокруг наклонной оси 5. Приспособление на раме орудия устанавливается с двух сторон так, чтобы их крайние диски 1 размещались в межкустовой полосе. В горизонтальной плоскости приспособление наклонено в сторону растений, вследствие чего рабочие органы 2 заглубляются на разную величину.

Бесприводные рабочие органы по патенту на изобретение № 2033006 РФ и авторским свидетельствам № 1055359 СССР и № 397143 СССР позволяют выполнять приствольную обработку почвы, не требуют сложного и дорогостоящего механизма привода. Однако рабочий орган по патенту № 2033006 РФ сложен в изготовлении, а рабочий орган по авторскому свидетельству № 397143 обладает высокой металлоёмкостью и обеспечивает возможность обработки рядка только с одной стороны, при этом не приводит к повреждению саженцев и не требует участия оператора в технологическом процессе. Также следует отметить, что обработка почвы бесприводными рабочими органами является более щадящей по отношению к кор-

невой системе культурных растений по сравнению с приводными рабочими органами, которые имеют значительно более высокие скорости вращения.

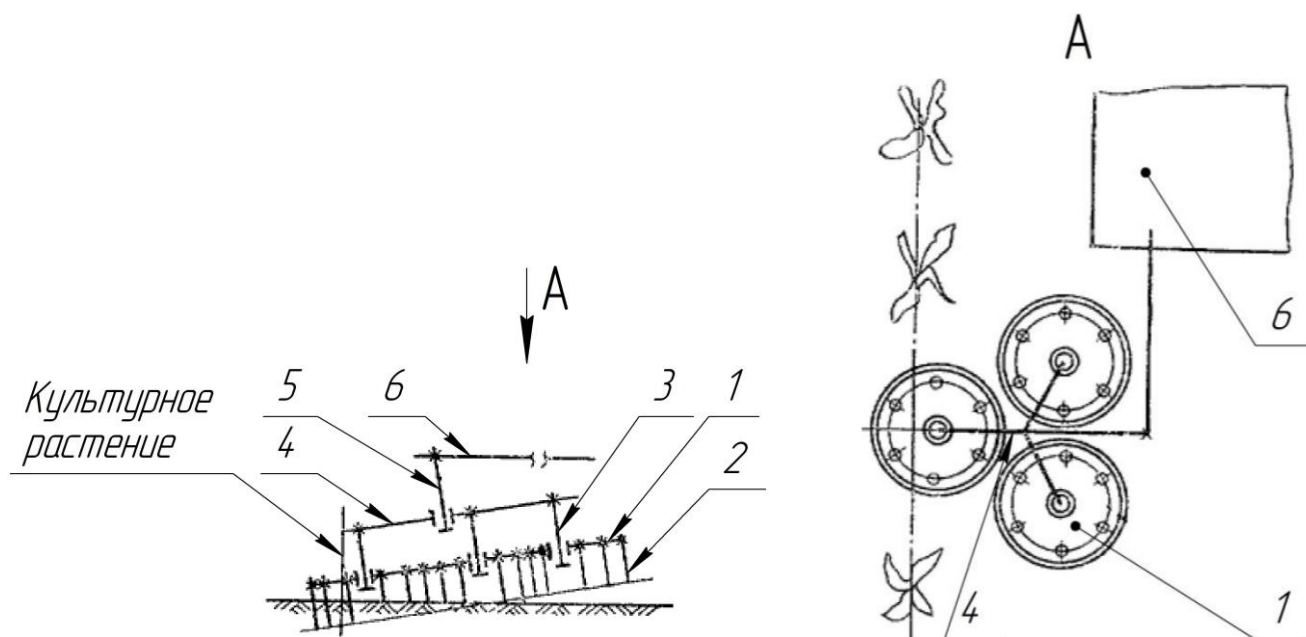


Рисунок 1.8 – Приспособление для межкустовой обработки почвы [3]

(расшифровка позиций в тексте)

В ходе анализа технических средств и способов обработки почвы выявлены следующие тенденции их развития: обеспечение наиболее безопасных и комфортных условий труда оператора с наименьшим возможным его участием в технологических процессах; обеспечение возможности изменять положение рабочих органов относительно культурных растений; реализация АСУ; обеспечение достаточного обзора рабочей зоны; упрощение механизма привода рабочих органов; снижение повреждений культурных растений; максимальное сокращение ширины приствольных полос; обеспечение возможности изменять рабочий зазор; обеспечивать наиболее щадящую по отношению к корневой части культурных растений обработку почвы.

1.4 Анализ научных исследований в области взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и машин по уходу за посадочным материалом с почвой

Значительный вклад в исследование взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и машин по уходу за посадочным материалом с почвой внесли такие учёные, как В. П. Горячкин, А. М. Егожев, М. Н. Летошнев, А. Б. Лурье, В. Н. Ожерельев, М. В. Ожерельева, И. М. Панов, П. М. Подолько, М. В. Сабликов, В. Г. Свиридов, Г. Н. Синеоков, М. П. Смирнов, Е. И. Трубилин, И. М. Фархутдинов, А. Л. Хажметова, В. М. Халанский, В. В. Шевчук и многие другие, в том числе коллективы учёных:

- МичГАУ: А. И. Завражнов, К. А. Манаенков, В. В. Хатунцев и др.;
- ФНЦ им. И. В. Мичурина: В. Г. Бросалин, А. А. Завражнов и др.;
- ФНЦ Садоводства: П. В. Бондарева, В. В. Бычков, Г. И. Кадыкало, И. А. Успенского, Ю. А. Уткова, А. А. Цымбал, В. А. Шевкуна и др.

Не все конструктивные схемы машин предполагали возможность поперечного перемещения рабочих органов, поэтому ряд исследователей рассматривал движение рабочих органов только в направлении рабочей скорости машины.

Одним из важных этапов при разработке любой агрегатируемой с трактором машины является определение тягового усилия, которое напрямую зависит от силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы. Воздействие почвы характеризуется такими её свойствами, как связность, влажность, твёрдость, пластичность, которые зависят от множества различных факторов и в каждой отдельной точке принимают определённое значение. М. Н. Летошнев отметил, что влажность «может резко изменять механические свойства почвы: одна и та же почва в зависимости от содержания в ней воды может быть и твёрдой и мягкой» и что «способность почвы наилучшим образом крошиться связана с определённой влажностью...» [64, с. 12].

Одним из параметров, который характеризует силу, с которой почва действует на рабочий орган, является удельное сопротивление. Оно считается обобщённой характеристикой сложности её обработки [107, с. 13].

В работе [143] Г. Н. Синеоков провёл анализ научных исследований зависимости удельного сопротивления почвы от различных свойств почвы, по результатам которого установил, что взгляды учёных на этот вопрос заметно разнятся.

В работе [64] М. Н. Летошнев, анализируя основанные на предложенной академиком В. П. Горячкиным рациональной формуле определения тягового сопротивления плуга разработанные разными исследователями приёмы для определения вышеупомянутого параметра, делает вывод об их несовершенстве. Причины тому следующие:

1. Некорректность получаемого результата расчёта при определённых значениях некоторых параметров.
2. Некоторые закономерности не отражают физический смысл используемых в этих выражениях коэффициентов, один из которых, в частности, ошибочно рассматривают как удельное сопротивление.

В работе [134, с. 6] М. В. Сабликов отмечал следующее: «Только в некоторых условиях отмечалась достаточно высокая корреляция... между тяговым сопротивлением плуга и данными о твёрдости обрабатываемой почвы <...> Значительно более высокая корреляция наблюдается, когда для упрощённого определения сопротивления почвы применён рабочий орган, являющийся моделью плужного корпуса. Подобным же образом при различных других расчётах, связанных с воздействием на почву <...>, следует иметь в виду, что найденные опытом данные о твёрдости почв или коэффициенте их объёмного смятия относятся к определённой форме и размерам рабочего органа».

Кроме того, тяговое усилие характеризуется его средним значением, поскольку этот параметр в действительности колеблется в некотором диапазоне. Как отмечает М. Н. Летошнев, «Такого рода отклонения обусловлены, с одной стороны, непостоянством физико-механических свойств почвенного пласта вдоль скрываемой плугом борозды, а с другой, во многом зависят от устойчивости хода самого

плуга, способности его выдержать установленную глубину вспашки, от выдержанности рельефа и состояния поверхности вспахиваемого поля» [64, с. 118]. О непостоянстве свойств почвы и причинах данного явления также вели речь Г. Н. Синегов и И. М. Панов [143, с. 35–37]. К вышесказанному добавим ещё и то, что для машины с подвижными относительно её рамы рабочими органами характерно изменение направления и значения сил сопротивления почвы, векторная сумма которых также непостоянна.

В конечном итоге, как отмечал И. М. Фархутдинов, «Никакая математическая модель не может полностью описать все аспекты поведения такого сложного материала, как почва. Скорее, основные характеристики поведения идентифицируются и включаются в описание модели, в то время как аспекты, которые считаются второстепенными, игнорируются» [165, с. 47].

Ещё одним немаловажным параметром, характеризующим взаимодействие рабочего органа с почвой, является сила трения скольжения, которая определяется коэффициентом трения почвы по поверхности рабочего элемента, учитываемым при определении геометрических параметров этого рабочего элемента. Коэффициент трения скольжения по стальной поверхности для естественных почв лежит в диапазоне от 0,2 до 0,8, причём повышение влажности почв приводит к увеличению данного параметра [64].

Стоит отметить, что задача математического описания процессов взаимодействия рабочих органов с почвой осложняется при наличии степеней свободы рабочего органа, количество которых превышает одну (т. е. если помимо движения вслед за трактором присутствует независимое от него поступательное и/или вращательное движение рабочего органа в другой плоскости. Например, поперёк относительно направления движения МТА, в вертикальной плоскости при наличии неровностей рельефа поля и т. д.).

Исходя из вышесказанного, делаем следующий вывод: основываясь на результатах теоретических и экспериментальных исследований процесса обработки почвы, известных на сегодняшний день, можно разработать такую математическую или компьютерную модель, которая позволит выполнить лишь предварительный

расчёт конструктивно-технологических параметров разрабатываемого технического средства для обработки почвы. Это связано с тем, что зависимости выходных параметров рассматриваемых процессов (силы сопротивления почвы, действующей на рабочий орган; тягового сопротивления трактора; мощности привода, необходимой для выполнения требуемых технологических операций при обработке почвы) от множества значимых факторов не установлены окончательно. Математическое моделирование осложнено тем, что часть из этих факторов непостоянна во времени и на протяжении всего исследуемого участка почвы.

В работе [164] представлены этапы создания технических средств для садоводства и подробно описаны события, связанные с работой сотрудников ФНЦ Садоводства¹⁾ в области механизации процессов в садах, ягодниках и питомниках. Учёные разрабатывали машины и комплексы машин, направленные на выполнение работ в садах и плодopитомниках: посадочные машины, опрыскиватели, плуги, культиваторы-рыхлители, машины для обрезки деревьев, ягодоуборочные комбайны, машины для выкопки саженцев и др.

Ряд работ коллектива учёных ФНЦ посвящён вопросу механизации садоводства [12–15, 48, 164, 170]. Исследователи на основе предложенной ими классификации машин для обработки почвы в садах и ягодниках определили «тенденции, которым должны удовлетворять технические средства обработки междовольных полос многолетних насаждений и их рабочие органы» [15] (см. с. 27) и, базируясь на них, вели разработки комплексов технических средств для ухода за посадками. В своих трудах исследователи отметили, что внедрение разработанных ими машин «обеспечивает по отношению к базовым изделиям рост производительности, снижение металлоёмкости, сокращение расхода горючего и трудоёмкости технического обслуживания, повышение качества работы, улучшение условий труда об-

¹⁾ С 1930 по 1960 гг. – Московская плодово-ягодная опытная станция, с 1960 по 1992 гг. – Научно-исследовательский зональный институт садоводства Нечернозёмной полосы, с 1992 по 1999 гг. – Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства, с 1999 по 2014 гг. – Государственное научное учреждение Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства.

служивающего персонала, исключение отрицательного влияния на окружающую среду» [48, с. 71].

Учёные, изучавшие вопрос механизации обработки почвы, рассматривали и приводные, и бесприводные рабочие органы.

Исследованием рабочих органов, размещённых на отклоняющихся секциях и предназначенных для ухода за междурядьями в садах, в том числе многолетних насаждений (фреза с вертикальной осью вращения, рабочий орган для внесения гербицидов), занимался коллектив учёных МичГАУ и ФНЦ им. И. В. Мичурина [1, 52, 67–69, 75, 93, 94]. Принцип их работы заключается в том, что при физическом контакте элементов рабочего органа (щупа, ветвеподъёмников) с препятствием (непосредственно со штамбом растения, колышком) происходит отведение рабочего органа в сторону от ряда.

Одной из машин, реализующих данное решение, является машина для обработки приствольных полос в саду по патенту на изобретение № 2412569 РФ [94], представленная на рисунке 1.9. Она имеет механизм управления поворотом корпуса, содержащий подпружиненный щуп 1 с толкателем 2. Механизм управления поворотом снабжён электрической системой, содержащей электромагнит 3 с сердечником 4 и пружиной 5, тягу 6, палец 7, промежуточное реле (на рисунке не показано) с контактами в цепи питания электромагнита 3, переключатель 8 и переключатель 9, поочередно взаимодействующий с кулачками 10 и 11 при поворотах корпуса 12, установленного на раме 13. Обработка почвы выполняется фрезерными барабанами 14 с вертикальной осью вращения 15.

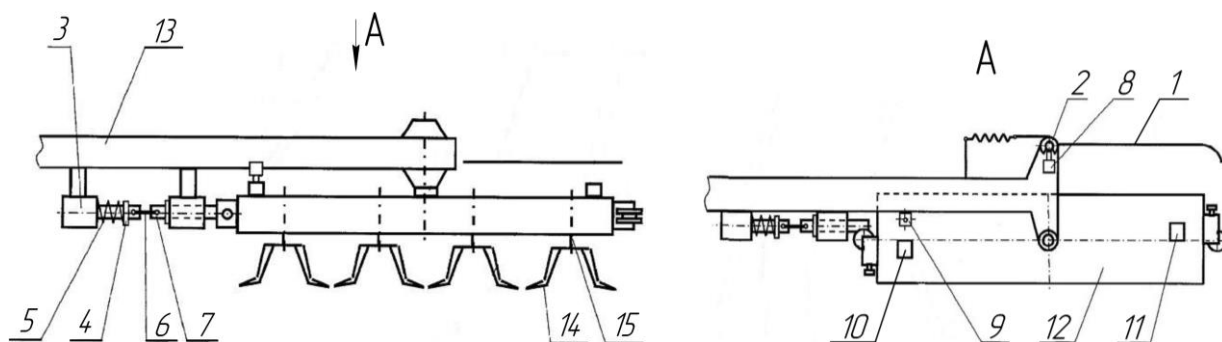


Рисунок 1.9 – Машина для обработки приствольных полос в саду [94]

(расшифровка позиций в тексте)

Достоинства машины: минимальное участие оператора в технологическом процессе обработки почвы; предохранение растений от повреждений рабочим органом; предотвращение поломок рабочего органа при его контакте с каким-либо крупным препятствием.

Данный способ управления положением рабочего органа подходит для растений, ствол которых способен выдержать оказываемую на него нагрузку со стороны рабочего органа (деревья, кусты с крепкими стволами). Для обработки растений в плодopитомнике вблизи них необходимо предварительно установить колышки, что является трудоёмким процессом и в ряде случаев экономически невыгодно.

Также отметим, что применение такого рабочего органа требует двойного прохода МТА. Данное решение имеет ещё один недостаток, который отмечен в том числе К. А. Манаенковым: «...после соприкосновения щупа со штамбом поворотный корпус фрезерной секции осуществляет неконтролируемое движение в пространстве около штамба. Поэтому возможно травмирование плодовых деревьев. Наши попытки исключить этот недостаток приводят к усложнению конструкции и проведению дополнительных исследований» [69, с. 7].

А. Л. Хажметова исследовала агрегат для обработки междурядий и приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах [167], конструктивно-технологическая схема которого представлена на рисунке 1.10. В нём механизм привода рабочих органов 1, 2, 3 выполнен в виде редуктора 4, жёстко закреплённого в передней части рамы 5. На выходном вале редуктора 4 последовательно установлены ведущий шкив 6 и ведущая звёздочка 7, которые посредством клиноремённых 8 и цепных 9 передач связаны с ведомыми шкивами 10 привода рабочих органов 1, 2, 3 и ведомой звёздочкой 11 привода рыхлителя активного действия 12. Входной вал редуктора 4 соединен с ВОМ трактора. Приствольная обработка выполняется рыхлителем 12, междурядная – рабочими органами 1, 2, 3.

Учёным была определена рациональная скорость передвижения агрегата – от 1,5 до 2,0 км/ч. Использование данного агрегата позволяет обеспечить минималь-

ное участие оператора в технологическом процессе обработки почвы в садах за счёт её частичной автоматизации.

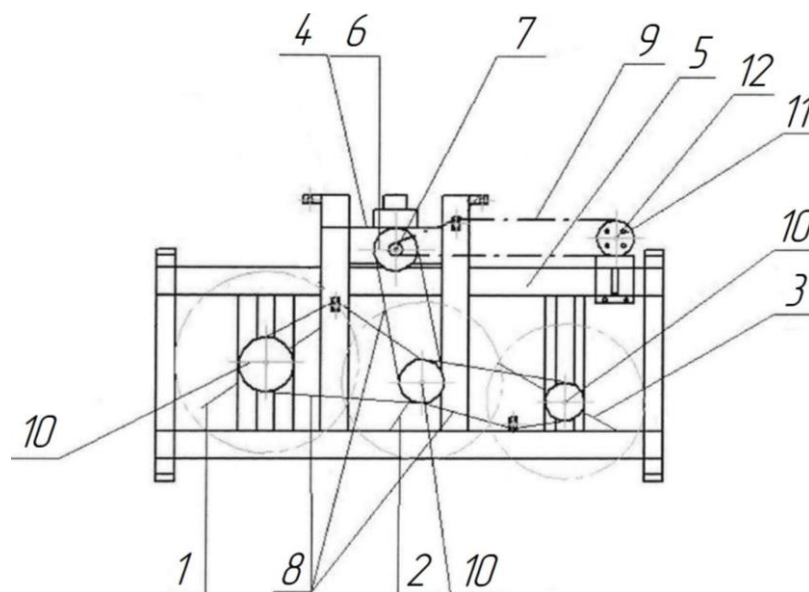


Рисунок 1.10 – Агрегат для обработки междурядий и приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах, исследованный А. Л. Хажметовой [167, с. 44] (расшифровка позиций в тексте)

Заметим, что уход за посадочным материалом в плодопитомниках также требует наличия механизма управления положением рабочего органа относительно ряда, а для обеспечения применимости машины в разных сельскохозяйственных предприятиях следует учитывать различие параметров посадок в плодопитомниках от параметров посадок в садах, к которым относятся: шаг культурных растений, расстояние между соседними культурными растениями поперёк ряда (далее – смещение культурных растений) и расстояние от культурного растения до оси ряда (далее – отклонение культурного растения). В плодопитомниках, как правило, шаг культурных растений и ширина междурядий имеют бóльшие значения.

П. М. Подолько отметил следующее: «Машины с активными рабочими органами (фрезы) целесообразно применять только на тяжёлых по механическому составу почвах, т. к. их использование на средних и лёгких почвах... приводит к излишнему их распылению и явлению ветровой эрозии» [105, с. 5–6].

Вопросами обработки почвы бесприводными рабочими органами занимались такие ученые, как А. Б. Лурье, П. М. Подолько, М. П. Смирнов, В. М. Халанский, В. В. Шевчук и др.

П. М. Подолько исследовал бесприводной ротационный рабочий орган [105], который представляет собой (рисунок 1.11) стойку 1 с двумя осями вращения, образующими острый угол с горизонтальной плоскостью. На каждой оси вращения установлены диски 2 с расположенными на них равномерно по периметру пальцами 3.

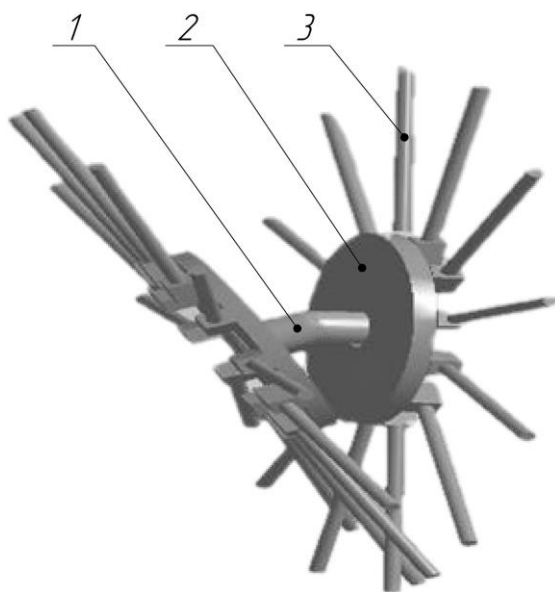


Рисунок 1.11 – Бесприводной ротационный рабочий орган, исследованный П. М. Подолько [105, с. 49]

Учёным получен ряд выражений, характеризующих параметры данного рабочего органа, в частности следующие: абсолютная скорость конца пальца; количество пальцев одной секции; сила сопротивления почвы, действующая на палец; тяговое сопротивление рабочего органа. Обращаясь к трудам В. П. Горячкина [28], П. М. Подолько утверждает, что сила сопротивления почвы, действующая на палец, определяется как сумма силы сопротивления смятию торцом пальца, силы сопротивления почвы разрушению внутренних связей сдвигом рабочей боковой поверхностью и силы трения при скольжении почвы поверхности пальца [105].

Определяя абсолютную скорость пальца, что необходимо при определении силы сопротивления почвы, автор не рассматривает случай, при котором секция совершает движение в поперечном относительно оси движения агрегата направлении, поскольку это не предусмотрено технологической схемой процесса обработки почвы. П. М. Подолько определил зависимость результирующей силы сопротивления почвы на пальце от угла поворота секции (рисунок 1.12) и качественно сопоставимую с ней зависимость тягового сопротивления пальца от угла поворота секции. Учёный утверждает, что «перепад в точке $\varphi_{\text{п}} = 180^\circ$ объясняется тем, что при выглублении пальца перестаёт действовать сила сопротивления почвы смятию лобовой поверхностью пальца» [105, с. 65].

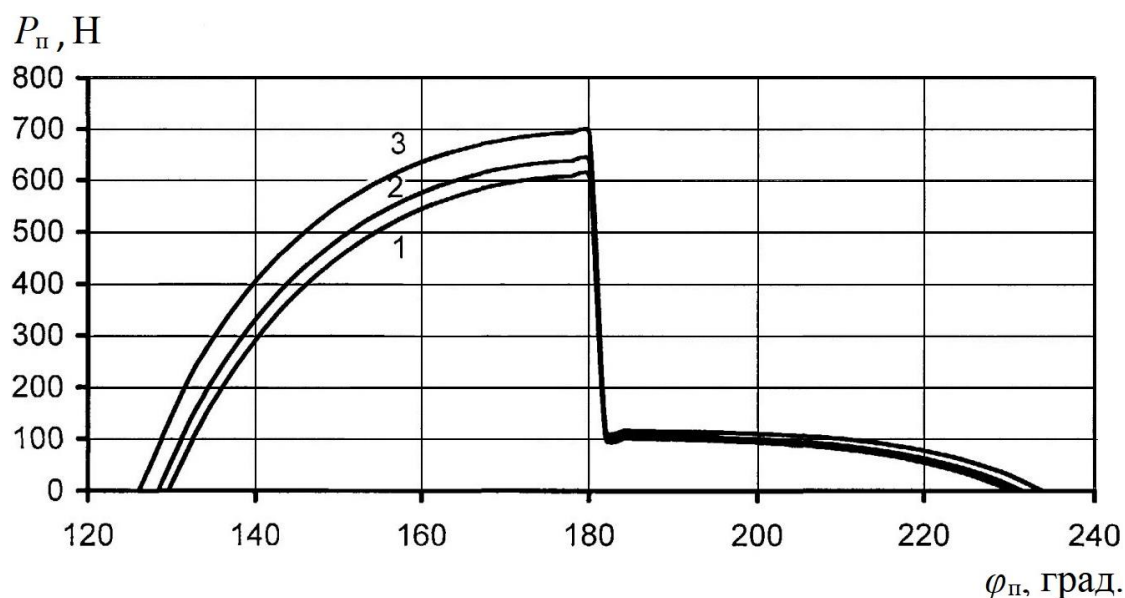


Рисунок 1.12 – График зависимости результирующей силы сопротивления почвы на пальце от угла поворота секции, полученный П. М. Подолько (линиям 1, 2 и 3 соответствуют различные значения углы наклона оси вращения секции рабочего органа к вертикали) [105, с. 65]

В. В. Шевчук исследовал игольчатую борону, применяемую при предпосевной поверхностной обработке почвы [172]. Двухдисковая игольчатая борона (рисунок 1.13) состоит из рамы 1, вала 2, ступицы 3, левого 4 и правого 5 дисков. В отверстия дисков 4 и 5 закручиваются иглы 6, стопорящиеся винтами 7. Диск 4 установлен со смещением на определенный угол относительно диска 5. Иглы 6

имеют цилиндрическую форму с конусным концом с одной стороны для обеспечения более высокой износостойкости той её части поверхности, которая контактирует с почвой, и для снижения величины смятия почвы под действием силы, с которой игла 6 погружается в почву. Число игл 6, установленное на каждом из дисков 4 и 5, такое, чтобы расстояние между концами игл 6 было одинаковым, т. е. чтобы угол между соседними иглами каждого диска 4 и 5 был один и тот же. Например, 30° или 45° .

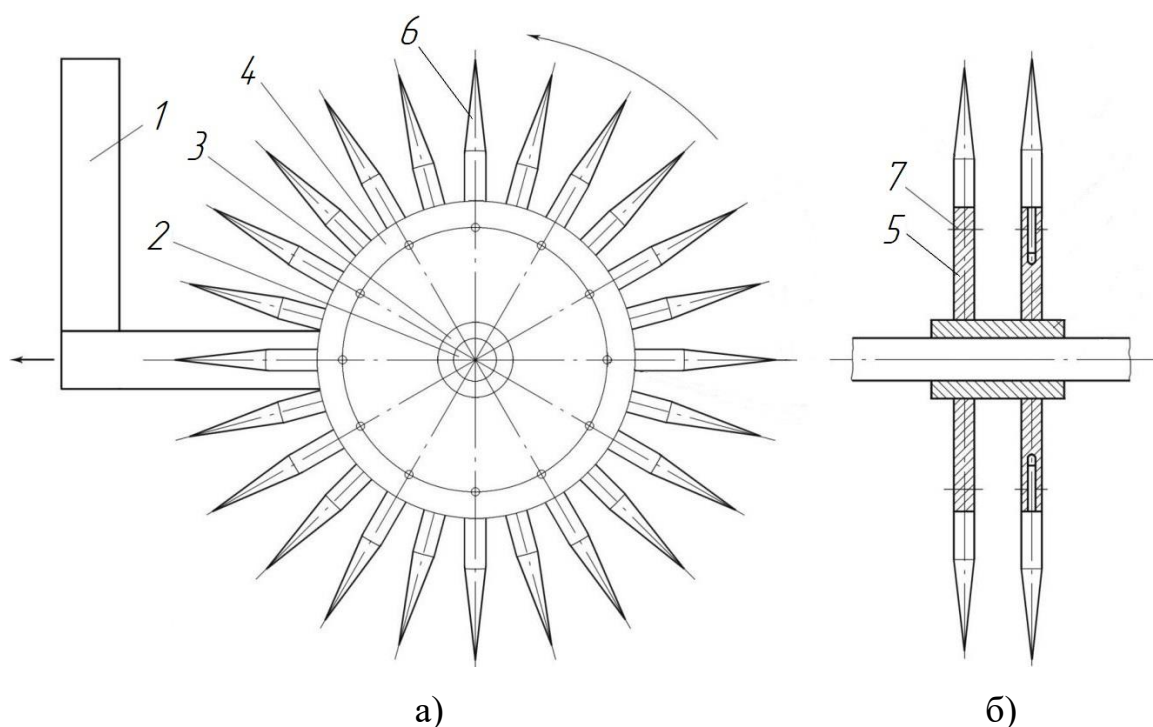


Рисунок 1.13 – Схема игольчатой бороны, исследованной В. В. Шевчуком [172, с. 43]: а) вид слева; б) поперечный разрез (расшифровка позиций в тексте)

Учёный отмечает, что сила, необходимая для погружения иглы в почву, прямо пропорциональна углу конусности иглы, твёрдости почвы и коэффициенту трения иглы с почвой. Соответственно, для обеспечения как можно меньшей силы сопротивления следует стремиться к меньшему значению угла конусности. Вместе с тем, «при малых углах конус иглы будет меньше, а сама игла длиннее и острее, что может вызвать нежелательные её поломки, а также быстрое абразивное изнашивание. Одновременно, при малой конусности и толщине иглы почва может быть недостаточно проколота, плохо измельчена и разрыхлена» [172, с. 117].

Экспериментальные исследования проведены В. В. Шевчуком «на участках, предназначенных для посева сахарной свеклы. Способ обработки грунта традиционный, осенняя глубокая вспашка, весеннее рыхление и закрытие влаги» [там же, с. 107]. Характеристика агрофона:

- влажность почвы в слое от 0 до 15 см – 19,5...27,2 %;
- твёрдость почвы в слое от 0 до 15 см – 0,29...1,28 МПа;
- засорённость сорняками в зоне обработки – 18 шт./м²;
- высота сорняков – 5,6 см.

По результатам проведённых исследований учёный рекомендует обеспечить угол конусности конца иглы равным 10...14°, а радиус цилиндрической части иглы равным 13...14 мм, поскольку при данных параметрах:

- качество рыхления почвы (содержание фракций размерами до 25 мм) составило от 88,2 до 90,5 %;
- подрезка сорняков в зоне обработки составила 98,5 %;
- результирующее тяговое сопротивление секции рабочих органов оказалось меньше на 30 % для игл с углом конусности 10° и на 17 % для игл с углом конусности 14° в сравнении с серийной секцией культиватора УСМК-5,4.

Значение угла конусности, равное 18°, не рекомендовано, поскольку не приводит к снижению тягового сопротивления агрегата и влечёт за собой увеличение силы сопротивления почвы, хотя и обеспечивает удовлетворительный показатель качества рыхления почвы, равный 93,5 %. Заметим, что при определении угла конусности конца рабочего элемента рабочего органа, предназначенного для обработки почвы в плодopитомниках, следует учитывать, что почва является предварительно подготовленной (посадка культурных растений уже выполнена, и значения твёрдости и плотности почвы меньше, чем при предпосевной обработке).

М. П. Смирнов проводил исследование бесприводного ротационного рабочего органа, используемого при предпосевной обработке почвы под посев пропашных культур [149]. Рабочий орган (рисунок 1.14) состоит из вертикальной стойки 1 со смонтированной поперечной осью 2. К оси приварены симметрично изогнутые цапфы 3 и 4. На цапфы устанавливаются два игольчатых диска 5 и 6. Иглы дис-

ков 5 и 6 центрируются во взаимных межигловых пространствах за счёт радиального сужения межиглового пространства от периферии к центру. Данный рабочий орган работает за счёт сил сопротивления почвы, действующих на иглы.

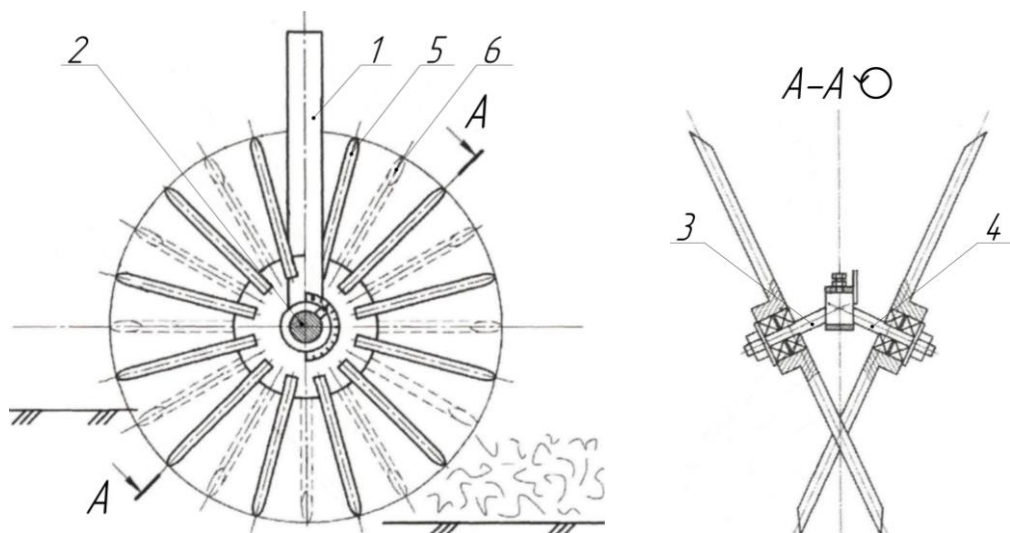


Рисунок 1.14 – Конструктивно-технологическая схема бесприводного ротационного рабочего органа, исследованного М. П. Смирновым [149, с. 35]
(расшифровка позиций в тексте)

Максимальная ширина обработки составляет 14 см. Исходя из графика, полученного автором (рисунок 1.15), можно заметить, что твёрдость почвы после обработки бесприводным ротационным рабочим органом ниже, чем до обработки.

По результатам испытаний опытного образца адаптера с бесприводными ротационными рабочими органами учёным было отмечено, что «при обработке суглинистой серой лесной почвы влажностью 21,5...24,1 % на скорости движения 6,8...7,0 км/ч после прохода агрегата содержание фракции почвы размером менее 10 мм составляет 93,0...94,6 % для пашни» [там же, с. 120]. Данный результат свидетельствует о высоком качестве рыхления почвы, однако применение предложенного рабочего органа в плодопитомниках требует адаптации его конструкции, поскольку при существующей схеме вычёсывание сорняков с их перемещением в сторону от ряда происходить не будет.

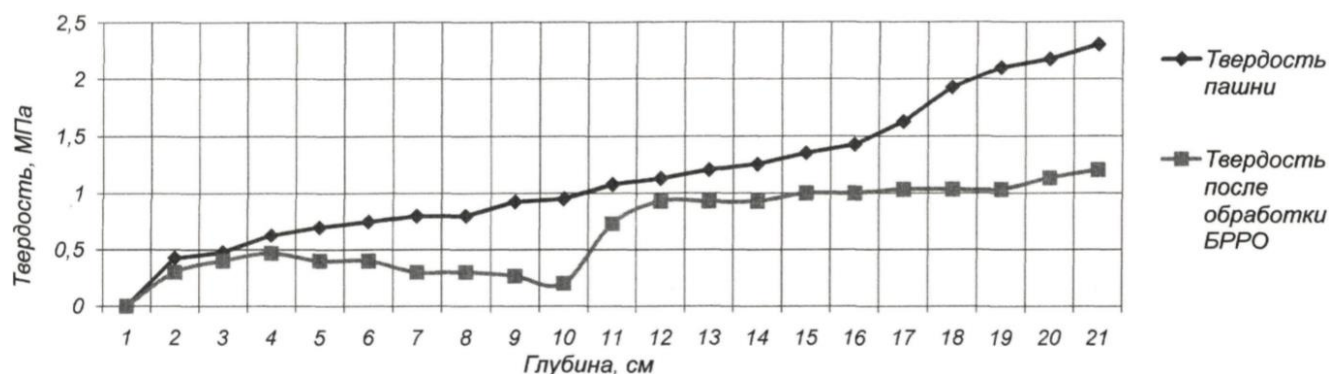


Рисунок 1.15 – График зависимости твёрдости почвы до и после обработки бесприводным ротационным рабочим органом, исследованным М. П. Смирновым (агрофон – пашня) [там же, с. 82]

В. Г. Свиридов исследовал ротационно-зубовой рабочий орган с наклонной осью вращения, представленный на рисунке 1.16 [137]. Он представляет собой диск 1, установленный на наклонной оси вращения 2, с расположенными по периметру перпендикулярно плоскости диска зубьями 3. Учёный решал задачу обеспечения наименьшей защитной зоны и предотвращения повреждения культурных растений, что было достигнуто в том числе за счёт предложенной конструкции рабочего органа, при которой зуб отклонён в сторону от ряда культурных растений.

По результатам экспериментальных исследований, В. Г. Свиридов установил следующие оптимальные параметры: угол наклона рабочего органа – 15° ; ширина защитной зоны – 13,2 см; глубина хода (глубина обработки) – 2,5 см.

По мнению автора настоящей работы:

- такая глубина обработки является недостаточной при выполнении обработки почвы в плодопитомниках, при этом, исходя из рисунка 1.16, её увеличение может привести к повышению ширины захвата (с соблюдением условия расположения диска над уровнем почвы);
- концы пальцев следовало бы выполнить конусными или усечёнными для снижения величины смятия почвы под действием силы, с которой палец погружается в почву;

– наличие механизма управления положением рабочих органов и механизма изменения рабочего зазора может позволить изменить угол наклона зуба относительно диска так, чтобы было обеспечено более близкое расположение конца зуба к ряду (поскольку предотвращение повреждений культурных растений можно было бы достичь изменением положения рабочих органов относительно их защитных зон). Это, в свою очередь, привело бы к увеличению ширины захвата с одновременным уменьшением проходимого зубом пути в процессе контакта с почвой, а это, в конечном итоге, повысило бы ресурс зуба;

– наличие механизма изменения рабочего зазора позволит сводить рабочие органы при обработке почвы между соседними защитными зонами, тем самым снизив долю почвы, оставшейся не обработанной между соседними культурными растениями внутри ряда.

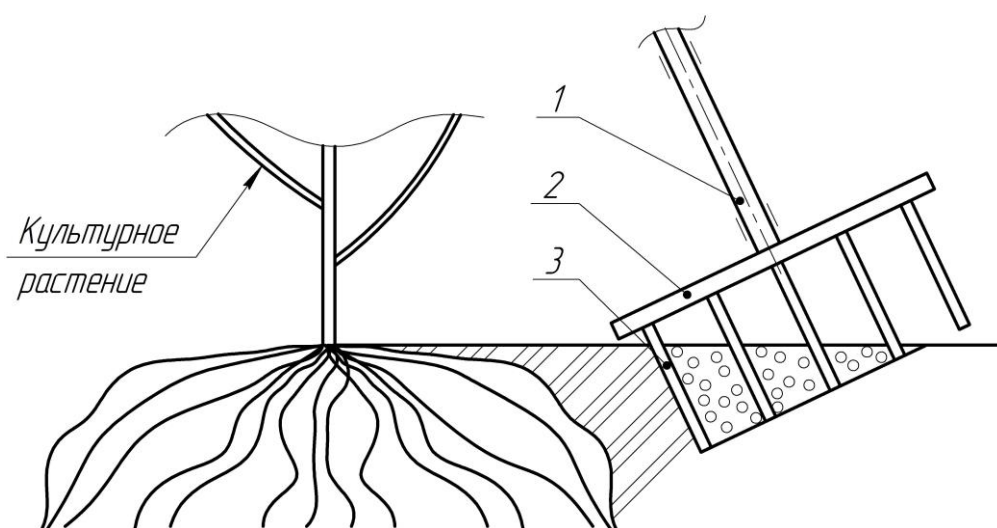


Рисунок 1.16 – Схема расположения ротационно-зубового рабочего органа с наклонной осью вращения, исследованного В. Г. Свиридовым, относительно культурного растения [137] (расшифровка позиций в тексте)

У рассмотренных выше рабочих органов количество элементов, взаимодействующих с почвой (пальцев, игл), различается. Автор настоящей работы предлагает при определении количества пальцев рабочего органа руководствоваться следующими аспектами:

1) большее количество пальцев:

- обеспечивает приемлемую степень взаимодействия рабочего органа с почвой, что приводит к высокому качеству выполнения технологического процесса её обработки;

- приводит к меньшей доле необработанной почвы между соседними культурными растениями вдоль рядка, обусловленной малым расстоянием между соседними точками вхождения пальцев в почву;

2) меньшее количество пальцев:

- снижает вероятность забивания рабочего органа растительностью, почвой;
- уменьшает металлоёмкость рабочего органа (и, как следствие, машины в целом);

- снижает затраты времени при изготовлении рабочего органа.

По мнению автора настоящей работы, рациональным значением количества элементов, взаимодействующих с почвой, будет то, которое позволит соблюсти в себе наибольшее количество достоинств обоих крайних случаев.

А. Б. Лурье и В. М. Халанский подробно рассмотрели рабочие органы культиваторов для сплошной и междурядной обработки почвы [49, 139]. Из представленных ими рабочих органов наиболее рациональным для междурядной обработки в плодопитомниках представляется полольная лапа. Лезвие лапы перерезает корни сорняков; почва без оборачивания перемещается по её рабочей поверхности и частично крошится.

1.5 Анализ научных исследований в области автоматизации процессов и распознавания объектов в плодопитомниках и молодых садах

Вопросами автоматизации процессов и распознавания объектов в растениеводстве занимались С. М. Борисова, Д. М. Недогреев, Е. А. Перепелкин, С. М. Сидоренко, Б. Г. Турбин, Е. И. Трубилин и другие исследователи, в том числе коллективы учёных:

- МичГАУ: А. И. Завражнов, К. А. Манаенков, В. В. Хатунцев и др.;

- ФНЦ им. И. В. Мичурина: В. Г. Бросалин, А. А. Завражнов и др.;
- ФНАЦ ВИМ: А. И. Дышеков, В. А. Зубина, А. Ю. Измайлов, А. И. Кутырёв, И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт и др.

Как было указано в параграфе 1.4 (с. 42), коллектив учёных МичГАУ и ФНЦ им. И. В. Мичурина исследовал приводные рабочие органы, использование которых, помимо механизации процесса обработки почвы в приствольных зонах, позволило достичь его автоматизации путём применения гидромеханических и электромеханических систем. Например, системы ориентирования рабочих органов на ряд культурных растений клоновых подвоев яблони [1]. Достоинства и недостатки предложенного решения были озвучены ранее.

Коллективом учёных ФНАЦ ВИМ и МичГАУ достигнуты значительные результаты в области распознавания объектов в промышленном садоводстве, соответствующей научному направлению «Комплексы машин, роботизированные системы и цифровые технологии в растениеводстве» [55].

И. Г. Смирнов выявил тенденции развития техники для возделывания кустарниковых ягодных культур, среди которых «Создание специализированных машин для реализации интеллектуальных технологий в садоводстве и питомниководстве» и «Роботизация технического обеспечения технологий в садоводстве» [147]. Автор отмечает следующее: «Дальнейшее совершенствование технологий точного земледелия требует развития информационных технологий и интеллектуализации техники, что позволит на современном уровне подходить к комплексному решению проблем создания и использования роботизированных машин, выполняющих в автоматическом режиме наиболее сложные и трудоёмкие операции с целью минимизации участия человека» [там же].

Одними из современных систем автоматического позиционирования являются системы GPS и ГЛОНАСС. В работе [108] исследователями отмечено, что «в целом метод высокоточного вождения по данным от дифференциального приёмника спутниковой навигационной системы идеален в условиях, для которых он и разрабатывался – автоматического мониторинга сельскохозяйственных угодий. В реальных условиях эксплуатации каналы связи как со спутниками, так и с базовой

станцией нельзя считать надёжными». Помимо данной системы учёные рассмотрели радарную систему, фотографические методы, световые сенсоры, стереозрение, ультразвуковые сенсоры, LIDAR-сенсоры и сделали вывод, что «в промышленном садоводстве целесообразно применение компьютерного стереозрения», которое, согласно работе [190], позволяет получать 3D-изображение посредством совмещения двух монокулярных изображений, по одному от каждой из двух камер. Авторы выявили следующие преимущества данной системы:

- возможность измерения размера и объёма объекта;
- возможность определения расстояния от камер до объекта. Поскольку конструктивные параметры машины известны ещё до начала её эксплуатации, то можно определять и расстояние от рабочего органа машины до объекта.

К недостаткам компьютерного стереозрения исследователи отнесли:

- меньшая по сравнению с лазерными системами (LIDAR) точность измерений;
- необходимость калибровки и записи процедуры;
- снижение эффективности при определённых погодных условиях, особенно при изменении освещения;
- значительный рост объёма данных при одновременной обработке нескольких изображений, приводящий к усложнению процедуры обработки и хранения информации и увеличению затрат времени на обработку данных. Сложность повышается, когда необходима обработка в режиме реального времени.

В конечном итоге, по мнению учёных, «наиболее эффективными с точки зрения практического применения являются комплексированные системы с лазерными сенсорами, стереовидеокамерами и GPS/ГЛОНАСС-навигацией». Следует помнить о том, что какие бы то ни были система и программно-аппаратный комплекс, её реализующий, должны быть наиболее доступными для использования конечным потребителем с экономической точки зрения и с точки зрения удобства.

В работах [65, 66] изучен вопрос применения систем технического (машинного) зрения в точном земледелии. Авторы представили следующий перечень компонентов типового решения системы машинного зрения:

- одна или несколько цифровых или аналоговых камер;
- программное обеспечение для изготовления изображений;
- процессор (которым может служить персональный компьютер);
- программное обеспечение машинного зрения;
- умная камера, включающая вышеперечисленные компоненты;
- специализированные источники света;
- приложения для обработки изображений и обнаружения соответствующих свойств;
- датчик для синхронизации частей обнаружения для захвата и обработки изображений (например, оптический или магнитный).

Исследователи отметили, что «Первая задача (обнаружение сорняков на поле среди культурных растений) более простая, так как приходится идентифицировать объект среди двух классов объектов. Вторая задача (выделение конкретного сорняка среди остальных для соответствующего гербицида) сложнее, так как приходится выбирать конкретный сорняк среди большего числа классов сорняков. Обнаружение культурных растений посредством машинного зрения может облегчать обнаружение сорняков. Это обусловлено тем, что культурные растения более однородны, чем сорняки, и имеют более известную геометрическую форму. Такой подход используется при селективном применении гербицидов и механическом удалении сорняков, избегая при этом повреждения культурных растений. Некоторые из них используют простые системы обнаружения культур на основе перехвата света, другие определяют растения на основе сочетания таких параметров как цвет и форма с использованием классификационных алгоритмов, например, двумерных вейвлетов» [66, с. 42].

Д. О. Хорт отметил следующее: «Наиболее подходящими для мониторинга агроценоза плодового сада и использования с робототехническими средствами в полевых условиях являются цифровые оптические системы RGB, стереозрение и лазерные радары» [169, с. 34]. По результатам экспериментальных исследований, проведённых учёным, установлено, что применение гиперспектральных камер и нейронных сетей позволяет достичь точности распознавания плодов яблони до

93,9 %. Важно отметить, что одним из главных требований для обучения нейросетей при обработке приствольных зон культурных растений в плодopитомнике является наличие больших объёмов высококачественных данных, сбор и обработка которых требуют значительных ресурсов и времени. Также, как было указано ранее, присутствует сложность в различии растений плодово-ягодных культур и сорных растений.

Совместно с другими учёными им была показана возможность применения языка программирования Python с подключённой библиотекой компьютерного зрения OpenCV, веб-камеры Logitech HD C270, одноплатного компьютера Raspberry Pi 3 Model B+, лазерных датчиков VL53L0X, регулятора напряжения SZBK07 300W, литий-полимерный аккумулятора Hubsan X4 Pro H109S для реализации системы распознавания ягод земляники при роботизированном сборе при помощи манипулятора, установленного на самоходной платформе [126]. Порядок работы программы был следующим:

1. Изменение разрешения изображения для регулировки детализации изображения и увеличения быстродействия алгоритма.
2. Перевод кадров в цветовую палитру HSV (hue, saturation, value – тон, насыщенность, значение).
3. Указание цветовых диапазонов спелой и неспелой ягоды.
4. Создание маски, накладываемой на изображение.
5. Морфологическая трансформация изображения с целью нивелирования шумов – хаотически разбросанных пикселей случайного цвета и яркости, не соответствующих зарегистрированному цвету.
6. Создание массива из найденных контуров.
7. Определение координат и создание пути перемещения к ним для каждого контура.
8. Запуск функции приближения манипулятора к ягоде после позиционирования манипулятора напротив неё.
9. Запуск функции перемещения плода земляники внутрь палетки после среза плодоножки.

По результатам проведённых экспериментальных исследований данной системы учёными отмечено следующее: «Созданные алгоритмы обработки входных видеоданных и работы системы компьютерного зрения позволяют распознавать ягоды земляники с высокой степенью точности (до 94,6 %). Условия освещённости существенно влияют на обнаружение ягод земляники садовой, их площади, границ и спелости, что сказывается на эффективности уборки урожая с помощью роботизированного манипулятора» [там же].

А. И. Дышековым предложено при возделывании столовой свёклы распознавать сорную растительность [41]. Сославшись на работу коллектива учёных R. Jain, R. Kasturi, B. Schunk [184], автор отметил следующее: «На ранних стадиях развития сорные растения и листья столовой свёклы перемешаны друг с другом, имеют одинаковые цвет и структуру, что затрудняет идентификацию. Процесс выявления сорной растительности становится всё более сложным, когда области растений и сорной растительности перекрываются (между листьями)» [41, с. 37].

Основные этапы классификации объектов предложенной учёным системы:

- сегментация изображения – разбиение изображения на группы пикселей (сегменты), каждая из которых составляет смысловой объект;
- извлечение признаков – определение характерных элементов изображения (например, контур, площадь, выпуклая область);
- классификация – определение класса выявленного объекта.

Следует учитывать тот факт, что растения плодово-ягодных культур и сорные растения различать ещё сложнее в силу схожих формы и размеров этих объектов, при этом в первую очередь необходимо выявлять культурное растение для предотвращения его повреждения.

В работе [174] приведены преимущества распознавания яблок в ночное время:

- функционирование в более контролируемой среде с использованием искусственных источников света с регулируемой цветовой температурой и интенсивностью;

- минимизация влияния внешних факторов, связанных с изменчивостью света;
- стабильная видимость;
- более высокая точность распознавания яблок за счет снижения шума;
- более высокое качество изображения.

По результатам исследований учёные установили, что средняя абсолютная ошибка моделей свёрточной нейронной сети YOLO11 при работе ночью с использованием искусственного источника света при подсчете количества яблок на деревьях на тестовых изображениях ночью не превышает 8 %, а при работе днём составляет не менее 15 %. Реализация данных моделей для выполнения обработки почвы может иметь затруднения в связи с необходимостью предварительного трудоёмкого обучения нейросетей, обеспечения искусственного освещения в хозяйстве и обязательным использованием этих моделей в ночное время, что обязывает рабочий персонал находиться на рабочем месте ночью.

Научный коллектив ФНАЦ ВИМ продолжает исследования в области роботизации и автоматизации процессов в промышленном садоводстве и по сей день. Среди направлений данных исследований: разработка технических средств, способов и систем:

- борьбы с сорной растительностью [7];
- распознавания и классификации плодов и ветвей яблони [61, 62];
- автоматизированного управления агротехнологиями [127, 145];
- мониторинга сорной растительности [144].

В работе [139, с. 542] Б. Г. Лурье отметил, что системы автоматического управления по выполняемым функциям делятся на стабилизирующие, программные и следящие. В работе [6, с. 616] представлена классификация методов борьбы с сорной растительностью в приствольной зоне. С учётом этих данных и по результатам проведённого анализа состояния вопроса обработки почвы в плодопитомниках, частично отражённым в работах [113–115], предложена классификация машин для обработки почвы в плодопитомниках, представленная на рисунке 1.17 и приведённая в работе [118].

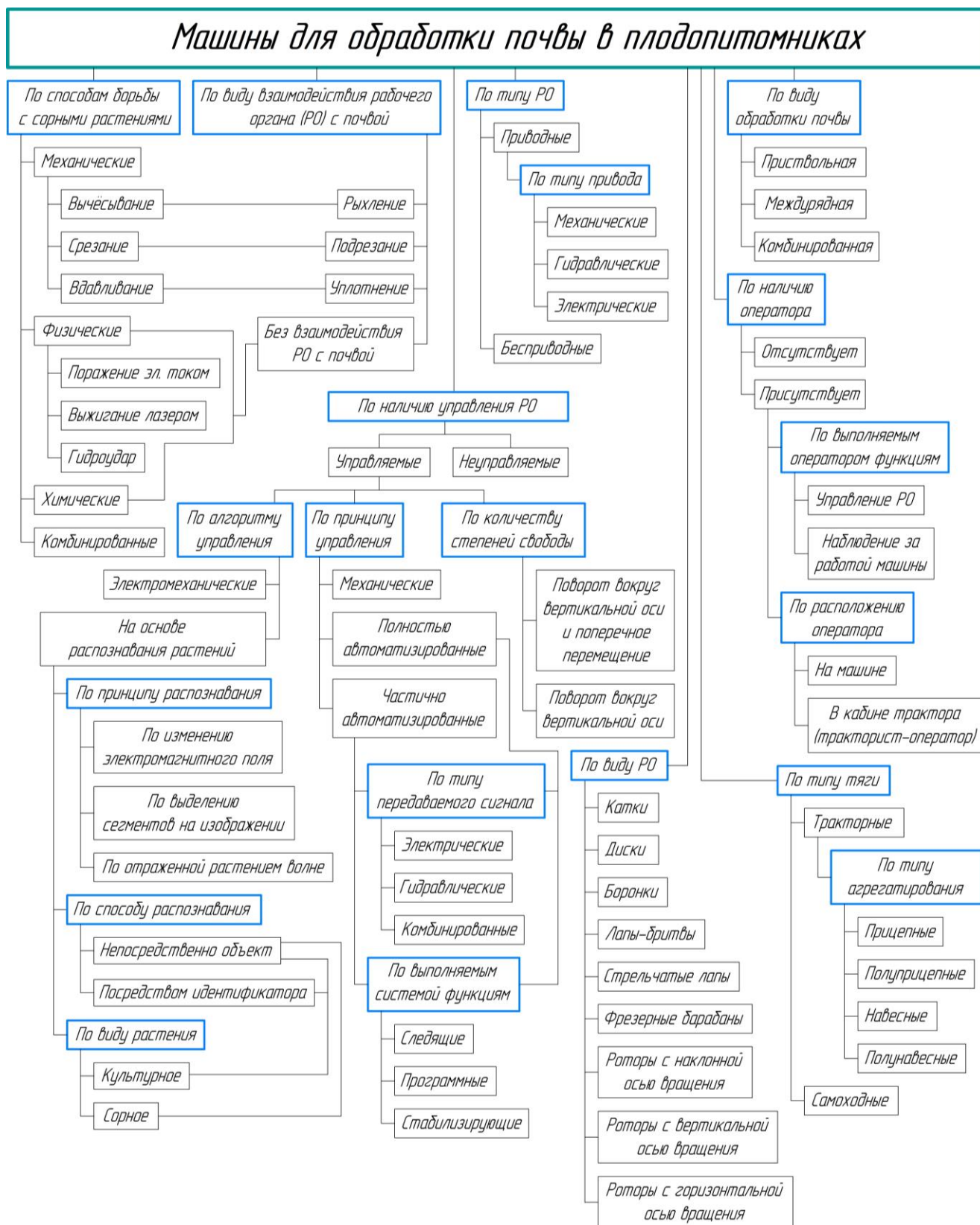


Рисунок 1.17 – Классификация машин для обработки почвы в плодопитомниках

Выводы по главе. Задачи исследования

Проведённый анализ состояния вопроса обработки почвы в плодopитомниках показал, что существующие технические средства и способы автоматизации процессов позволяют решать отдельные задачи обработки почвы и распознавания объектов, однако отсутствуют комплексные решения, обеспечивающие автоматизированное управление рабочими органами для обработки приствольной полосы в плодopитомниках с учётом взаимного расположения рабочих органов и защитных зон. Также анализ позволил сделать следующие выводы:

1. Предпочтительный вид обработки почвы – механический вследствие его экологичности, совмещения процессов рыхления почвы и удаления сорняков.

2. Целесообразно предусмотреть в конструкции машины рабочие органы двух типов: для приствольной обработки и для междурядной обработки, что позволит совместить обе операции, снизив затраты времени на выполнение работ и уменьшив количество проходов машинно-тракторного агрегата в междурядьях.

3. Применение бесприводных рабочих органов для обработки почвы в сравнении с приводными позволяет достичь меньшего распыления и ветровой эрозии почвы, упрощения конструкции и уменьшения металлоёмкости машины, причём приствольную обработку в плодopитомниках лучше проводить ротационными рабочими органами, что позволит осуществлять вычёсывание сорняков в сторону от рядка.

4. При разработке модели (будь то математической, физической, имитационной), описывающей процесс взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой, следует учесть совмещение его поперечного перемещения с продольным.

5. Снижение повреждений культурных растений при выполнении обработки почвы возможно обеспечить путём автоматизации процесса управления рабочими органами, уменьшающей влияние психофизиологических особенностей оператора, улучшающей условия его труда и сводящей функции оператора преимущественно к контролю работы машины.

6. Принцип автоматизированного управления рабочими органами в плодopитомниках должен заключаться в распознавании культурных растений бесконтактным способом (бесконтактными датчиками) для предотвращения повреждения как наземной, так и корневой их частей, причём использование видеокамер предпочтительнее, чем использование магниточувствительных датчиков.

7. Обработка данных, получаемых автоматизированной системой управления рабочими органами, должна происходить в режиме реального времени, что исключает необходимость предварительной записи информации о посадках.

По результатам проведённого анализа и в соответствии с поставленной целью исследования определены **задачи исследования**:

1. Разработать принципиальную схему машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки приствольной полосы.

2. Разработать математические модели, описывающие процесс взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой и процесс подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины при автоматизированном управлении рабочими органами.

3. Обосновать конструктивно-технологическую схему и установить параметры и режимы работы машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки почвы в плодopитомниках.

4. Провести испытания машины и выполнить экономическую оценку основных результатов исследования.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПРИСТВОЛЬНОЙ ПОЛОСЫ В ПЛОДОПИТОМНИКАХ

Теоретические исследования выполнены с последовательным рассмотрением машины на структурном, технологическом, функциональном и алгоритмическом уровнях, направлены на обоснование параметров машины и установление взаимосвязей между её конструктивными элементами, выполняемым технологическим процессом, функциями системы управления и последовательностью формирования управляющих воздействий.

При разработке принципиальной схемы машины, структурной схемы АСУ и алгоритма её работы в основу положены следующие аспекты:

- рабочие органы, выполняющие обработку приствольной полосы, должны обеспечивать рыхление почвы и вычёсывание сорняков, причём применение бесприводных рабочих органов предпочтительнее по озвученным в первой главе причинам;
- распознавание культурного растения должно быть бесконтактным и осуществляться посредством его идентификатора – характерного признака, выявление которого служит основанием для распознавания культурного растения [120];
- обеспечение высокой точности позиционирования рабочих органов относительно культурного растения не является обязательным условием функционирования машины;
- предварительная настройка АСУ должна происходить лишь один раз с последующим использованием записанной информации, при этом следует обеспечить возможность повторной настройки;
- изменение освещения не должно существенно влиять на стабильность работы АСУ.

Теоретические исследования выполнены с учётом результатов, представленных автором в работах [116, 152, 153].

2.1 Принципиальная схема машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки приствольной полосы

Разработана принципиальная схема машины (рисунок 2.1), согласно которой обработку приствольной полосы производят два бесприводных ротационных рабочих органа, каждый из которых осуществляет рыхление почвы и вычёсывание сорняков в сторону от ряда закреплёнными на диске 1 по его периметру пальцами 2, заглублёнными в почву на глубину обработки h . Рыхление почвы и вычёсывание сорняков достигается вращением диска 1, происходящим за счёт его установки под углом к вертикали.

Рабочие органы размещены на поворотных рамках 3, шарнирно присоединённых к корпусу 4. Рабочие органы, поворотные рамки 3 и корпус 4 образуют модуль, который установлен на раме машины 5 с одной степенью свободы, заключающейся в возможности перемещения в поперечном направлении. Машина снабжена двумя приводными устройствами 6 и 7, обеспечивающими движение рабочих органов относительно рамы 5: приводное устройство 6 предназначено для перемещения модуля в поперечном направлении, выполняемого при наличии смещения культурных растений ΔY , отличного от нуля; приводное устройство 7 – для сведения и разведения поворотных рамок и, как следствие, рабочих органов, выполняемых для огибания защитной зоны культурного растения.

Управление положением рабочих органов происходит при помощи АСУ, которая включает подсистемы:

- управления положением модуля, которую составляют контроллер 8 и приводное устройство 6;
- управления положением рабочих органов друг относительно друга, которую составляют контроллер 8 и приводное устройство 7;
- бесконтактного распознавания культурного растения, которую составляют контроллер 8 и видеокамеры 9, 10.

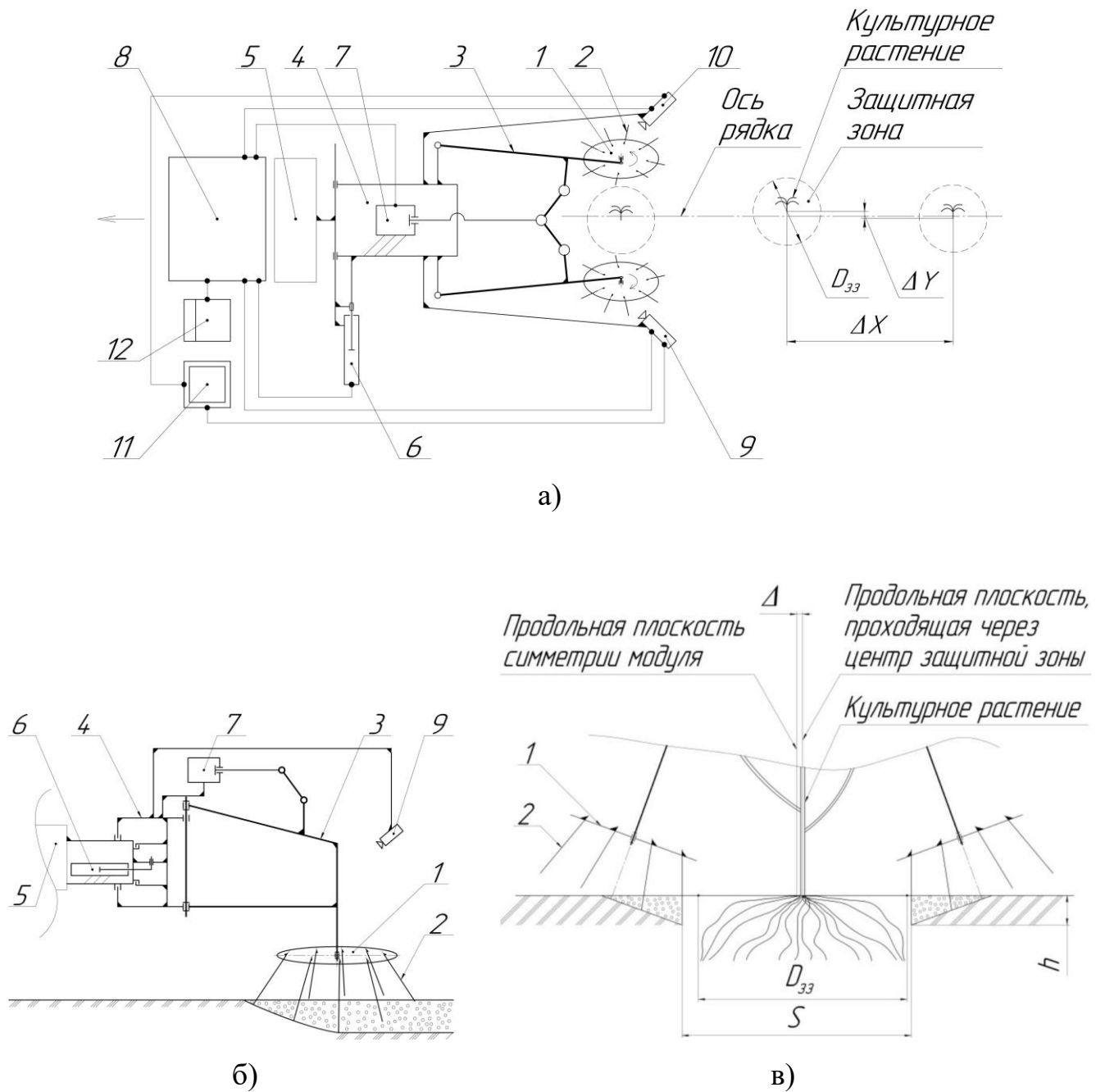


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки приствольной полосы:
 а) вид сверху; б) вид слева; в) схема расположения рабочих органов относительно защитной зоны при её огибании (расшифровка позиций в тексте)

Введём термины:

- сигнал шага модуля влево (вправо, в центральное положение) – управляющее воздействие, формируемое и подаваемое контроллером на приводное устройство для поперечного перемещения модуля влево (вправо, в центральное положение);
- сигнал разведения рабочих органов – управляющее воздействие, формируемое и подаваемое контроллером на приводное устройство для разведения рабочих органов;
- сигнал сведения рабочих органов – управляющее воздействие, формируемое и подаваемое контроллером на приводное устройство для сведения рабочих органов;
- сигнал удержания рабочего зазора – управляющее воздействие, формируемое и подаваемое контроллером на приводное устройство для поддержания рабочего зазора между рабочими органами.

Принцип работы АСУ основан на обработке контроллером 8 (см. рисунок 2.1) получаемых с видеокамер 9, 10 видеоизображений, в результате которой осуществляются:

- выявление цветового идентификатора культурного растения – характерного цветового признака, выявление которого служит основанием для распознавания культурного растения и который либо присущ культурному растению от природы, либо предварительно размещён на нём;
- расчёт количества сигналов шага модуля, которые необходимо подать на приводное устройство 6 таким образом, чтобы значение расстояния между продольной плоскостью симметрии модуля и продольной плоскостью, проходящей через центр защитной зоны i -го культурного растения, к которому приближаются рабочие органы (далее – отклонение модуля от культурного растения) Δ , находилось в допустимом диапазоне. При этом при отсутствии культурного растения в поле зрения по крайней мере одной из видеокамер 9, 10 происходит перемещение модуля в центральное положение;

– контроль достижения критического значения положения модуля относительно i -го культурного растения в продольной плоскости, после которого контроллер 8 последовательно подаёт сигналы на приводное устройство 7: разведения рабочих органов до достижения рабочего зазора S , превышающего диаметр защитной зоны $D_{зз}$; удержания рабочего зазора S ; сведения рабочих органов, в случае если продольные расстояния от модуля до i -го и $(i+1)$ -ого культурных растений являются достаточными (в зависимости от соотношения между геометрическими параметрами рабочего органа и шага культурных растений ΔX).

Также в машине предусмотрена возможность переключения на режим ручного управления, осуществляемого при помощи элементов управления оператора: дисплея 11, на который с видеокамер 9, 10 поступают видеоизображения, и управляющего устройства 12, соединённого с контроллером 8.

Таким образом, машина представляет собой мехатронную систему, включающую механическую подсистему с рабочими органами и исполнительными механизмами, измерительную подсистему и АСУ.

Способ управления рабочими органами машины защищён патентом на изобретение [99]. Способ распознавания культурных растений при приствольной обработке почвы базируется на решении, представленном в работах [123, 125].

2.2 Технологический процесс обработки приствольной полосы

Во время работы машины пальцы совершают сложное движение: движутся прямолинейно вдоль ряда культурных растений с рабочей скоростью машины V_X ; движутся прямолинейно в поперечном направлении в том случае, если значение параметра Δ не находится в допустимом диапазоне; вращаются вокруг оси рабочего органа; поворачиваются вокруг вертикальной оси вращения поворотной рамки при разведении (сведении) рабочих органов. Схемы обработки приствольной полосы одного ряда при полном, частичном сведении рабочих органов и его отсутствии в

промежутке между соседними культурными растениями представлены на рисунках 2.2–2.4 соответственно.

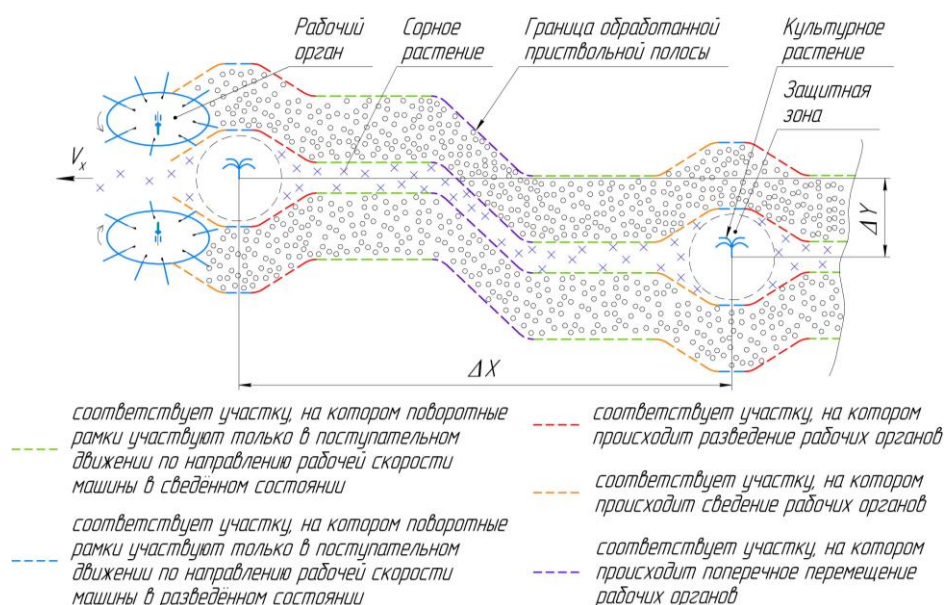


Рисунок 2.2 – Схема обработки приствольной полосы одного ряда при полном сведении рабочих органов в промежутке между соседними культурными растениями

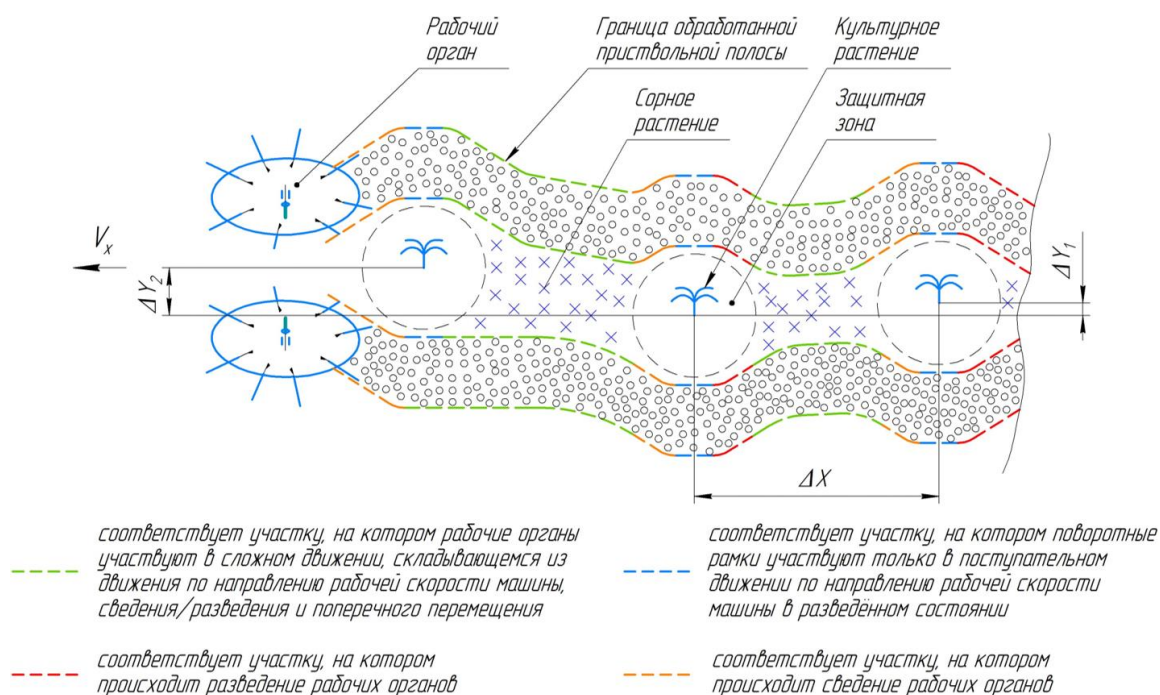


Рисунок 2.3 – Схема обработки приствольной полосы одного ряда при неполном сведении рабочих органов в промежутке между соседними культурными растениями

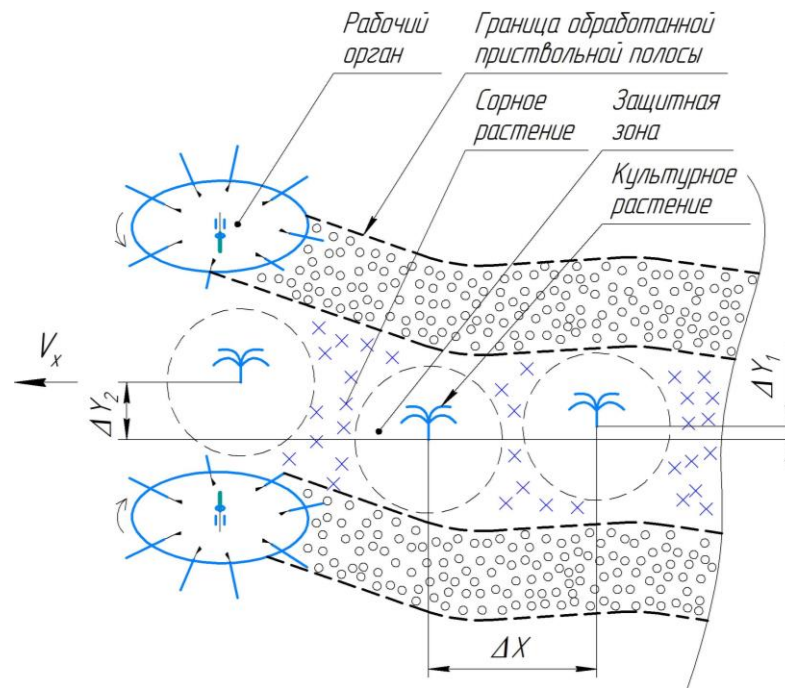
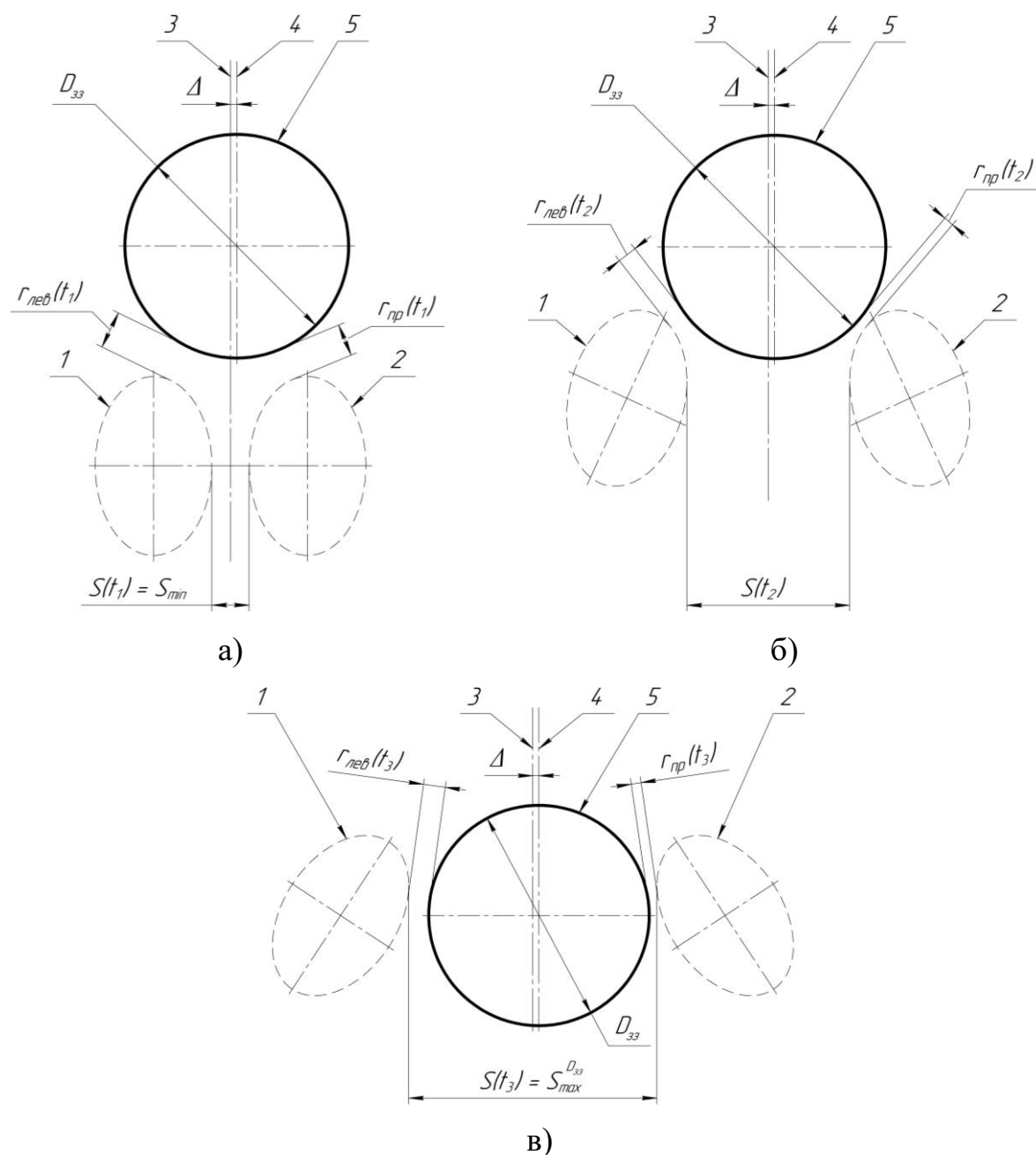


Рисунок 2.4 – Схема обработки приствольной полосы одного рядка при отсутствии сведения рабочих органов в промежутке между соседними культурными растениями

Схема расположения рабочих органов относительно защитной зоны в процессе её огибания при предварительном полном сведении представлена на рисунке 2.5.



1 – траектория вращения пальцев левого рабочего органа; 2 – траектория вращения пальцев правого рабочего органа; 3 – ось модуля; 4 – продольная ось, проходящая через центр защитной зоны; 5 – граница защитной зоны

Рисунок 2.5 – Схема расположения рабочих органов относительно защитной зоны в процессе её огибания при предварительном полном сведении:

а) в начальный момент времени; б) в процессе разведения рабочих органов; в) при максимальном разведении рабочих органов

Критерием работоспособности машины является справедливость следующих условий (см. рисунок 2.5):

1. Условие предотвращения пересечения рабочими органами защитной зоны (как следствие – физического контакта пальцев с культурным растением и механического повреждения последнего), которое можно представить в виде системы выражений:

$$\begin{cases} r_{\text{лев}}(t) \geq 0, \\ r_{\text{пр}}(t) \geq 0, \end{cases} \quad (2.1)$$

где $r_{\text{лев}}, r_{\text{пр}}$ – расстояния между траекторией вращения пальцев левого рабочего органа и границей защитной зоны, между траекторией вращения пальцев правого рабочего органа и границей защитной зоны соответственно;

t – время.

2. Условие достижения наименьшей возможной доли необработанной почвы приствольной зоны культурного растения, которое можно представить в виде системы выражений:

$$\begin{cases} S(t) \leq S_{\text{max}}^{D_{33}} \leq D_{33} + r_c(t), \\ r_c(t) = (r_{\text{лев}}(t) + r_{\text{пр}}(t)) \rightarrow r_{\text{cmin}}, \end{cases} \quad (2.2)$$

где r_c, r_{cmin} – сумма расстояния между траекторией вращения пальцев левого рабочего органа и границей защитной зоны и расстояния между траекторией вращения пальцев правого рабочего органа и границей защитной зоны и его минимальное значение соответственно;

$S_{\text{max}}^{D_{33}}$ – максимальный рабочий зазор при диаметре защитной зоны D_{33} .

3. Условие отсутствия пересечения траекторий вращения пальцев левого и правого рабочих органов (как следствие – механических повреждений элементов рабочих органов ими самими), которое можно представить в виде выражения:

$$S_{min} > 0, \quad (2.3)$$

где S_{min} – минимальное значение рабочего зазора.

Отметим следующее:

- вследствие возможной погрешности работы АСУ и погрешности изготовления машины отклонение модуля от культурного растения Δ может быть не равно нулю;
- определять значение величин $r_{л}$ и $r_{п}$ крайне затруднительно и нецелесообразно.

Таким образом, необходимо ввести величину, учёт которой позволит соблюсти представленное выше условие работоспособности машины и при этом его измерение и контроль будут наименее затруднительны. Такой величиной является точность позиционирования – длина диапазона возможных значений отклонения модуля от культурного растения. Исходя из определения, точность позиционирования определим из выражения:

$$S_0 = |[-\Delta; +\Delta]| = 2\Delta. \quad (2.4)$$

Приемлемое значение точности позиционирования S_0 принимается предварительно. С учётом вышесказанного критерий работоспособности машины окончательно представим в виде системы выражений:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 < S_{min} \leq S(t) \leq S_{max}^{D_{33}} = D_{33} + S_0, \\ S_0 = 2\Delta, \\ r_{лев}(t) \geq 0, \\ r_{пр}(t) \geq 0. \end{array} \right. \quad (2.5)$$

2.3 Структурная схема автоматизированной системы управления рабочими органами для обработки приствольной полосы

С точки зрения теории автоматического управления АСУ, реализуемая в разработанной машине, представляет собой двухконтурную многоканальную замкнутую систему автоматического управления, которая функционирует на основе отрицательной обратной связи и включает:

- объект управления – корпус модуля и поворотные рамки;
- измерительное устройство – видеокамеры;
- устройство формирования управляющего воздействия – контроллер;
- исполнительные механизмы – приводные устройства;
- канал обратной связи, посредством которого осуществляется непрерывный контроль состояния объекта и коррекция его поведения.

Регулируемыми координатами системы являются отклонение модуля от культурного растения Δ и рабочий зазор S .

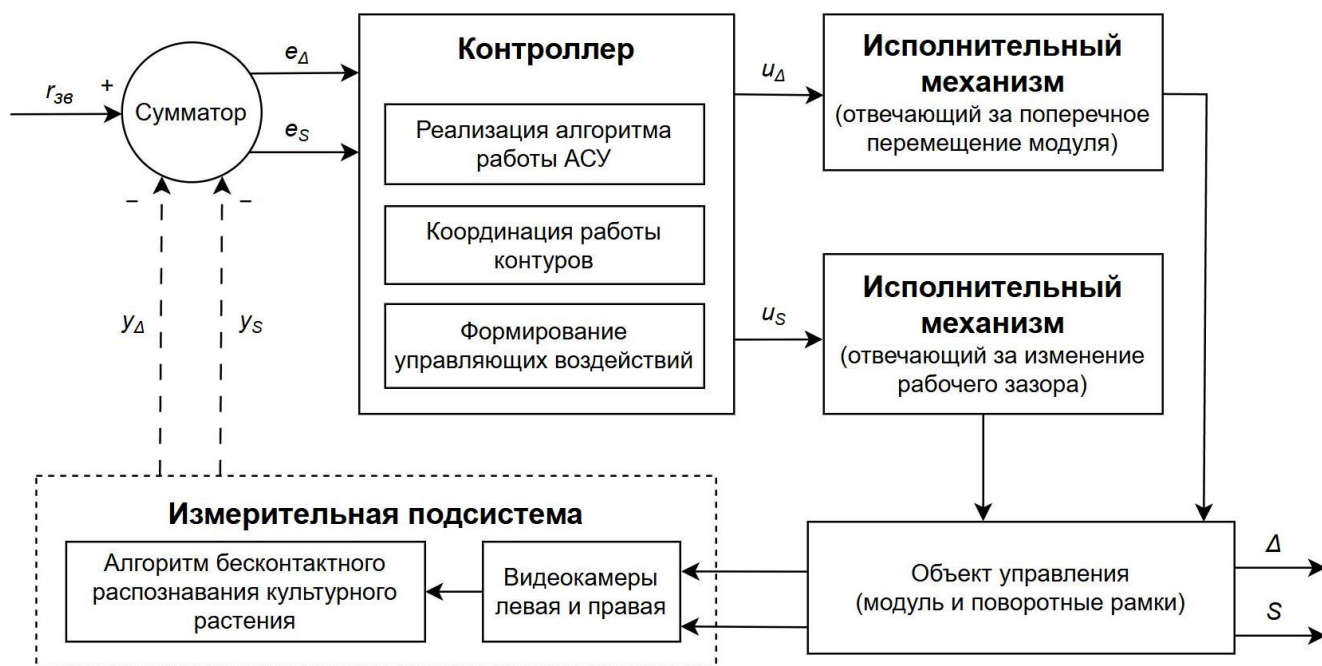
Задающее воздействие формируется в соответствии с критерием работоспособности машины (см. систему выражений (2.5)).

Измерительная подсистема включает измерительное устройство и алгоритм бесконтактного распознавания культурного растения, основанный на методе компьютерного стереозрения. Данная подсистема выполняет функции первичного измерительного преобразователя, формирующего сигнал измерительной информации, поступающий по каналу обратной связи.

В составе АСУ функционируют два взаимосвязанных контура автоматического регулирования, использующие общие измерительную подсистему и контроллер. Первый канал управления реализует контур автоматического регулирования отклонения модуля от культурного растения. Второй канал управления реализует контур автоматического регулирования рабочего зазора. Управление осуществляется по принципу минимизации ошибки регулирования каждой из регулируемых координат.

Координация работы контуров и реализация алгоритма работы АСУ осуществляются контроллером, обеспечивающим синхронизацию процессов распознавания культурного растения, позиционирования модуля и изменения положения рабочих органов друг относительно друга.

Разработанная структурная схема АСУ для обработки приствольной полосы представлена на рисунке 2.6.



e – ошибка регулирования; $r_{3в}$ – задающее воздействие; S – рабочий зазор; u – управляющее воздействие; y – сигнал измерительной информации; Δ – отклонение модуля от культурного растения; индексами Δ и S обозначена принадлежность соответствующей величины к каналу автоматического регулирования отклонения модуля от культурного растения и к каналу автоматического регулирования рабочего зазора соответственно; стрелками со сплошной линией обозначены прямые связи; стрелками со штриховой линией обозначена отрицательная обратная связь

Рисунок 2.6 – Структурная схема АСУ для обработки приствольной полосы

Поперечное перемещение модуля, разведение и сведение рабочих органов начинают происходить не мгновенно после распознавания культурного растения, а спустя некоторое время. Это обусловлено:

- наличием задержки между моментом появления цветового идентификатора культурного растения в поле зрения видеокамеры и моментом его выявления контроллером;

- расположением видеокамер на расстоянии от рабочих органов, соизмеримом с диаметром защитной зоны и шагом культурных растений, вследствие чего расстояние между рабочими органами и культурным растением в момент его распознавания также соизмеримо с указанными параметрами;

- наличием задержек подачи сигналов между элементами АСУ;

- наличием люфта отдельных элементов механической системы.

Выполнить количественную и качественную оценку каждой из данных причин и, в конечном итоге, определить продолжительность описанных ранее процессов представляется затруднительным. Однако практическую ценность имеет решение исключительно следующей задачи: обеспечить начало поперечного перемещения модуля, разведение и сведение рабочих органов в требуемый момент времени (без расчёта продолжительности промежуточных процессов подачи сигналов).

Введём термины и обозначения для параметров, характеризующих задержку подачи соответствующего управляющего воздействия:

- время задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения $t_3^{\text{мод}}$ – время между моментом распознавания культурного растения и моментом начала подачи управляющего воздействия от контроллера на исполнительный механизм для поперечного перемещения модуля при выполнении приствольной обработки почвы i -го культурного растения;

- время задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение $t_3^{\text{ц}}$ – время между моментом завершения приствольной обработки почвы i -го культурного растения и моментом начала подачи управляющего воздействия от контроллера на исполнительный механизм для перемещения модуля в центральное положение, в случае если $(i+1)$ -ое культурное растение не распознано по крайней мере на одном из видеоизображений;

- время задержки подачи управляющего воздействия на разведение рабочих органов t_3^p – время между моментом достижения критического значения положения модуля относительно i -го культурного растения и моментом начала подачи управляющего воздействия от контроллера на исполнительный механизм для разведения рабочих органов при огибании защитной зоны i -го культурного растения;
- время задержки подачи управляющего воздействия на сведение рабочих органов t_3^c – время между моментом достижения максимального рабочего зазора при огибании защитной зоны i -го культурного растения и моментом начала подачи управляющего воздействия от контроллера на исполнительный механизм для сведения рабочих органов, в случае если продольные расстояния от модуля до i -го и $(i+1)$ -ого культурного растения являются достаточными.

Повышение значения рабочей скорости машины V_x , очевидно, будет приводить к снижению значений указанных параметров.

2.4 Алгоритм работы автоматизированной системы управления рабочими органами для обработки приствольной полосы

Разработан алгоритм работы АСУ для обработки приствольной полосы. Блок-схема алгоритма и подробные представления блоков, входящих в её состав, представлены на рисунках 2.7–2.14.

Основными действиями и функциями предложенного алгоритма являются (см. рисунок 2.7) подготовка АСУ, запуск АСУ, обработка АСУ, передача видеоизображений на дисплей.

В подготовку АСУ входят (см. рисунок 2.8):

- настройка подсистемы управления положением модуля (см. рисунок 2.9);
- настройка подсистемы управления положением рабочих органов друг относительно друга (см. рисунок 2.10);
- настройка подсистемы бесконтактного распознавания культурного растения (см. рисунок 2.12);

– запись данных, полученных в ходе настроек, на запоминающее устройство с последующим их считыванием.

Действия, выполняемые в ходе обработки АСУ (см. рисунок 2.14): получение контроллером видеоизображений с видеокамер, выявление цветового идентификатора культурного растения на видеоизображениях, перемещение модуля в поперечном направлении (см. рисунок 2.13), разведение и сведение рабочих органов (см. рисунок 2.11).

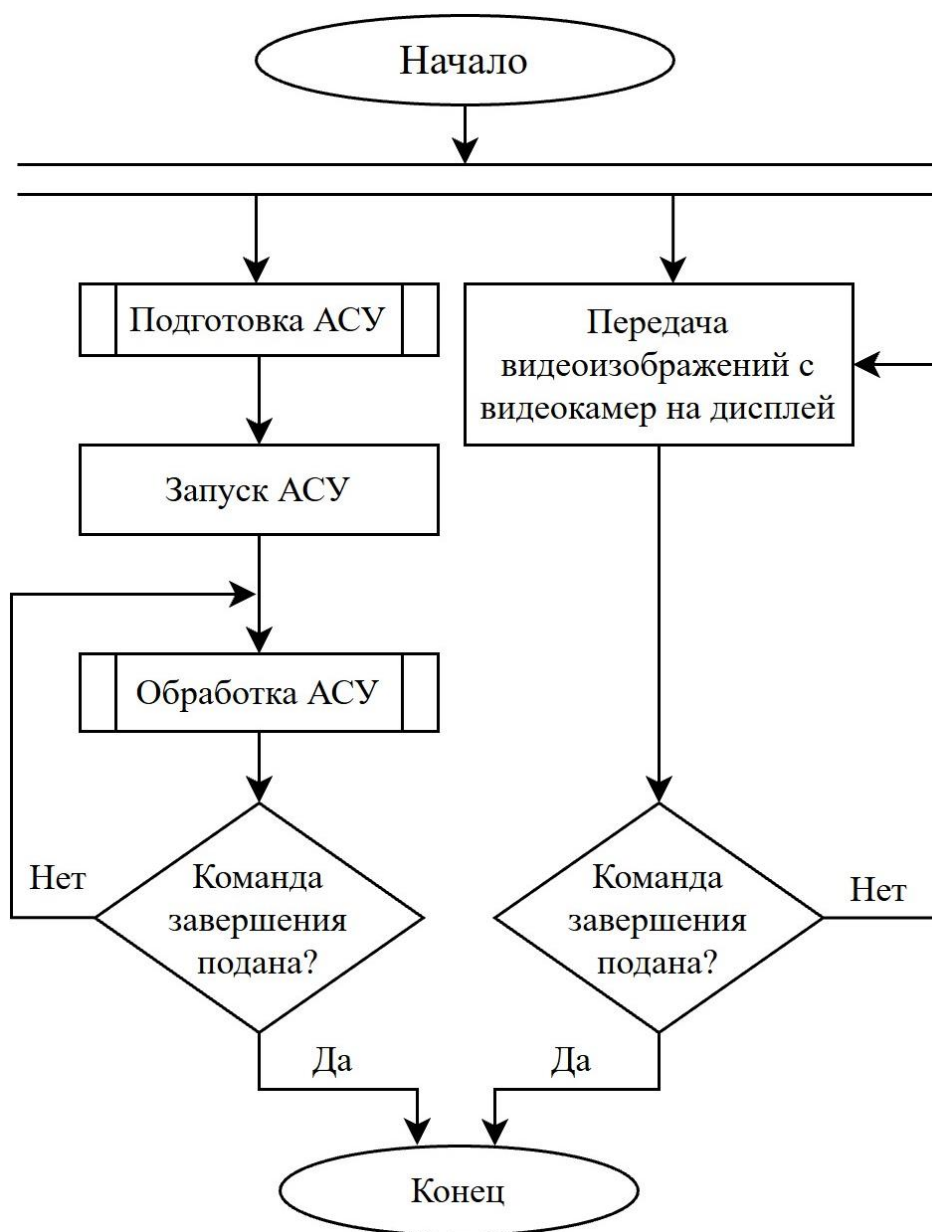


Рисунок 2.7 – Блок-схема алгоритма работы АСУ



Рисунок 2.8 – Подробное представление блока
«Подготовка АСУ» алгоритма работы АСУ

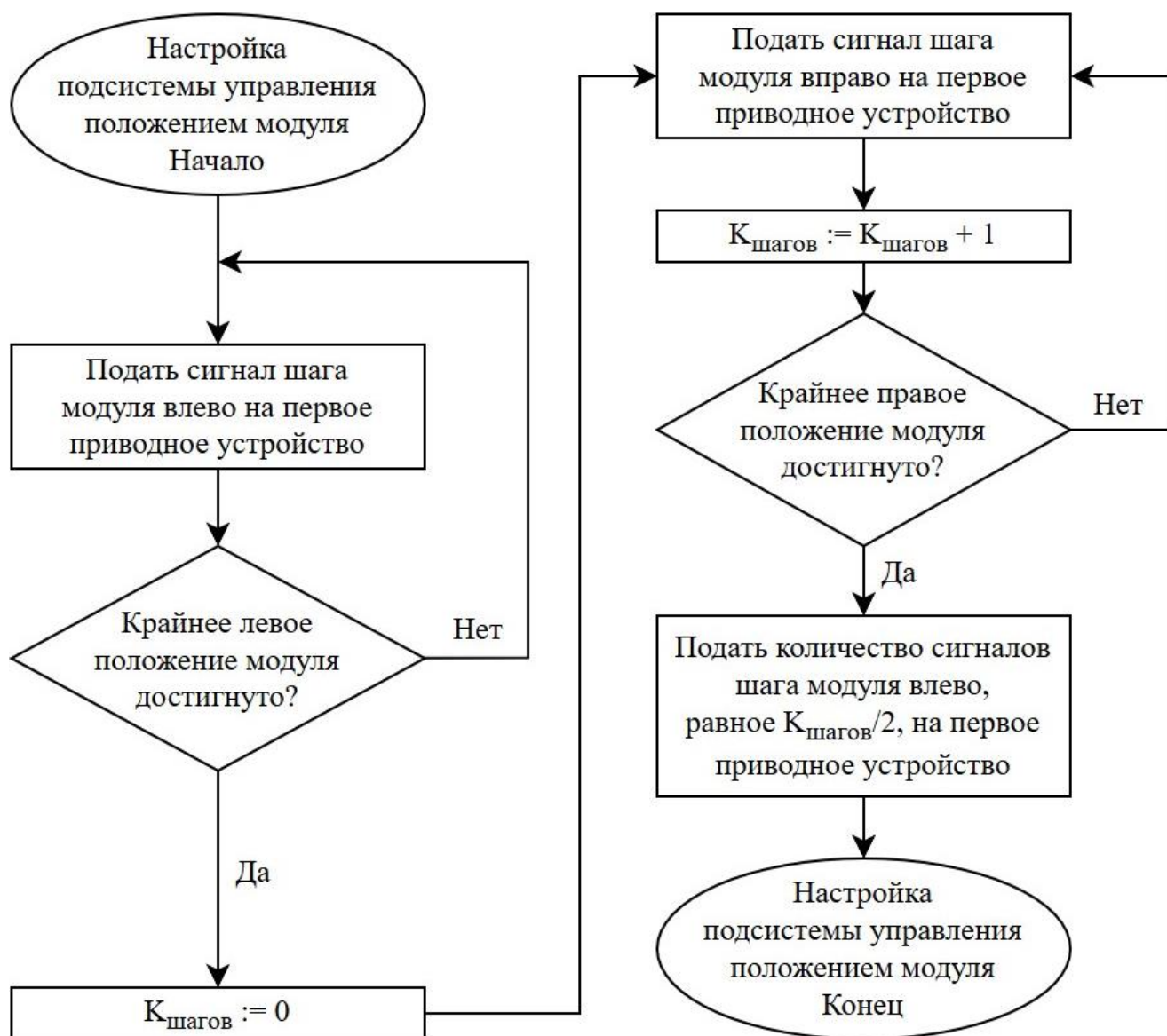


Рисунок 2.9 – Подробное представление блока «Настройка подсистемы управления положением модуля» алгоритма работы АСУ

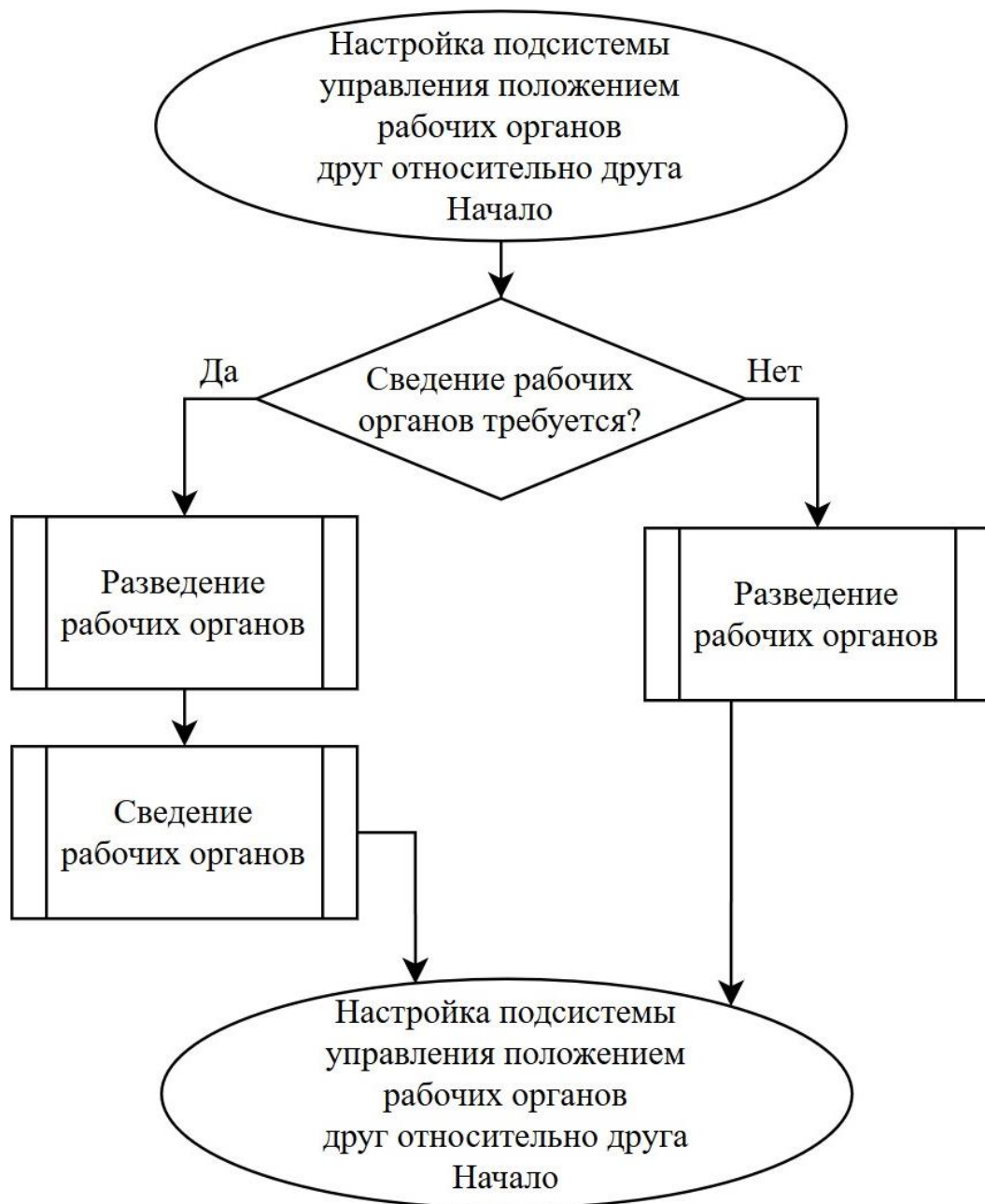


Рисунок 2.10 – Подробное представление блока «Настройка системы управления положением рабочих органов друг относительно друга» алгоритма работы АСУ

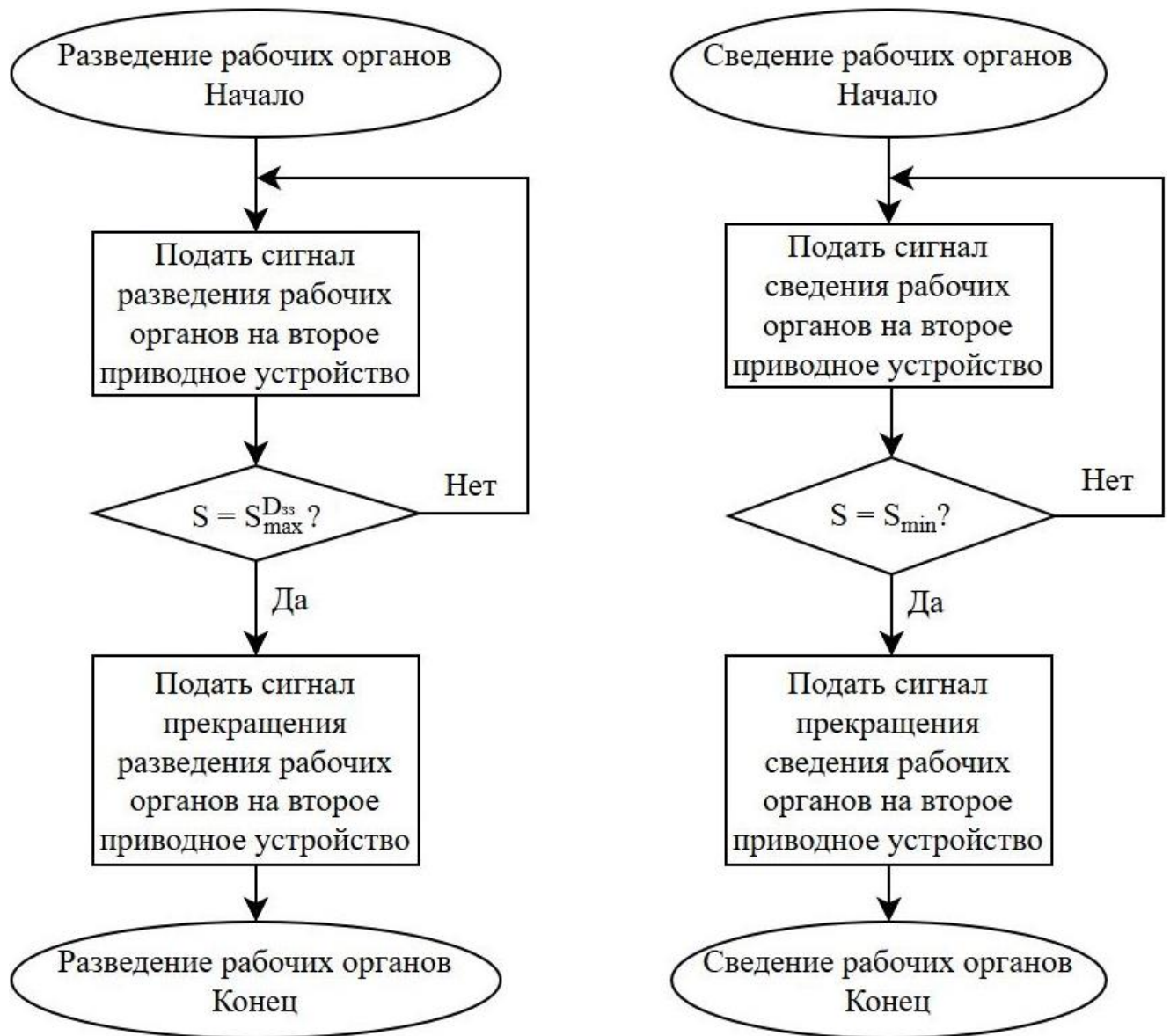


Рисунок 2.11 – Подробное представление блоков «Разведение рабочих органов» и «Сведение рабочих органов» алгоритма работы АСУ



Рисунок 2.12 – Подробное представление блока «Настройка системы бесконтактного распознавания культурного растения» алгоритма работы АСУ

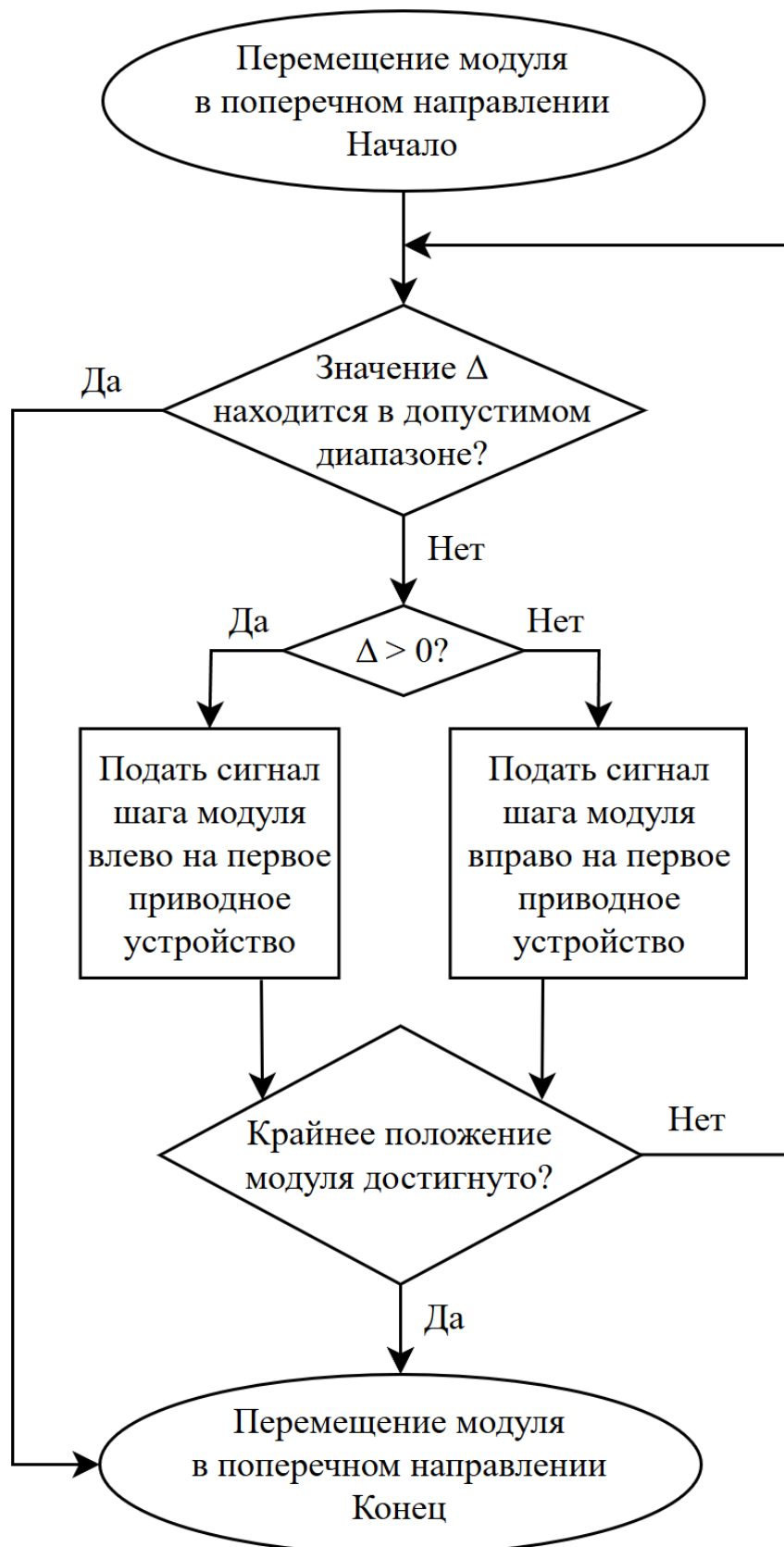


Рисунок 2.13 – Подробное представление блока «Перемещение модуля в поперечном направлении» алгоритма работы АСУ

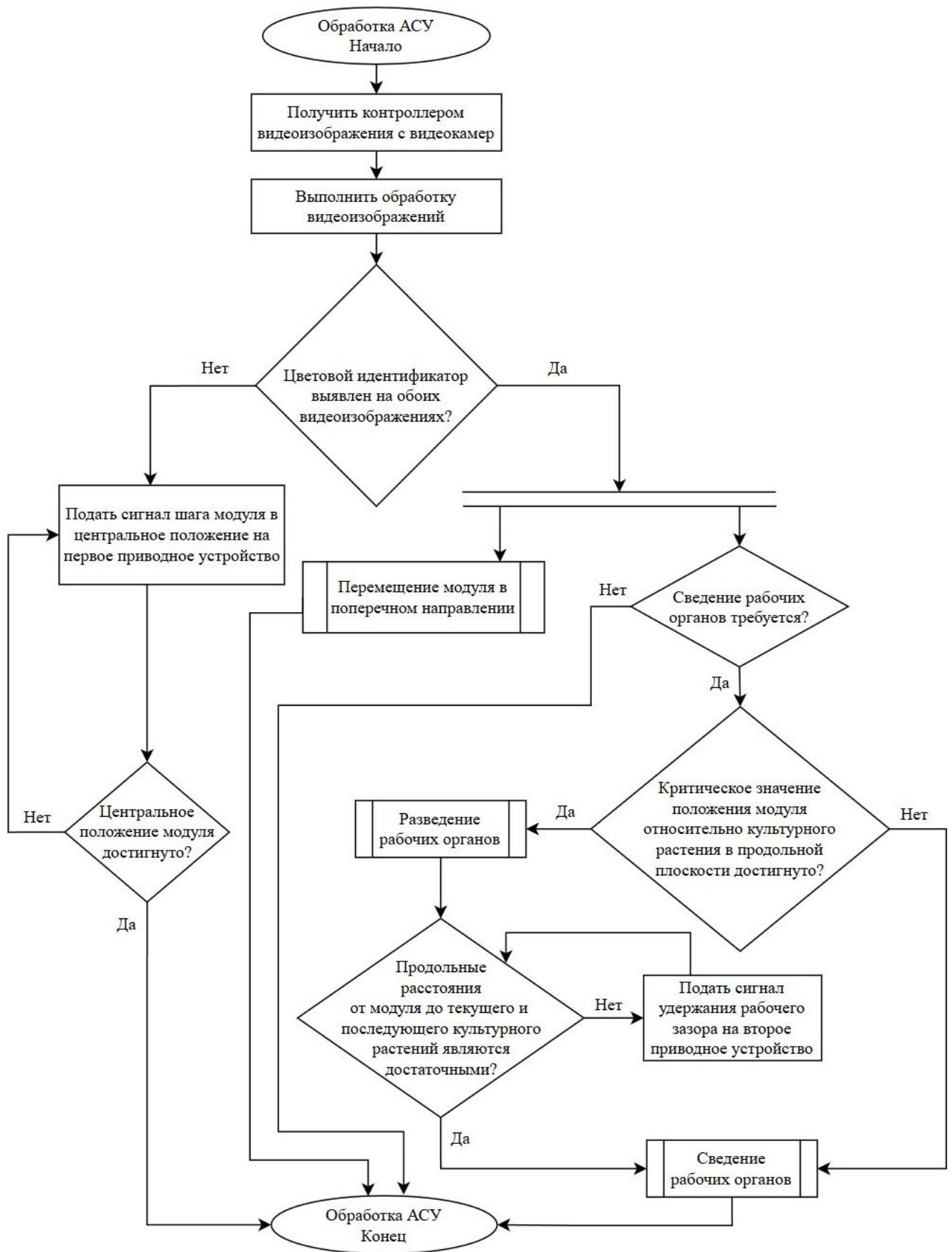


Рисунок 2.14 – Подробное представление блока
«Обработка АСУ» алгоритма работы АСУ

2.5 Определение конструктивно-технологических параметров машины

2.5.1 Определение ширины обработанной полосы

Здесь и далее принимаем допущение, что поверхность почвы представляет собой горизонтальную плоскость. Схема рабочего органа представлена на рисунке 2.15. Ширину обработанной полосы $B_{\text{пол}}$ определим как проекцию на горизонтальную плоскость расстояния между точкой выхода пальца из почвы и точкой, соответствующей максимальному заглублению пальца:

$$B_{\text{пол}} = h \cdot \text{ctg}(\varepsilon), \quad (2.6)$$

где ε – угол наклона диска рабочего органа к горизонтальной плоскости (угол наклона оси вращения диска рабочего органа к вертикали).

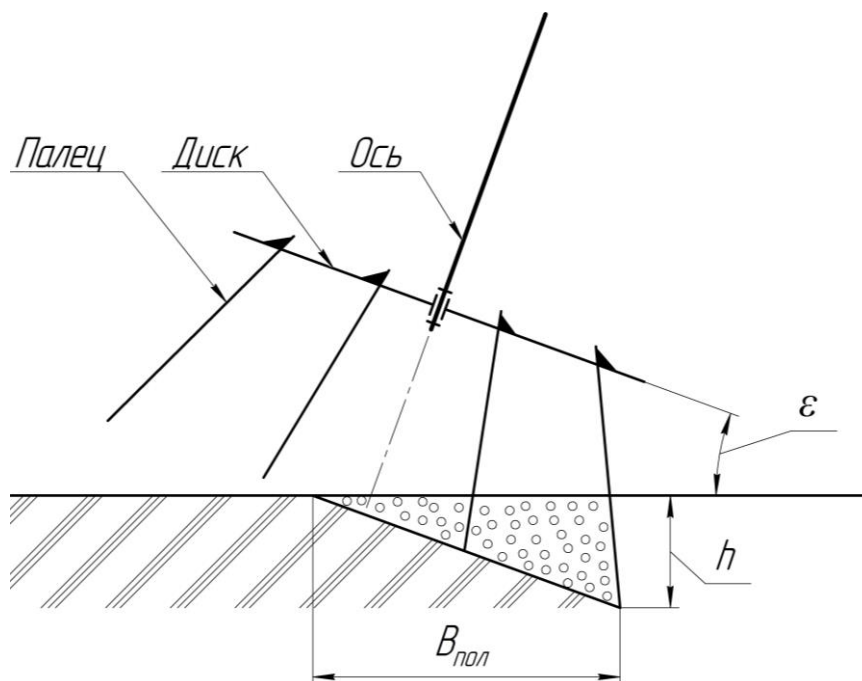


Рисунок 2.15 – Схема рабочего органа

2.5.2 Определение радиуса вращения оси рабочего органа вокруг оси вращения поворотной рамки

Траекторией центров рабочих органов в процессе огибания защитной зоны является линия, состоящая из частей трохойды, и отрезка, параллельного продольной плоскости. При этом проекция траектории вращения пальцев на горизонтальную плоскость является эллипсом, поскольку образуется поворотом диска, имеющего форму окружности, вокруг продольной оси на угол ε .

Поворот рамки с рабочим органом можно рассматривать как поворот эллипса вокруг своей оси на угол, равный углу поворота рамки α , причём большая полуось эллипса равна радиусу вращения концов пальцев вокруг оси вращения диска рабочего органа R (далее – радиус рабочего органа), а малая полуось эллипса равна $(R \cdot \cos \varepsilon)$.

Введём обозначения:

- x_{po}, y_{po} – координатные оси эллипса, являющегося горизонтальной проекцией рабочего органа при сведённом состоянии рабочих органов;
- x'_{po}, y'_{po} – координатные оси эллипса, являющегося горизонтальной проекцией рабочего органа при разведённом состоянии рабочих органов;
- $R_{зз}$ – радиус защитной зоны;
- R_p – радиус вращения оси рабочего органа вокруг оси вращения поворотной рамки;
- V – скорость рабочего органа при огибании защитной зоны;
- $V_{моду}$ – поперечная скорость модуля.

Схема движения левого рабочего органа представлена на рисунке 2.16.

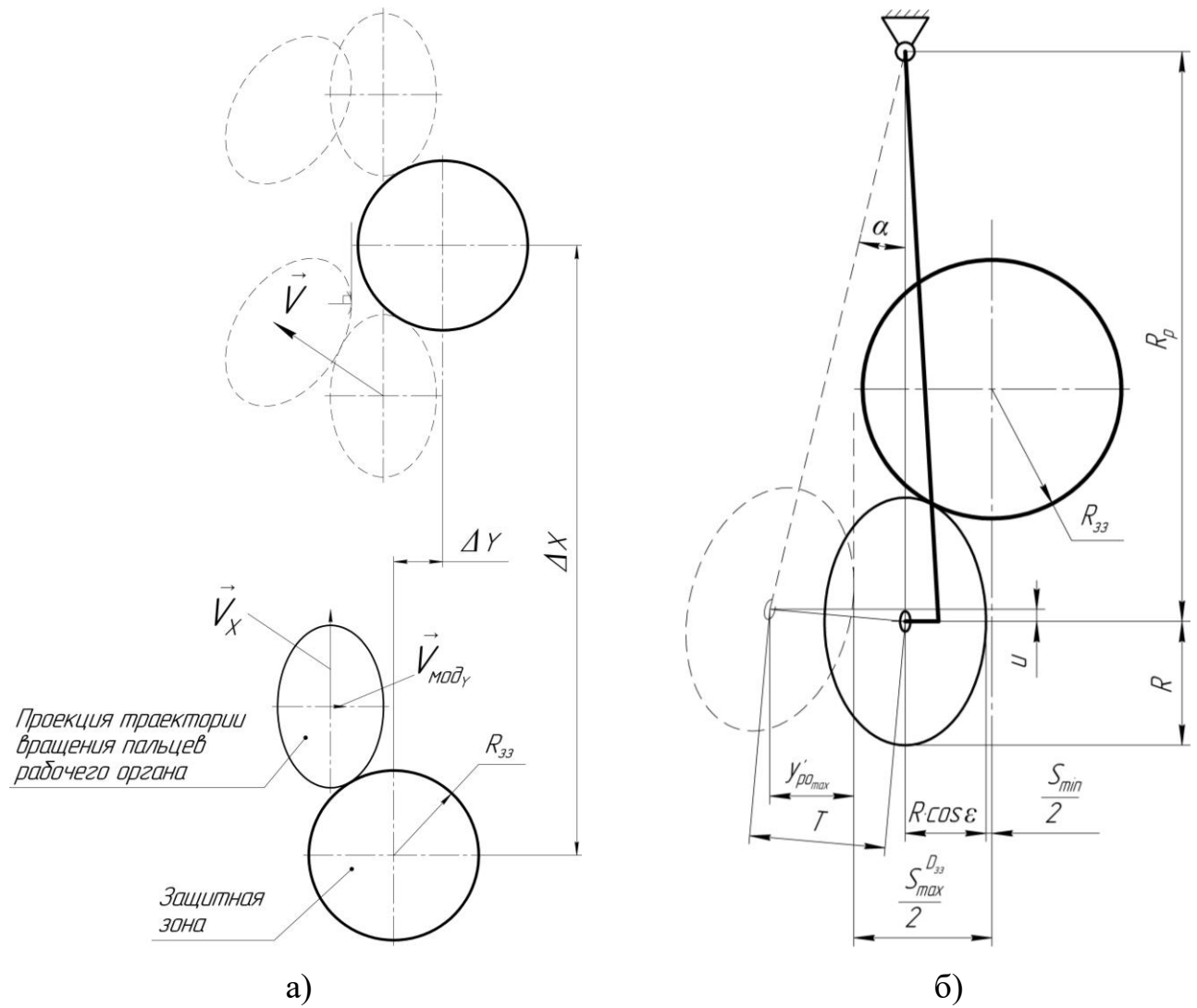


Рисунок 2.16 – Схема движения левого рабочего органа¹⁾:

а) общий вид; б) при огибании защитной зоны

во время разведения рабочих органов

Схема с горизонтальными проекциями рабочего органа в процессе огибания защитной зоны представлена на рисунке 2.17. Система уравнений для эллипса в начальном положении в полярных координатах:

$$\begin{cases} x_{po} = R \cdot \sin \lambda, \\ y_{po} = R \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \lambda, \end{cases} \quad (2.7)$$

¹⁾ Величины T и u обладают исключительно геометрическим смыслом и введены только для выполнения промежуточных вычислений, вследствие чего не рассмотрены как параметры и не добавлены в раздел «Список сокращений и условных обозначений».

где λ – угол в полярных координатах.

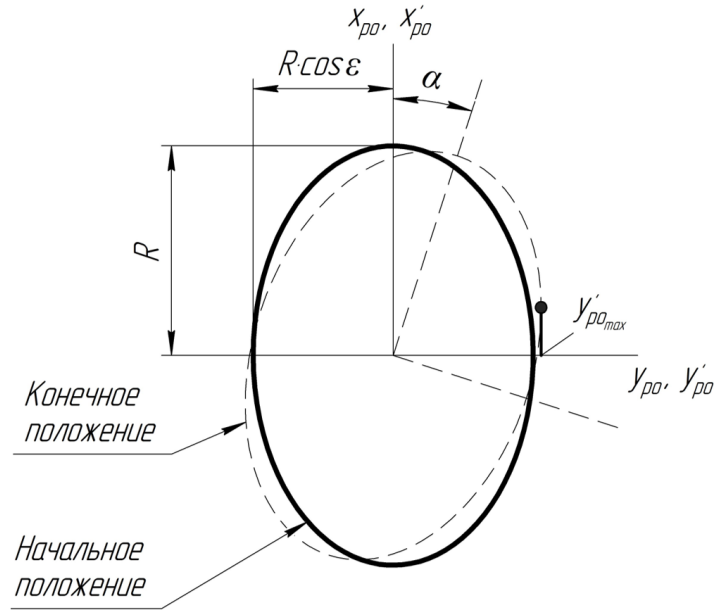


Рисунок 2.17 – Схема с горизонтальными проекциями рабочего органа в процессе огибания защитной зоны

Система уравнений для эллипса в конечном положении в полярных координатах [42]:

$$\begin{cases} x'_{po} = -R \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \lambda \cdot \sin \alpha - R \cdot \sin \lambda \cdot \cos \alpha, \\ y'_{po} = R \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \lambda \cdot \cos \alpha - R \cdot \sin \lambda \cdot \sin \alpha. \end{cases} \quad (2.8)$$

Исходя из рисунков 2.16 и 2.17, определим параметр $y'_{po_{max}}$, являющийся максимумом функции по второму выражению системы (2.8). Для этого приравняем первую производную этой функции к нулю:

$$\frac{dy'_{po}}{d\lambda} = 0. \quad (2.9)$$

Из второго выражения системы (2.8) и выражения (2.9) имеем:

$$\operatorname{tg} \lambda = -\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \varepsilon}. \quad (2.10)$$

С учётом выражения (2.10) и основного тригонометрического тождества имеем:

$$\sin \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \cos^2 \varepsilon}}, \quad (2.11)$$

$$\cos \alpha = \frac{\cos \varepsilon}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \cos^2 \varepsilon}}. \quad (2.12)$$

С учётом второго выражения системы (2.8) и выражений (2.11), (2.12) имеем:

$$y'_{\text{po}_{\max}} = R \cdot \cos \alpha \cdot (\cos \alpha \cdot \cos \varepsilon - \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha). \quad (2.13)$$

Из рисунка 2.16 и с учётом выражения (2.13) получим выражения:

$$R_p^2 = (R_p - u)^2 + \left(\frac{S_{\max}^{D_{33}} - S_{\min}}{2} + y'_{\text{po}_{\max}} - R \cdot \cos \varepsilon \right)^2, \quad (2.14)$$

$$2R_p^2 \cdot (1 - \cos \alpha) = T^2, \quad (2.15)$$

$$T^2 = \left(\frac{S_{\max}^{D_{33}} - S_{\min}}{2} + y'_{\text{po}_{\max}} - R \cdot \cos \varepsilon \right)^2 + u^2. \quad (2.16)$$

Таким образом, согласно выражениям (2.13)–(2.16) радиус вращения оси рабочего органа вокруг оси вращения поворотной рамки равен:

$$R_p = \frac{S_{\max}^{D_{33}} - S_{\min} - 2 \cdot R \cdot \sin^2 \alpha \cdot (1 + \cos \varepsilon)}{2 \cdot \sin \alpha}. \quad (2.17)$$

2.5.3 Определение рабочего диапазона модуля

Введём термины:

– рабочий диапазон модуля $Y_{\text{рд}}$ – диапазон значений перемещения модуля в поперечном направлении;

– отклонение модуля от оси ряда $Y_{\text{мод}}$ – расстояние между продольной плоскостью симметрии модуля и осью ряда.

Для соблюдения критерия работоспособности машины (см. систему выражений (2.5)) следует обеспечить выполнение двух условий:

- 1) наличие необходимого рабочего диапазона модуля $Y_{\text{рд}}$;
- 2) наличие необходимой поперечной скорости модуля $V_{\text{моду}}$.

Максимальное отклонение модуля от оси ряда по абсолютному значению $Y_{\text{модmax}}$ равно максимальному по абсолютному значению отклонению культурного растения $Y_{\text{крmax}}$. Из вышесказанного следует, что рабочий диапазон модуля равен:

$$Y_{\text{рд}} = \left| [-Y_{\text{крmax}}; Y_{\text{крmax}}] \right| = 2 \cdot Y_{\text{модmax}}. \quad (2.18)$$

2.6 Определение кинематических параметров машины

2.6.1 Определение необходимой поперечной скорости модуля

Время движения рабочих органов в сведённом состоянии $t_{\text{св}}$ определим по формуле:

$$t_{\text{св}} = \frac{X_{\text{св}}}{V_X}, \quad (2.19)$$

где $X_{\text{св}}$ – путь, проходимый рабочими органами в сведённом состоянии.

При этом параметр $t_{\text{св}}$ также можно определить по формуле:

$$t_{\text{св}} = \frac{\Delta Y}{V_{\text{моду}}}. \quad (2.20)$$

Таким образом, поперечную скорость модуля определим из выражения:

$$V_{\text{моду}} = V_X \cdot \frac{\Delta Y}{X_{\text{св}}}. \quad (2.21)$$

При использовании рабочих органов с вертикальной осью вращения параметр $X_{\text{св}}$ равен:

$$X_{\text{св}} = \Delta X - 2 \cdot \sqrt{R_{33} \cdot (2 \cdot R + R_{33})}. \quad (2.22)$$

При малых значениях параметра ε можно принять $R \approx R \cdot \cos \varepsilon$. Следовательно, для определения параметра $X_{\text{св}}$ в целях упрощения расчёта допускается пользоваться выражением (2.22).

Данное выражение справедливо при $X_{\text{св}} \geq 0$. При $X_{\text{св}} < 0$ сведение рабочих органов до достижения минимального рабочего зазора S_{min} (и, в частности, втягивание штока как таковое) не происходит и, в таком случае, необходимую поперечную скорость модуля определим по формуле:

$$V_{\text{моду}} = V_X \cdot \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (2.23)$$

2.6.2 Определение абсолютной скорости конца пальца

В работе [105, с. 52] представлена система уравнений для определения продольной, поперечной и вертикальной составляющих абсолютной скорости конца пальца, в которой поперечное перемещение модуля не учитывается. С учётом поперечного перемещения модуля система примет вид:

$$\begin{cases} V_{пX} = V_X \cdot (1 - \sin \varepsilon \cdot \cos \theta), \\ V_{пY} = V_X \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}, \\ V_{пZ} = V_X \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \theta, \end{cases} \quad (2.24)$$

где θ – угол поворота пальца вокруг оси вращения диска рабочего органа.

Абсолютную скорость конца пальца определяют по формуле:

$$V_{п} = \sqrt{V_{пX}^2 + V_{пY}^2 + V_{пZ}^2}. \quad (2.25)$$

Из уравнений (2.24) и (2.25) получим:

$$V_{п} = \sqrt{V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2}. \quad (2.26)$$

2.7 Определение силовых параметров машины

2.7.1 Определение силы сопротивления почвы, действующей на палец

Выполним построение математической модели процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой, учитывающей совмещение его поперечного перемещения с продольным. Здесь и далее принимаем следующие допущения:

- сдвиг почвы является недренированным [33];
- палец рассматривается как стержень круглого сечения;
- точка приложения силы сопротивления почвы, действующей на палец, расположена в середине заглублённой части пальца.

Введём обозначения:

$D_P, D_{P_1}, D_{P_2}, D_{P_3}$ – точка приложения силы сопротивления почвы, действующей на палец, и её проекции на поперечную, горизонтальную и продольную плоскости соответственно;

$d_{\text{п}}$ – диаметр цилиндрической части пальца (далее – диаметр пальца);

H – твёрдость почвы;

k – удельное сопротивление почвы;

$L_{\text{пр}}$ – расстояние от конца пальца до места его крепления на диске рабочего органа (далее – рабочая длина пальца);

$L_{\text{пу}}$ – длина отрезка, проведённого вдоль пальца от конца пальца до оси вращения диска рабочего органа (далее – условная длина пальца);

l, l_X, l_Y, l_Z – длина заглублённой части пальца и её проекции на оси X, Y, Z соответственно;

$OO', O_1O'_1, O_2O'_2, O_3O'_3$ – ось вращения диска рабочего органа и её проекции на поперечную, горизонтальную и продольную плоскости соответственно;

$P_{\text{п}}, P_{\text{п}1}, P_{\text{п}2}, P_{\text{п}3}$ – сила сопротивления почвы, действующая на палец, и её проекции на поперечную, горизонтальную и продольную плоскости соответственно;

R_1 – проекция на поперечную плоскость радиуса рабочего органа;

Δh – разница между глубиной обработки почвы и величиной заглубления пальца;

γ – угол наклона пальца к оси вращения диска рабочего органа;

ρ – плотность почвы;

τ – предельное напряжение почвы сдвигу.

Дальнейшие расчёты проводим с учётом того, что угол поворота пальца вокруг оси вращения диска рабочего органа при его заглублении находится в диапазоне $\theta \in \left[-\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right) \right]$, а при расположении всех его точек выше уровня почвы – в интервале $\theta \in \left(\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 2\pi - \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right) \right)$.

Расчётная схема рабочего органа, содержащая его проекции, представлена на рисунке 2.18.

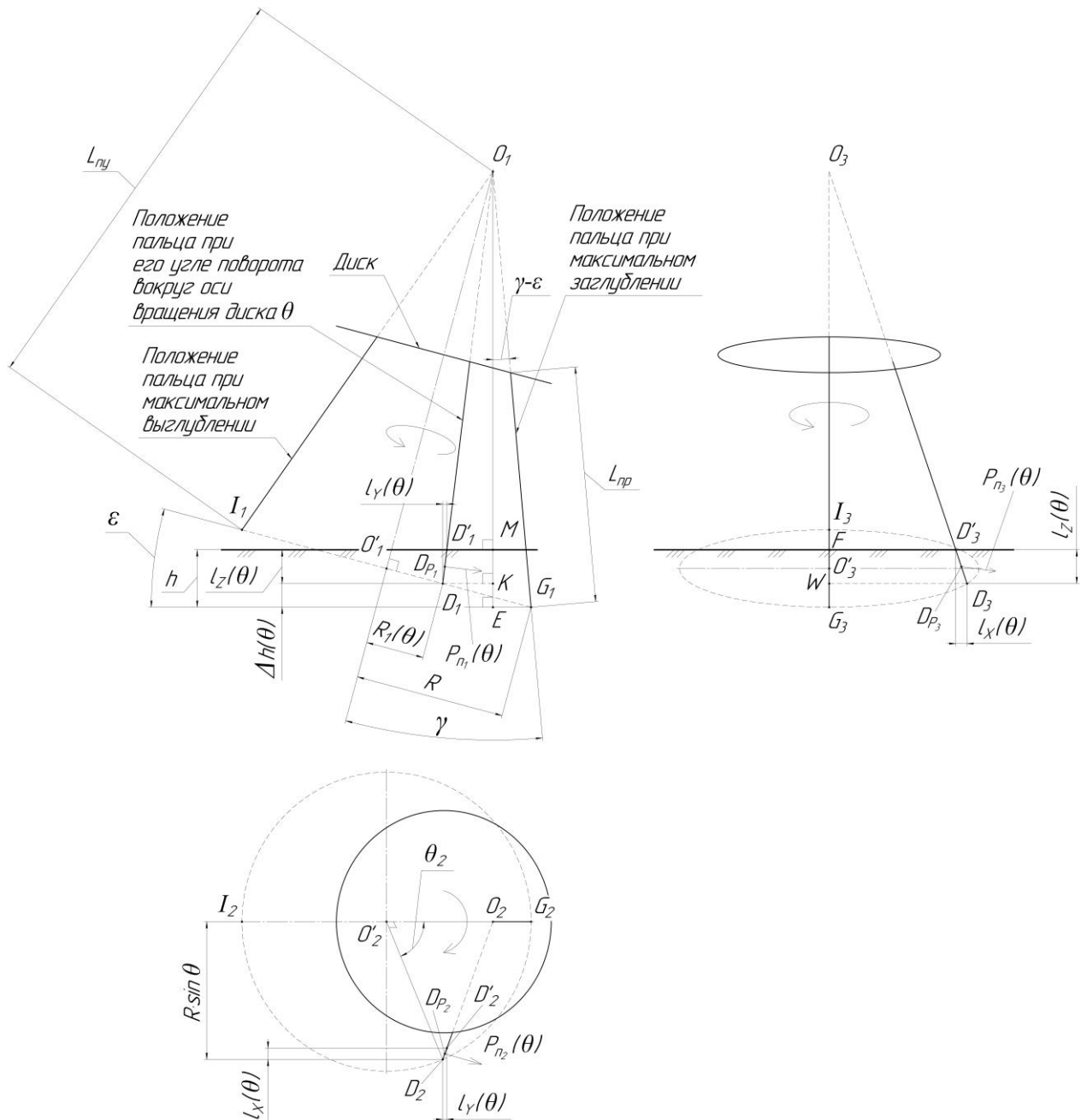


Рисунок 2.18 – Расчётная схема рабочего органа, содержащая его проекции¹⁾

С учётом выражений, приведённых в работе [105], силу сопротивления почвы, действующую на палец, определим согласно системе выражений:

¹⁾ Точки $D_1, D_2, D_3, D'_1, D'_2, D'_3, E, F, G_1, G_2, G_3, I_1, I_2, I_3, K, M, W$ обладают исключительно геометрическим смыслом и введены только для выполнения промежуточных вычислений, вследствие чего не добавлены в раздел «Список сокращений и условных обозначений».

$$P_{\Pi} = \begin{cases} d_{\Pi} \cdot l \cdot (H + \tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot V_{\Pi}^2) \\ \text{при } \theta \in \left[-\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 0\right], \\ \\ d_{\Pi} \cdot l \cdot (\tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot V_{\Pi}^2) \\ \text{при } \theta \in \left(0; \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right)\right], \\ \\ 0 \\ \text{при } \theta \in \left(\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 2\pi - \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right)\right). \end{cases} \quad (2.27)$$

Из рисунка 2.18 следует:

$$l = \sqrt{(l_X)^2 + (l_Y)^2 + (l_Z)^2}, \quad (2.28)$$

$$R_1 = \frac{R \cdot \cos \theta}{\cos \varepsilon}, \quad (2.29)$$

$$L_{\Pi Y} = \frac{R}{\sin \gamma}, \quad (2.30)$$

$$l_Y = \sqrt{(D_1 D'_1)^2 - (l_Z)^2}, \quad (2.31)$$

$$l_X = R \cdot \sin \theta - F D'_3, \quad (2.32)$$

$$D_1 D'_1 = O_1 D_1 - O_1 D'_1, \quad (2.33)$$

$$O_1 D_1 = \sqrt{(R_1)^2 + (L_{\Pi Y} \cdot \cos \gamma)^2}. \quad (2.34)$$

Исходя из выражений (2.28) и (2.31), получим:

$$l = \sqrt{(l_X)^2 + (D_1 D'_1)^2}. \quad (2.35)$$

Треугольники $O_3 D_3 W$ и $O_3 D'_3 F$ – подобные. Из этого имеем:

$$\frac{O_3 W}{W D_3} = \frac{O_3 F}{F D'_3}. \quad (2.36)$$

Исходя из выражений (2.32) и (2.36), получим:

$$l_X = R \cdot \sin \theta \cdot \left(1 - \frac{L_{\text{пы}} \cdot \cos(\gamma - \varepsilon) - h}{L_{\text{пы}} \cdot \cos(\gamma - \varepsilon) - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)} \right). \quad (2.37)$$

Исходя из выражений (2.29) и (2.34), получим:

$$O_1 D_1 = \sqrt{\left(\frac{R \cdot \cos \theta}{\cos \varepsilon} \right)^2 + (L_{\text{пы}} \cdot \cos \gamma)^2}. \quad (2.38)$$

Треугольники $O_1 D_1 K$ и $O_1 D'_1 M$ – подобные. Из этого имеем:

$$\frac{O_1 D_1}{O_1 K} = \frac{O_1 D'_1}{O_1 M}. \quad (2.39)$$

Исходя из рисунка 2.18 и выражений (2.33), (2.38) и (2.39), получим:

$$D_1 D'_1 = \sqrt{\left(\frac{R \cdot \cos \theta}{\cos \varepsilon} \right)^2 + (L_{\text{пы}} \cdot \cos \gamma)^2} \cdot \left(1 - \frac{L_{\text{пы}} \cdot \cos(\gamma - \varepsilon) - h}{L_{\text{пы}} \cdot \cos(\gamma - \varepsilon) - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)} \right). \quad (2.40)$$

С учётом выражений (2.30), (2.31), (2.35), (2.37), (2.40), длину заглублённого участка пальца определим из выражения:

$$l = \frac{(h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon} \right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \gamma}}{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta} \\ \text{при } \theta \in \left[-\arccos \left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon} \right); \arccos \left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon} \right) \right]. \quad (2.41)$$

Исходя из выражений (2.26), (2.27) и (2.41) и принятого допущения, что направление силы сопротивления почвы $P_{\text{п}}$ противоположно направлению абсолютной скорости пальца $V_{\text{п}}$, определим силу сопротивления почвы, действующую

на палец, и её продольную, поперечную и вертикальную составляющие соответственно:

$$P_{\Pi} = \begin{cases} d_{\Pi} \cdot (h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \gamma} \times \\ \times (H + \tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot (V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + \\ + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{моду}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{моду}}^2)) \cdot \frac{1}{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta} \\ \text{при } \theta \in \left[-\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 0\right], \\ \\ d_{\Pi} \cdot (h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \gamma} \times \\ \times (\tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot (V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + \\ + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{моду}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{моду}}^2)) \cdot \frac{1}{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta} \\ \text{при } \theta \in \left(0; \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right)\right], \\ \\ 0 \\ \text{при } \theta \in \left(\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 2\pi - \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right)\right), \end{cases} \quad (2.42)$$

$$P_{\Pi X} = \begin{cases} d_{\Pi} \cdot (h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \gamma} \times \\ \times (H + \tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot (V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + \\ + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{моду}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{моду}}^2)) \cdot \frac{1}{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta} \times \\ \times \frac{V_X \cdot (1 - \sin \varepsilon \cdot \cos \theta)}{\sqrt{V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{моду}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{моду}}^2}} \\ \text{при } \theta \in \left[-\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 0\right], \\ \\ d_{\Pi} \cdot (h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \gamma} \times \\ \times (\tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot (V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + \\ + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{моду}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{моду}}^2)) \cdot \frac{1}{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta} \times \\ \times \frac{V_X \cdot (1 - \sin \varepsilon \cdot \cos \theta)}{\sqrt{V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{моду}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{моду}}^2}} \\ \text{при } \theta \in \left(0; \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right)\right], \\ \\ 0 \\ \text{при } \theta \in \left(\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 2\pi - \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right)\right), \end{cases} \quad (2.43)$$

$$P_{\Pi Y} = \begin{cases} d_{\Pi} \cdot (h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + ctg^2 \gamma} \times \\ \times (H + \tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot (V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + \\ + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2)) \cdot \frac{1}{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta} \times \\ \times \frac{V_X \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}}{\sqrt{V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2}} \\ \text{при } \theta \in \left[-\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 0\right], \\ \\ d_{\Pi} \cdot (h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + ctg^2 \gamma} \times \\ \times (\tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot (V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + \\ + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2)) \cdot \frac{1}{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta} \times \\ \times \frac{V_X \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}}{\sqrt{V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2}} \\ \text{при } \theta \in \left(0; \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right)\right], \\ \\ 0 \\ \text{при } \theta \in \left(\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 2\pi - \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right)\right), \end{cases} \quad (2.44)$$

$$P_{\Pi Z} = \begin{cases} d_{\Pi} \cdot (h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + ctg^2 \gamma} \times \\ \times (H + \tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot (V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + \\ + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2)) \cdot \frac{1}{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta} \times \\ \times \frac{V_X \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \theta}{\sqrt{V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2}} \\ \text{при } \theta \in \left[-\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 0\right], \\ \\ d_{\Pi} \cdot (h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + ctg^2 \gamma} \times \\ \times (\tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot (V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + \\ + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2)) \cdot \frac{1}{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta} \times \\ \times \frac{V_X \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \theta}{\sqrt{V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2}} \\ \text{при } \theta \in \left(0; \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right)\right], \\ \\ 0 \\ \text{при } \theta \in \left(\arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right); 2\pi - \arccos\left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon}\right)\right). \end{cases} \quad (2.45)$$

2.7.2 Определение нормального напряжения, возникающего в пальце при изгибе от действия силы сопротивления почвы

Сила сопротивления почвы, действующая на палец, является изгибающей. Нормальное напряжение, возникающее в пальце при изгибе от действия силы сопротивления почвы, определим по формуле [163, с. 122]:

$$\sigma_{\Pi} = \frac{M_{\Pi}}{W_{\bar{x}}}, \quad (2.46)$$

где M_{Π} – изгибающий момент, оказываемый на палец;

$W_{\bar{x}}$ – момент сопротивления изгибу относительно оси $\bar{x}$, перпендикулярной оси вращения пальца.

Изгибающий момент, оказываемый на палец, определим по формуле:

$$M_{\Pi} = P_{\Pi} \cdot \left(L_{\Pi p} - \frac{l}{2} \right). \quad (2.47)$$

Момент сопротивления изгибу относительно оси $\bar{x}$, перпендикулярной оси вращения пальца, определяют по формуле:

$$W_{\bar{x}} = \frac{\pi d_{\Pi}^3}{32}. \quad (2.48)$$

Исходя из выражений (2.41), (2.42), (2.46)–(2.48), получим:

$$\sigma_{\pi} = \left\{ \begin{array}{l} 16 \cdot \left((h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \gamma} \right) \times \\ \times \left(H + \tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot \left(V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \times \right. \right. \\ \times \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2 \left. \left. \right) \right) \cdot (2 \cdot L_{\text{пр}} \cdot (\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta) - \\ - (h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma) \times \frac{\sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \gamma}}{\pi \cdot d_{\pi}^2 \cdot (\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta)^2} \\ \text{при } \theta \in \left[-\arccos \left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon} \right); 0 \right], \\ \\ 16 \cdot \left((h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \gamma} \right) \times \quad (2.49) \\ \times \left(\tau + \rho \cdot f \cdot \pi \cdot \left(V_X^2 \cdot ((\sin \varepsilon - \cos \theta)^2 + (\sin \varepsilon \cdot \sin \theta)^2) + 2 \cdot V_X \cdot V_{\text{модY}} \times \right. \right. \\ \times \cos \varepsilon \cdot \sin \theta + V_{\text{модY}}^2 \left. \left. \right) \right) \cdot (2 \cdot L_{\text{пр}} \cdot (\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta) - \\ - (h - R \cdot (\sin \varepsilon - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon)) \cdot \sin \gamma) \times \frac{\sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{\cos \theta}{\cos \varepsilon}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \gamma}}{\pi \cdot d_{\pi}^2 \cdot (\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon + \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \theta)^2} \\ \text{при } \theta \in \left(0; \arccos \left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon} \right) \right], \\ \\ 0 \\ \text{при } \theta \in \left(\arccos \left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon} \right); 2\pi - \arccos \left(1 - \frac{h}{R \cdot \sin \varepsilon} \right) \right). \end{array} \right.$$

2.7.3 Определение продольной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы машины

На рисунке 2.19 представлен вид, перпендикулярный плоскости диска, на которой буквой j обозначен порядковый номер пальца, буквой c обозначено количество пальцев рабочего органа. Для упрощения изображения траектория точки D_p показана в форме эллипса. Из рисунка видно, что угол между соседними пальцами составляет величину $\frac{2\pi}{c}$. Следовательно, сила сопротивления почвы, действующая на j -ый палец, равна:

$$P_{\pi j} = P_{\pi} \left(\theta + \frac{(j-1) \cdot 2\pi}{c} \right). \quad (2.50)$$

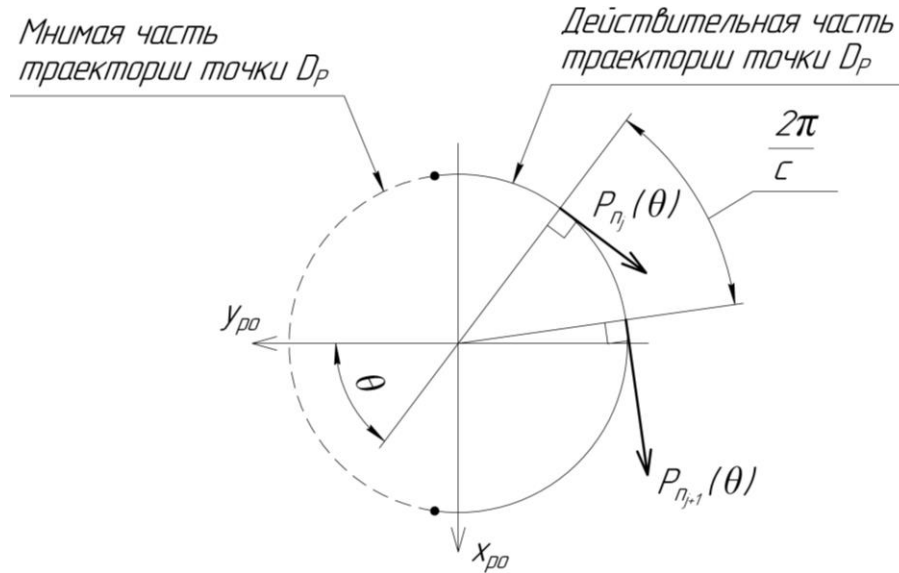


Рисунок 2.19 – Расчётная схема рабочего органа
(вид перпендикулярно плоскости диска)

Продольная и поперечная составляющие силы сопротивления почвы, действующей на j -ый палец, соответственно равны:

$$P_{\pi jX} = P_{\pi X} \left(\theta + \frac{(j-1) \cdot 2\pi}{c} \right), \quad (2.51)$$

$$P_{\pi jY} = P_{\pi Y} \left(\theta + \frac{(j-1) \cdot 2\pi}{c} \right). \quad (2.52)$$

Продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочий орган, равна:

$$P_{poX} = \sum_{j=1}^c P_{\pi jX}. \quad (2.53)$$

Продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы модуля, равна:

$$P_{modX} = n_{po} \cdot P_{poX}, \quad (2.54)$$

где n_{po} – количество рабочих органов модуля.

Продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы машины, равна:

$$P_X = n_{\text{мод}} \cdot P_{\text{мод}_X}, \quad (2.55)$$

где $n_{\text{мод}}$ – количество модулей машины.

Исходя из выражений (2.51), (2.53)–(2.55), получим:

$$P_X = n_{\text{мод}} \cdot n_{\text{ро}} \cdot \sum_{j=1}^c P_{\text{п}_X} \left(\theta + \frac{(j-1) \cdot 2\pi}{c} \right). \quad (2.56)$$

2.7.4 Определение поперечной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы модуля

Поперечная сила сопротивления почвы, действующая на рабочий орган, равна:

$$P_{\text{ро}_Y} = \sum_{j=1}^c P_{\text{п}_Y}. \quad (2.57)$$

Поперечная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы модуля, равна:

$$P_{\text{мод}_Y} = n_{\text{ро}} \cdot P_{\text{ро}_Y}, \quad (2.58)$$

Исходя из выражений (2.52), (2.57), (2.58), получим:

$$P_{\text{мод}_Y} = n_{\text{ро}} \cdot \sum_{j=1}^c P_{\text{п}_Y} \left(\theta + \frac{(j-1) \cdot 2\pi}{c} \right). \quad (2.59)$$

2.7.5 Определение силы сопротивления движению машины

Силу сопротивления движению машины определим по формуле:

$$R_m = P_x + P_{пл} + P_{пм}, \quad (2.60)$$

где $P_{пл}$ – сила сопротивления почвы, действующая на полольные лапы машины;

$P_{пм}$ – сила сопротивления перекачиванию машины.

Силу сопротивления почвы, действующую на полольные лапы машины, определим по формуле:

$$P_{пл} = n_{мод} \cdot n_{пл} \cdot P'_{пл}, \quad (2.61)$$

где $n_{пл}$ – количество полольных лап модуля, обрабатывающих междурядья, ближайшие к ряду культурных растений по обе его стороны, $n_{пл} = n_{ро}$;

$P'_{пл}$ – сила сопротивления почвы, действующая на полольную лапу, определяемая по формуле:

$$P'_{пл} = k \cdot S_{пл}, \quad (2.62)$$

$S_{пл}$ – площадь сечения пласта почвы, захватываемого полольной лапой.

Силу сопротивления перекачиванию машины определяют по формуле:

$$P_{пм} = f_{сп} \cdot N, \quad (2.63)$$

где $f_{сп}$ – коэффициент сопротивления перекачиванию;

N – сила нормальной реакции поверхности почвы.

При движении машины по горизонтальной плоскости силу нормальной реакции поверхности почвы определяют по формуле:

$$N = m \cdot g, \quad (2.64)$$

где m – масса машины.

Исходя из выражений (2.56), (2.60)–(2.64), получим:

$$R_m = n_{\text{мод}} \cdot n_{\text{ро}} \cdot \left(\sum_{j=1}^c P_{\text{пх}} \left(\theta + \frac{(j-1) \cdot 2\pi}{c} \right) + k \cdot S_{\text{пл}} \right) + f_{\text{сп}} \cdot m \cdot g. \quad (2.65)$$

2.8 Определение параметров, характеризующих задержку подачи управляющего воздействия на исполнительный механизм

В силу того что виды зависимостей $t_3^{\text{мод}}(V_X)$, $t_3^{\text{ц}}(V_X)$, $t_3^{\text{п}}(V_X)$, $t_3^{\text{с}}(V_X)$ неизвестны, выдвинуто предположение, что они являются степенными и описываются следующей системой выражений:

$$\begin{cases} t_3^{\text{мод}}(V_X) = \frac{A_3^{\text{мод}}}{K_3^{\text{мод}}(V_X)}, \\ t_3^{\text{ц}}(V_X) = \frac{A_3^{\text{ц}}}{K_3^{\text{ц}}(V_X)}, \\ t_3^{\text{п}}(V_X) = \frac{A_3^{\text{п}}}{K_3^{\text{п}}(V_X)}, \\ t_3^{\text{с}}(V_X) = \frac{A_3^{\text{с}}}{K_3^{\text{с}}(V_X)}, \end{cases} \quad (2.66)$$

где $A_3^{\text{мод}}$ – коэффициент задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения;

$A_3^{\text{ц}}$ – коэффициент задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение;

A_3^p – коэффициент задержки подачи управляющего воздействия на разведение рабочих органов;

A_3^c – коэффициент задержки подачи управляющего воздействия на сведение рабочих органов;

$K_3^{\text{мод}}$ – эмпирический множитель¹⁾ задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения;

$K_3^{\text{ц}}$ – эмпирический множитель задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение;

K_3^p – эмпирический множитель задержки подачи управляющего воздействия на разведение рабочих органов;

K_3^c – эмпирический множитель задержки подачи управляющего воздействия на сведение рабочих органов.

По результатам проведённых экспериментальных исследований (с. 171–178) выдвинутое предположение подтверждено, а зависимости, представленные системой выражений (2.66), определены эмпирически и преобразованы следующим образом:

$$\begin{cases} t_3^{\text{мод}} = \frac{A_3^{\text{мод}}}{V_X^{3,4087}}, \\ t_3^{\text{ц}} = \frac{A_3^{\text{ц}}}{V_X^{1,2568}}, \\ t_3^p = \frac{A_3^p}{V_X^{3,4087}}, \\ t_3^c = \frac{A_3^c}{V_X^{1,2568}}, \end{cases} \quad (2.67)$$

¹⁾ Фактически, мы определили время задержки подачи управляющего воздействия как произведение двух параметров, поэтому для названия одного из них использовано слово «множитель». Однако для удобства подбора значений указанных параметров в ходе проведения лабораторных исследований, лабораторно-полевого исследования и последующей обработки полученных данных изначально предусмотрено возведение параметров K_3 в степень минус 1.

где $A_3^{\text{мод}} = A_3^p = 85,905 \text{ мс} \cdot \left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)^{3,4087}$ при работе в лабораторных условиях;

$A_3^{\text{мод}} = A_3^p = 21,566 \text{ мс} \cdot \left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)^{3,4087}$ при работе в лабораторно-полевых условиях;

$A_3^{\text{ц}} = A_3^c = 180,871 \text{ мс} \cdot \left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)^{1,2568}$ при работе в лабораторных условиях;

$A_3^{\text{ц}} = A_3^c = 45,407 \text{ мс} \cdot \left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)^{1,2568}$ при работе в лабораторно-полевых условиях.

2.9 Расчёт параметров машины

При выполнении расчёта учтём физико-механические свойства средней почвы при следующих исходных данных:

- коэффициент трения почвы по стали $f = 0,5$ [143, с. 16] (поскольку различия почвенных условий не учитываются);
- твёрдость почвы $H = 50 \text{ кПа}$;
- предельное напряжение почвы сдвигу $\tau = 20 \text{ кПа}$ [31, с. 21];
- плотность почвы $\rho = 1\,100 \text{ кг/м}^3$ [70].

2.9.1 Конструктивно-технологическая схема машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки почвы в плодopитомниках

Предложена конструктивно-технологическая схема машины с АСУ для обработки почвы в плодopитомниках, которая основана на принципиальной схеме, представленной в параграфе 2.1, и которая приведена на рисунке 2.20. Машина состоит из рамы 1, содержащей поперечную балку 2, навесное устройство 3 и кронштейны 4, а также опорных колес 5, левой 6 и правой 7 видеокамер, электрически посредством электропроводов 8 соединённых с дисплеем 9 и контроллером 10, и модуля.

Модуль состоит из корпуса 11, на котором шарнирно установлены поворотные рамки 12 с возможностью поворота в вертикальной плоскости и который присоединён к поперечной балке 2. Корпус 11 имеет возможность перемещения с одной степенью свободы вдоль поперечной балки 2 посредством винтового механизма, состоящего из винта 13 и гайки 14. Винт 13 относительно поперечной балки 2 имеет одну степень свободы с возможностью вращения посредством установленного на раме 1 энергетического средства, в качестве которого может выступать, например, шаговый двигатель 15, электрически соединённый с драйвером 16. Гайка 14 установлена на корпусе 11.

Поворотные рамки 12 посредством тяг 17 соединены со штоком гидроцилиндра 18, установленного на корпусе 11 и гидравлически посредством трубопроводов 19 соединённого с электрогидрораспределителем 20, также гидравлически соединённым с гидросистемой трактора и электрически соединённым с контроллером 10. Драйвер 16 электрически соединён с контроллером 10, который также электрически соединён с управляющим устройством оператора 21.

На каждой поворотной рамке 12 установлен ротационный рабочий орган, который выполнен в виде диска 22, установленного на оси 23, закреплённой под острым углом к вертикали, с пальцами 24, жёстко закреплёнными по периферии диска 22 под острым углом к оси 23.

На раме 1 также закреплены ограничители перемещения 25, 26 модуля и полные лапы 27, а на корпусе 11 установлены ограничители перемещения 28, 29 штока гидроцилиндра 18, причём ограничители перемещения 25, 26, 28, 29 выполнены в виде датчиков приближения и электрически соединены с контроллером 10. На штоке гидроцилиндра 18 установлен возбуждатель 30 ограничителей перемещения 28, 29, выполненный в виде пластины.

Контроллер 10, драйвер 16 и шаговый двигатель 15 составляют подсистему управления положением модуля.

Контроллер 10, электрогидрораспределитель 20 и гидроцилиндр 18 составляют подсистему управления положением рабочих органов друг относительно друга.

Контроллер 10 и видеокамеры 6, 7 составляют подсистему бесконтактного распознавания культурного растения.

Машина работает следующим образом.

Предварительно выполняется подготовка машины к работе, в частности:

1. Задание диапазона перемещения модуля путём установки ограничителей перемещения 25, 26.

2. Задание диапазона перемещения и настройка подсистемы управления положением рабочих органов друг относительно друга путём установки ограничителей 28, 29 перемещения штока гидроцилиндра 18 либо задание положения рабочих органов друг относительно друга путём установки ограничителя перемещения 28 штока гидроцилиндра 18.

3. Настройка подсистемы управления положением модуля.

4. Настройка подсистемы бесконтактного распознавания культурного растения.

Во время настройки подсистемы управления положением модуля контроллер 10 подаёт управляющее воздействие на драйвер 16, который, в свою очередь, воздействует на шаговый двигатель 15, выходной вал которого, вращаясь, приводит к перемещению модуля в поперечном направлении посредством винтового механизма, которое происходит до тех пор, пока корпус 11 не попадёт в поле действия ограничителя перемещения 25 модуля. Далее сигнал от ограничителя перемещения 25 последовательно подаётся на контроллер 10 и на драйвер 16, который воздействует на шаговый двигатель 15, выходной вал которого, вращаясь, приводит к перемещению модуля в поперечном направлении в противоположную сторону, которое происходит до тех пор, пока модуль не попадёт в поле действия ограничителя перемещения 26 модуля. После этого сигнал от ограничителя перемещения 26 модуля последовательно подаётся на контроллер 10 и драйвер 16, который воздействует на шаговый двигатель 15, выходной вал которого, вращаясь, приводит к перемещению модуля в первоначальную сторону до тех пор, пока модуль не займёт центральное положение. Таким образом, в результате настройки подсистемы

управления положением модуля происходит определение контроллером 10 его крайних и центрального положений.

Если в процессе работы машины сведение рабочих органов требуется (например, когда культурные растения в рядке посажены с большим шагом ΔX и непересекающимися защитными зонами, вследствие чего обработка почвы между ними должна производиться), то осуществляется настройка подсистемы управления положением рабочих органов друг относительно друга, во время которой контроллер 10 подаёт управляющее воздействие на электрогидрораспределитель 20, который, в свою очередь, воздействует на гидроцилиндр 18, что вызывает выдвижение его предварительно полностью втянутого штока. Это приводит посредством тяг 17 к разведению рабочих органов до тех пор, пока возбудитель 30 ограничителей перемещения 28, 29 не попадёт в поле действия ограничителя перемещения 28. Далее сигнал с ограничителя перемещения 28 последовательно подаётся на контроллер 10 и на электрогидрораспределитель 20, который, в свою очередь, воздействует на гидроцилиндр 18, что вызывает втягивание его штока, приводящее посредством тяг 17 к сведению рабочих органов. Перемещение рабочих органов происходит до тех пор, пока возбудитель 30 ограничителей перемещения 28, 29 не попадёт в поле действия ограничителя перемещения 29. После этого сигнал с ограничителя перемещения 29 последовательно подаётся на контроллер 10 и на электрогидрораспределитель 20, который воздействует на гидроцилиндр 18, что вызывает остановку движения его штока и, соответственно, остановку перемещения рабочих органов друг относительно друга. В результате настройки подсистемы управления положением рабочих органов друг относительно друга происходит определение их крайних положений – в разведённом и сведённом состояниях.

Если в процессе работы машины сведение рабочих органов не требуется (например, когда культурные растения в рядке посажены с небольшим шагом ΔX и пересекающимися защитными зонами, вследствие чего обработка почвы между ними либо не представляется возможной, либо представляется возможной, но является нецелесообразной), то осуществляется задание положения рабочих органов друг относительно друга, во время которой контроллер 10 подаёт управляющее

воздействие на электрогидрораспределитель 20, который воздействует на гидроцилиндр 18, что вызывает выдвижение его предварительно полностью втянутого штока. Это приводит посредством тяг 17 к разведению рабочих органов до тех пор, пока возбудитель 30 ограничителей перемещения 28, 29 не попадёт в поле действия ограничителя перемещения 28. Далее сигнал с ограничителя перемещения 28 последовательно подаётся на контроллер 10 и на электрогидрораспределитель 20, который воздействует на гидроцилиндр 18, что вызывает остановку движения его штока и, соответственно, остановку перемещения рабочих органов друг относительно друга. В таком случае в результате задания положения рабочих органов друг относительно друга происходит задание зазора между ними фиксированного значения.

Во время настройки подсистемы бесконтактного распознавания культурного растения происходит расположение в поле зрения видеокамер 6, 7 цветового идентификатора культурного растения, который может быть предварительно размещён на культурном растении, например, при нанесении раствора краски, выполняемом в ходе побелки стволов, осуществляемой с целью защиты культурных растений от болезней и вредителей. Далее происходит активация функции выявления цветового идентификатора. Для выполнения данной настройки можно использовать, например, шаблон или непосредственно культурное растение. Таким образом, в результате настройки подсистемы бесконтактного распознавания культурного растения происходит задание цвета и, при необходимости, диапазона допустимых значений ширины и длины цветового идентификатора.

Данные, полученные контроллером 10 при настройках указанных выше подсистем, записываются на запоминающее устройство (на рисунке не показано) и используются на протяжении всего периода эксплуатации машины. При необходимости, подготовка машины к работе происходит повторно, а данные перезаписываются.

После перевода машины в рабочее положение машинно-тракторный агрегат (далее – МТА) начинает движение вдоль ряда культурных растений. Вследствие имеющихся углов наклона оси 23 к вертикали и пальцев 24 к оси 23 пальцы 24

каждого рабочего органа заглубляются на разную величину, что при движении машины в рабочем положении приводит к возникновению сил сопротивления почвы разной величины. Это влечёт за собой неравномерное расположение сил реакции относительно центра вращения диска 22, под действием которых происходит вращение диска 22. За счёт этого пальцами 24 осуществляется рыхление почвы и механическое удаление сорняков в приствольных зонах культурных растений, а также в части междурядий при разведённом состоянии рабочих органов.

Контроллер 10 непрерывно получает видеоизображения от видеокамер 6, 7, которые также поступают на дисплей 9. Выполняя обработку видеоизображений, контроллер 20 выявляет цветовой идентификатор i -го культурного растения и помечает его центр флажками $\Phi_{X_{il}}$, $\Phi_{X_{ip}}$, а нижнюю границу – флажками $\Phi_{Y_{il}}$ и $\Phi_{Y_{ip}}$, располагаемыми вдоль горизонтальной оси X_d и вертикальной оси Y_d на левом и правом видеоизображениях на дисплее 9 соответственно. После достижения верхнего критического значения координаты Y_{dv} флажком $\Phi_{Y_{il}}$ либо флажком $\Phi_{Y_{ip}}$ контроллер 10 выполняет расчёт значения параметра ΔX_{di} – разницы значений координат $X_{d\Phi_{il}}$ и $X_{d\Phi_{ip}}$ флажков $\Phi_{X_{il}}$ и $\Phi_{X_{ip}}$ соответственно. Если $\Delta X_{di} \neq 0$, то это свидетельствует о наличии смещения культурных растений ΔY , отличного от нуля. В соответствии с этим контроллер 10 подаёт управляющее воздействие на шаговый двигатель 15 посредством драйвера 16, что приводит к вращению выходного вала шагового двигателя 15, в зависимости от направления вращения которого происходит вращение винта 13 в том или ином направлении, что приводит к перемещению гайки 14, а вместе с ней и корпуса 11 вдоль поперечной балки 2 таким образом, чтобы отклонение модуля от культурного растения Δ находилось в допустимом диапазоне.

Если в процессе работы машины сведение рабочих органов требуется, то после достижения флажком $\Phi_{Y_{il}}$ или флажком $\Phi_{Y_{ip}}$ нижнего критического значения координаты Y_{dn} контроллер подаёт управляющее воздействие на электрогидрорас-

пределитель 20, что приводит к выдвиганию штока гидроцилиндра 18 и, соответственно, разведению поворотных рамок 12, а вместе с ними и рабочих органов до достижения рабочего зазора S , превышающего диаметр защитной зоны $D_{зз}$.

После обработки приствольной зоны i -го культурного растения, в случае если флажки $\Phi_{Y(i+1)л}$ и $\Phi_{Y(i+1)п}$ не достигли значения координаты $Y_{дв}$, контроллер подаёт управляющее воздействие на электрогидрораспределитель 20, что приводит к втягиванию штока гидроцилиндра 18 и, соответственно, сведению поворотных рамок 12, а вместе с ними и рабочих органов.

При отсутствии флажка Φ_{Xil} или флажка Φ_{Xip} на одном из видеоизображений на дисплее 9, свидетельствующем об отсутствии культурного растения в поле зрения по крайней мере одной из видеокамер 6, 7, происходит перемещение модуля в центральное положение, что обеспечивает отклонение модуля от оси рядка равным нулю, поскольку иные значения отклонения модуля в данном случае не требуются.

Функцию оператора, заключающуюся в контроле работы машины, посредством дисплея 9 осуществляет тракторист, который дистанцирован от обрабатываемых рабочими органами зон. При необходимости (например, в случае возникновения аварийной или внештатной ситуации) происходит переключение машины на режим ручного управления, осуществляемого трактористом посредством управляющего устройства 21.

При попадании модуля в поле действия ограничителя перемещения 25 или 26 сигнал с него последовательно поступает на контроллер 10 и драйвер 16, что приводит к остановке модуля. При попадании штока гидроцилиндра 18 в поле действия ограничителя перемещения 28 или 29 сигнал с него последовательно поступает на контроллер 10 и электрогидрораспределитель 20, что приводит к остановке штока гидроцилиндра 18 и, как следствие, прекращению поворота поворотных рамок 12.

Полосные лапы 27, двигаясь параллельно оси рядка, рыхлят почву и механически удаляют сорняки в междурядьях.

Регулирование глубины обработки почвы h достигается изменением положения опорных колёс 5 относительно кронштейнов 4 по вертикали.

Конструктивно-технологическая схема машины защищена патентами на изобретение [95, 96, 98].

2.9.2 Алгоритм работы автоматизированной системы управления рабочими органами машины для обработки почвы в плодопитомниках

В соответствии с предложенной конструктивно-технологической схемой машины разработан алгоритм работы АСУ, основанный на алгоритме, представленном в параграфе 2.4. Учтены следующие аспекты:

- в подготовку АСУ также входят установка ограничителей перемещения 25, 26 модуля (см. рисунок 2.20) и установка ограничителей перемещения 28, 29 штока гидроцилиндра 18, служащих в качестве ограничителей перемещения рабочих органов;
- соблюдение первого выражения системы (2.5) достигается применением ограничителей перемещения 28, 29 штока гидроцилиндра 18;
- подачей сигналов разведения, сведения, удержания рабочих органов и прекращения выполнения данных действий служит подача соответствующих управляющих воздействий на электрогидрораспределитель 20;
- подачей сигналов шага модуля влево, вправо и в центральное положение служит последовательная подача соответствующих управляющих воздействий на драйвер 16;
- проверка условия достижения модулем крайнего левого или правого положений осуществляется при помощи ограничителей перемещения 25, 26 модуля.

Подробные представления блоков «Настройка подсистемы управления положением модуля», «Разведение рабочих органов», «Сведение рабочих органов», «Перемещение модуля в поперечном направлении», «Обработка АСУ», которые входят в состав блок-схемы алгоритма работы АСУ предложенной машины, представлены на рисунках 2.21–2.24.

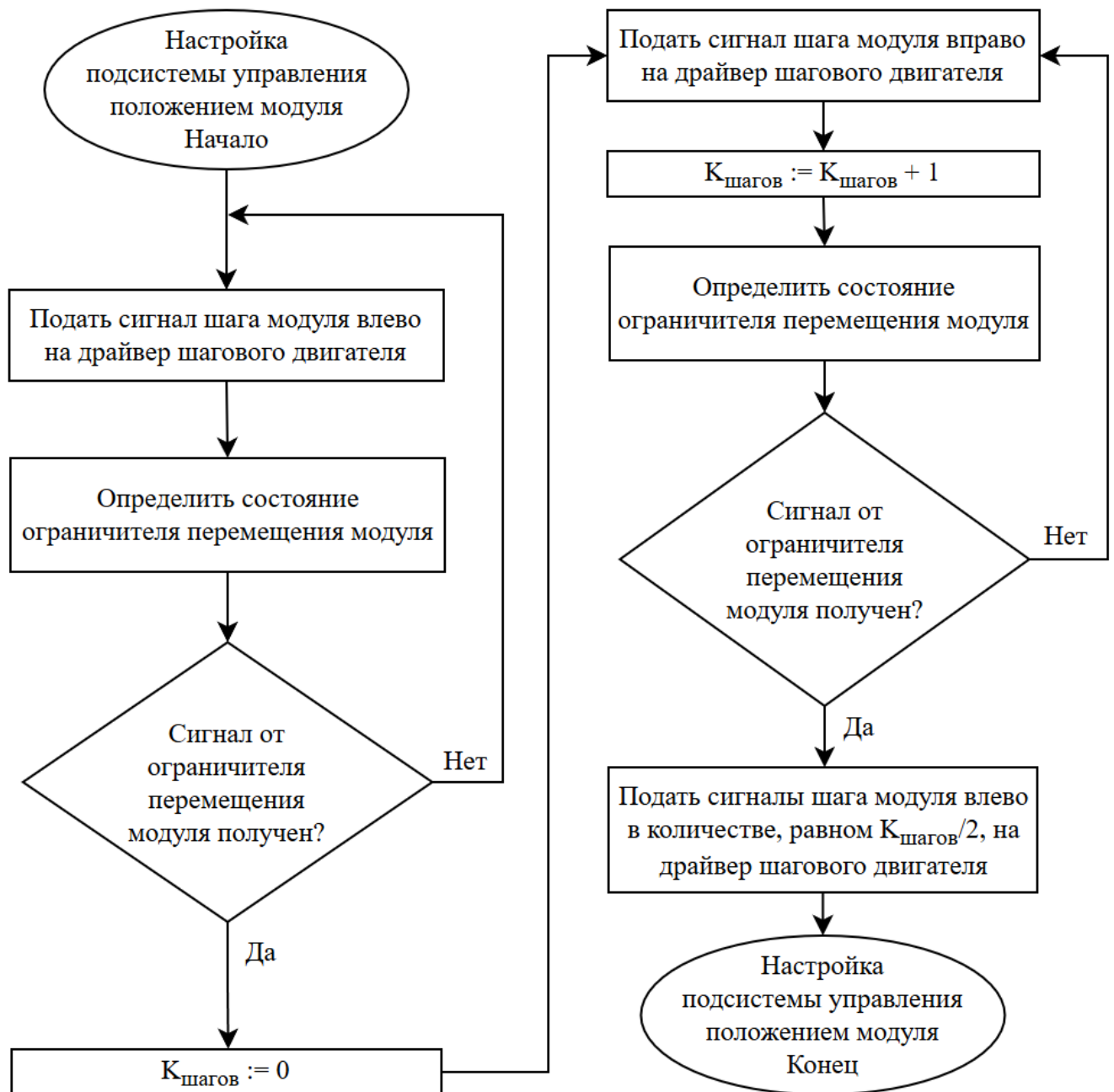


Рисунок 2.21 – Подробное представление блока «Настройка подсистемы управления положением модуля» алгоритма работы АСУ предложенной машины для обработки почвы в плодопитомниках



Рисунок 2.22 – Подробное представление блоков «Разведение рабочих органов» и «Сведение рабочих органов» алгоритма работы АСУ предложенной машины для обработки почвы в плодопитомниках

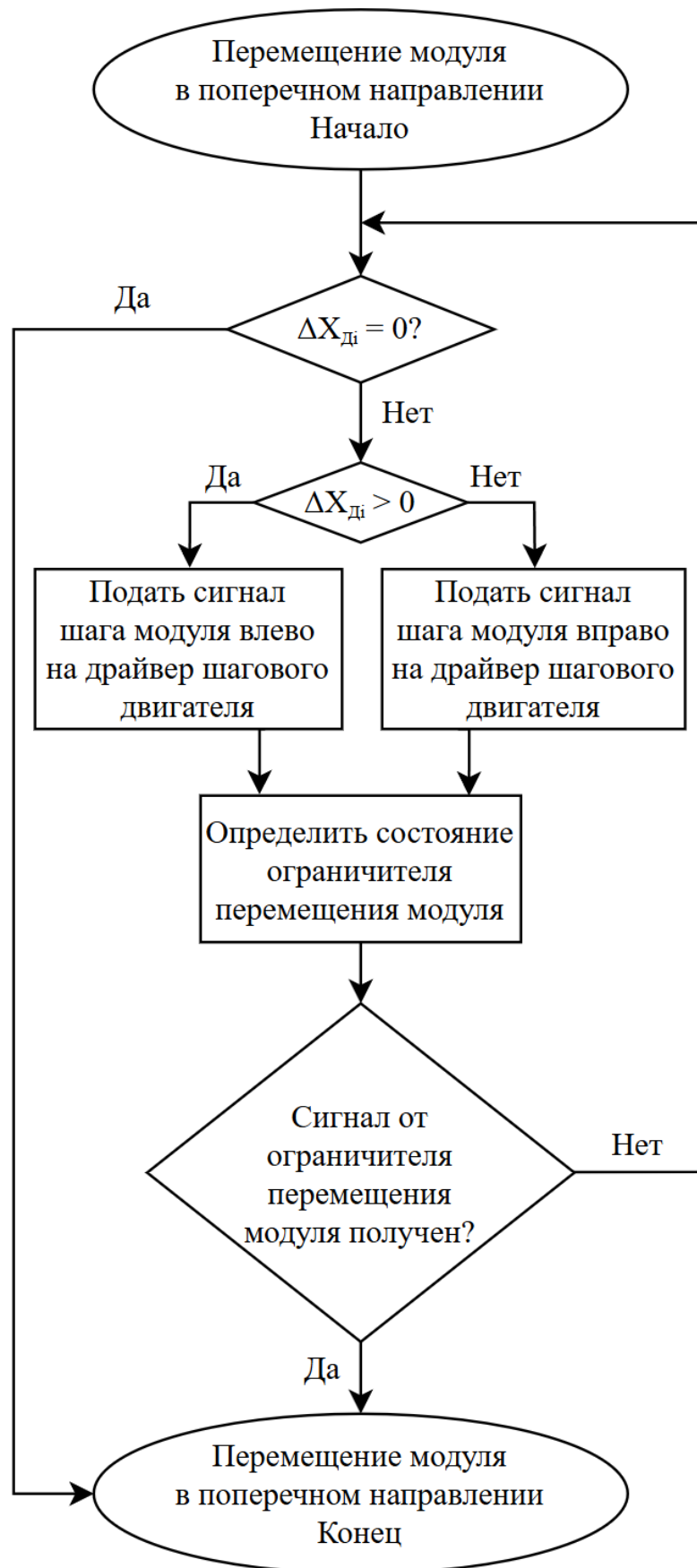


Рисунок 2.23 – Подробное представление блока «Перемещение модуля в поперечном направлении» алгоритма работы АСУ предложенной машины для обработки почвы в плодопитомниках

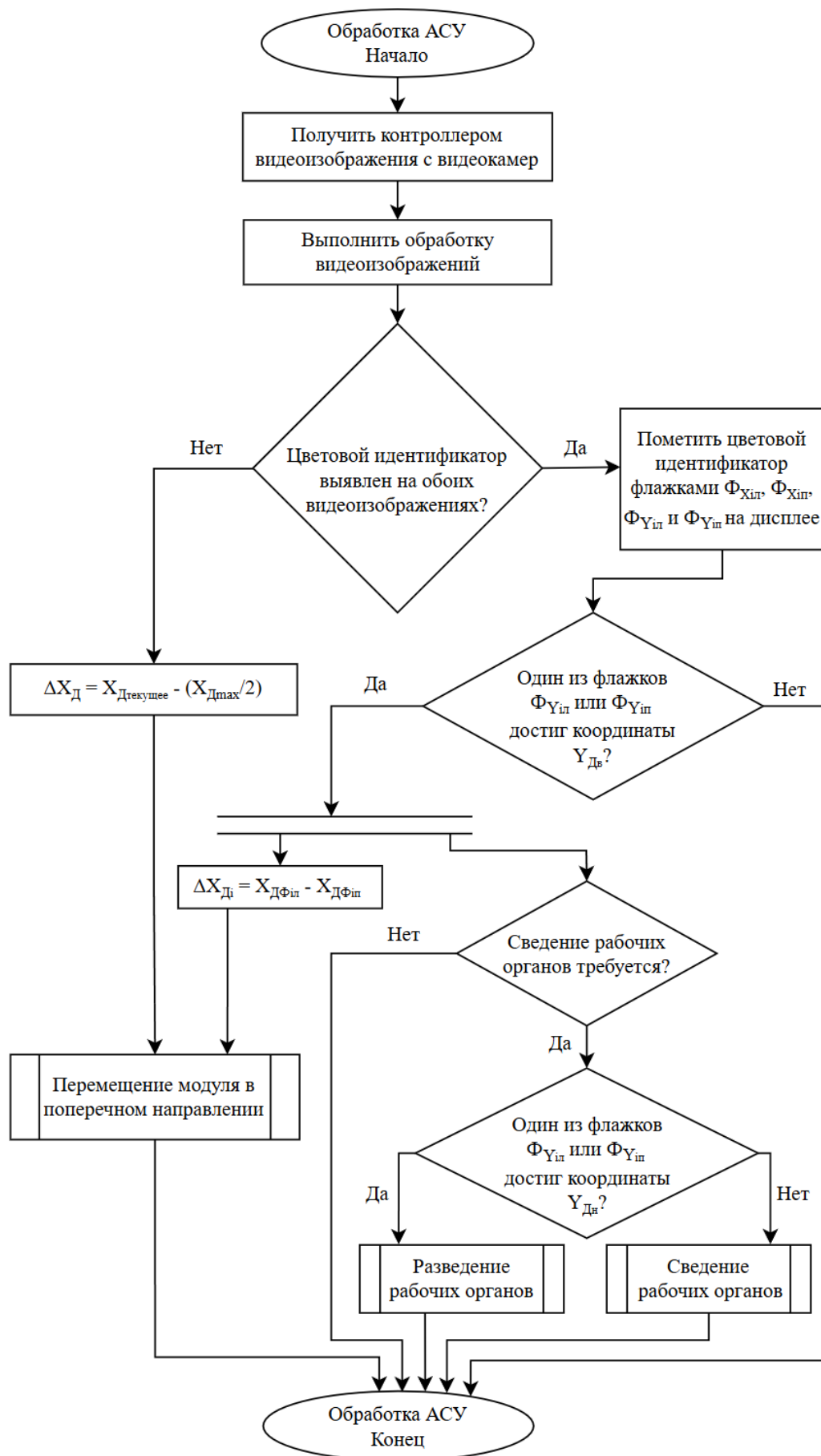


Рисунок 2.24 – Подробное представление блока «Обработка АСУ» алгоритма работы АСУ предложенной машины для обработки почвы в плодопитомниках

2.9.3 Определение угла конусности конца пальца

Нами предложено назначить угол конусности конца пальца исходя из условия скольжения почвы по конической поверхности пальца:

$$\frac{\alpha_k}{2} \leq \arctg(f), \quad (2.68)$$

где α_k – угол конусности конца пальца.

Таким образом, $\alpha_k \leq 53^\circ$. Принимаем угол конусности конца пальца $\alpha_k = 50^\circ$, т. к. данное значение является ближайшим «удобным» для использования, а значениям $\alpha_k < 50^\circ$ соответствуют бóльшие вероятности скорейшего изнашивания и/или разрушения пальца.

2.9.4 Расчёт ширины обработанной полосы

Здесь и далее примем значения угла наклона диска рабочего органа к горизонтальной плоскости $\varepsilon = 20^\circ$ и угла наклона пальца к оси вращения диска рабочего органа $\gamma = 25^\circ$ в соответствии с данными, приведёнными в источнике [2], согласно которым разница между данными параметрами составляет от 0 до 5° .

С учётом диапазона значений глубины обработки почвы $h = [40; 120 \text{ мм}]$ и с учётом выражения (2.6), получим диапазон значений ширины обработанной полосы $B_{\text{пол}} = [110; 330 \text{ мм}]$. В частности, $B_{\text{пол}} = 220 \text{ мм}$ при $h = 80 \text{ мм}$.

2.9.5 Расчёт радиуса вращения оси рабочего органа вокруг оси вращения поворотной рамки

Примем максимальное значение рабочего зазора $S_{max}^{D_{33}} = 220$ мм (при диаметре защитной зоны $D_{33} = 200$ мм), его минимальное значение – $S_{min} = 5$ мм, а диаметр рабочего органа – $d = 365$ мм. График зависимости расстояния между осью поворота рамки и осью вращения рабочего органа R_p от угла поворота рамки α по выражению (2.17) представлен на рисунке 2.25.

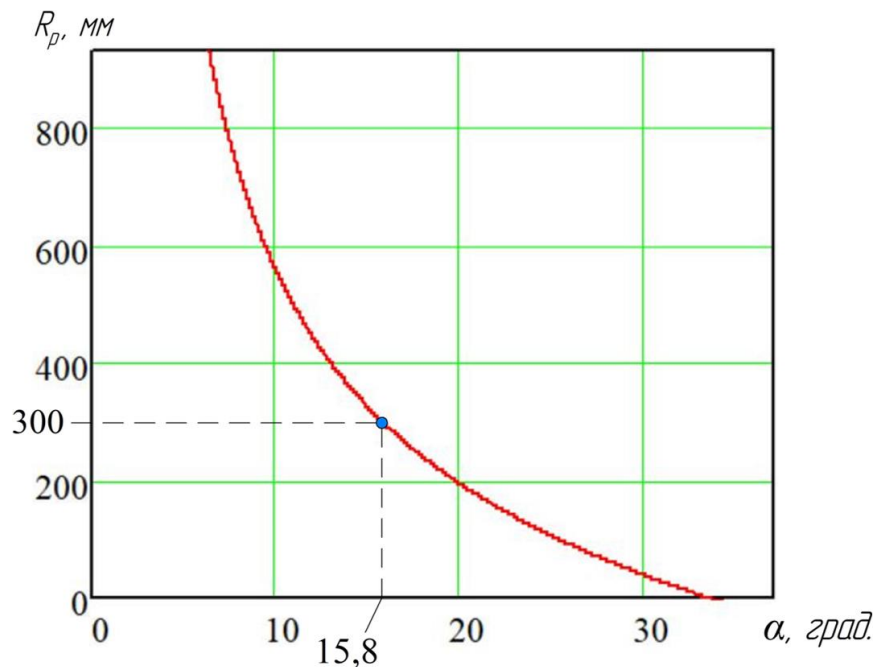


Рисунок 2.25 – График зависимости расстояния между осью поворота рамки и осью вращения рабочего органа от угла поворота рамки

Исходя из полученного графика, примем расстояние между осью вращения рамки и осью вращения рабочего органа $R_p = 300$ мм, при этом угол поворота рамки составляет $\alpha = 15,8^\circ$.

2.9.6 Расчёт рабочего диапазона и необходимой поперечной скорости модуля

Поскольку $D_{зз} = 200$ мм, то радиус защитной зоны $R_{зз} = 0,1$ м. Шаг культурных растений ΔX и смещение культурных растений ΔY примем на основе результатов измерений, проведённых в плодопитомниках Алтайского края (таблица 3.11).

При данных значениях указанных параметров сведение рабочих органов до достижения минимального рабочего зазора S_{min} , согласно выражению (2.22), не происходит.

Результат расчёта рабочего диапазона и необходимой поперечной скорости модуля, выполненный согласно методике, представленной в параграфах 2.5.3 и 2.6.1, приведён в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчёта параметров машины

Параметр	Значение для плодопитомника № 1	Значение для плодопитомника № 2	Значение для плодопитомника № 3
Рабочий диапазон модуля $Y_{рд}$, см	36,2	19,2	20,2
Поперечная скорость модуля $V_{моду}$	$1,09 \cdot V_X$	$0,46 \cdot V_X$	$0,48 \cdot V_X$

Дальнейшие расчёты будем проводить с учётом тех значений параметров, которые получены для плодопитомника № 3, поскольку машина ориентирована на применение в составе комплекса машин по уходу за посадочным материалом (в плодопитомниках № 2 и № 3 посадка культурных растений выполнена при помощи четырёхрядного роторного щелеобразователя (см. с. 148)), причём обеспечение значений параметров машины для плодопитомника № 3 позволит применять её и для плодопитомника № 2.

Таким образом, рабочий диапазон модуля $Y_{рд} = 20,2$ см и необходимая поперечная скорость модуля $V_{моду} = 0,2$ м/с при рабочей скорости машины $V_X = 1,5$ км/ч (0,42 м/с), значение которой предварительно принято согласно параграфу 3.7.3.

2.9.7 Расчёт поперечной и продольной сил сопротивления почвы, действующих на рабочие органы модуля

Здесь и далее примем глубину обработки почвы $h = 80$ мм.

Рассчитаем поперечную и продольную силы сопротивления почвы, действующих на рабочие органы модуля, $P_{\text{мод}_Y}$ и $P_{\text{мод}_X}$ соответственно согласно методике, представленной в параграфах 2.7.1–2.7.4. Параметры машины, являющиеся исходными данными для расчёта, представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры машины, являющиеся исходными данными для расчёта поперечной и продольной сил сопротивления почвы, действующих на рабочие органы модуля

Параметр	Значение
Диаметр пальца d_p , мм	12
Диаметр рабочего органа d , мм	365
Количество пальцев рабочего органа c , шт.	8
Количество рабочих органов модуля n_{po} , шт.	2
Угол наклона диска рабочего органа к горизонтальной плоскости ε , град.	20
Угол наклона пальца к оси вращения диска рабочего органа γ , град.	25
Угол поворота пальца вокруг оси вращения диска рабочего органа θ , град.	0...360
Рабочая скорость машины V_X , км/ч	1,5 (принята предварительно согласно параграфу 3.7.3)
Поперечная скорость модуля $V_{\text{мод}_Y}$, м/с	0,2

Результат расчёта представлен в виде графиков зависимостей $P_{\text{мод}_X} = P_{\text{мод}_X}(\theta)$ и $P_{\text{мод}_Y} = P_{\text{мод}_Y}(\theta)$ на рисунках 2.26 и 2.27 соответственно.

Из графиков видно, что при $\theta = \frac{\pi \cdot n}{4}$ (где n – целое число) возникает перепад значений параметров $P_{\text{мод}_X}$ и $P_{\text{мод}_Y}$. Причина состоит в следующем: «при выглублении пальца перестаёт действовать сила сопротивления почвы смятию лобовой поверхностью пальца» [105, с. 65], что ранее отмечено в параграфе 1.4 (см. с. 46).

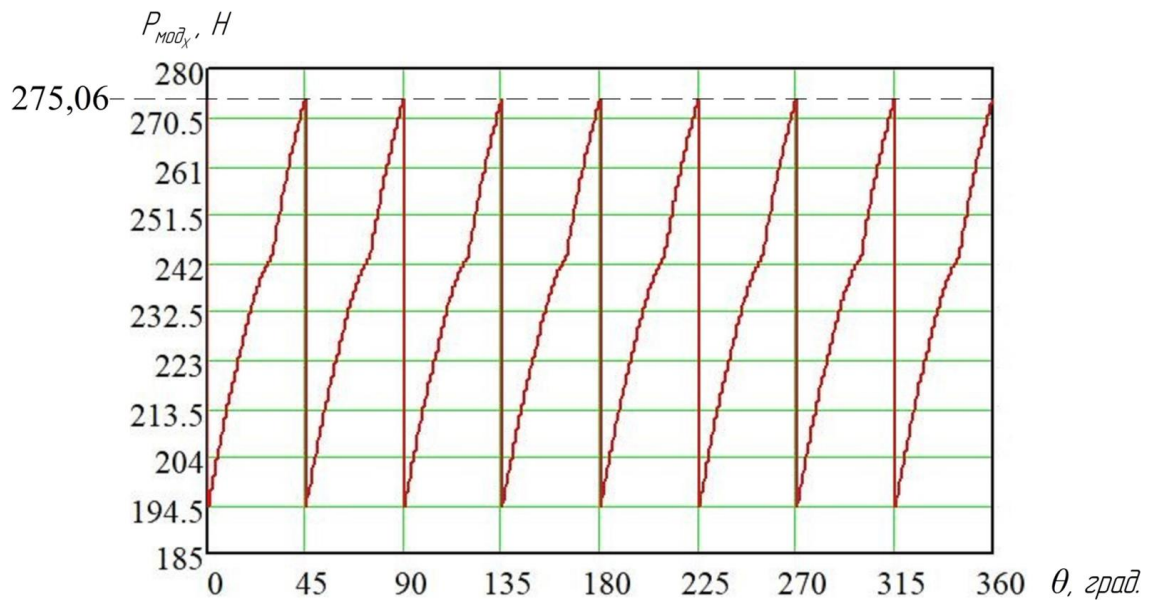


Рисунок 2.26 – График зависимости поперечной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы модуля, от угла поворота пальца вокруг оси вращения диска рабочего органа при рабочей скорости машины $V_X = 1,5$ км/ч

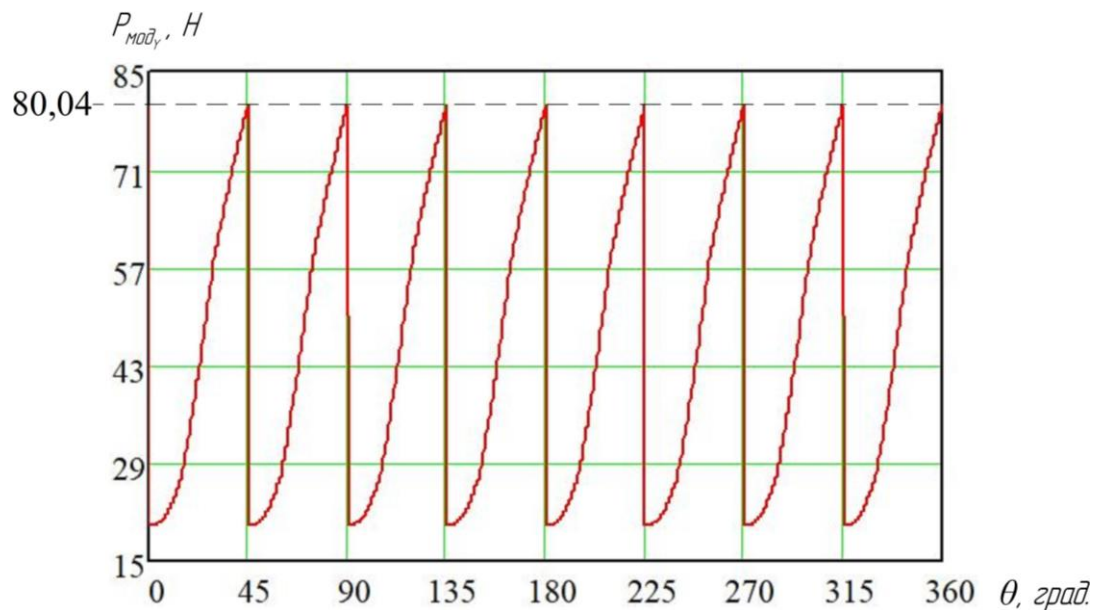


Рисунок 2.27 – График зависимости продольной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы модуля, от угла поворота пальца вокруг оси вращения диска рабочего органа при рабочей скорости машины $V_X = 1,5$ км/ч

Согласно проведённому расчёту, максимальное значение продольной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы модуля, составило $P_{\text{мод}_x \text{ max}} = 275,06$ Н, поперечной – $P_{\text{мод}_y \text{ max}} = 80,04$ Н.

2.9.8 Расчёт времени задержки подачи управляющего воздействия на исполнительный механизм

Исходя из выражений (2.67) и того, что рабочая скорость машины $V_X = 1,5$ км/ч, получим следующие значения времени задержки подачи управляющего воздействия на исполнительный механизм: $t_3^{\text{мод}} = t_3^p = 5,41$ мс, $t_3^u = t_3^c = 27,28$ мс.

Выводы по главе

1. Разработана принципиальная схема машины с автоматизированной системой управления рабочими органами, согласно которой обработку приствольной полосы производят два бесприводных ротационных рабочих органа, которые размещены на поворотных рамках, присоединённых к корпусу. Рабочие органы, поворотные рамки и корпус образуют модуль, который установлен на раме машины с возможностью перемещения в поперечном направлении. Машина снабжена двумя приводными устройствами, первое из которых предназначено для перемещения модуля в поперечном направлении, а второе – для сведения и разведения рабочих органов.

Управление положением рабочих органов происходит при помощи АСУ, которая включает подсистемы бесконтактного распознавания культурного растения, управления положением модуля и управления положением рабочих органов друг относительно друга. Для ручного управления оператором предусмотрены управляющее устройство и дисплей.

Принцип работы АСУ основан на обработке контроллером видеоизображений, получаемых от установленных на корпусе модуля видеокамер, в результате которой происходят: выявление цветового идентификатора культурного растения; расчёт количества сигналов шага, которые необходимо подать на первое приводное устройство для поперечного перемещения модуля; контроль достижения критичес-

кого значения положения модуля относительно культурного растения с последующей подачей сигналов разведения и сведения рабочих органов на второе приводное устройство.

2. Разработана структурная схема АСУ для обработки приствольной полосы, представляющей собой двухконтурную многоканальную замкнутую систему автоматического управления, которая функционирует на основе отрицательной обратной связи. В составе АСУ функционируют два взаимосвязанных контура автоматического регулирования, использующие общие измерительную подсистему и контроллер. Первый канал управления реализует контур автоматического регулирования отклонения модуля от культурного растения, второй – контур автоматического регулирования рабочего зазора. Управление осуществляется по принципу минимизации ошибки регулирования каждой из регулируемых координат. Координация работы контуров и реализация алгоритма работы АСУ осуществляются контроллером.

3. Разработан алгоритм работы АСУ для обработки приствольной полосы. Основными действиями и функциями предложенного алгоритма являются подготовка АСУ, запуск АСУ, обработка АСУ, передача видеоизображений с видеокамер на дисплей. Подготовка АСУ включает настройки входящих в её состав подсистем, запись и чтение данных, полученных в ходе настроек. Действия, выполняемые в ходе обработки АСУ: получение контроллером видеоизображений с видеокамер с последующим выявлением цветового идентификатора культурного растения, перемещение модуля в поперечном направлении, разведение и сведение рабочих органов, удержание рабочего зазора.

4. Установлен критерий работоспособности машины, представляющий собой систему выражений, связывающих между собой рабочий зазор, диаметр защитной зоны, точность позиционирования и расстояния между траекториями вращения пальцев левого и правого рабочих органов и границей защитной зоны.

5. Разработана математическая модель процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой, учитывающая совмещение его попе-

речного перемещения с продольным и описывающая взаимосвязь следующих групп параметров машины:

- конструктивно-технологических: ширины обработанной полосы; радиуса вращения оси рабочего органа вокруг оси вращения поворотной рамки; угла конусности конца пальца; рабочего диапазона модуля;
- кинематических: абсолютной скорости конца пальца и её продольной, поперечной и вертикальной составляющих; необходимой поперечной скорости модуля;
- силовых: силы сопротивления почвы, действующей на палец, и её продольной и поперечной составляющих; нормального напряжения, возникающего в пальце при изгибе от действия силы сопротивления почвы; продольной и поперечной сил сопротивления почвы, действующих на рабочие органы модуля; силы сопротивления движению машины.

6. Разработана математическая модель процесса подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины при автоматизированном управлении рабочими органами, описывающая взаимосвязь параметров, характеризующих задержку подачи управляющих воздействий (время задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения; время задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение; время задержки подачи управляющего воздействия на разведение рабочих органов; время задержки подачи управляющего воздействия на сведение рабочих органов), и рабочей скорости машины.

7. Разработана конструктивно-технологическая схема машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки почвы в плодопитомниках, основанная на её принципиальной схеме. Машина состоит из рамы, содержащей поперечную балку, навесное устройство и кронштейны, опорных колёс, левой и правой видеокамер, дисплея, контроллера и модуля, представляющего собой корпус с установленными на нём поворотными рамками, каждая из которых содержит бесприводные ротационные рабочие органы, винтового механизма, ша-

гового двигателя, драйвера, тяг, гидроцилиндра, электрогидрораспределителя, контроллера, ограничителей перемещения модуля, ограничителей перемещения штока гидроцилиндра, возбуждителя ограничителей перемещения штока, управляющего устройства оператора, полольных лап.

8. Выполнен расчёт параметров машины при углах наклона диска рабочего органа к горизонтальной плоскости $\varepsilon = 20^\circ$ и наклона пальца к оси вращения диска рабочего органа $\gamma = 25^\circ$, максимальном рабочем зазоре $S_{max}^{D_{33}} = 220$ мм, минимальном рабочем зазоре $S_{min} = 5$ мм, диаметре рабочего органа $d = 365$ мм, диаметре пальца $d_{\Pi} = 12$ мм, количестве пальцев рабочего органа $c = 8$, количестве рабочих органов модуля $n_{po} = 2$, рабочей скорости машины $V_X = 1,5$ км/ч, глубине обработки почвы $h = 80$ мм с учётом физико-механических свойств почвы и параметров посадок в плодopитомниках Алтайского края, согласно которому:

- рабочий диапазон модуля $Y_{рд} = 20,2$ см;
- расстояние между осью вращения рамки и осью вращения рабочего органа $R_p = 300$ мм, при этом угол поворота рамки $\alpha = 15,8^\circ$;
- ширина обработанной полосы $B_{пол} = 220$ мм;
- угол конусности конца пальца $\alpha_k = 50^\circ$;
- необходимая поперечная скорость модуля $V_{моду} = 0,2$ м/с;
- максимальное значение продольной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы модуля $P_{модX_{max}} = 275,06$ Н, поперечной – $P_{модY_{max}} = 80,04$ Н;
- время задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения и на разведение рабочих органов $t_3^{мод} = t_3^p = 5,41$ мс;
- время задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение и на сведение рабочих органов $t_3^H = t_3^c = 27,28$ мс.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАШИНЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В ПЛОДОПИТОМНИКАХ

Экспериментальные исследования машины направлены на:

- проверку предположения о виде зависимостей между параметрами, характеризующими задержку подачи соответствующего управляющего воздействия, и рабочей скоростью машины;
- проверку работоспособности машины, реализующей конструктивно-технологическую схему, структурную схему автоматизированной системы управления и алгоритм её работы;
- определение режимов работы машины.

Часть результатов исследований представлена в работах [122, 124, 152].

3.1 Программа экспериментальных исследований машины

Программа экспериментальных исследований включает:

- измерения параметров посадок в плодопитомниках;
- лабораторное исследование машины с ручной электрифицированной системой управления рабочими органами;
- лабораторное исследование машины с автоматизированной системой управления рабочими органами;
- лабораторно-полевое исследование опытного образца машины с автоматизированной системой управления рабочими органами.

Измерения параметров посадок в плодопитомниках направлены на получение данных для определения рабочего диапазона модуля $Y_{рд}$ и поперечной скорости модуля $V_{моду}$ (см. параграф 2.9.6).

Лабораторное исследование машины с ручной электрифицированной системой управления рабочими органами направлено на определение предполагаемых режимов работы машины при управлении рабочими органами оператором посредством электрооборудования.

Программа проведения исследования включает:

- 1) разработку и изготовление стенда, позволяющего имитировать процесс приствольной обработки почвы в плодopитомниках в ручном режиме посредством электрооборудования (далее – лабораторный стенд имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме);
- 2) проведение серии опытов для определения точности позиционирования S_0 ;
- 3) проведение серий однофакторных экспериментов для исследования зависимости коэффициента повреждения¹⁾ от рабочей скорости машины, шага культурных растений и смещения культурных растений при работе в лабораторных условиях.

Лабораторное исследование машины с автоматизированной системой управления рабочими органами направлено на:

- определение зависимостей $t_3^{\text{мод}}(V_X)$, $t_3^{\text{н}}(V_X)$, $t_3^{\text{р}}(V_X)$, $t_3^{\text{с}}(V_X)$ при работе в лабораторных условиях;
- определение максимальной допустимой рабочей скорости машины V_X .

Программа проведения исследования включает:

- 1) разработку и изготовление опытного образца машины;
- 2) изготовление стенда, позволяющего имитировать процесс приствольной обработки почвы в плодopитомниках в автоматизированном режиме (далее – лабораторный стенд имитации обработки почвы в автоматизированном режиме);
- 3) проведение однофакторного эксперимента для определения зависимостей $t_3^{\text{мод}}(V_X)$, $t_3^{\text{н}}(V_X)$, $t_3^{\text{р}}(V_X)$, $t_3^{\text{с}}(V_X)$ при работе в лабораторных условиях;
- 4) определение максимальной допустимой рабочей скорости машины V_X .

¹⁾ Термин введён на с. 150.

Лабораторно-полевое исследование опытного образца машины с автоматизированной системой управления рабочими органами направлено на:

- проверку работоспособности машины;
- определение коэффициентов задержки $A_3^{\text{мод}}$, $A_3^{\text{ц}}$, $A_3^{\text{р}}$, $A_3^{\text{с}}$;

Программа проведения исследования включает:

- 1) запуск опытного образца на поле с симитированным рядком культурных растений с последующей визуальной оценкой происходящих процессов;
- 2) определение коэффициентов задержки $A_3^{\text{мод}}$, $A_3^{\text{ц}}$, $A_3^{\text{р}}$, $A_3^{\text{с}}$.

3.2 Описание лабораторных установок

3.2.1 Описание имитатора рядка

Имитатор рядка, представленный на рисунке 3.1, содержит раму 1, на которой закреплены корпусные подшипники 2, натяжные устройства 3 и мотор-редуктор 4. На корпусных подшипниках 2 установлены приводной барабан 5 и натяжной барабан 6, которые обхватываются транспортёрной лентой 7, содержащей планки 8, предназначенные для закрепления имитаторов культурного растения 9, каждый из которых при проведении лабораторных исследований представлял собой пластмассовую трубочку с размещённым на ней кусочком изоленды красного цвета, выполняющим роль цветового идентификатора.

Зависимость между скоростью транспортёрной ленты $V_{\text{л}}$ и частотой тока, подаваемого на мотор-редуктор электродвигателя (далее – частота тока) $f_{\text{ток}}$, является линейной и задаётся выражением:

$$V_{\text{л}} = k_{\text{тл}} \cdot f_{\text{ток}}, \quad (3.1)$$

где $k_{\text{ТЛ}}$ – коэффициент пропорциональности между скоростью транспортёрной ленты и частотой тока, $k_{\text{ТЛ}} = 2,497 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{Гц}}$ ($8,989 \cdot 10^{-2} \frac{\text{км}}{\text{ч} \cdot \text{Гц}}$).

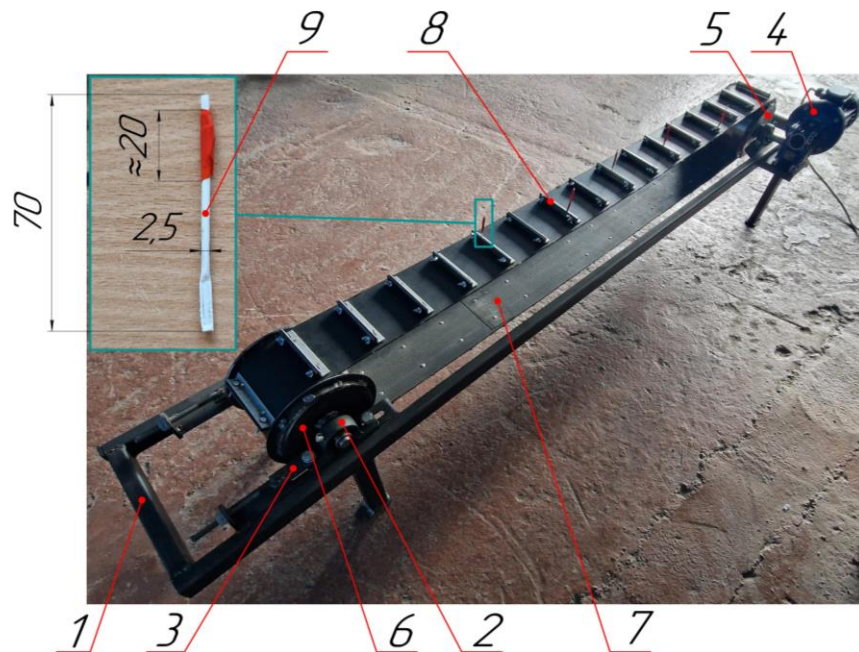


Рисунок 3.1 – Имитатор рядка (расшифровка позиций в тексте)

Изменение значения частоты тока происходит при помощи преобразователя частоты тока. Определение зависимости $V_{\text{л}} = V_{\text{л}}(f_{\text{ток}})$ представлено в приложении К. Основные параметры имитатора рядка приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные параметры имитатора рядка

Параметр	Значение
Длина транспортёрной ленты, мм	3 525
Длина рабочей ветви транспортёрной ленты, мм	1 500
Шаг планок, мм	100
Длина планок, мм	110
Количество планок, шт.	34
Отклонение имитаторов культурного растения от средней линии транспортёрной ленты, мм	от –55 до +55
Габаритные размеры:	
длина, мм	2 030
ширина, мм	435
высота, мм	245

3.2.2 Описание имитатора модуля машины

Имитатор модуля машины, представленный на рисунке 3.2, состоит из рамы 1, содержащей поперечную балку 2. На раме 1 закреплены шаговый двигатель 3, полиамидные пластины 4 и корпусные подшипники 5, на которых установлен винт шарико-винтовой передачи (далее – ШВП) 6, соединённый посредством упругой муфты 7 с выходным валом шагового двигателя 3. Гайка ШВП 8 жёстко соединена с корпусом 9, на котором закреплены имитаторы рамки 10 с установленными на них имитаторами рабочего органа 11, полиамидные пластины 12 и роликовая опора 13. Имитаторы рабочего органа 11 представляют собой пластины, зазор $S_{\text{лаб}}$ между которыми регулируется посредством изменения сопрягаемых отверстий в имитаторах рамок 10 и в пластинах 11. Полиамидные пластины 4 и полиамидные пластины 12 контактируют друг с другом, а роликовая опора 13 контактирует с рамой 1, что обеспечивает линейное перемещение корпуса 9 вдоль балки 2. Основные параметры имитатора модуля приведены в таблице 3.2.

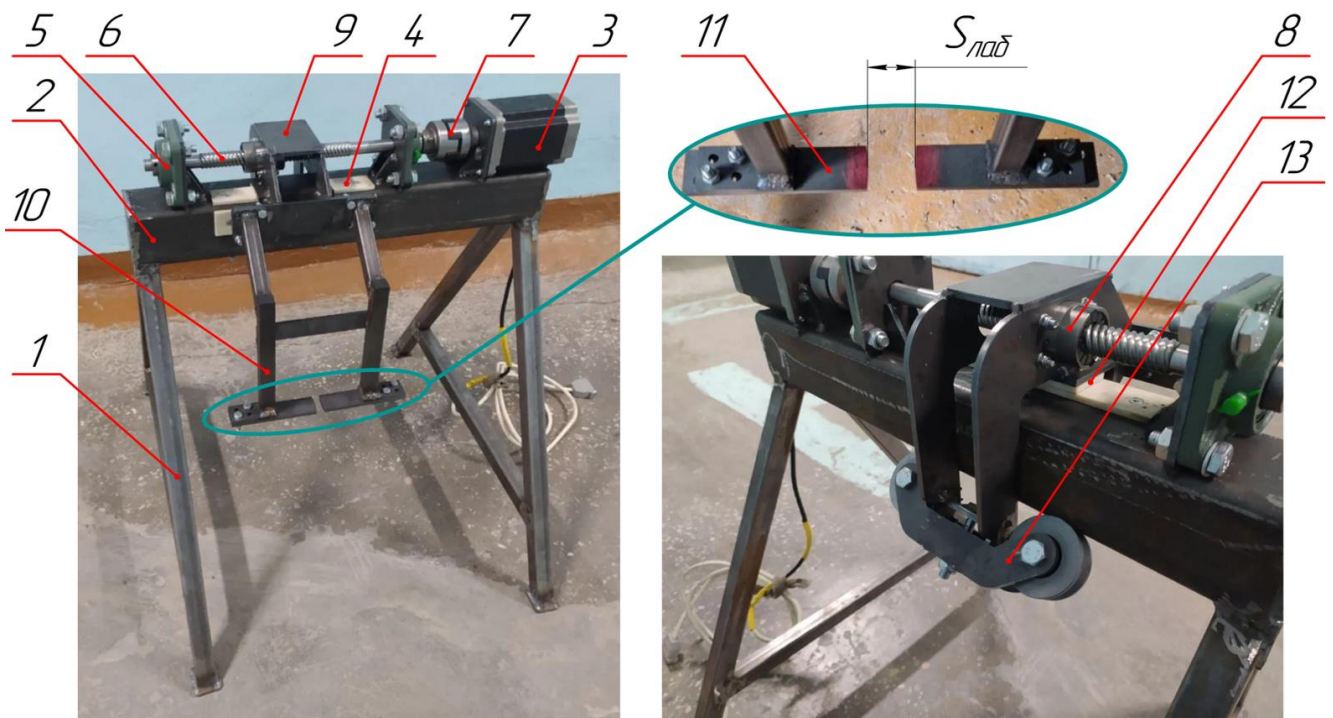


Рисунок 3.2 – Имитатор модуля машины (расшифровка позиций в тексте)

Таблица 3.2 – Основные параметры имитатора модуля машины

Параметр	Значение
Зазор между пластинами имитаторов рабочего органа $S_{\text{лаб}}$, мм	от 10 до 70 с шагом 10
Частота вращения выходного вала шагового двигателя $n_{\text{шд}}$, об/мин	до 264
Скорость корпуса имитатора модуля $V_{\text{ким}}$, мм/с	до 88
Диапазон перемещения корпуса имитатора модуля, мм	110
Габаритные размеры:	
длина, мм	705
ширина, мм	600
высота, мм	715

3.3 Описание опытного образца машины

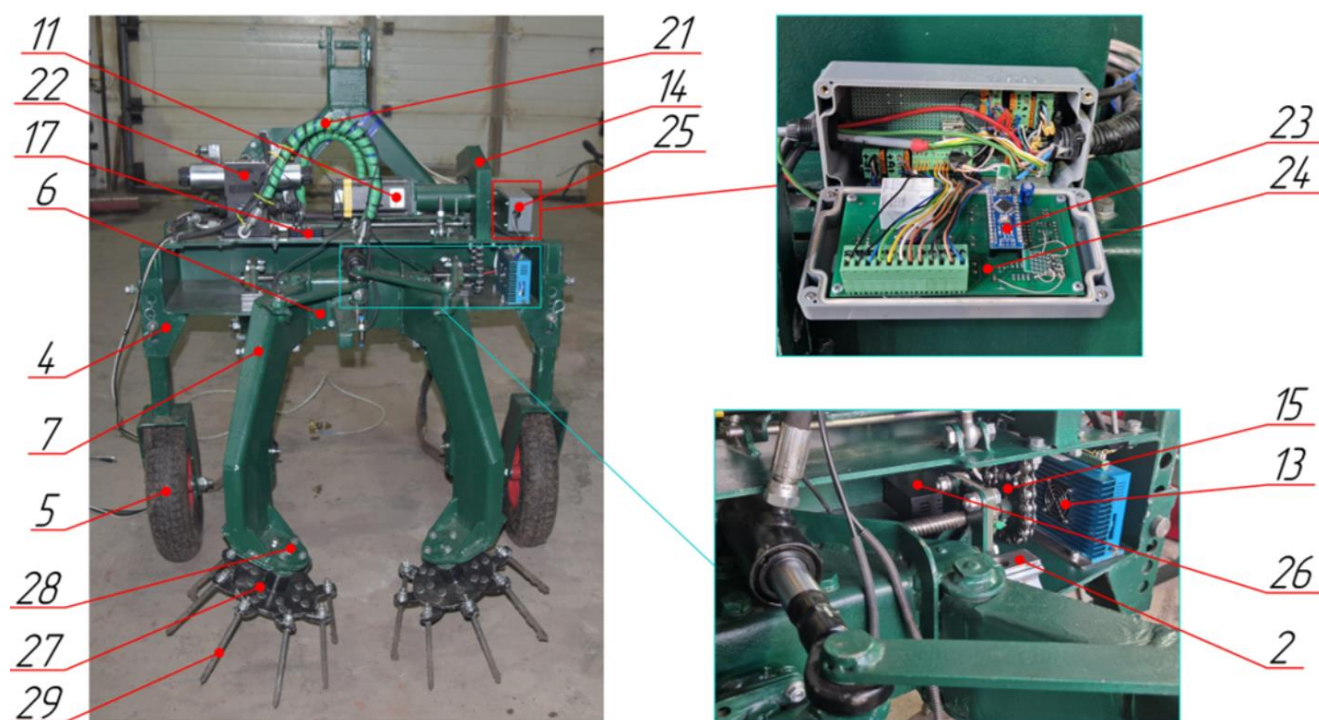
Опытный образец машины, представленный на рисунке 3.3, состоит из рамы 1, содержащей направляющую 2, навесное устройство 3 и кронштейны 4, в которых установлены опорные колёса 5, и модуля.

Модуль состоит из корпуса 6, на котором шарнирно установлены поворотные рамки 7 с возможностью поворота в вертикальной плоскости и который присоединён к направляющей 2 посредством каретки 8. Корпус 6 имеет возможность перемещения с одной степенью свободы вдоль направляющей 2 посредством ШВП, состоящей из винта 9 и гайки 10. Винт 9 относительно направляющей 2 имеет одну степень свободы с возможностью вращения посредством установленного на раме 1 шагового двигателя 11, посредством электропроводов 12 соединённого с драйвером 13, и цепной передачи, состоящей из ведущей звёздочки (на рисунке не показана), закрытой защитным кожухом 14, и ведомой звёздочки 15. Ведущая звёздочка соединена с выходным валом шагового двигателя 11, а ведомая звёздочка 15 – с винтом 9. Применение цепной передачи позволяет повысить крутящий момент, передаваемый винту 9. Гайка 10 установлена на корпусе 6.

На корпусе 6 симметрично относительно его продольной плоскости симметрии установлены две видеокамеры 16, посредством электропроводов 12 и USB-концентратора 17 соединённые с ноутбуком (на рисунке не показан).



а)



б)

Рисунок 3.3 – Опытный образец машины: а) вид слева с выносными элементами;
 б) вид сзади с выносными элементами (расшифровка позиций в тексте)

Поворотные рамки 7 посредством тяг 18, 19 соединены со штоком гидроцилиндра 20, установленного на корпусе 6 и посредством гидрошлангов 21 соединённого с электрогидрораспределителем 22, посредством электропроводов 12 соединённым с микроконтроллером 23, размещённым на плате 24. Во время проведения лабораторного исследования электрогидрораспределитель 22 посредством гидрошлангов 21 был соединён с гидросистемой гидравлического стенда (на рисунке не показан), во время проведения лабораторно-полевого исследования – с гидросистемой трактора (на рисунке не показан). Плата 24 расположена в защитном корпусе 25, размещённом на раме 1, и посредством электропроводов 12 соединена с ноутбуком.

Драйвер 13 посредством электропроводов 12 соединён с микроконтроллером 23 и аккумулятором (на рисунке не показан), причём для обеспечения необходимой поперечной скорости модуля, значение которой рассчитано в параграфе 2.8.6, между аккумулятором и драйвером 13 установлен повышающий преобразователь напряжения 26. Также с аккумулятором посредством электропроводов 12 соединён электрогидрораспределитель 22. На каждой поворотной рамке 7 установлен бесприводной ротационный рабочий орган, который выполнен в виде диска 27, установленного на оси 28, закреплённой под острым углом к вертикали, с пальцами 29, жёстко закреплёнными по периферии диска 27 под острым углом к оси 28.

На раме 1 и на корпусе 6 также закреплено по два индуктивных датчика 30, 31 и 32, 33, выступающих в качестве ограничителей перемещения штока гидроцилиндра 20 и ограничителей перемещения модуля соответственно. Индуктивные датчики 30, 31, 32, 33 соединены с платой 24. Помимо этого на тяге 19 посредством резьбового соединения и шплинта 34 установлен возбуждатель 35 индуктивных датчиков 30, 31, а на раме 1 установлены полостьные лапы 36.

Контроллером в опытном образце и лабораторных стендах (с. 135, с. 140) выступает комплекс «процессор ноутбука + микроконтроллер». Основные параметры опытного образца машины представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Основные параметры опытного образца машины

Параметр	Значение
Масса, кг	190 (согласно 3D-модели в программе «КОМПАС-3D»)
Габаритные размеры:	
длина, мм	1 150
ширина, мм	от 1 030 до 1 150
высота, мм	1 300
Частота вращения выходного вала шагового двигателя $n_{шд}$, об/мин	до 443
Поперечная скорость модуля $V_{моду}$, мм/с	до 128
Рабочий зазор S , мм	от 5 до 270
Диапазон перемещения модуля*, мм	640
* В отличие от конструктивно-технологической схемы машины, представленной на с. 105, диапазон перемещения модуля задан конструктивно и неизменяемо.	

3.4 Описание лабораторных стендов

3.4.1 Описание лабораторного стенда имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме

Лабораторный стенд имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме состоит из имитатора рядка, имитатора модуля машины, корпус которого способен совершать движение в поперечном направлении относительно транспортёрной ленты имитатора рядка, стендовой версии АСУ № 1 и преобразователя частоты тока.

Стендовая версия АСУ № 1 (рисунок 3.4) состоит из: видеокамеры 1, установленной на корпусе имитатора модуля и соединённой с ноутбуком 2 посредством USB-порта; управляющего устройства оператора в виде геймпада 3¹⁾, соединённого

¹⁾ Впоследствии была предпринята попытка применения джойстика вертолётного типа, в качестве которого выбран джойстик Logitech Attack 3 [186]. Данный вид управляющего устройства в сравнении с геймпадом отличился более высокими удобством пользования и контролем управления. Геймпад нужно держать двумя руками либо разместить на опорной поверхности и

с ноутбуком посредством USB-порта; платы 4, содержащей микроконтроллер 5 и соединённой с драйвером 6 и двумя индуктивными датчиками 7, закреплёнными на корпусе имитатора модуля симметрично относительно его продольной плоскости симметрии и выступающими в качестве ограничителей перемещения имитатора модуля. Драйвер 6 соединён с шаговым двигателем (на рисунке не показан). Питание драйвера 6 – от блока питания 8.

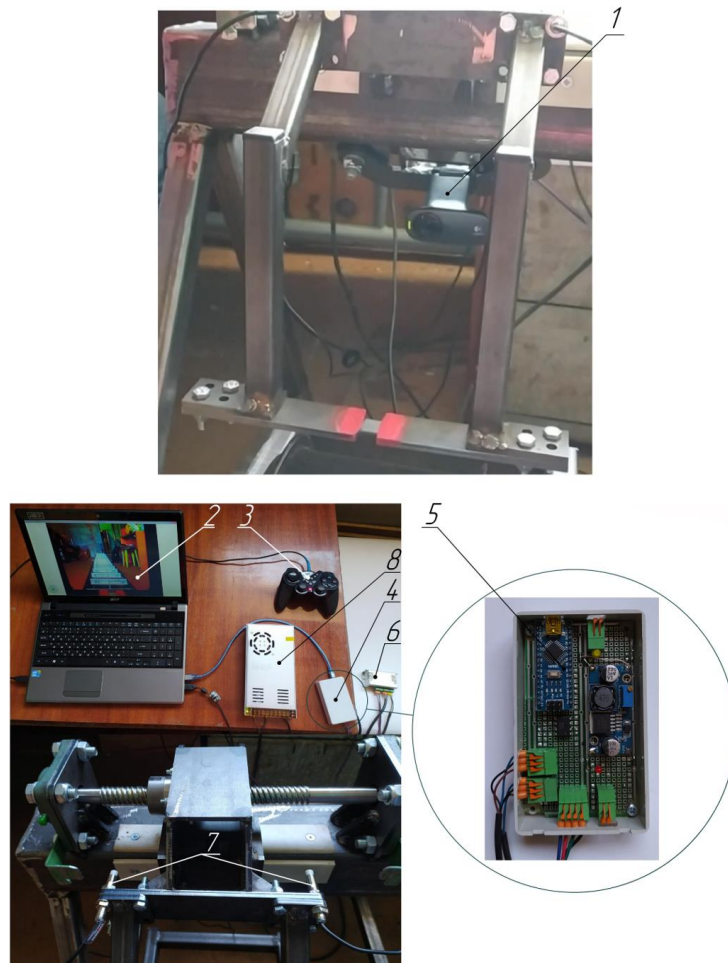


Рисунок 3.4 – Элементы АСУ № 1 (расшифровка позиций в тексте)

В отличие от конструктивно-технологической схемы машины, представленной на с. 105, в данном лабораторном стенде:

- установлена только одна видеокамера с целью упрощения визуального отслеживания имитатора культурного растения оператором;

управлять его джойстиком при помощи пальцев, а джойстик вертолётного типа возможно разместить на опорной поверхности и держать не двумя руками, а одной.

- не предусмотрено разведение и сведение имитаторов рабочего органа;
- диапазон перемещения модуля задан конструктивно и неизменяемо.

Перед началом работы стенда, представленного на рисунке 3.5, выполняется его подготовка, которая включает:

1. Настройку параметров цветопередачи видеоизображения посредством программы производителя видеокамеры 1.
2. Запуск программы АСУ (описание программы приведено на с. 138–139).
3. Выбор управляющего устройства оператора из перечня доступных к использованию.
4. Выбор видеокамеры 1 из перечня доступных к использованию.
5. Выбор необходимой ориентации видеоизображения, получаемой с видеокамеры 1.
6. Проверка статуса связи между ноутбуком 2 и управляющим устройством оператора.

Лабораторный стенд имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме работает следующим образом. Посредством блока управления мотор-редуктором 3 (на рисунке не показан), содержащего преобразователь частоты тока, происходит запуск мотор-редуктора 3, вследствие чего начинается движение транспортёрная лента 4. Видеокамера 1 передаёт видеоизображение на дисплей ноутбука 2, по которому оператор визуально контролирует положение имитаторов рабочего органа 5 относительно приближающихся имитаторов культурного растения. Отклонение джойстика геймпада 6 оператором в ту или иную сторону приводит к подаче сигнала на ноутбук 2, с которого затем управляющее воздействие посредством микроконтроллера 7 поступает на драйвер 8 шагового двигателя 9. Это, в свою очередь, вызывает вращение выходного вала шагового двигателя 9 и, соответственно, вращение винта ШВП 10, что приводит к движению корпуса имитатора модуля 11 и, таким образом, имитаторов рабочего органа 5 в поперечном направлении. Большему отклонению джойстика геймпада 6 от исходного положения соответствует большая скорость корпуса имитатора модуля 11 $V_{\text{ким}}$.

Выполняя описанные выше действия, оператор управляет положением имитаторов рабочего органа 5, стараясь обеспечивать попадание имитаторов культурного растения в зазор $S_{\text{лаб}}$ между их пластинами 12. При попадании элемента рамы имитатора модуля 13 в поле действия одного из индуктивных датчиков 14 сигнал с него последовательно поступает на микроконтроллер 7 и ноутбук 2, что приводит к остановке корпуса имитатора модуля 11.

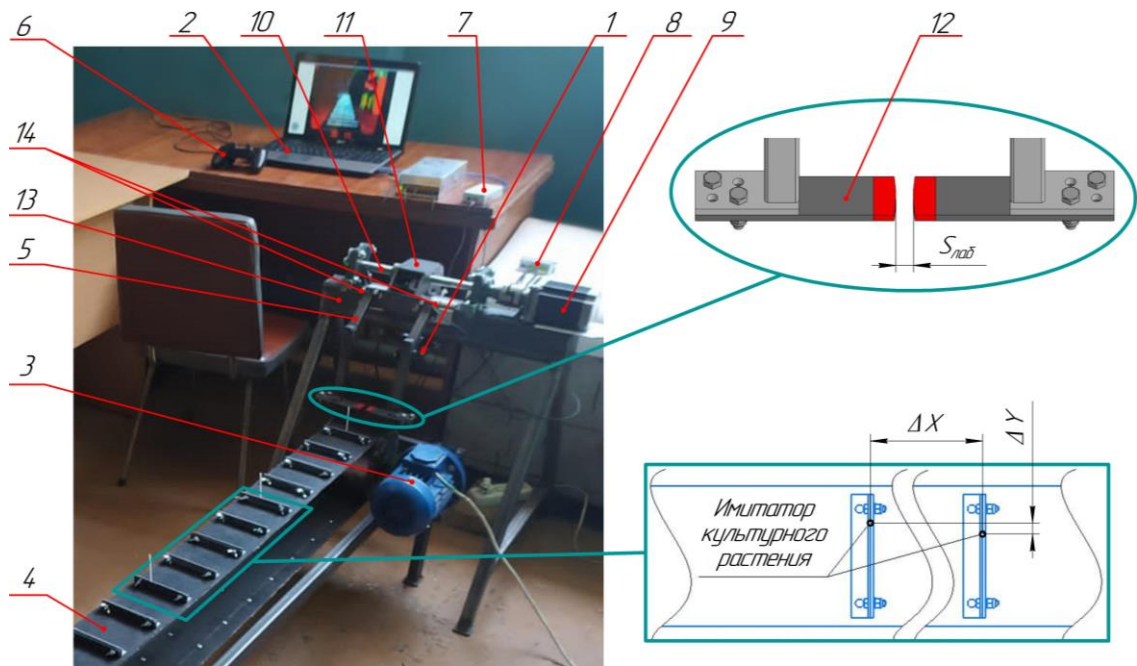
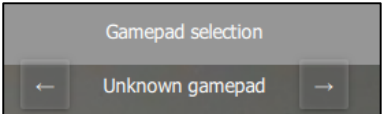
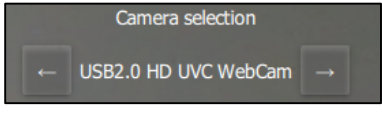
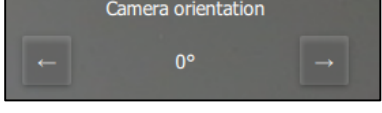
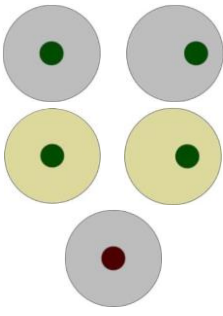


Рисунок 3.5 – Лабораторный стенд имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме (расшифровка позиций в тексте)

Подготовка к работе стенда после настройки параметров цветопередачи видеоизображения и работа стенда происходят при помощи программы управления рабочими органами машины в ручном электрифицированном режиме, разработанной в среде Visual Studio Code. Запуск данной программы на ноутбуке 4 выполняет оператор, и работает она совместно с программой подачи управляющих воздействий от микроконтроллера 7 на элементы исполнительных механизмов, разработанной в среде Arduino IDE и предварительно загруженной в микроконтроллер 7. Её запуск происходит автоматически при установлении соединения с ноутбуком 2 посредством его USB-порта. Вызов меню настройки происходит путём нажатия кнопки «Esc». Язык упомянутых программ – C++.

Перечень элементов пользовательского окна данной программы представлен в таблице 3.4. Программа управления рабочими органами машины для приствольной обработки почвы в ручном электрифицированном режиме защищена свидетельством о регистрации программы для ЭВМ [135].

Таблица 3.4 – Перечень элементов пользовательского окна программы управления рабочими органами машины в ручном электрифицированном режиме

Элемент	Графическое отображение	Функция
Раздел с перечнем управляющих устройств оператора		Отображение доступных к использованию управляющих устройств оператора с возможностью выбора необходимого
Раздел с перечнем видеокамер		Отображение доступных к использованию видеокамер с возможностью выбора необходимой
Раздел ориентации видеоизображения		Отображение угла поворота видеоизображения, кратного 90°, с возможностью выбора необходимого (частный случай – 0°)
Блок отображения состояния элементов управляющего устройства оператора (джойстика и кнопки подачи сигнала разведения рабочих органов)	Варианты отображения в зависимости от состояния, в котором находится управляющее устройство оператора 	- Индикация статуса связи между ноутбуком и управляющим устройством оператора (зелёный цвет круга свидетельствует об установленной связи, красный – о не установленной). - Визуализация положения джойстика относительно нейтрального положения. - Индикация статуса сигнала разведения рабочих органов, подаваемого при нажатии кнопки управляющего устройства оператора (серый цвет фонового круга свидетельствует об отсутствии сигнала, жёлтый – о его наличии)
Примечание – Поскольку в конструкции имитатора модуля машины разведение и сведение имитаторов рабочего органа не предусмотрено, то в рамках проведения лабораторного исследования на стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме кнопка, отвечающая за подачу соответствующего сигнала, не была использована.		

Перечень оборудования, используемого в лабораторном стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме, представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Оборудование, используемое в лабораторном стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме

Оборудование	Обозначение
Блок питания	(24В, 360 Вт) [11]
Видеокамера	Logitech C310 HD [180]
Геймпад	DVTECH JS35 Vibro Master [20]
Драйвер	MD5-ND14 [171]
Индуктивный датчик	AR-LM8-3002PA [46]
Мотор-редуктор	8Ч 40-УК [142]
Ноутбук	Acer Aspire 5745DG-373G32Miks [173]
Микроконтроллер	Arduino Nano 3.0 [176]
Преобразователь частоты тока	ATV312H037M2 Schneider Electric [175]
Шаговый двигатель	A63K-M5913 Autonics [171]

3.4.2 Описание лабораторного стенда имитации обработки почвы в автоматизированном режиме

Лабораторный стенд имитации обработки почвы в автоматизированном режиме состоит из имитатора рядка, опытного образца машины с элементами стендовой версии АСУ № 2, преобразователя частоты тока и гидравлического стенда. Для удобства проведения эксперимента выполнена адаптация опытного образца путём следующих действий:

- установка взамен рабочих органов их имитаторов в виде пластин;
- снятие опорных колёс и полольных лап;
- размещение на стойках.

К элементам стендовой версии АСУ № 2 относятся: видеокамеры, USB-концентратор, плата с микроконтроллером, драйвер, четыре индуктивных датчика, повышающий преобразователь напряжения.

В отличие от конструктивно-технологической схемы машины, представленной на с. 105, переключение на управление оператором в данном стенде не предусмотрено вследствие того, что при проведении настоящего лабораторного исследования это не является необходимым.

Перед началом работы стенда, представленного на рисунке 3.6, выполняется его подготовка, которая включает:

1. Задание диапазона перемещения имитаторов рабочего органа 1 друг относительно друга.
2. Запуск программы АСУ (описание программы приведено на с. 145–147).
3. Последовательный запуск настроек АСУ.

Каждое из указанных действий выполняется единожды с последующей записью данных о настройках в файл в виде массива, которые программа считывает при повторном запуске. При необходимости указанные настройки выполняются повторно, а данные о них перезаписываются.

Задание диапазона перемещения имитаторов рабочего органа 1 друг относительно друга происходит путём установки индуктивных датчиков 2, 3 таким образом, чтобы выполнялся критерий работоспособности машины (см. систему выражений (2.5)). После этого оператор запускает программу АСУ.

Для запуска настройки системы управления положением имитаторов рабочего органа 1 друг относительно друга оператор нажимает соответствующую кнопку в программе, после чего с ноутбука 4 сигнал последовательно подаётся на микроконтроллер (на рисунке не показан) и электрогидрораспределитель 5, который подключён к гидравлическому стенду 6 и который воздействует на гидроцилиндр 7, что вызывает выдвигание его предварительно полностью втянутого штока. Это приводит посредством тяг 8 к разведению имитаторов рабочего органа 1 до тех пор, пока возбудитель 9 индуктивных датчиков 2, 3 не попадёт в поле действия датчика 2. Далее сигнал с индуктивного датчика 2 последовательно подаётся на микроконтроллер и электрогидрораспределитель 5, что приводит к сведению имитаторов рабочего органа 1. Перемещение имитаторов рабочего органа 1 происходит до тех пор, пока возбудитель 9 индуктивных датчиков 2, 3 не попадёт в поле действия датчика 3. После этого сигнал с индуктивного датчика 3 последовательно подаётся на микроконтроллер и электрогидрораспределитель 5, что вызывает остановку движения штока гидроцилиндра 7 и, соответственно, остановку перемещения имитаторов рабочего органа 1 друг относительно друга. В результате

данной настройки происходит определение контроллером крайних положений имитаторов рабочего органа 1 друг относительно друга – в разведённом и сведённом состояниях.

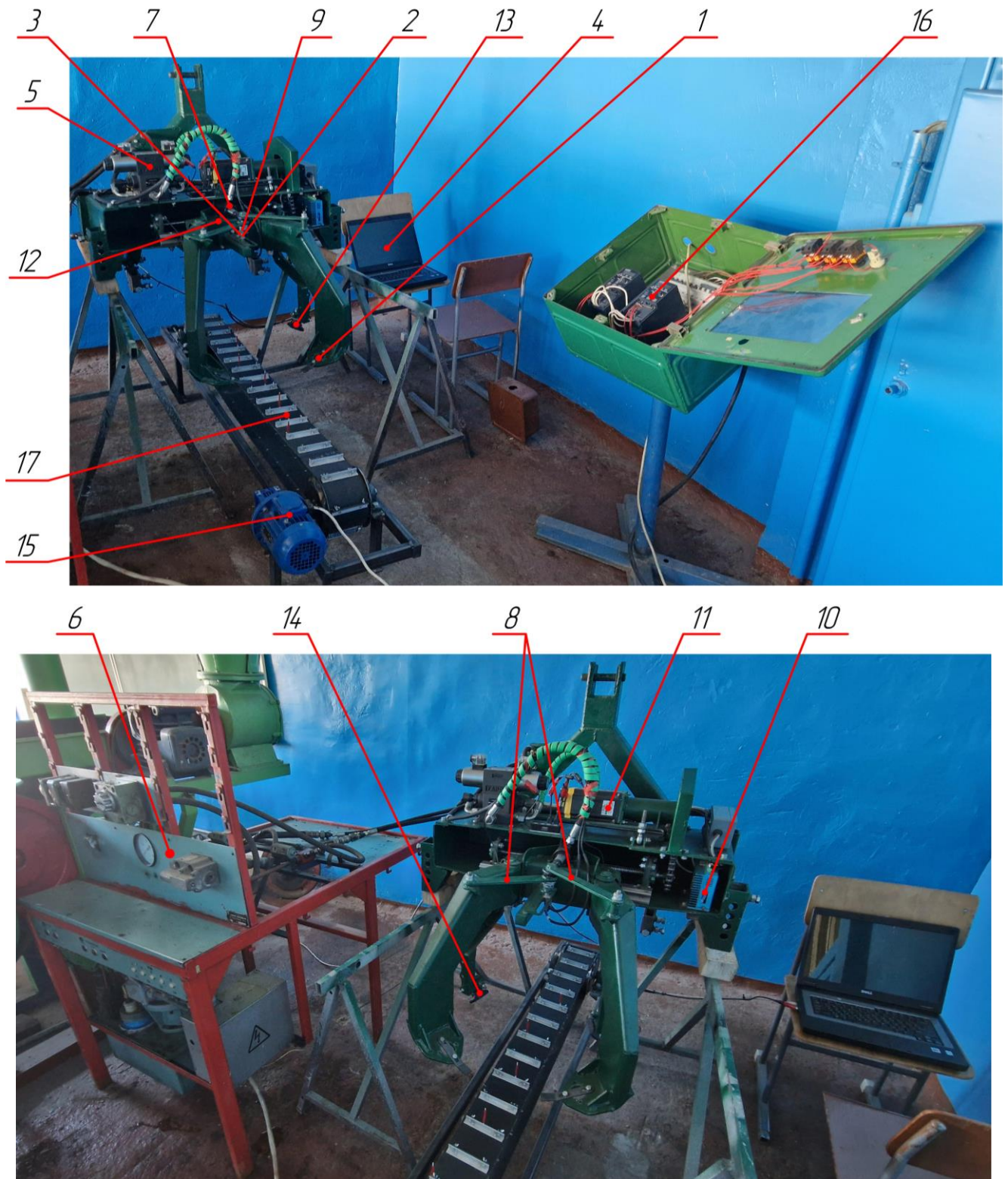


Рисунок 3.6 – Лабораторный стенд имитации обработки почвы в автоматизированном режиме (расшифровка позиций в тексте)

Для запуска настройки подсистемы управления положением модуля оператор нажимает соответствующую кнопку в программе, после чего с ноутбука 4 сигнал последовательно подаётся на микроконтроллер и драйвер 10, который, в свою очередь, воздействует на шаговый двигатель 11, что приводит к перемещению модуля в поперечном направлении посредством ШВП. Перемещение модуля происходит до тех пор, пока его корпус 12 не попадёт в поле действия левого индуктивного датчика (на рисунке не показан). Далее сигнал от левого индуктивного датчика последовательно подаётся на микроконтроллер и на драйвер 10, который воздействует на шаговый двигатель 11, выходной вал которого, вращаясь, приводит к перемещению модуля в поперечном направлении в противоположную сторону. Перемещение модуля происходит до тех пор, пока его корпус 12 не попадёт в поле действия правого индуктивного датчика. После этого сигнал от правого индуктивного датчика последовательно подаётся на микроконтроллер и драйвер 10, что приводит к перемещению модуля в первоначальную сторону до тех пор, пока модуль не займёт центральное положение. Таким образом, в результате настройки подсистемы управления положением модуля происходит определение контроллером его крайних и центрального положений.

Для запуска настройки подсистемы бесконтактного распознавания имитатора культурного растения, выполняемой отдельно для каждой из видеокамер 13 и 14, оператор нажимает соответствующую кнопку, после чего активирует функцию выявления цветового идентификатора культурного растения, совершив одно из двух следующих действий (по собственному усмотрению):

- выделение курсором мыши области видеоизображения, полностью заполненной цветовым идентификатором;
- наведение курсора мыши на цветовой идентификатор на видеоизображении с последующим нажатием левой кнопки мыши.

После этого программа переходит в режим выявления цветового идентификатора и всякий раз при появлении его в поле зрения видеокамер 13 и/или 14 помечает этот идентификатор флажками вдоль горизонтальной и вертикальной осей

дисплея, а сам цветовой идентификатор обрамляет прямоугольной рамкой одного из следующих цветов:

- зелёным, если цветовой идентификатор был выявлен на обоих видеоизображениях (обрамление при этом происходит на обоих видеоизображениях);
- красным, если размер объекта, обладающего тем же цветом, что и цветовой идентификатор, меньше минимально допустимого (что не определяется программой как цветовой идентификатор);
- чёрным, если на одном видеоизображении цветовой идентификатор был выявлен (на нём и происходит обрамление), а на другом не был.

Для улучшения процесса выявления цветового идентификатора предусмотрены поля для ввода значений параметров цветопередачи согласно цветовой палитре HSV.

Таким образом, в результате настройки подсистемы бесконтактного распознавания имитатора культурного растения происходит задание цвета, выявление которого служит основанием для распознавания имитатора культурного растения.

Лабораторный стенд имитации обработки почвы в автоматизированном режиме работает следующим образом. Посредством блока управления мотор-редуктором 15, содержащего преобразователь частоты тока 16, происходит запуск мотор-редуктора 15, вследствие чего начинается движение транспортёрная лента 17.

Контроллер непрерывно получает видеоизображения от видеокамер 13, 14 которые также поступают на дисплей ноутбука 4. Выполняя обработку видеоизображений, процессор ноутбука 4 выявляет цветовой идентификатор i -го имитатора культурного растения и помечает его центр флажками $\Phi_{Xiл}$, $\Phi_{Xiп}$, а нижнюю границу – флажками $\Phi_{Yiл}$ и $\Phi_{Yiп}$. После выявления цветового идентификатора на обоих видеоизображениях процессор ноутбука 4 выполняет расчёт значения параметра ΔX_{Di} , на основании чего спустя время $t_3^{\text{мод}}$ контроллер подаёт управляющее воздействие на шаговый двигатель 11 посредством драйвера 10, что приводит к вращению выходного вала шагового двигателя 11 и, следовательно, к перемещению модуля таким образом, чтобы значения параметра Δ находилось в допустимом

диапазоне (а именно, согласно результатам экспериментов, проведённых на лабораторном стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме (с. 167), $\Delta \in [0; 10 \text{ мм}]$).

После достижения флажком $\Phi_{Y_{il}}$ или флажком $\Phi_{Y_{ip}}$ нижнего критического значения координаты $Y_{дн}$ контроллер спустя время t_3^p подаёт управляющее воздействие на электрогидрораспределитель 5, что приводит к разведению имитаторов рабочего органа 1 до достижения рабочего зазора $S_{max}^{D_{33}}$. После прохождения имитатора культурного растения, в случае если флажки $\Phi_{Y(i+1)л}$ и $\Phi_{Y(i+1)п}$ не достигли значения координаты $Y_{дв}$, контроллер спустя время t_3^c подаёт управляющее воздействие на электрогидрораспределитель 5, что приводит к сведению имитаторов рабочего органа 1.

В случае если за время t_3^u после пропадания флажка $\Phi_{X_{il}}$ или флажка $\Phi_{X_{ip}}$ на одном из видеоизображений на дисплее ноутбука 4 флажки $\Phi_{X(i+1)л}$ и $\Phi_{X(i+1)п}$ не появляются совместно, то контроллер подаёт управляющее воздействие на шаговый двигатель 11 посредством драйвера 10, что приводит к перемещению модуля в центральное положение.

При попадании модуля в поле действия левого или правого индуктивных датчиков происходит его остановка. При попадании штока гидроцилиндра 7 в поле действия одного из индуктивных датчиков 2 (3) происходит его остановка и, как следствие, прекращение разведения (сведения) имитаторов рабочего органа 1.

Подготовка к работе и работа стенда происходят при помощи программы управления рабочими органами машины в автоматизированном режиме, разработанной в среде PyCharm на языке Python. Запуск данной программы на ноутбуке 4 выполняет оператор, и работает она совместно с программой подачи управляющих воздействий от микроконтроллера на элементы исполнительных механизмов, разработанной в среде Arduino IDE на языке C++ и предварительно загруженной в микроконтроллер. Её запуск происходит автоматически при установлении соединения с ноутбуком 4.

Пользовательское окно программы управления рабочими органами машины в автоматизированном режиме представлено на рисунке 3.7. Перечень элементов пользовательского окна данной программы представлен в таблице 3.6.

Программа управления рабочими органами машины для приставочной обработки почвы в автоматизированном режиме защищена свидетельством о регистрации программы для ЭВМ [136].

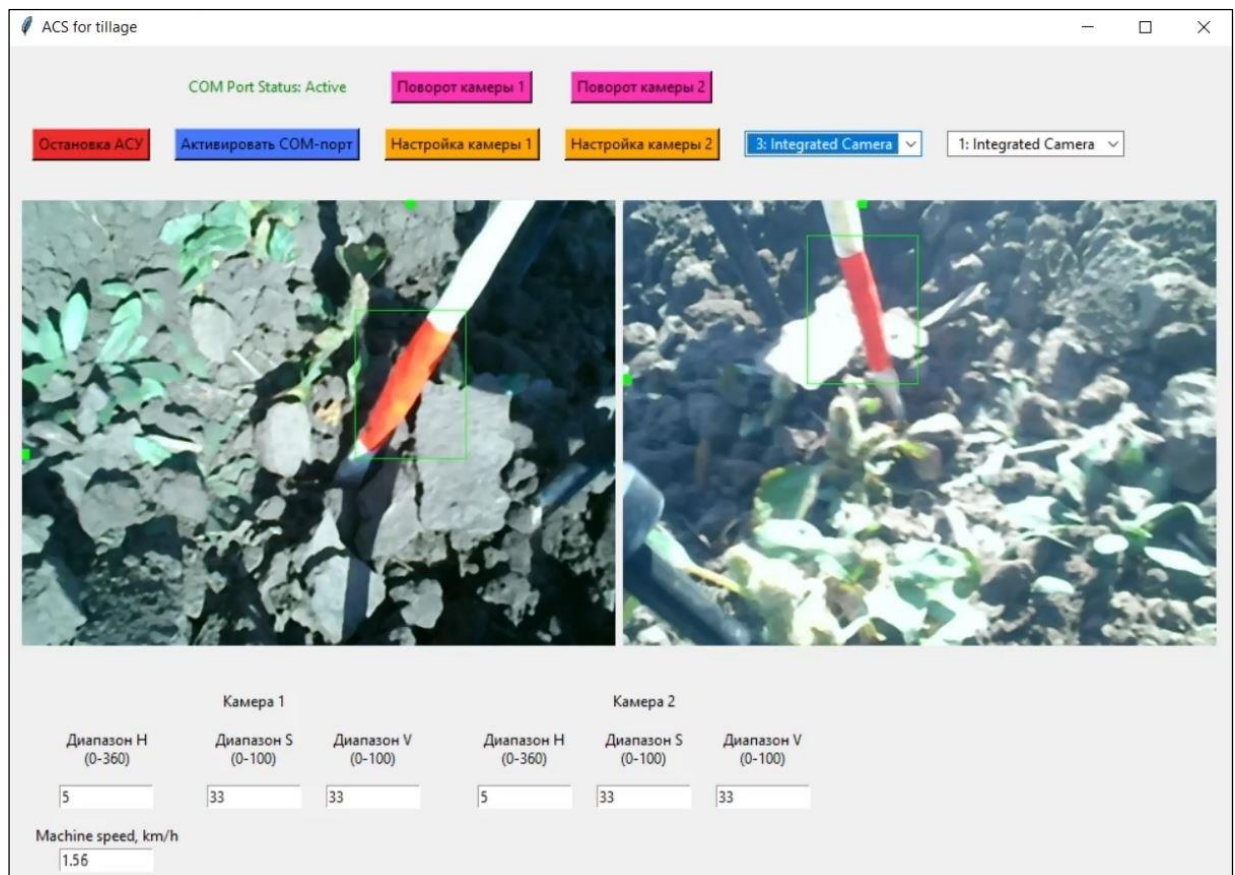
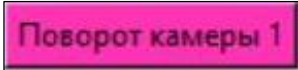
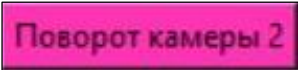
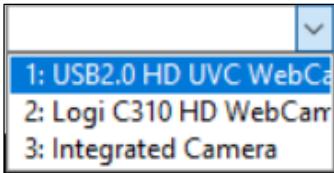
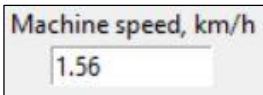


Рисунок 3.7 – Пользовательское окно программы управления рабочими органами машины в автоматизированном режиме

Таблица 3.6 – Перечень элементов пользовательского окна программы управления в автоматизированном режиме рабочими органами машины

Элемент	Графическое отображение	Функция
1	2	3
Кнопки «Запуск АСУ» и «Остановка АСУ»		Запуск и остановка АСУ соответственно (после нажатия первой кнопки происходит её замена на вторую и наоборот)

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3												
Кнопка активации COM-порта		Установление соединения с микроконтроллером												
Строка статуса COM-порта	  	Отображение статуса соединения с микроконтроллером (варианты статуса: «Active», если соединение установлено; «Inactive», если соединение не установлено; «Arduino not found», если после нажатия кнопки активации COM-порта микроконтроллер не был обнаружен)												
Кнопки ориентации видеоизображения	 	Поворот видеоизображения на угол, кратный 90° (частный случай – 0°)												
Кнопки запуска настройки подсистемы бесконтактного распознавания культурного растения	 	Запуск настройки подсистемы бесконтактного распознавания культурного растения												
Кнопки с перечнем видеокамер		Отображение доступных к использованию видеокамер с возможностью выбора необходимых												
Поле ввода рабочей скорости машины		Ввод значения рабочей скорости машины												
Раздел с настройкой параметров цветопередачи видеокамер согласно цветовой палитре HSV	Камера 1 <table> <tr> <td>Диапазон H (0-360)</td> <td>Диапазон S (0-100)</td> <td>Диапазон V (0-100)</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>33</td> <td>33</td> </tr> </table> Камера 2 <table> <tr> <td>Диапазон H (0-360)</td> <td>Диапазон S (0-100)</td> <td>Диапазон V (0-100)</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>33</td> <td>33</td> </tr> </table>	Диапазон H (0-360)	Диапазон S (0-100)	Диапазон V (0-100)	5	33	33	Диапазон H (0-360)	Диапазон S (0-100)	Диапазон V (0-100)	5	33	33	Ввод значений параметров цветопередачи «Hue», «Saturation» и «Value» (тон, насыщенность, значение соответственно)
Диапазон H (0-360)	Диапазон S (0-100)	Диапазон V (0-100)												
5	33	33												
Диапазон H (0-360)	Диапазон S (0-100)	Диапазон V (0-100)												
5	33	33												

Перечень оборудования, используемого в лабораторном стенде имитации обработки почвы в автоматизированном режиме, представлен в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Оборудование, используемое в лабораторном стенде имитации обработки почвы в автоматизированном режиме

Оборудование	Обозначение
Аккумулятор	6СТ-60VLA [4]
Блок питания	(24В, 360 Вт) [11]
Видеокамера	Logitech C310 HD [180]
Гидравлический стенд	ОЛ-10 [57]
Гидроцилиндр	ЕДГЦ 037.000-02 [22]
Драйвер	HBS86H [56]
Дроссель	ДКМ 10.3 П [40]
Индуктивный датчик, выступающий в качестве ограничителя перемещения модуля	AR-LM8-3002PA [46]
Индуктивный датчик, выступающий в качестве ограничителя перемещения штока гидроцилиндра	AR-LM12-3004NC [47]
Мотор-редуктор	8Ч 40-УК [142]
Ноутбук	ASUS Vivobook 16 OLED (M1605) [177]
Микроконтроллер	Arduino Nano 3.0 [176]
Повышающий преобразователь напряжения	XW-12-36-36W~1080W [193]
Преобразователь частоты тока	ATV312H037M2 Schneider Electric [175]
Установочная плита	BE10 [103]
Шаговый двигатель	86EBP181ALC [56]
Электрогидрораспределитель	BE10 64 Г12 УХЛ4 [21]

3.5 Методика проведения и обработки данных экспериментов

3.5.1 Описание проведения измерений параметров посадок в плодopитомниках и порядок обработки полученных данных

Параметры посадок определяли в трёх плодopитомниках Алтайского края (обозначены номерами – 1, 2 и 3). В плодopитомнике № 1 измерения проводили на посадках вишни, выполненных вручную в щели, образованные щелеобразователем с бесприводными рабочими органами. В плодopитомниках № 2 и № 3 измерения проводили на посадках чёрной смородины и жимолости соответственно. Для образования щелей в этих плодopитомниках использовали четырёхрядный роторный щелеобразователь [89, 110, 132], а посадку культурных растений так же, как и в

плодопитомнике № 1, выполняли вручную. Ширина междурядья во всех плодопитомниках $b = 70$ см.

В соответствии с ГОСТ Р 54778–2011 [37] отклонения культурного растения $Y_{кр}$ определяли на длине 25 м. Для этого посередине междурядья устанавливали колышки и натягивали шнур (базовая линия), а затем измеряли расстояние от базовой линии до каждого культурного растения с точностью 1 см.

Порядок обработки измерений:

1) определили отклонение культурного растения $Y_{кр}$ как разницу между средним значением расстояния от культурного растения до базовой линии и измерением;

2) определили смещение культурных растений ΔY как разницу между соседними измерениями;

3) определили средний шаг культурных растений $\Delta X_{ср}$ как отношение длины измеряемого участка к количеству культурных растений, находящихся в нём;

4) выполнили исключение брака с учётом правила трёх сигм и пересчёты параметров согласно работе [18];

5) выполнили проверку гипотезы о нормальном распределении параметров $Y_{кр}$ и ΔY согласно работе [150].

3.5.2 Описание проведения экспериментов на лабораторном стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме и порядок обработки полученных данных

Эксперименты проведены в лаборатории кафедры «Автомобильный транспорт и наземные технологические системы» АлтГТУ.

Для минимизации субъективной составляющей проведения опытов количество операторов выбрано равным трём. Повторность опытов принята равной трём для каждого из операторов. Опыты проведены рандомизированно. Имитация ряда

культурных растений на стенде выполнена путём размещения имитаторов культурного растения вертикально на транспортёрной ленте. При проведении опытов не учтена сила сопротивления почвы (сопротивление движению имитаторов рабочего органа отсутствовало). При проведении лабораторного исследования под точностью позиционирования S_0 понималась величина зазора между имитаторами рабочего органа $S_{\text{лаб}}$.

Факторы эксперимента и их значения:

- 1) зазор между имитаторами рабочего органа $S_{\text{лаб}}$ от 10 до 70 мм с шагом 10 мм.
- 2) скорость транспортёрной ленты $V_{\text{л}}$ до 1,39 м/с (5 км/ч);
- 3) шаг имитаторов культурного растения ΔX от 100 до 700 мм;
- 4) смещение имитаторов культурного растения ΔY от 0 до 50 мм.

Введём термин: коэффициент повреждения – параметр, равный отношению количества культурных растений, защитные зоны которых были пересечены рабочими органами, к количеству культурных растений, приствольные зоны которых были обработаны¹⁾.

При проведении лабораторных экспериментов **отклик** оценивался средним коэффициентом повреждения, определяемым по формуле:

$$\psi_{\text{ср}} = \frac{\sum_{a=1}^q \psi_a}{q}, \quad (3.2)$$

где a – порядковый номер опыта серии;

¹⁾ Ранее мы говорили о том, что пересечение рабочим органом защитной зоны будем рассматривать как нарушение технологического процесса приствольной обработки почвы независимо от наличия или отсутствия фактического механического повреждения растения (см. с. 20). Исходя из этого пересечение рабочим органом защитной зоны будем интерпретировать как повреждение культурного растения, даже если в действительности оно не произошло. В соответствии с этим сделан вывод о допустимости использования слова «повреждение» при введении термина. Это позволяет: а) сделать термин одновременно ёмким и легко воспринимаемым; б) исключить путаницу при оперировании другими терминами, используемыми в области механизации сельского хозяйства и теории автоматического управления.

q – общее количество опытов серии;

ψ_a – коэффициент повреждения в a -ом опыте серии, определяемая по формуле:

$$\psi_a = \frac{n_{ка}}{n_a}, \quad (3.3)$$

где $n_{ка}$ – количество физических контактов имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа в a -ом опыте серии;

n_a – общее количество проходов имитаторов культурного растения в a -ом опыте серии.

Значение параметра $n_{ка}$ определяли визуально. Так как опыты проводились при двух полных проходах транспортёрной ленты, то значение параметра n_a было равно удвоенному значению количества имитаторов культурного растения, закреплённых на планках, которое задавалось предварительно.

Скорость транспортёрной ленты V_L задавали посредством преобразователя частоты тока согласно выражению (3.1). Смещение имитаторов культурного растения ΔY измеряли линейкой с погрешностью 0,5 мм по рискам, нанесённым на планки с погрешностью 0,5 мм. Шаг имитаторов культурного растения ΔX задавали выбором соответствующих планок для их закрепления.

Порядок проведения опыта по определению точности позиционирования:

- 1) закрепили имитаторы культурного растения с помощью планок так, что $\Delta X = 400$ мм, $\Delta Y = 10$ мм;
- 2) определили значение параметра n_a ;
- 3) установили значение параметра $S_{лаб} = 10$ мм;
- 4) задали скорость транспортёрной ленты $V_L = 0,833$ м/с (3,0 км/ч);
- 5) запустили мотор-редуктор;

6) во время управления оператором положением имитатора модуля визуально отслеживали количество физических контактов имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа $n_{ка}$;

7) далее выполняли пункты 1)–6) со вторым и третьим операторами;

8) далее повторяли пункты 1)–7) при значениях $S_{лаб} = 20$ мм и $S_{лаб} = 30$ мм;

9) определили точность позиционирования S_0 .

Порядок проведения опыта по определению зависимости среднего коэффициента повреждения от скорости транспортёрной ленты:

1) закрепили имитаторы культурного растения с помощью планок при следующих значениях параметров: $\Delta X = 400$ мм, $\Delta Y = 10$ мм, $S_0 = 10$ мм;

2) определили значение параметра n_a ;

3) задали скорость транспортёрной ленты $V_{л} = 0,556$ м/с (2,0 км/ч);

4) запустили мотор-редуктор;

5) во время управления оператором положением имитатора модуля визуально отслеживали количество физических контактов имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа $n_{ка}$;

6) далее выполняли пункты 1)–5) со вторым и третьим операторами;

7) далее повторяли пункты 1)–6) при значениях $V_{л} = 0,694$ м/с (2,5 км/ч), $V_{л} = 0,833$ м/с (3,0 км/ч), $V_{л} = 0,972$ м/с (3,5 км/ч), $V_{л} = 1,143$ м/с (4,0 км/ч).

Порядок проведения опыта по определению зависимости среднего коэффициента повреждения от смещения имитаторов культурного растения:

1) закрепили имитаторы культурного растения с помощью планок при следующих значениях параметров $\Delta X = 400$ мм, $\Delta Y = 10$ мм, $S_0 = 10$ мм;

2) определили значение параметра n_a ;

3) задали скорость транспортёрной ленты $V_{л} = 0,833$ м/с (3,0 км/ч);

4) запустили мотор-редуктор;

5) во время управления оператором положением имитатора модуля визуально отслеживали количество физических контактов имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа $n_{ка}$;

6) далее выполняли пункты 1)–5) со вторым и третьим операторами;

7) далее повторяли пункты 1)–6) при значениях $\Delta Y = 15$ мм, $\Delta Y = 20$ мм, $\Delta Y = 25$ мм, $\Delta Y = 30$ мм.

Порядок проведения опыта по определению зависимости среднего коэффициента повреждения от шага имитаторов культурного растения:

1) закрепили имитаторы культурного растения с помощью планок при следующих значениях параметров $\Delta X = 200$ мм, $\Delta Y = 10$ мм, $S_0 = 10$ мм;

2) определили значение параметра n_a ;

3) задали скорость транспортёрной ленты $V_d = 0,833$ м/с (3,0 км/ч);

4) запустили мотор-редуктор;

5) во время управления оператором положением имитатора модуля визуально отслеживали количество физических контактов имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа $n_{ка}$;

6) далее проводили пункты 1)–5) со вторым и третьим операторами;

7) далее повторяли пункты 1)–6) при значениях $\Delta X = 300$ мм, $\Delta X = 400$ мм, $\Delta X = 500$ мм, $\Delta X = 600$ мм;

8) далее повторяли пункты 1)–7) при значениях $\Delta Y = 30$ мм и $\Delta X = 400$ мм, $\Delta X = 500$ мм, $\Delta X = 600$ мм, $\Delta X = 700$ мм, $\Delta X = 800$ мм.

Порядок обработки данных экспериментов:

1) определили точность позиционирования S_0 ;

2) определили средний коэффициент повреждения $\psi_{ср}$ и её дисперсию σ^2 , построили аппроксимирующие кривые, отражающие зависимости среднего коэффициента повреждения $\psi_{ср}$ от факторов;

3) выполнив интерполяцию кривых, определили условия, при которых допустимо использование машины с ручным электрифицированным управлением рабочими органами.

3.5.3 Описание проведения экспериментов на лабораторном стенде имитации обработки почвы в автоматизированном режиме и порядок обработки полученных данных

Эксперименты проведены в лаборатории кафедры «Автомобильный транспорт и наземные технологические системы» АлтГТУ.

Повторность опытов принята равной трём. Опыты проведены рандомизированно. При проведении лабораторного исследования под точностью позиционирования S_0 понималась величина зазора между имитаторами рабочего органа $S_{\text{лаб}}$. На основании проведённых экспериментов на лабораторном стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме данный параметр принят равным $S_{\text{лаб}} = 20$ мм.

Имитаторы культурного растения устанавливали вертикально. При проведении опытов по определению функций $t_3^{\text{мод}}(V_L)$, $t_3^{\text{н}}(V_L)$ гидравлический стенд был отключён. Поскольку шаг планок равен 100 мм и длина планок равна 110 мм, то, исходя из соотношения (2.23) и результатов измерений параметров посадок в плодотомнике № 3 (таблица 3.11), при проведении опытов по определению функций $t_3^{\text{мод}}(V_L)$, $t_3^{\text{н}}(V_L)$ задали следующие параметры размещения имитаторов культурного растения:

- шаг имитаторов культурного растения $\Delta X = 200$ мм;
- смещение имитаторов культурного растения $\Delta Y = 60$ мм.

При проведении опытов по определению функций $t_3^p(V_L)$, $t_3^c(V_L)$ шаг имитаторов культурного растения задали равным $\Delta X = 200$ мм, при этом драйвер шагового двигателя был отключён.

Скорость транспортёрной ленты V_L задавали посредством преобразователя частоты тока согласно выражению (3.1). Смещение имитаторов культурного растения ΔY измеряли линейкой по рискам, нанесённым на планки. Шаг имитаторов культурного растения ΔX задавали выбором соответствующих планок для их закрепления.

Порядок проведения опыта по определению функции $t_3^{\text{мод}}(V_L)$ при работе машины в лабораторных условиях:

- 1) установили имитаторы культурного растения;
- 2) программно задали предварительное значение коэффициента задержки $A_3^{\text{мод}} = 324$ (поскольку размерность знаменателя в первом выражении системы (2.66) была неизвестна, то коэффициент предварительно принят безразмерным);
- 3) запустили АСУ с отключённым гидравлическим стендом;
- 4) запустили мотор-редуктор;
- 5) задали скорость транспортёрной ленты $V_L = 0,710$ км/ч;
- 6) визуально следили за работой стенда, подбирая значение эмпирического множителя $K_3^{\text{мод}}$ таким образом, чтобы имитаторы культурного растения попадали в зазор между имитаторами рабочего органа;
- 7) после двух полных проходов транспортёрной ленты выполнили остановку мотор-редуктора и АСУ;
- 8) повторили п. 1)–7) при $V_L = 0,899$ км/ч, $V_L = 1,097$ км/ч, $V_L = 1,295$ км/ч, $V_L = 1,501$ км/ч.

Порядок проведения опыта по определению функции $t_3^{\text{ц}}(V_X)$ при работе машины в лабораторных условиях:

- 1) установили имитаторы культурного растения при $\Delta Y = 0$;
- 2) программно задали предварительное значение коэффициента задержки $A_3^{\text{ц}} = 250$ (поскольку размерность знаменателя во втором выражении системы (2.66) была неизвестна, то коэффициент предварительно принят безразмерным);
- 3) запустили АСУ с отключённым шаговым двигателем;

- 4) запустили мотор-редуктор;
- 5) задали скорость транспортёрной ленты $V_{\text{л}} = 0,728$ км/ч;
- 6) визуально следили за работой стенда, подбирая значение эмпирического коэффициента $K_3^{\text{ц}}$ таким образом, чтобы модуль начинал движение в направлении центрального положения в тот момент времени, когда расстояние в продольном направлении между имитаторами рабочего органа и имитатором культурного растения составляло приблизительно 50 мм;
- 7) после двух полных проходов транспортёрной ленты выполнили остановку мотор-редуктора и АСУ;
- 8) повторили п. 1)–7) при $V_{\text{л}} = 0,890$ км/ч, $V_{\text{л}} = 1,097$ км/ч, $V_{\text{л}} = 1,088$ км/ч, $V_{\text{л}} = 1,304$ км/ч.

Перед началом *проведения опыта по определению функций $t_3^{\text{р}}(V_{\text{л}})$ и $t_3^{\text{с}}(V_{\text{л}})$ при работе машины в лабораторных условиях* предположили, что при $t_3^{\text{р}} = t_3^{\text{мод}}$ и $t_3^{\text{с}} = t_3^{\text{ц}}$ будет соблюдено условие, что шток гидроцилиндра начинает выдвижение (втягивание) в тот момент времени, когда расстояние в продольном направлении между имитаторами рабочего органа и имитатором культурного растения составляет не менее 50 мм. В ходе проведения опытов последовательно задавали значения коэффициентов $A_3^{\text{р}} = A_3^{\text{мод}} = 324$, $A_3^{\text{с}} = A_3^{\text{ц}} = 250$ и соответствующие им значения ранее определённых эмпирических коэффициентов $K_3^{\text{р}} = K_3^{\text{мод}}$, $K_3^{\text{с}} = K_3^{\text{ц}}$.

Порядок обработки данных экспериментов:

- 1) отметили точки на графиках зависимости коэффициентов задержки $K_3^{\text{мод}}(V_X)$, $K_3^{\text{ц}}(V_X)$, $K_3^{\text{р}}(V_X)$, $K_3^{\text{с}}(V_X)$;
- 2) построили аппроксимирующие кривые;
- 3) определили зависимости $t_3^{\text{мод}}(V_{\text{л}})$, $t_3^{\text{р}}(V_{\text{л}})$, $t_3^{\text{ц}}(V_{\text{л}})$, $t_3^{\text{с}}(V_{\text{л}})$ согласно системе выражений (2.66).

3.5.4 Описание проведения лабораторно-полевого исследования опытного образца машины

Эксперименты проведены на поле НИИСС им. М. А. Лисавенко. Агрегатирование опытного образца выполнено с трактором «Беларусь» МТЗ-50Л [162] кафедры «Автомобильный транспорт и наземные технологические системы».

Проверка работоспособности машины заключалась в визуальной оценке:

- процесса распознавания имитаторов культурного растения;
- процесса перемещения модуля в поперечном направлении;
- процесса разведения и сведения рабочих органов;
- процесса рыхления почвы бесприводными ротационными рабочими органами и подрезания пласта почвы полотьными лапами.

Приняли:

- повторность опытов при проведении эксперимента равной трём;
- глубину обработки почвы равной $h = 80$ мм;
- рабочую скорость $V_X = 1,56$ км/ч (соответствует первой передаче трактора «Беларусь» МТЗ-50Л [162]).

Имитация рядка культурных растений выполнена путём размещения имитаторов культурного растения со смещениями ΔY с учётом следующих аспектов:

1. Смещения культурного растения могут быть направлены как к оси рядка, так и от неё, при этом обе ситуации равновероятны (согласно данным параграфа 3.7.1).

2. Сумма последовательных смещений культурного растения ΔY не может превышать максимального отклонения культурного растения $Y_{кр}$.

Имитатор культурного растения при проведении лабораторно-полевого исследования представлял собой композитный колышек с размещённым на нём в качестве цветового идентификатора кусочком изоленды красного цвета. Исходя из соотношений между отклонением культурного растения $Y_{кр}$ и максимальным сме-

щением культурных растений ΔY_{max} , полученных в результате измерений параметров посадок в плодopитомниках (см. параграф 3.7.1), приняли диапазон значений отклонения культурного растения $Y_{кр} \in [-12; 12 \text{ см}]$, а их шаг равным 6 см. Имитаторы культурного растения устанавливали вертикально с шагом $\Delta X = 300 \text{ мм}$. Диапазон перемещения рабочих органов друг относительно друга задали так, чтобы значение рабочего зазора лежало в диапазоне $S \in [5; 200 \text{ мм}]$. Сымитированный рядок культурных растений представлен на рисунке 3.8.

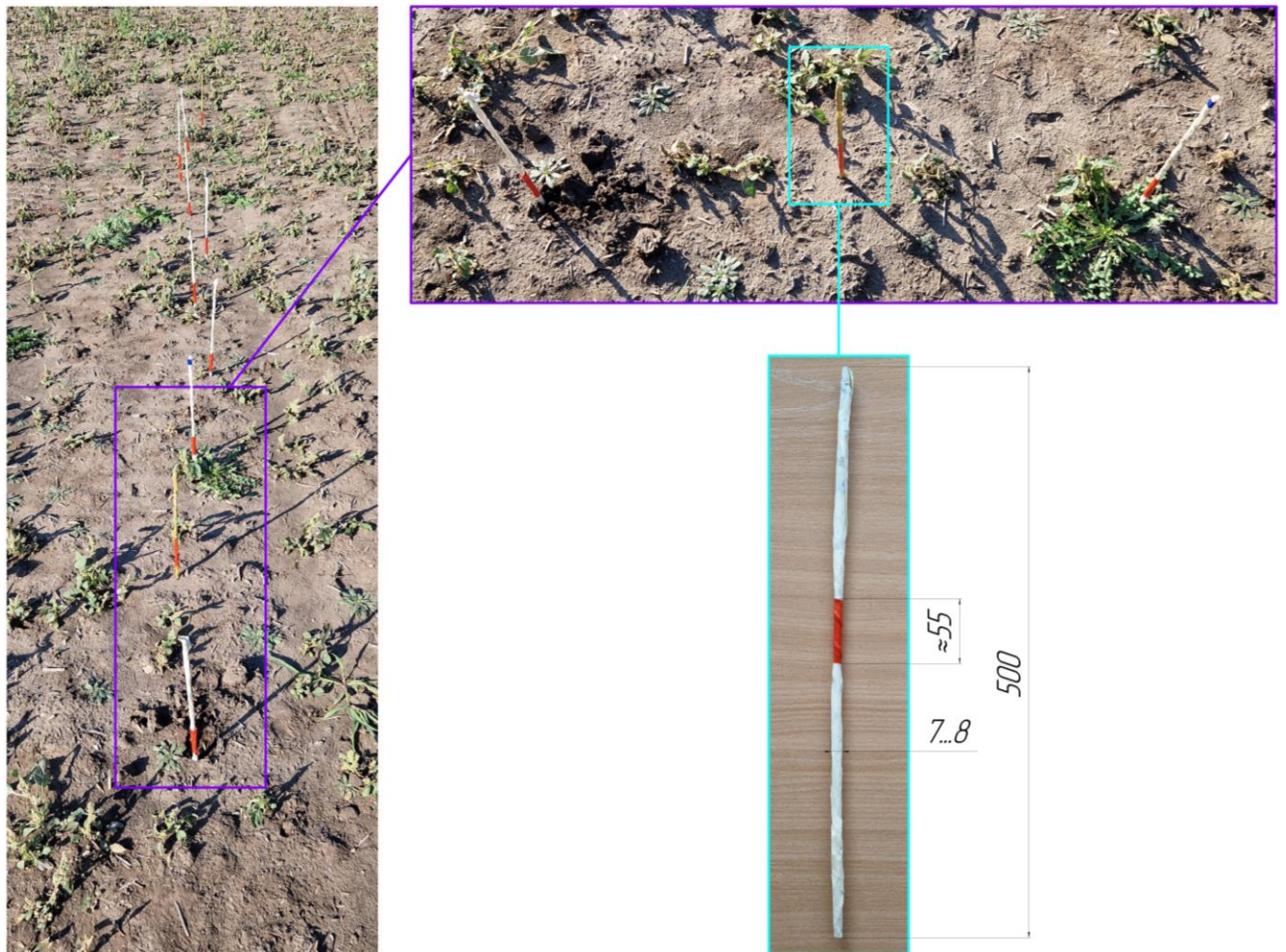


Рисунок 3.8 – Сымитированный рядок культурных растений при проведении лабораторно-полевого исследования

Уточнение значений параметров $A_3^{мод}$, $A_3^ц$, A_3^p и $A_3^с$ выполнено путём их подбора таким образом, чтобы:

1) модуль перемещался относительно имитаторов культурного растения без физических контактов с ними;

2) шток гидроцилиндра начинал выдвижение в тот момент времени, когда расстояние в продольном направлении между рабочими органами и имитатором культурного растения составляло приблизительно 50 мм.

Уточнение значений указанных параметров обусловлено наличием сопротивления почвы, действующей на рабочие органы, что приводит к снижению поперечной скорости модуля $V_{\text{модуля}}$ и, соответственно, требует уменьшения времени задержки подачи управляющего воздействия.

3.6 Измерительные инструменты, использованные в ходе проведения экспериментальных исследований

В ходе проведения экспериментов были использованы следующие измерительные инструменты (рисунки 3.9, 3.10):

- секундомер RGK SWE-02 с поверкой с точностью измерений 0,01 с [138];
- рулетка VIRA by RAGE 100058 с точностью измерений 1 мм [133].



Рисунок 3.9 – Секундомер
RGK SWE-02



Рисунок 3.10 – Рулетка
VIRA by RAGE 100058

3.7 Результаты экспериментальных исследований машины

3.7.1 Результаты измерений параметров посадок в плодопитомниках

Графики отклонения культурного растения $Y_{кр}$ в плодопитомнике № 1 представлены на рисунке 3.11.

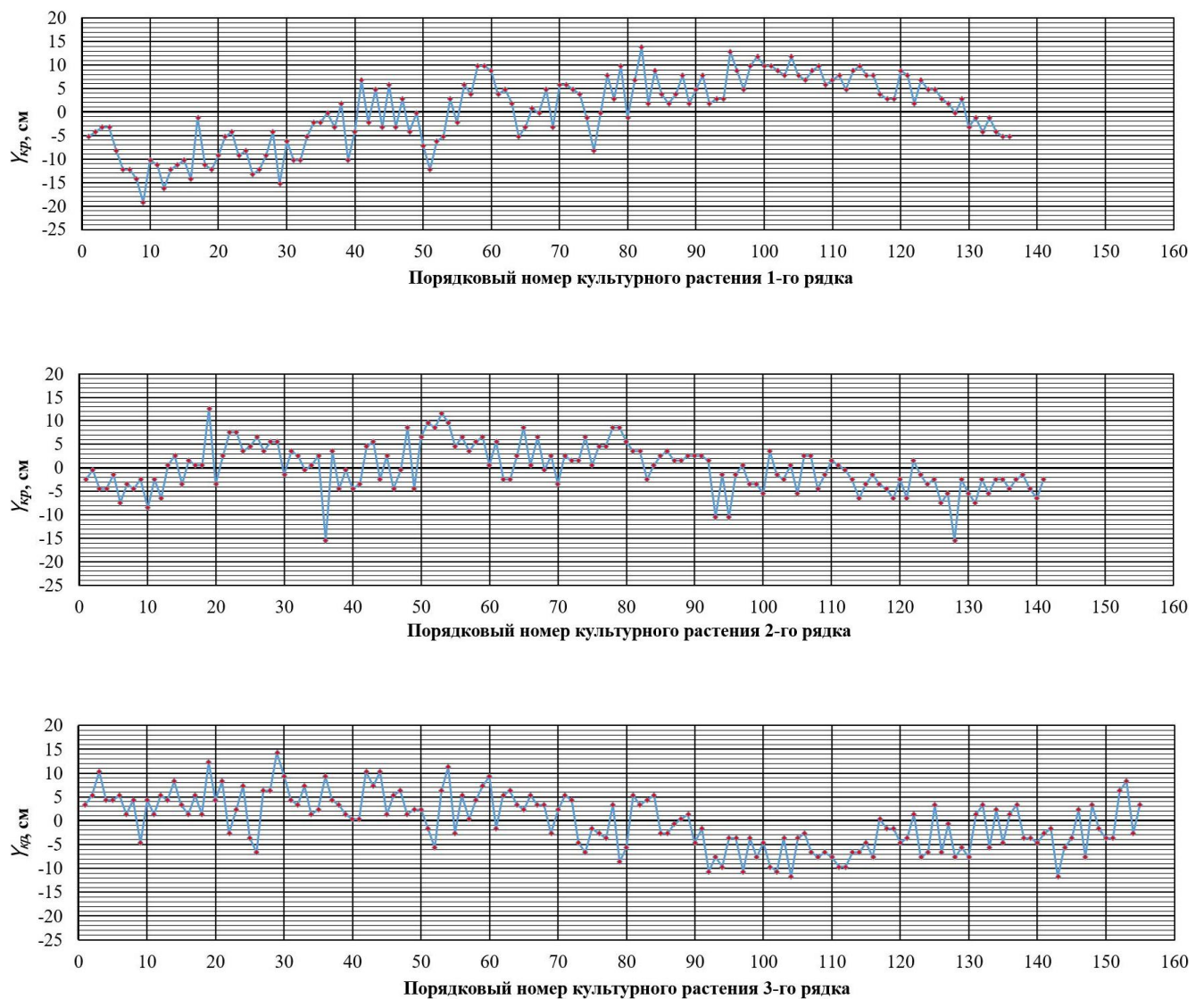


Рисунок 3.11 – Графики отклонения культурного растения в плодопитомнике № 1

Графики отклонения культурного растения $Y_{кр}$ в плодопитомнике № 2 представлены на рисунке 3.12.

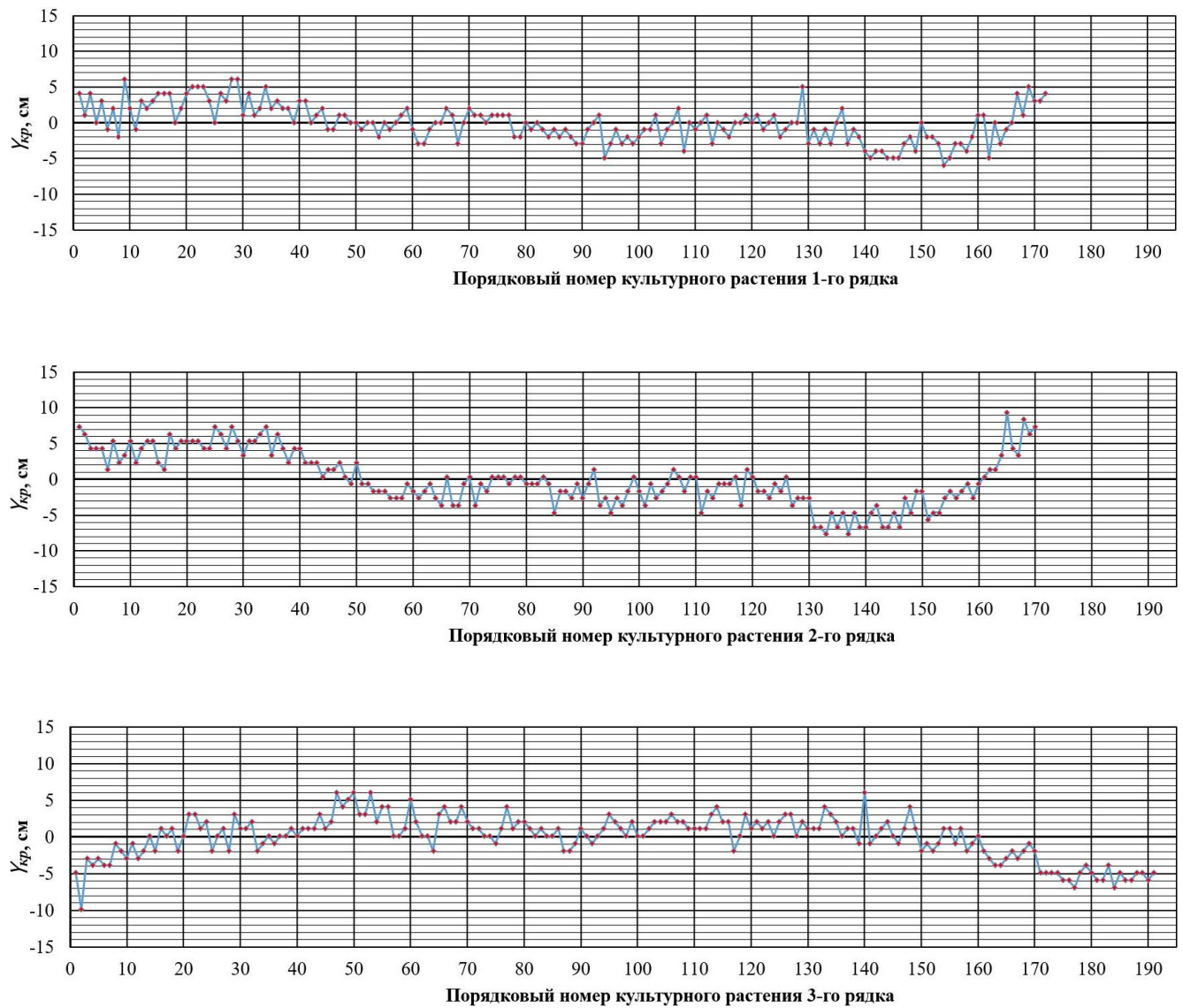


Рисунок 3.12 – Графики отклонения культурного растения в плодопитомнике № 2

Графики отклонения культурного растения $Y_{кр}$ в плодопитомнике № 3 представлены на рисунке 3.13.

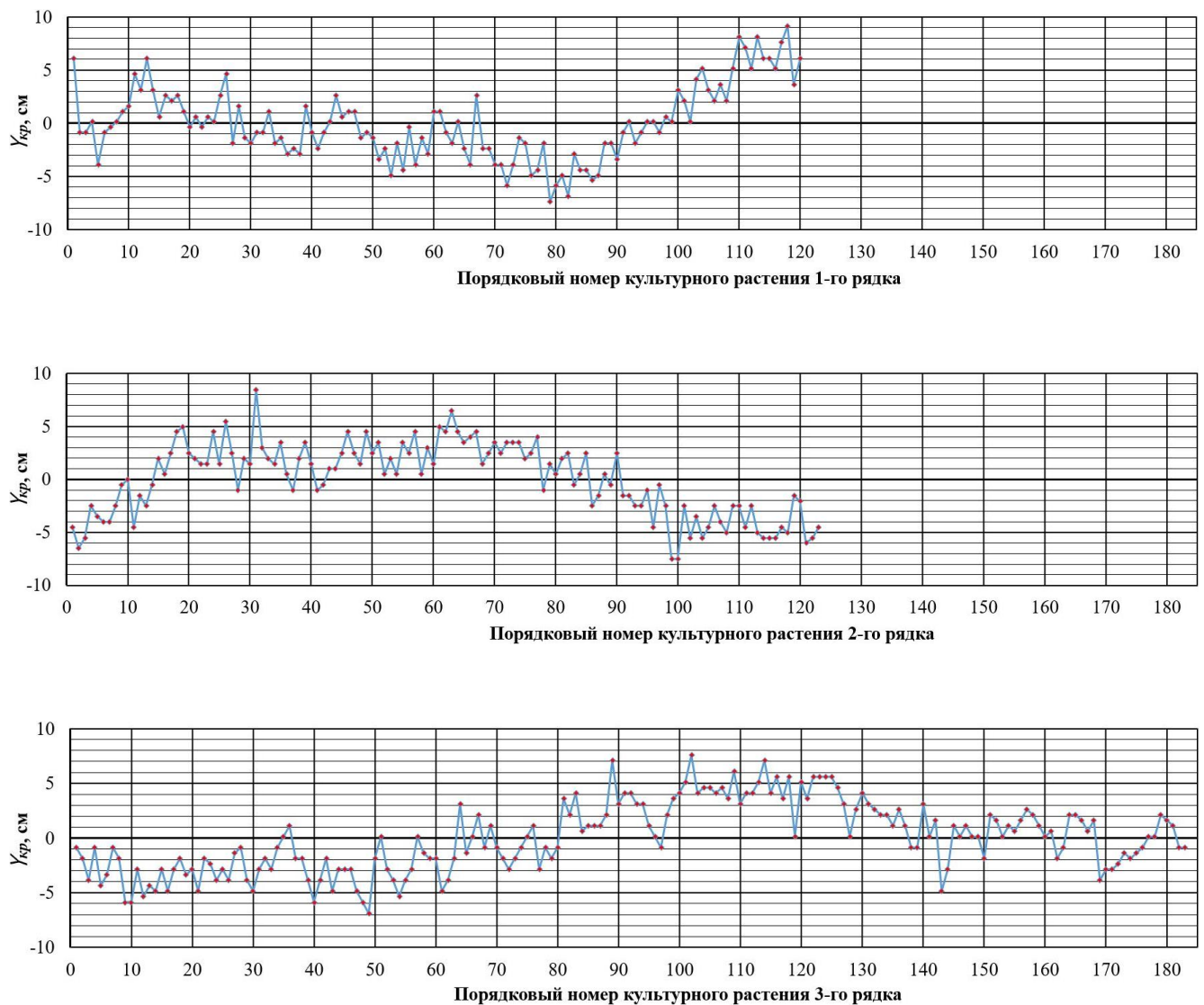


Рисунок 3.13 – Графики отклонения культурного растения в плодопитомнике № 3

Результаты обработки полученных данных представлены в таблицах 3.8–3.10. Поскольку коэффициент вариации находится в диапазоне от 0,3 до 0,5, то предварительно принимаем, что отклонение культурного растения и смещение культурных растений в плодопитомниках подчиняются закону нормального распределения.

Таблица 3.8 – Результаты обработки данных, полученных при измерении параметров посадок в плодopитомнике № 1

Параметр	Значение для:	
	отклонения культурного растения $Y_{кр}$	смещения культурных растений ΔY
Математическое ожидание величины, см	0,0093	–0,493
Среднеквадратическое отклонение величины, см	6,044	5,277
Коэффициент вариации величины	0,336	0,320

Таблица 3.9 – Результаты обработки данных, полученных при измерении параметров посадок в плодopитомнике № 2

Параметр	Значение для:	
	отклонения культурного растения $Y_{кр}$	смещения культурных растений ΔY
Математическое ожидание величины, см	0,353	–0,013
Среднеквадратическое отклонение величины, см	3,084	2,053
Коэффициент вариации величины	0,313	0,317

Таблица 3.10 – Результаты обработки данных, полученных при измерении параметров посадок в плодopитомнике № 3

Параметр	Значение для:	
	отклонения культурного растения $Y_{кр}$	смещения культурных растений ΔY
Математическое ожидание величины, см	0,139	0,206
Среднеквадратическое отклонение величины, см	3,325	2,117
Коэффициент вариации величины	0,385	0,341

Графики распределения отклонения культурного растения $Y_{кр}$ и смещения культурных растений ΔY в плодопитомнике № 1 представлены на рисунках 3.14 и 3.15 соответственно.

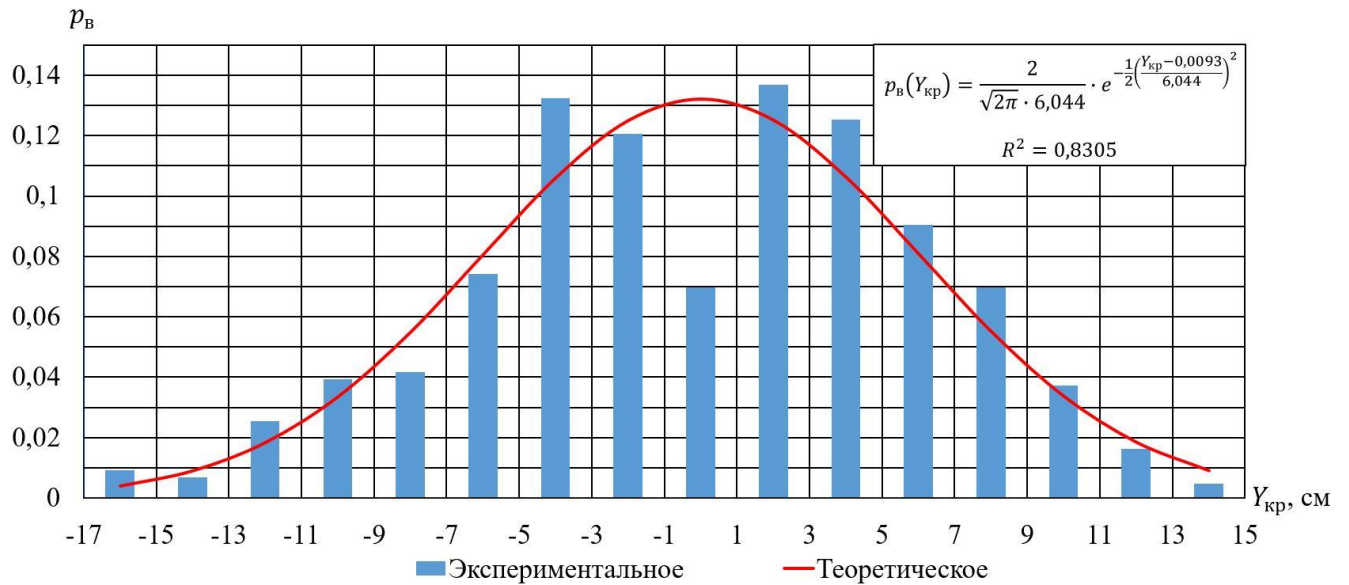


Рисунок 3.14 – Распределение отклонения культурного растения в плодопитомнике № 1

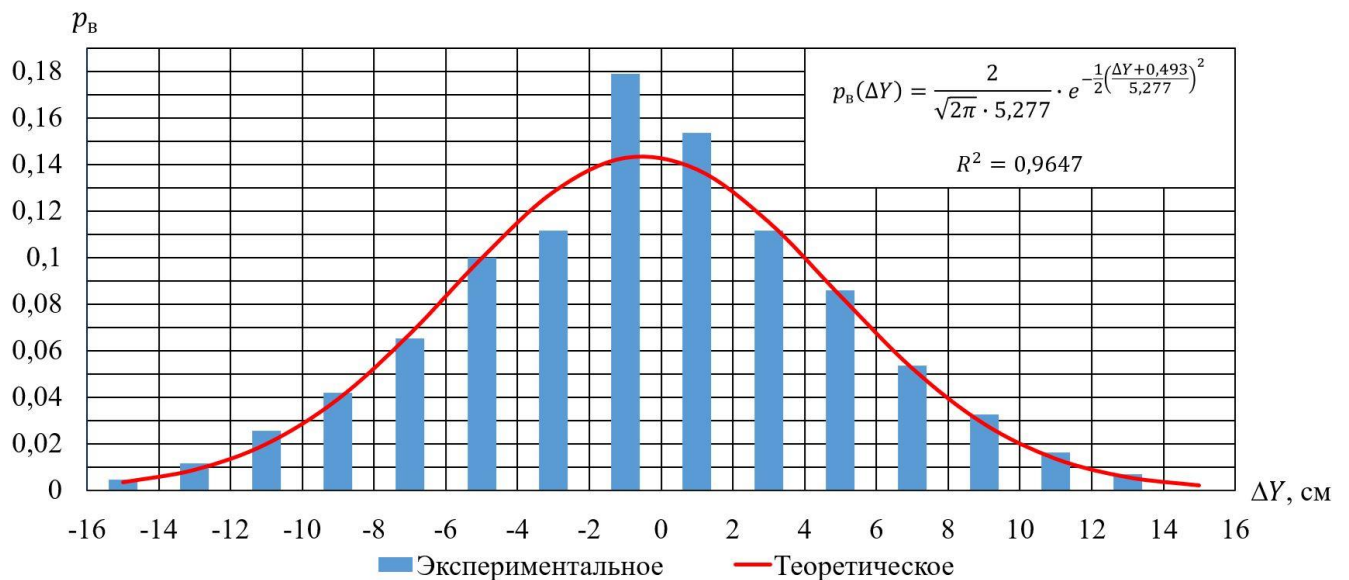


Рисунок 3.15 – Распределение смещения культурных растений в плодопитомнике № 1

Графики распределения отклонения культурного растения $Y_{кр}$ и смещения культурных растений ΔY в плодопитомнике № 2 представлены на рисунках 3.16 и 3.17 соответственно.

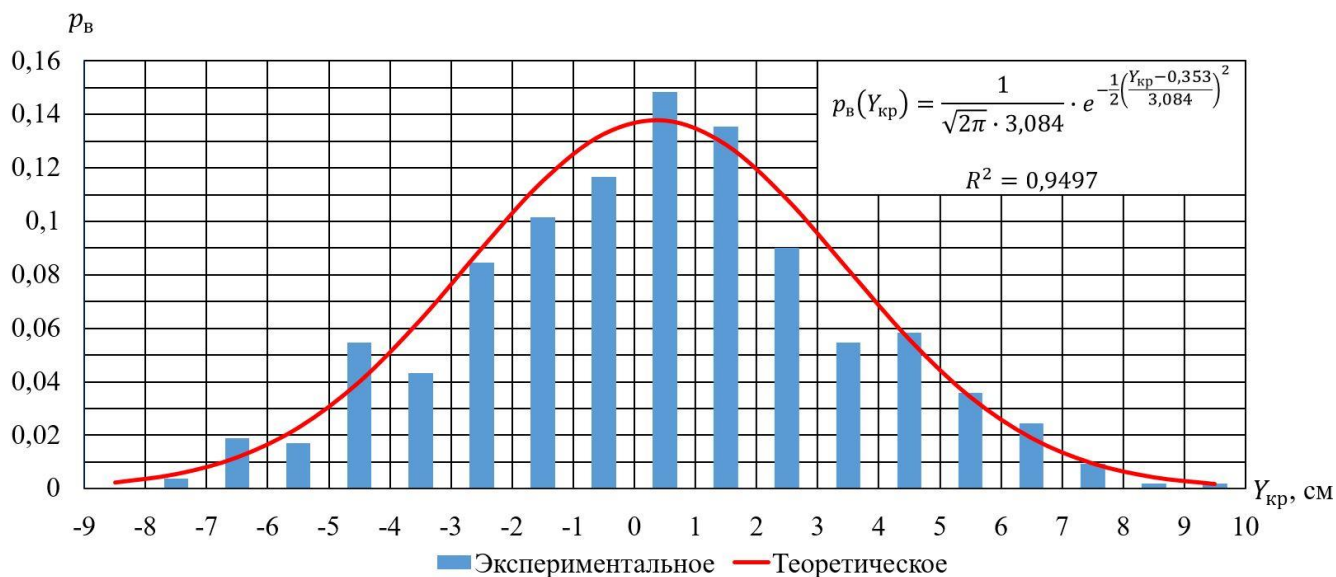


Рисунок 3.16 – Распределение отклонения культурного растения в плодопитомнике № 2

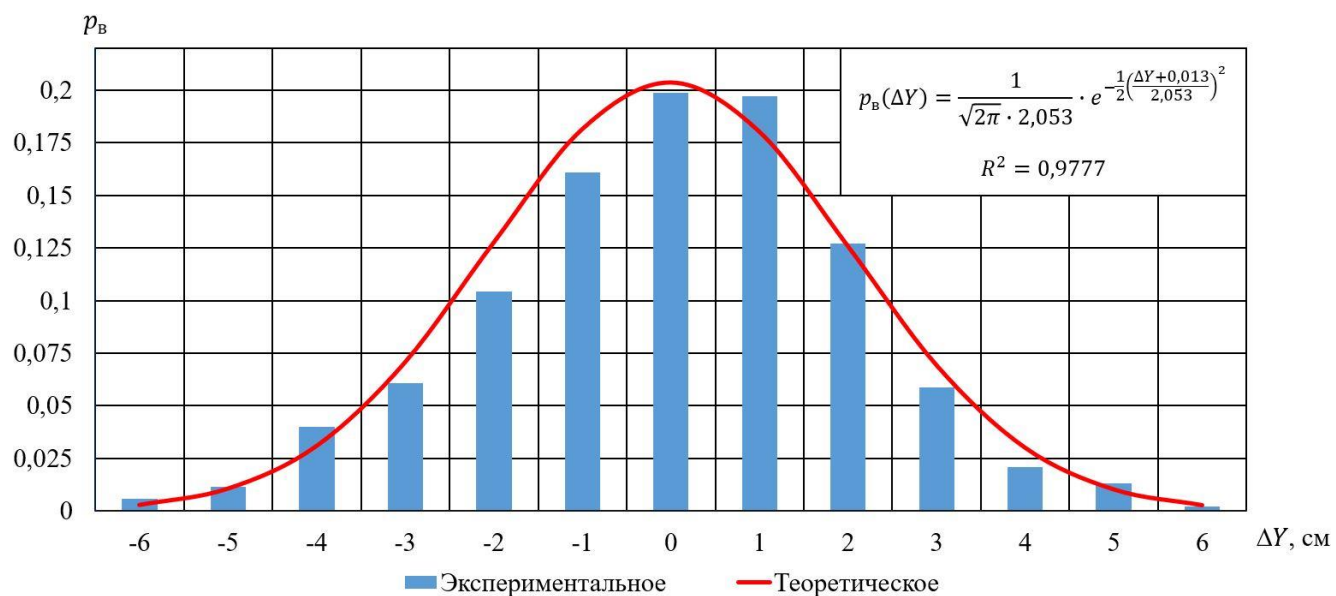


Рисунок 3.17 – Распределение смещения культурных растений в плодопитомнике № 2

Графики распределения отклонения культурного растения $Y_{кр}$ и смещения культурных растений ΔY в плодпитомнике № 3 представлены на рисунках 3.18 и 3.19 соответственно.

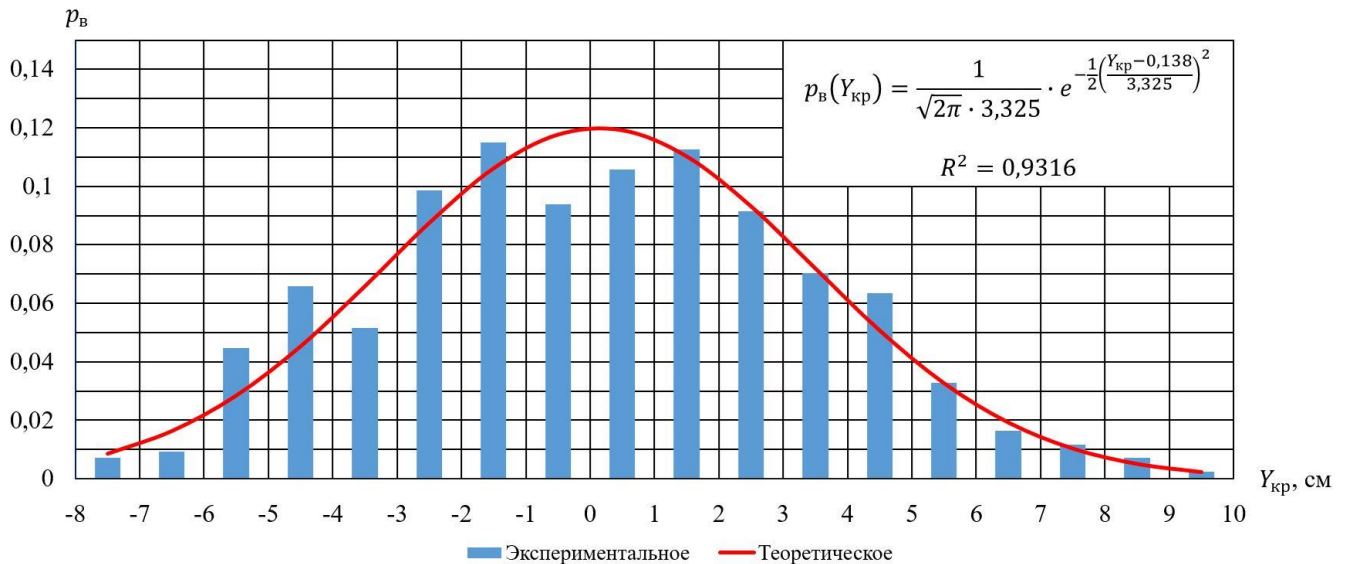


Рисунок 3.18 – Распределение отклонения культурного растения в плодпитомнике № 3

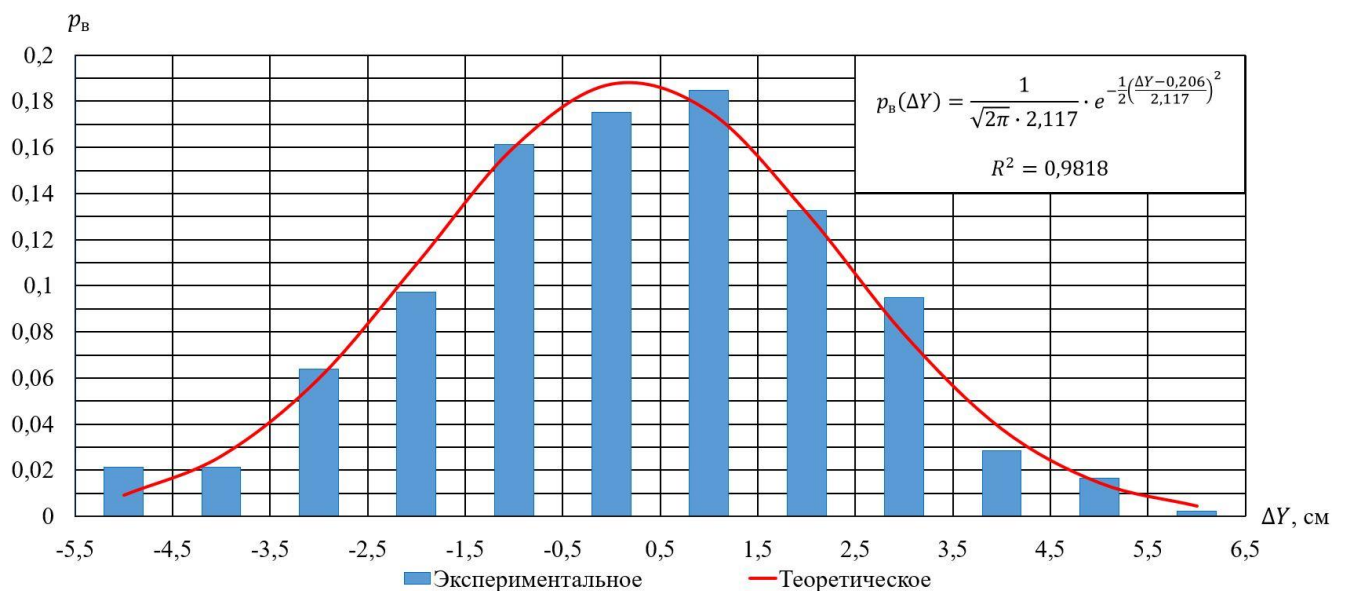


Рисунок 3.19 – Распределение смещения культурных растений в плодпитомнике № 3

Таким образом, отклонение культурного растения $Y_{кр}$ и смещение культурных растений ΔY в плодopитомниках подчиняются закону нормального распределения. Результаты измерений параметров посадок представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Результаты измерений параметров посадок, см

Параметр	Значение для пло- допитомника № 1	Значение для пло- допитомника № 2	Значение для пло- допитомника № 3
Доверительный интер- вал отклонения куль- турного растения $Y_{кр}$	(–18,1; 18,1)	(–8,9; 9,6)	(–9,8; 10,1)
Доверительный интер- вал смещения культур- ных растений ΔY	(–16,3; 15,3)	(–6,2; 6,1)	(–6,1; 6,6)
Средний шаг культур- ных растений $\Delta X_{ср}$	15,0	13,6	13,7

3.7.2 Результаты экспериментов, проведённых на лабораторном стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме

Во время проведения экспериментов физический контакт имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа при $\Delta Y = 10$ мм, $\Delta X = 400$ мм и $S_{лаб} = 20$ мм начали наблюдать при достижении параметра $V_{л} = 1,25$ м/с (4,5 км/ч), что свидетельствует об ограничении рабочей скорости машины значением $V_{х} = 4,0$ км/ч.

Проведение опытов при значениях зазора $S_{лаб} = 40$ мм и $S_{лаб} = 50$ мм оказалось нецелесообразным, поскольку значения отклика не изменялись для двух подряд идущих значений фактора при всех повторностях. Таким образом, точность позиционирования при данных условиях проведения эксперимента составила $S_0 = 10$ мм.

График зависимости среднего коэффициента повреждения $\psi_{ср}$ от скорости транспортёрной ленты $V_{л}$ представлен на рисунке 3.20.

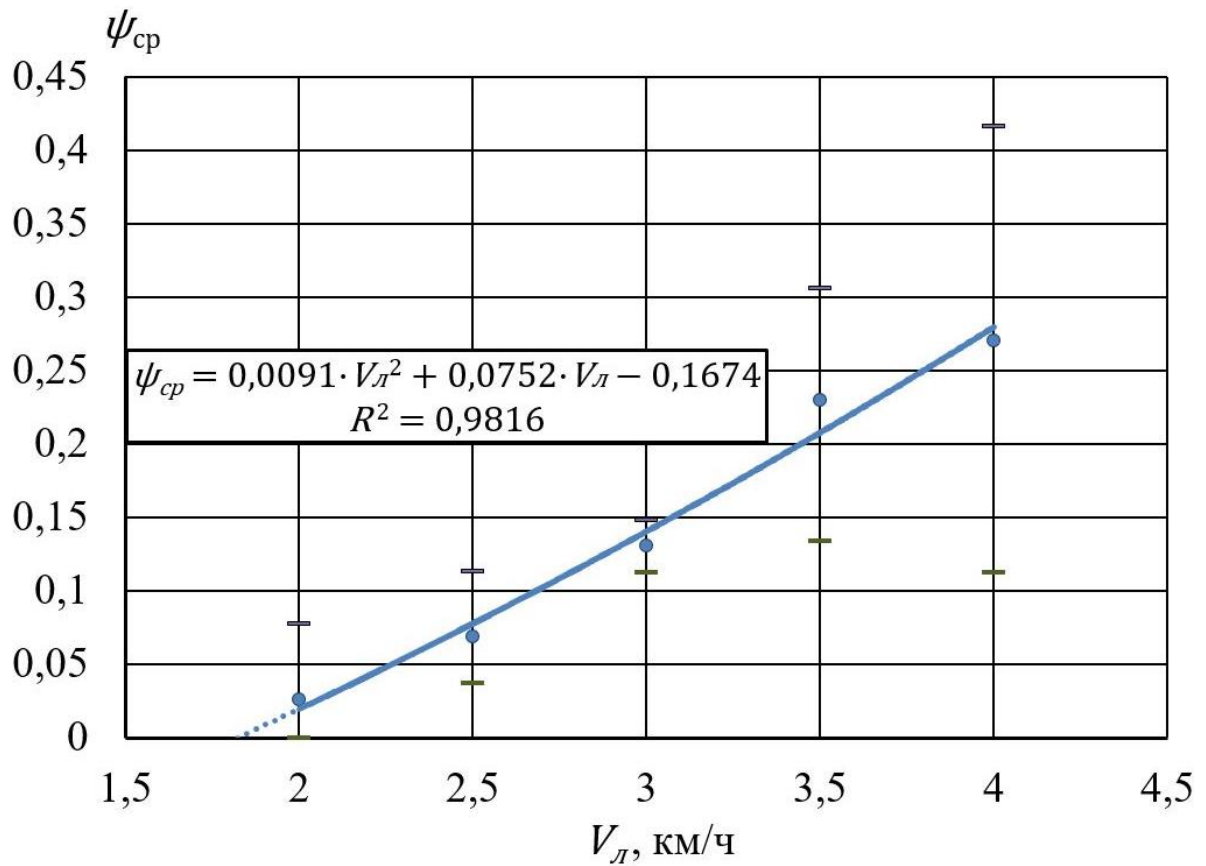


Рисунок 3.20 – График зависимости среднего коэффициента повреждения от скорости транспортёрной ленты ($S_0 = 10$ мм, $\Delta X = 400$ мм, $\Delta Y = 10$ мм)

По результатам эксперимента по определению зависимости среднего коэффициента повреждения $\psi_{ср}$ от скорости транспортёрной ленты $V_{л}$ сделали вывод о том, что при точности позиционирования $S_0 = 10$ мм, шаге имитаторов культурного растения $\Delta X = 400$ мм и смещении имитаторов культурного растения $\Delta Y = 10$ мм предотвращение физического контакта имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа возможно при скорости транспортёрной ленты $V_{л} \leq 1,82$ км/ч.

График зависимости среднего коэффициента повреждения $\psi_{ср}$ от смещения имитаторов культурного растения ΔY представлен на рисунке 3.21.

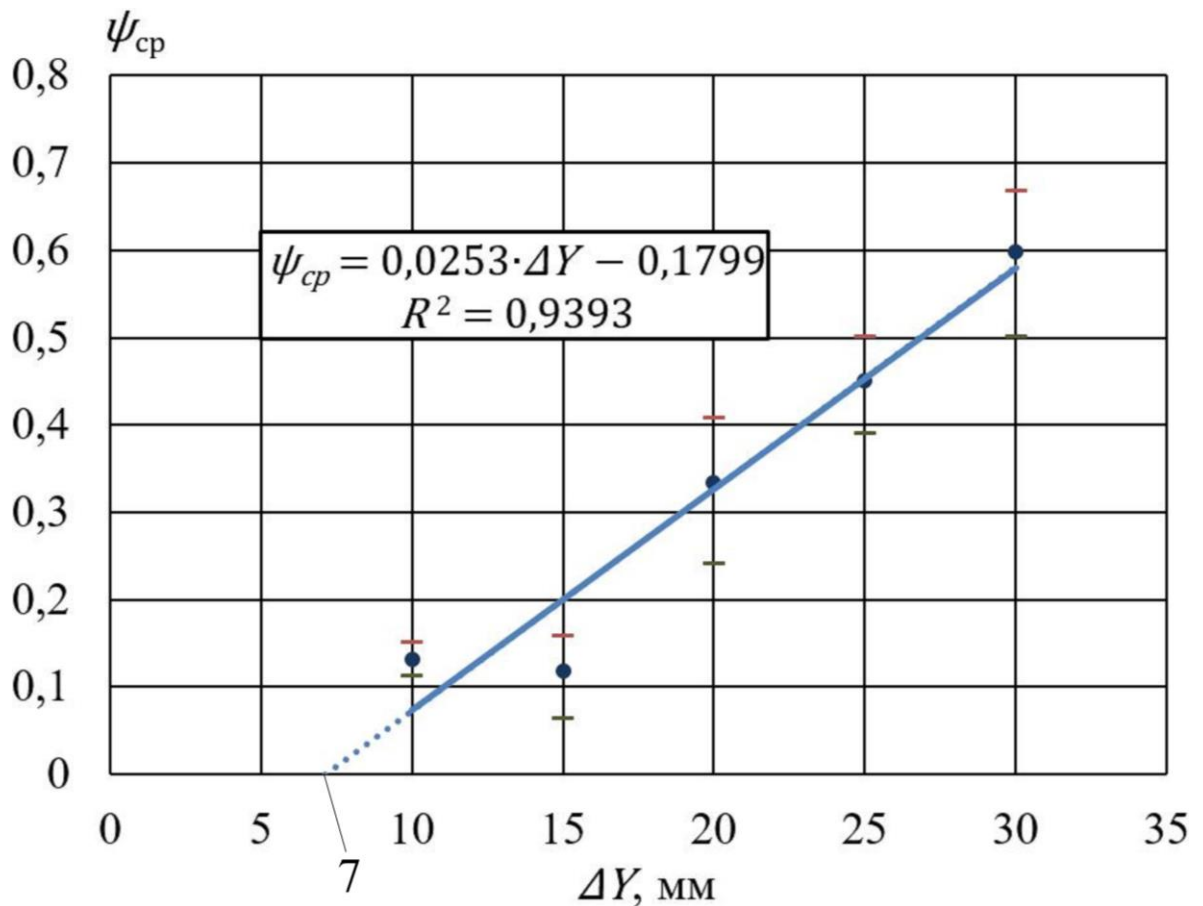


Рисунок 3.21 – График зависимости среднего коэффициента повреждения от смещения имитаторов культурного растения ($S_0 = 10$ мм, $V_{л} = 0,833$ м/с (3,0 км/ч), $\Delta X = 400$ мм)

По результатам эксперимента по определению зависимости среднего коэффициента повреждения $\psi_{ср}$ от смещения имитаторов культурного растения ΔY сделали вывод о том, что при точности позиционирования $S_0 = 10$ мм, расстоянии между имитаторами культурного растения вдоль ленты $\Delta X = 400$ мм и скорости транспортёрной ленты $V_{л} = 0,833$ м/с (3,0 км/ч) предотвращение физического контакта имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа возможно при расстоянии между имитаторами культурного растения по ширине ленты $\Delta Y \leq 7$ мм.

Графики зависимости среднего коэффициента повреждения $\psi_{ср}$ от шага имитаторов культурного растения ΔX при разных значениях параметра ΔY представлены на рисунке 3.22.

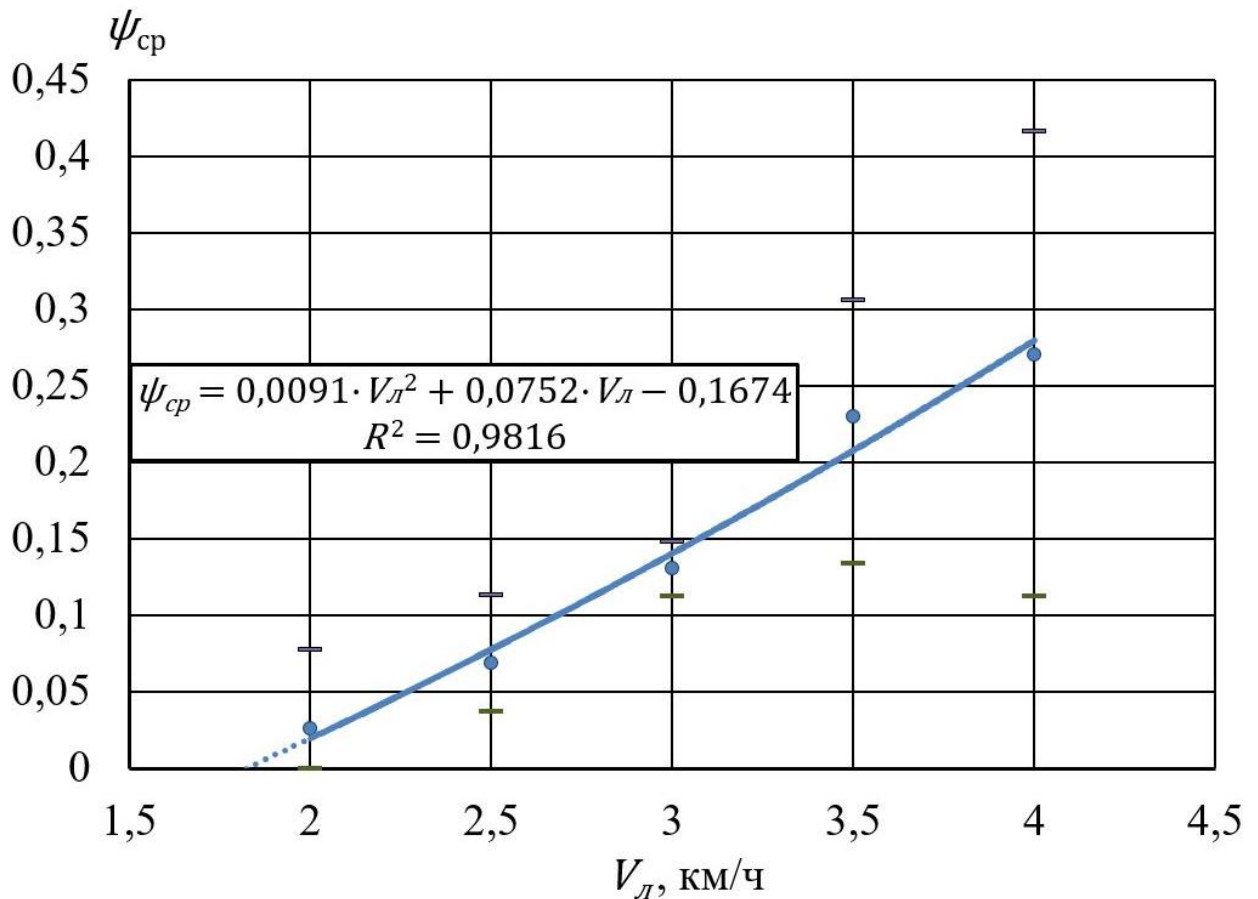


Рисунок 3.22 – Графики зависимости среднего коэффициента повреждения от шага имитаторов культурного растения ($S_0 = 10$ мм, $V_{л} = 0,833$ м/с (3,0 км/ч))

По результатам эксперимента по определению зависимости среднего коэффициента повреждения $\psi_{ср}$ от шага имитаторов культурного растения ΔX сделали следующие выводы: при точности позиционирования $S_0 = 10$ мм, скорости транспортной ленты $V_{л} = 0,833$ м/с (3,0 км/ч) и смещении имитаторов культурного растения $\Delta Y = 10$ мм предотвращение физического контакта имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа возможно при шаге имитаторов культурного растения $\Delta X \geq 570$ мм; при тех же точности позиционирования, скорости ленты и смещении имитаторов культурного растения $\Delta Y = 30$ мм предотвращение физического контакта имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа возможно при шаге имитаторов культурного растения $\Delta X \geq 690$ мм.

Проверка однородности дисперсий полученных графиков, на наш взгляд, нецелесообразна, поскольку результаты лабораторного исследования машины, работающей в ручном электрифицированном режиме, лишь предваряют дальнейшие

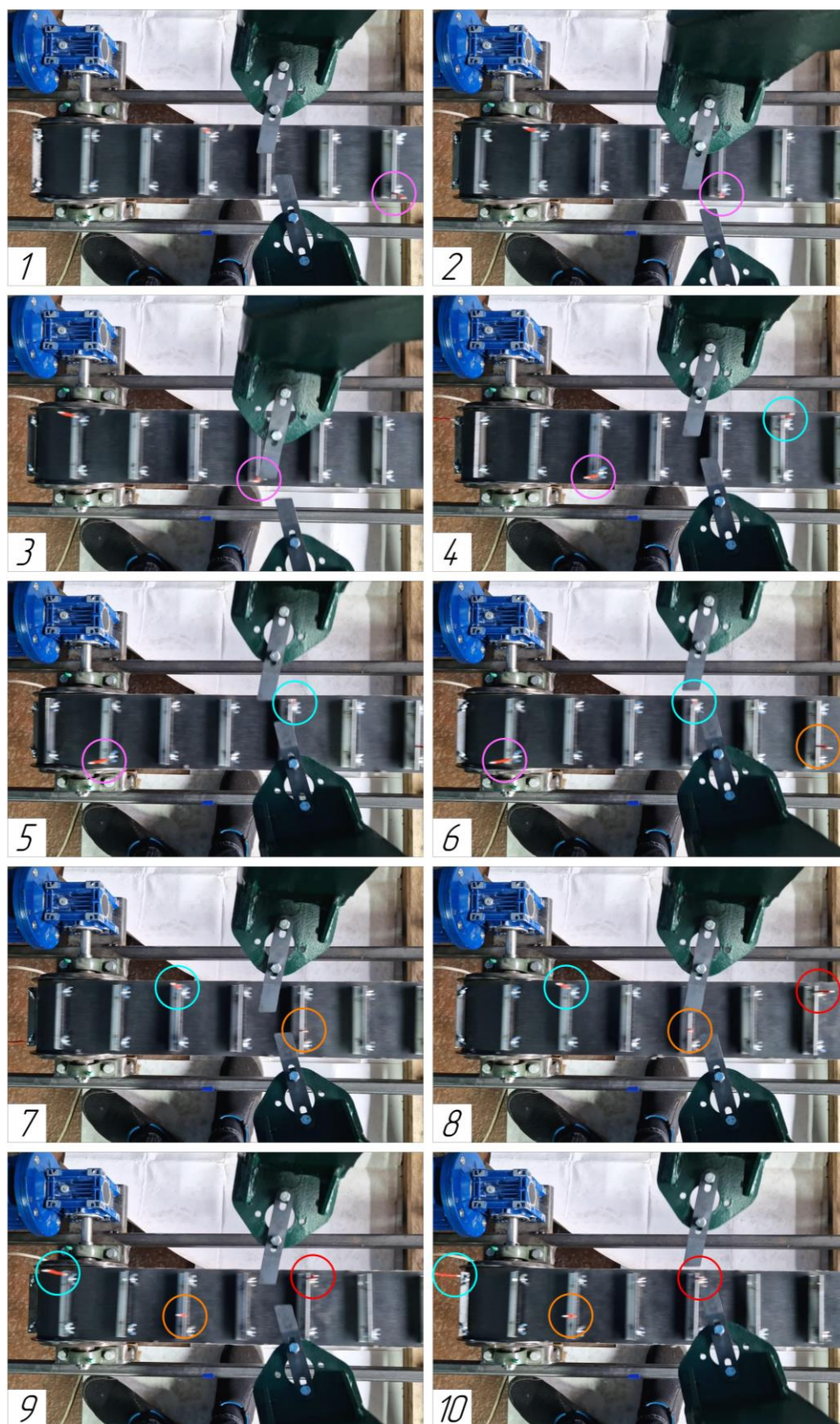
экспериментальные исследования и служат основой для подтверждения необходимости автоматизировать процесс управления рабочими органами, которая обусловлена негативным влиянием психофизиологического человеческого фактора оператора (закрывающегося в недостаточной скорости реакции оператора, влиянии внешних условий на оператора и т. д.) на технологические процессы обработки почвы.

По результатам экспериментов, проведённых на лабораторном стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме, сделан вывод о том, что для предотвращения повреждения посадочного материала при обработке почвы в плодopитомниках машиной:

- поперечная скорость модуля $V_{\text{моду}}$ должна превышать максимальную скорость корпуса имитатора модуля $V_{\text{ким}_{\text{max}}}$, поскольку даже с учётом отсутствия сопротивления движению имитаторов рабочего органа значение параметра $V_{\text{ким}_{\text{max}}}$ было недостаточным, причём дальнейшее повышение поперечной скорости модуля $V_{\text{моду}}$, предположительно, будет способствовать повышению рабочей скорости машины $V_{\text{х}}$, приводящему к увеличению производительности машины;
- точность позиционирования должна быть не менее $S_{0\text{min}} = 20$ мм.

3.7.3 Результаты экспериментов, проведённых на лабораторном стенде имитации обработки почвы в автоматизированном режиме

Работа стенда шла стабильно при скорости транспортёрной ленты $V_{\text{л}} < 1,7$ км/ч, вследствие чего при проведении экспериментов ограничились значением $V_{\text{л}} = 1,5$ км/ч. Расположение имитаторов рабочего органа относительно имитаторов культурного растения при проведении опыта по определению функций $t_3^{\text{мод}}(V_{\text{л}})$, $t_3^{\text{ц}}(V_{\text{л}})$ представлено на рисунке 3.23 в виде стоп-кадров видеосъёмки, расположенных в хронологическом порядке.



Имитаторы культурного растения

○^{1-й} ○^{2-ой} ○^{3-ий} ○^{4-ый}

Рисунок 3.23 – Стоп-кадры видеосъёмки, выполненной при проведении опыта по определению функций $t_3^{\text{мод}}(V_{\text{л}})$, $t_3^{\text{п}}(V_{\text{л}})$ (движение ленты – справа налево)

Расположение имитаторов рабочего органа относительно имитаторов культурного растения при проведении опытов по определению функций $t_3^p(V_L)$, $t_3^c(V_L)$ представлено на рисунке 3.24 в виде стоп-кадров проведённой видеосъёмки, расположенных в хронологическом порядке.

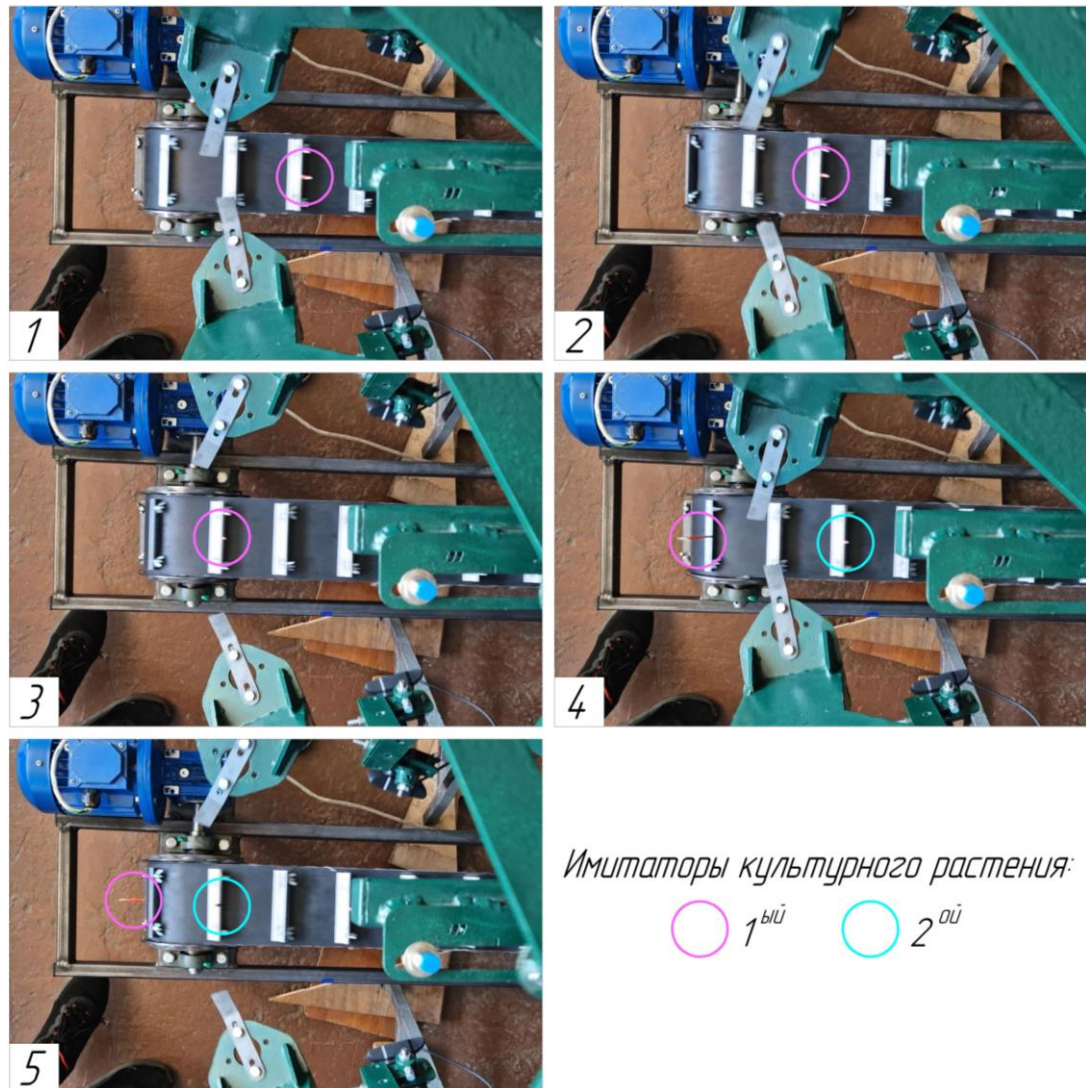
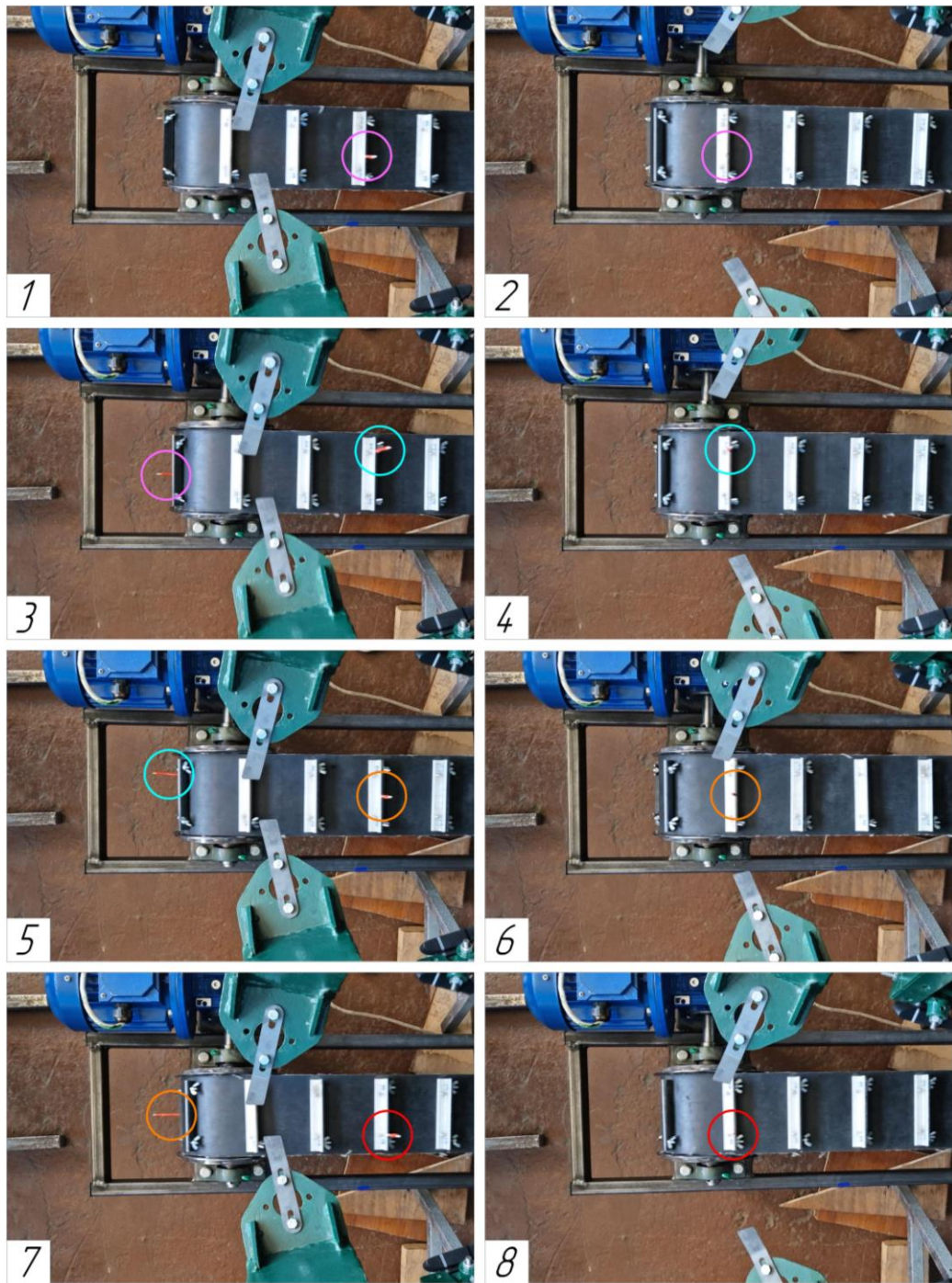


Рисунок 3.24 – Стоп-кадры видеосъёмки, выполненной при проведении опыта по определению функций $t_3^p(V_L)$, $t_3^c(V_L)$ (движение ленты – справа налево)

Расположение имитаторов рабочего органа относительно имитаторов культурного растения во время работы лабораторного стенда с подключёнными и гидравлическим стендом, и драйвером шагового двигателя при $\Delta X = 400$ мм и $\Delta Y = 60$ мм представлено на рисунке 3.25 в виде стоп-кадров проведённой видеосъёмки, расположенных в хронологическом порядке.



Имитаторы культурного растения:

○¹_Ы ○²_О ○³_У ○⁴_Ы

Рисунок 3.25 – Стоп-кадры видеосъёмки, выполненной при работе лабораторного стенда с подключёнными гидравлическим стендом и драйвером шагового двигателя (движение ленты – справа налево)

Результаты лабораторных экспериментов по определению значений эмпирических коэффициентов $K_3^{\text{мод}}$, $K_3^{\text{р}}$ для каждого значения скорости транспортёрной

ленты V_L и соответствующих им значений времени задержки подачи управляющего воздействия $t_3^{\text{мод}}$, t_3^p представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Результаты лабораторных экспериментов по определению значений эмпирических коэффициентов $K_3^{\text{мод}}$, K_3^p и соответствующих им значений времени задержки подачи управляющего воздействия $t_3^{\text{мод}}$, t_3^p

Параметр	V_L , км/ч	$K_3^{\text{мод}}$	K_3^p	$t_3^{\text{мод}}$, мс	t_3^p , мс
Значение	0,710	1,25		259,2	
	0,899	2,40		135,0	
	1,097	5,00		64,8	
	1,295	9,70		33,4	
	1,501	15,00		21,6	

Графики зависимостей эмпирических коэффициентов $K_3^{\text{мод}}$, K_3^p и времени задержки подачи управляющего воздействия $t_3^{\text{мод}}$, t_3^p от скорости транспортёрной ленты представлены на рисунках 3.26 и 3.27 соответственно.

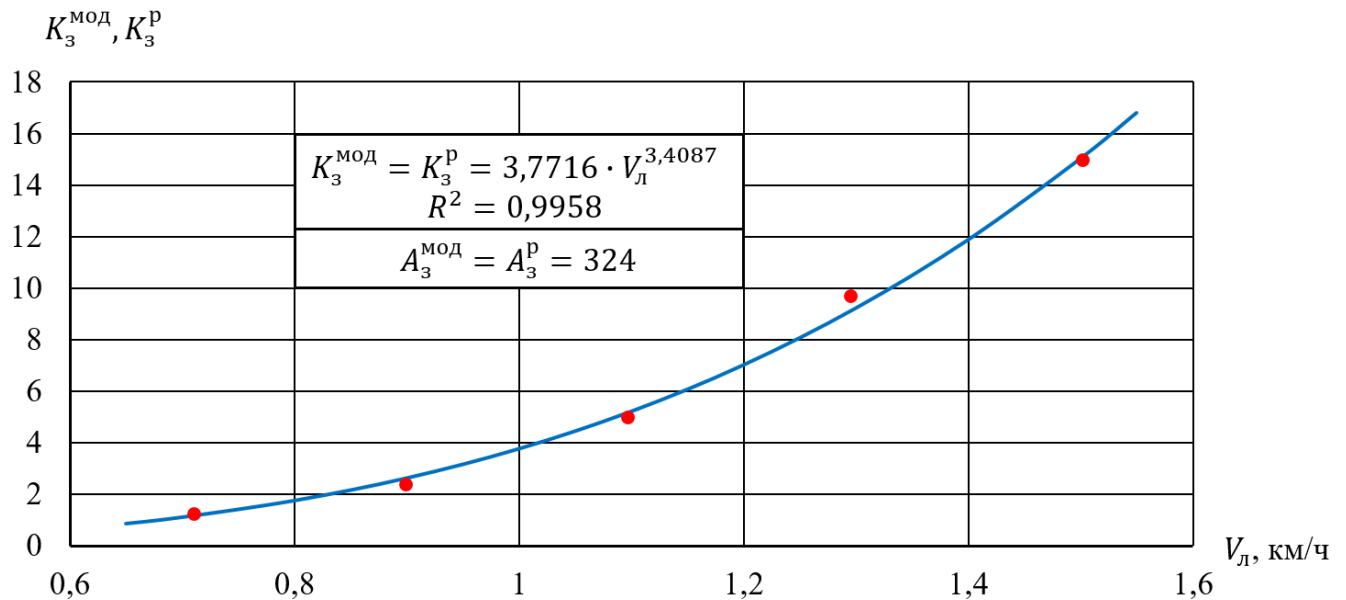


Рисунок 3.26 – График зависимости эмпирических множителей задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения и на разведение рабочих органов от скорости транспортёрной ленты, полученный по результатам лабораторных экспериментов

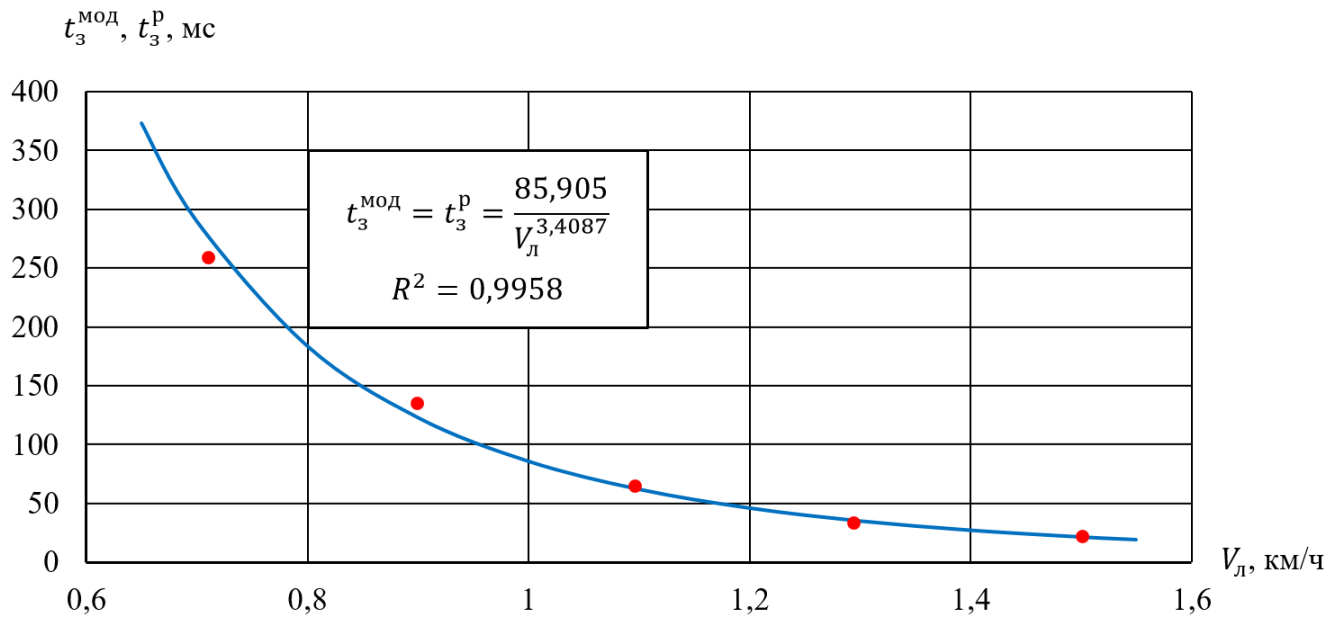


Рисунок 3.27 – График зависимости времени задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения и на разведение рабочих органов от скорости транспортёрной ленты, полученный по результатам лабораторных экспериментов

Результаты лабораторных экспериментов по определению значений эмпирических коэффициентов $K_3^{\text{ц}}, K_3^{\text{с}}$ для каждого значения скорости транспортёрной ленты $V_{\text{л}}$ и соответствующих им значений времени задержки подачи управляющего воздействия $t_3^{\text{ц}}, t_3^{\text{с}}$ представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Результаты лабораторных экспериментов по определению значений эмпирических коэффициентов $K_3^{\text{ц}}, K_3^{\text{с}}$ и соответствующих им значений времени задержки подачи управляющего воздействия $t_3^{\text{ц}}, t_3^{\text{с}}$

Параметр	$V_{\text{л}}, \text{км/ч}$	$K_3^{\text{ц}}$	$K_3^{\text{с}}$	$t_3^{\text{ц}}, \text{мс}$	$t_3^{\text{с}}, \text{мс}$
Значения	0,728	1,00		250,0	
	0,890	1,15		217,4	
	1,088	1,40		178,6	
	1,304	1,85		135,1	
	1,483	2,50		100,0	

Графики зависимостей эмпирических коэффициентов K_3^u , K_3^c и времени задержки подачи управляющего воздействия t_3^u , t_3^c от скорости транспортёрной ленты V_l представлены на рисунках 3.28 и 3.29 соответственно.

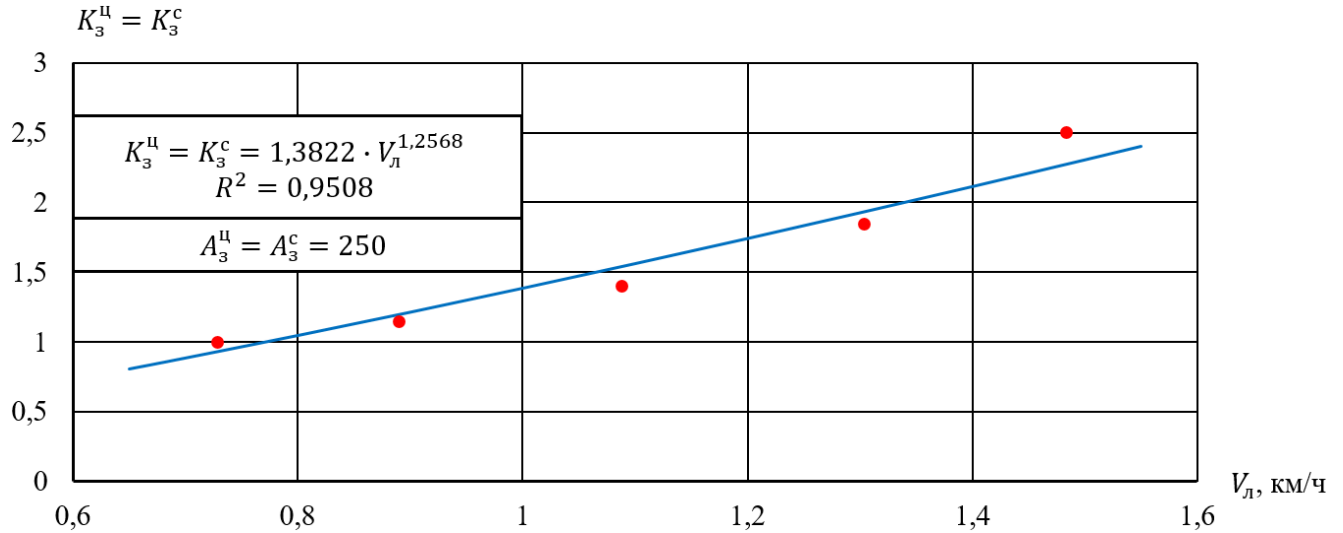


Рисунок 3.28 – График зависимости эмпирических множителей задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение и сведение рабочих органов от скорости транспортёрной ленты, полученный по результатам лабораторных экспериментов

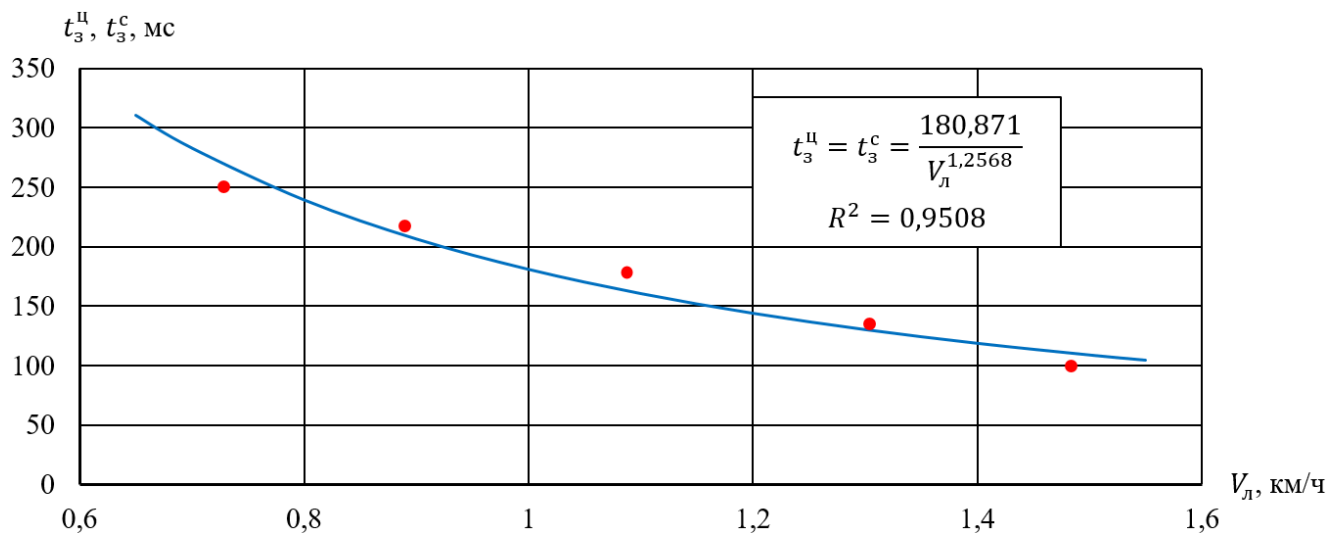


Рисунок 3.29 – График зависимости времени задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение и сведение рабочих органов от скорости транспортёрной ленты, полученный по результатам лабораторных экспериментов

Таким образом, установлено, что зависимость между временем задержки подачи управляющего воздействия и скоростью транспортёрной ленты является степенной и описывается системой выражений:

$$\begin{cases} t_3^{\text{мод}}(V_L) = t_3^p(V_L) = \frac{85,905}{V_L^{3,4087}}, \\ t_3^{\text{н}}(V_L) = t_3^c(V_L) = \frac{180,871}{V_L^{1,2568}} \end{cases} (t_3^{\text{мод}}, t_3^p, t_3^{\text{н}}, t_3^c - \text{в мс}, V_L - \text{в км/ч}). \quad (3.4)$$

3.7.4 Результаты лабораторно-полевого исследования опытного образца машины

Расположение имитаторов рабочего органа относительно имитаторов культурного растения при проведении опытов представлено на рисунке 3.30 в виде кадров проведённой видеосъёмки, расположенных в хронологическом порядке.

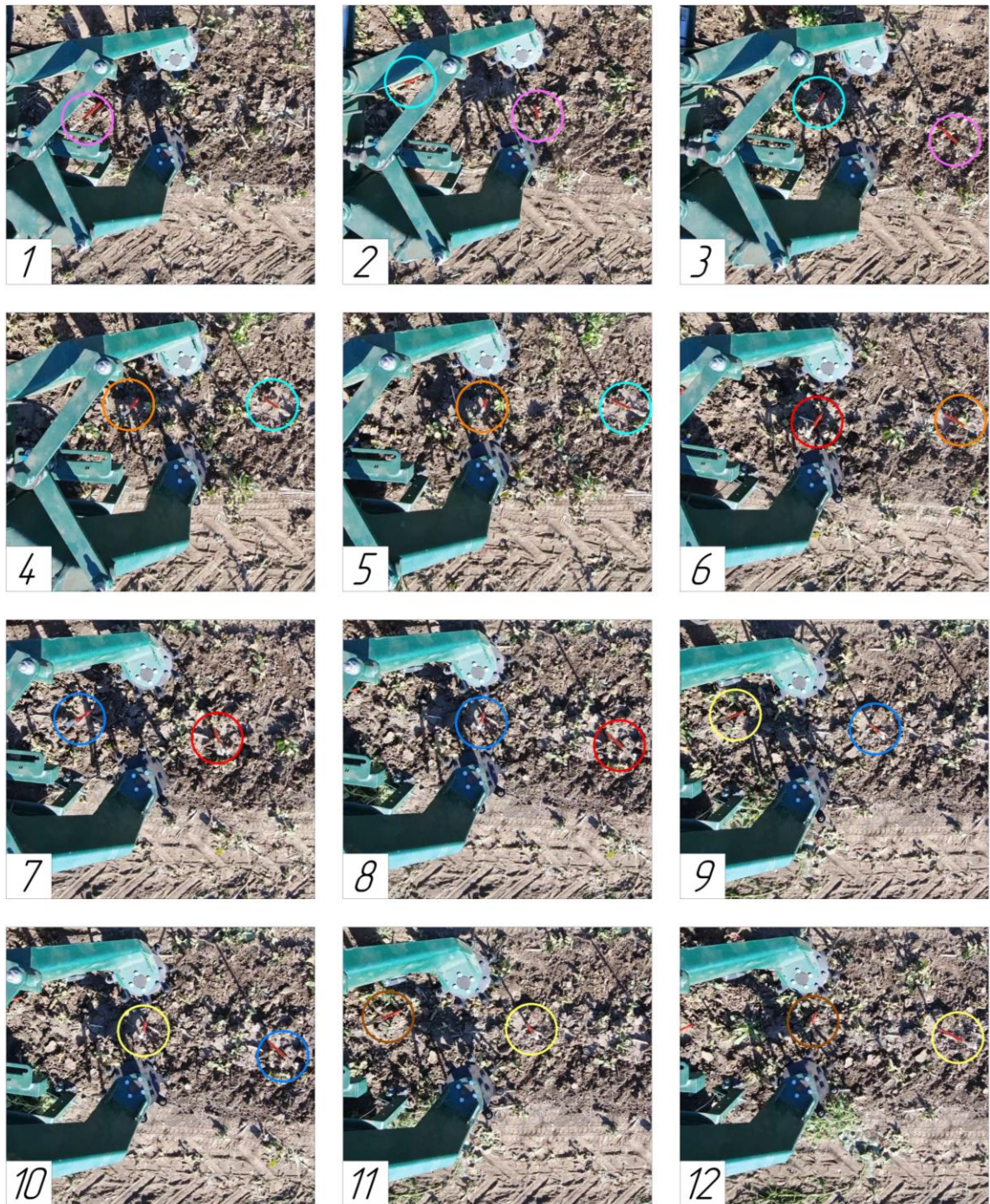
По результатам лабораторно-полевых экспериментов, на основе полученной во время проведения лабораторных экспериментов системы выражений (3.4), установлено, что зависимость между временем задержки подачи управляющего воздействия и рабочей скоростью машины описывается следующей системой выражений:

$$\begin{cases} t_3^{\text{мод}}(V_X) = t_3^p(V_X) = \frac{21,566}{V_X^{3,4087}}, \\ t_3^{\text{н}}(V_X) = t_3^c(V_X) = \frac{45,407}{V_X^{1,2568}} \end{cases} (t_3^{\text{мод}}, t_3^p, t_3^{\text{н}}, t_3^c - \text{в мс}, V_X - \text{в км/ч}), \quad (3.5)$$

что подтверждает выдвинутое в ходе теоретических исследований предположение о виде данных зависимостей (см. параграф 2.8).

Увеличение глубины обработки почвы приводило к аварийной остановке работы драйвера, что свидетельствовало о недостаточном значении крутящего момента, передаваемого винту ШВП. Предполагаем, что достичь достаточного значения данного параметра можно путём использования шагового двигателя или энергетического средства другого вида (например, гидравлического, состоящего из гид-

ромотора и гидроклапана), которые обладают более высоким максимальным крутящим моментом, передаваемым выходным валом.



Имитаторы культурного растения:

○^{1_{ый}} ○^{2_{ой}} ○^{3_{ий}} ○^{4_{ый}} ○^{5_{ый}} ○^{6_{ой}} ○^{7_{ой}}

Рисунок 3.30 – Стоп-кадры видеосъёмки, выполненной во время лабораторно-полевого исследования опытного образца машины (движение машины – справа налево)

Вместе с тем отметим, что угловая скорость, передаваемая приводным устройством винту ШВП, обратно пропорциональна передаваемому крутящему моменту и прямо пропорциональна поперечной скорости модуля, поэтому увеличение крутящего момента также должно сопровождаться увеличением угловой скорости выходного вала энергетического средства.

Выводы по главе

1. Разработана программа экспериментальных исследований машины, включающая измерения параметров посадок в плодopитомниках, лабораторное исследование машины с ручной электрифицированной системой управления рабочими органами, лабораторное исследование машины с автоматизированной системой управления рабочими органами и лабораторно-полевое исследование опытного образца машины с автоматизированной системой управления рабочими органами.

2. Разработаны лабораторные установки:

- имитатор ряда, состоящий из рамы с корпусными подшипниками, натяжных устройств, мотор-редуктора, приводного и натяжного барабанов, транспортёрной ленты, содержащей планки, предназначенные для закрепления имитаторов культурного растения;

- имитатор модуля машины, состоящий из рамы, содержащей поперечную балку, шагового двигателя, полиамидных пластин, корпусных подшипников с установленным на них винтом шарико-винтовой передачи, корпуса с установленными на нём гайкой шарико-винтовой передачи и имитаторами рамки, на которых закреплены имитаторы рабочего органа, упругой муфты и роликовой опоры.

3. Разработан опытный образец машины, состоящий из рамы, содержащей направляющую, навесное устройство и кронштейны, опорных колес и модуля, представляющего собой корпус с установленными на нём левой и правой видеокамерами и поворотными рамками, на каждой из которых размещён бесприводной

ротационный рабочий орган, шарико-винтовой передачи, цепной передачи, шагового двигателя, драйвера, повышающего преобразователя напряжения, тяг, гидроцилиндра, электрогидрораспределителя, двух индуктивных датчиков, выступающих в качестве ограничителей перемещения штока гидроцилиндра, двух индуктивных датчиков, выступающих в качестве ограничителей перемещения модуля, возбуждателя индуктивных датчиков, USB-концентратора, ноутбука, платы с микроконтроллером, полых лап.

4. Разработаны лабораторные стенды:

- имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме, состоящий из имитатора рядка, имитатора модуля машины, преобразователя частоты тока и стендовой версии АСУ № 1;

- имитации обработки почвы в автоматизированном режиме, состоящий из имитатора рядка, преобразователя частоты тока, гидравлического стенда и опытного образца машины с элементами стендовой версии АСУ № 2.

5. Разработаны программы:

- управления рабочими органами машины в ручном электрифицированном режиме (язык программирования – C++);

- управления рабочими органами машины в автоматизированном режиме (язык программирования – Python);

- подачи управляющих воздействий от микроконтроллера на элементы исполнительных механизмов (язык программирования – C++, среда – Arduino IDE).

6. Проведены измерения параметров посадок в плодопитомниках Алтайского края, по результатам которых установлено следующее:

- отклонение культурного растения $Y_{кр}$ и смещение культурных растений ΔY в плодопитомниках подчиняются закону нормального распределения;

- в плодопитомнике с посадками вишни, выполненными вручную в щели, образованные щелеобразователем с бесприводными рабочими органами, отклонение культурного растения лежит в интервале $Y_{кр} \in (-18,1; 18,1 \text{ см})$, смещение культурных растений – в интервале $\Delta Y \in (-16,3; 15,3 \text{ см})$, средний шаг культурных растений составляет $\Delta X_{ср} = 15,0 \text{ см}$;

– в плодopитомнике с посадками чёрной смородины, выполненными вручную в щели, образованные четырёхрядным роторным щелеобразователем, отклонение культурного растения лежит в интервале $Y_{кр} \in (-8,9; 9,6 \text{ см})$, смещение культурных растений – в интервале $\Delta Y \in (-6,2; 6,1)$, средний шаг культурных растений составляет $\Delta X_{ср} = 13,6 \text{ см}$;

– в плодopитомнике с посадками жимолости, выполненными вручную в щели, образованные четырёхрядным роторным щелеобразователем, отклонение культурного растения лежит в интервале $Y_{кр} \in (-9,8; 10,1 \text{ см})$, смещение культурных растений – в интервале $\Delta Y \in (-6,1; 6,6 \text{ см})$, средний шаг культурных растений составляет $\Delta X_{ср} = 13,7 \text{ см}$.

7. Проведены эксперименты на лабораторном стенде имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме, по результатам которых установлено следующее:

- поперечная скорость модуля должна превышать максимальную скорость корпуса имитатора модуля;
- минимальное допустимое значение точности позиционирования составляет $S_{0min} = 20 \text{ мм}$.

8. Проведены эксперименты на лабораторном стенде имитации обработки почвы в автоматизированном режиме, по результатам которых установлено следующее:

- работа стенда стабильна при скорости транспортёрной ленты $V_{л} < 1,7 \text{ км/ч}$;
- коэффициенты задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения и на разведение рабочих органов при работе машины в лабораторных условиях составляют $A_3^{мод} = A_3^p = 85,905 \text{ мс} \cdot \left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)^{3,4087}$;

- коэффициенты задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение и на сведение рабочих органов при работе машины в лабораторных условиях составляют $A_3^ц = A_3^с = 180,871 \text{ мс} \cdot \left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)^{1,2568}$.

9. Проведено лабораторно-полевое исследование опытного образца машины, по результатам которого установлено следующее:

- разработанная машина является работоспособной;
- вид зависимостей между параметрами, характеризующими задержку подачи соответствующего управляющего воздействия, и рабочей скоростью машины – степенной, что подтверждает предположение о виде данных зависимостей; зависимости задаются выражениями: $t_3^{\text{мод}} = t_3^p = \frac{21,566}{V_X^{3,4087}}$, $t_3^u = t_3^c = \frac{45,407}{V_X^{1,2568}}$ ($t_3^{\text{мод}}$, t_3^p , t_3^u , t_3^c – в мс, V_X – в км/ч);

- коэффициенты задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения и на разведение рабочих органов при работе машины в лабораторно-полевых условиях составляют $A_3^{\text{мод}} = A_3^p = 21,566 \text{ мс} \cdot \left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)^{3,4087}$;

- коэффициенты задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение и на сведение рабочих органов при работе машины в лабораторно-полевых условиях составляют $A_3^u = A_3^c = 45,407 \text{ мс} \cdot \left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)^{1,2568}$.

10. Установлены режимы работы машины: рабочая скорость – до 1,7 км/ч; глубина обработки почвы – до 80 мм.

11. Выявлены тенденции развития машины: повышение допустимой рабочей скорости машины, приводящее к увеличению производительности машины; увеличение максимального значения допустимой глубины обработки почвы. Предложенным решением, реализующим данные тенденции, является повышение поперечной скорости модуля и крутящего момента, передаваемого винту шарико-винтовой передачи, за счёт использования энергетического средства, обладающего более высокими максимальными значениями частоты вращения выходного вала и крутящего момента, передаваемого им. Дальнейшее повышение поперечной скорости модуля, предположительно, будет способствовать повышению рабочей скорости машины, приводящему к увеличению производительности машины.

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экономическая оценка использования машины – это комплекс методов и показателей, которые позволяют оценить эффективность эксплуатации машины с учётом её технической характеристики, затрат ресурсов и экономических факторов. Данная оценка направлена на установление целесообразности применения предложенного решения в реальных условиях и выбор наиболее подходящего варианта для конкретного потребителя.

Из дальнейших расчётов будет видно, что на экономический эффект от внедрения предложенной машины и срок окупаемости дополнительных капиталовложений существенно влияет целый ряд параметров, среди которых – цена предложенной машины и площадь плодопитомника. Вывод об экономической эффективности предложенного решения следует устанавливать для каждого отдельно рассматриваемого случая, и в настоящей работе представлено определение технико-экономических показателей в общем виде, а также примеры расчётов при определённых значениях исходных данных. В ряде случаев экономический эффект является положительным, что обусловлено снижением приведённых затрат, достигаемым за счёт реализации автоматизированной системы управления рабочими органами.

Определение технико-экономических показателей предложенной машины выполнено с учётом результатов, представленных автором в работе [117].

4.1 Подбор трактора

Предложенная машина, согласно её конструктивно-технологической схеме (см. рисунок 2.20), является навесной. Следовательно, необходимо выполнить подбор трактора, с которым допускается агрегатировать предложенную машину.

4.1.1 Требования, предъявляемые к трактору предложенного машинно-тракторного агрегата

Требования, предъявляемые к трактору, с которым допускается агрегатировать предложенную машину:

1. Агротехнический просвет трактора должен быть не менее 500 мм.
2. Размеры колеи по колёсам должны быть такими, чтобы обеспечивался проход трактора в междурядьях (исходя из значения ширины междурядья $b = 70$ см, (см. с. 149)). Как правило, колея трактора такова, что во время работы машины трактор движется над чётным количеством рядков культурных растений. Вследствие этого рациональное количество модулей, размещаемых на машине, – чётное, что обеспечивает их симметричное расположение относительно продольной плоскости симметрии трактора.
3. Трактор должен содержать гидросистему для подключения гидрооборудования машины.
4. Номинальное тяговое усилие трактора должно превышать максимальную силу сопротивления движению машины.
5. Номинальная мощность двигателя трактора должна превышать его максимальную эффективную мощность.

При наличии нескольких тракторов, подходящих по данным требованиям, наиболее целесообразно выбрать тот, который имеет наименьшие тяговый класс, массу, расход топлива.

4.1.2 Определение минимально допустимого тягового класса трактора

Расчёт максимальной силы сопротивления движению предложенной машины $R_{\text{м}max}^{\text{п}}$ выполнен согласно методике, представленной в параграфах 2.7.1–2.7.5, при:

- удельном сопротивлении почвы $k = 50$ кПа [8, с. 123];
- коэффициенте сопротивления перекачиванию $f_{\text{сп}} = 0,2$ [8, с. 124].

Параметры машины, являющиеся исходными данными для расчёта силы сопротивления её движению:

- масса машины $m = 360$ кг (на основе данных о массе опытного образца в таблице 3.3);
- количество модулей $n_{\text{мод}} = 2$ (с учётом того, что при последующем определении интегрального показателя конкурентоспособности предложенной машины, годового экономического эффекта от внедрения предложенной машины и срока окупаемости дополнительных капиталовложений (параграфы 4.2 и 4.3 соответственно) в качестве базовых приняты такие машины, которые имеют две секции);
- количество полевых лап модуля, обрабатывающих междурядья, ближайшие к ряду культурных растений по обе его стороны, $n_{\text{пл}} = 2$;
- максимальная продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы модуля, $P_{\text{мод}X_{\text{max}}} = 275,06$ Н (согласно расчёту в параграфе 2.9.7);
- площадь сечения пласта почвы, захватываемого полевой лапой, $S_{\text{пл}} = 7,7 \cdot 10^{-4}$ м² (определена согласно 3D-модели полевой лапы [63] в программе «КОМПАС-3D»).

Согласно проведённому расчёту, $R_{\text{м}max}^{\text{п}} = 1\,410,4$ Н.

Таким образом, минимально допустимый тяговый класс – 0,2, поскольку номинальное тяговое усилие трактора данного класса, согласно ГОСТ 27021–86 [32], лежит в интервале от 1,8 до 5,4 кН.

Исходя из предъявляемых к трактору требований, представленных в параграфе 4.1.1, и результата расчёта максимальной силы сопротивления движению машины, предварительно выбираем трактор Агромаш-30ТК 121 [160], техническая характеристика которого представлена в таблице 4.1. Результаты расчёта параметров $P_{\text{мод}X}$, $P_{\text{мод}Y}$ и $R_{\text{м}}^{\text{п}}$ при $V_X = 1,61$ км/ч представлены на рисунках 4.1–4.3.

Таблица 4.1 – Техническая характеристика трактора Агромаш-30ТК 121

Параметр	Значение
Размеры колеи по передним колёсам, мм	от 1224 до 1522 (регулируемая) [161]
Агротехнический просвет по переднему мосту, мм	510 [161]
Номинальная мощность двигателя N_H , кВт	22,1 [161]
Эксплуатационная масса $m_{тр}$, кг	2 550 [161]
Удельный расход топлива двигателя $q_{топл}$, кг/(кВт·ч)	0,245 [160]
Номинальное давление в гидросистеме $p_{гт}$, МПа	14 [161]
КПД механических потерь в трансмиссии $\eta_{мп}$	0,8 [59, с. 43]
Коэффициент, устанавливаемый в зависимости от вида трактора А	$3,24 \cdot 10^{-3}$ [32]
Рабочая скорость V_X (передача 13АМ), км/ч	1,61 [161]

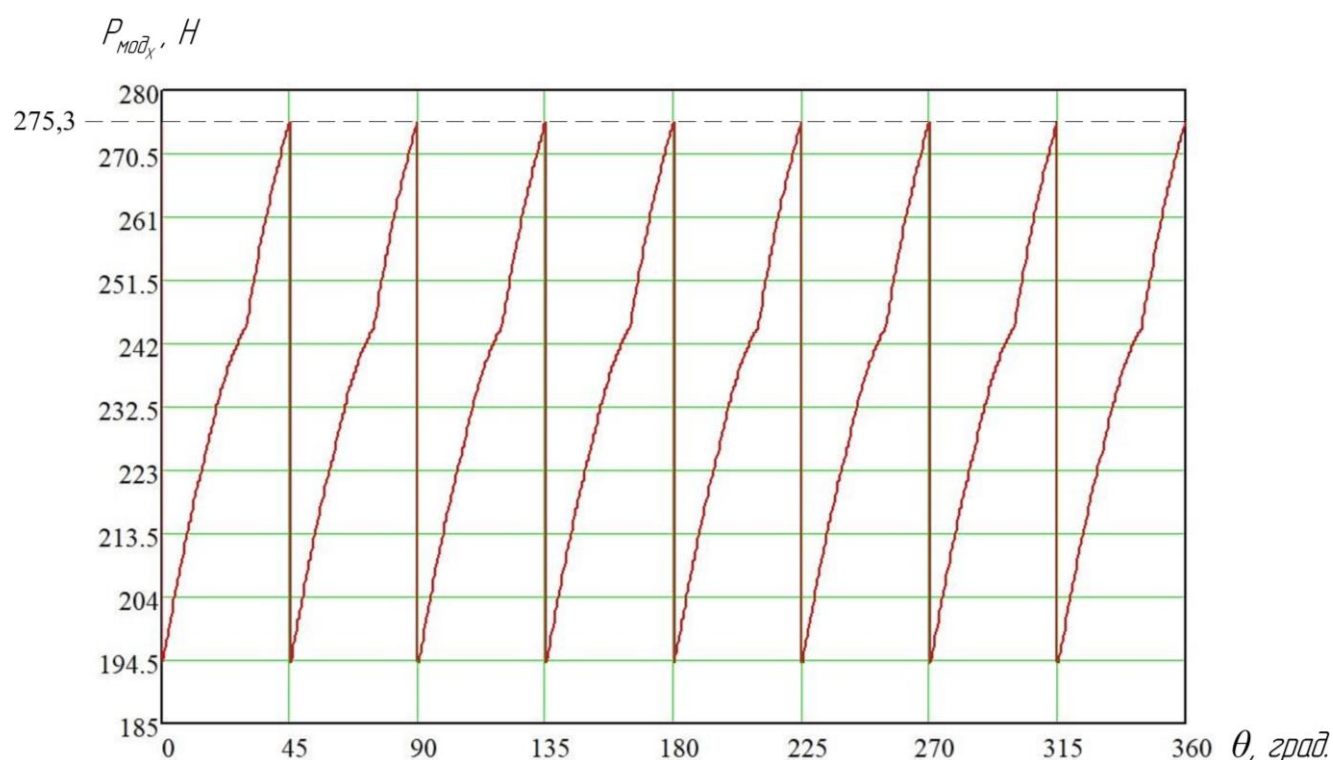


Рисунок 4.1 – График зависимости продольной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы модуля, от угла поворота пальца вокруг оси вращения диска рабочего органа, при рабочей скорости машины $V_X = 1,61$ км/ч

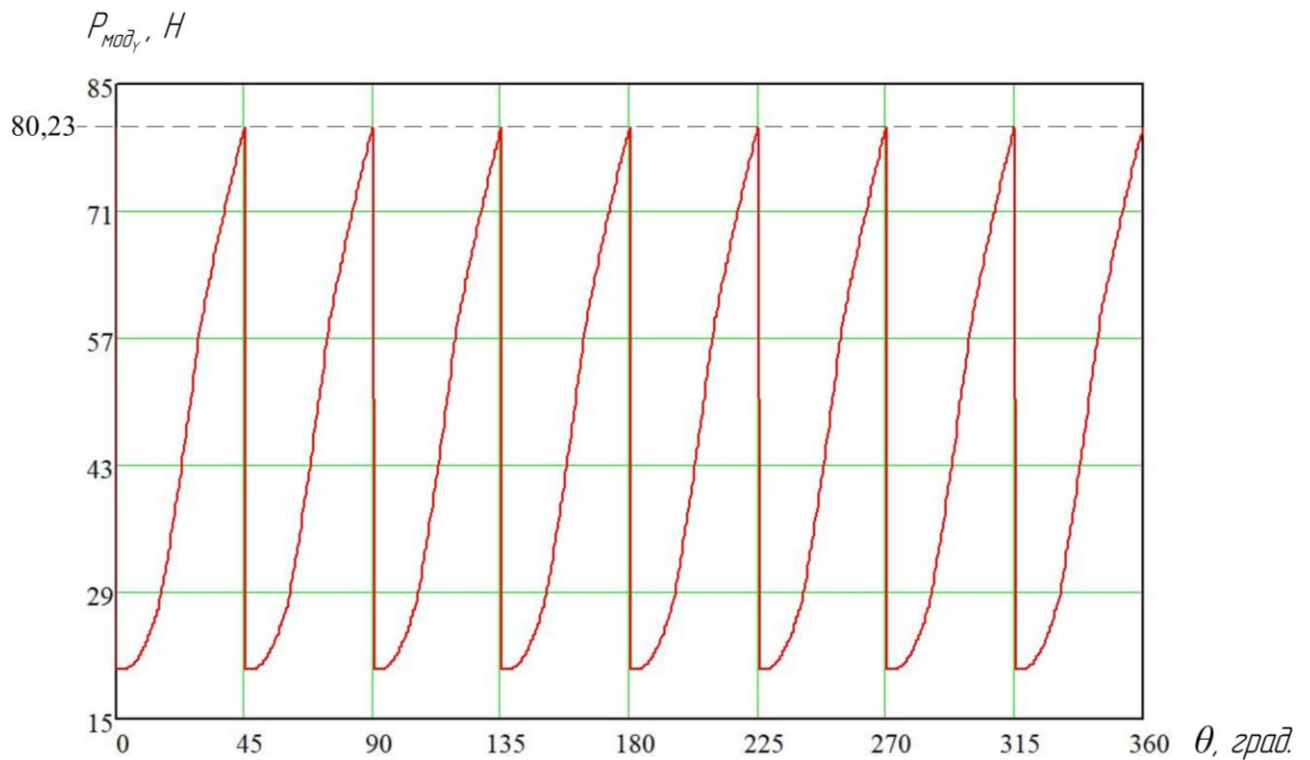


Рисунок 4.2 – График зависимости поперечной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы модуля, от угла поворота пальца вокруг оси вращения диска рабочего органа, при рабочей скорости машины $V_X = 1,61$ км/ч

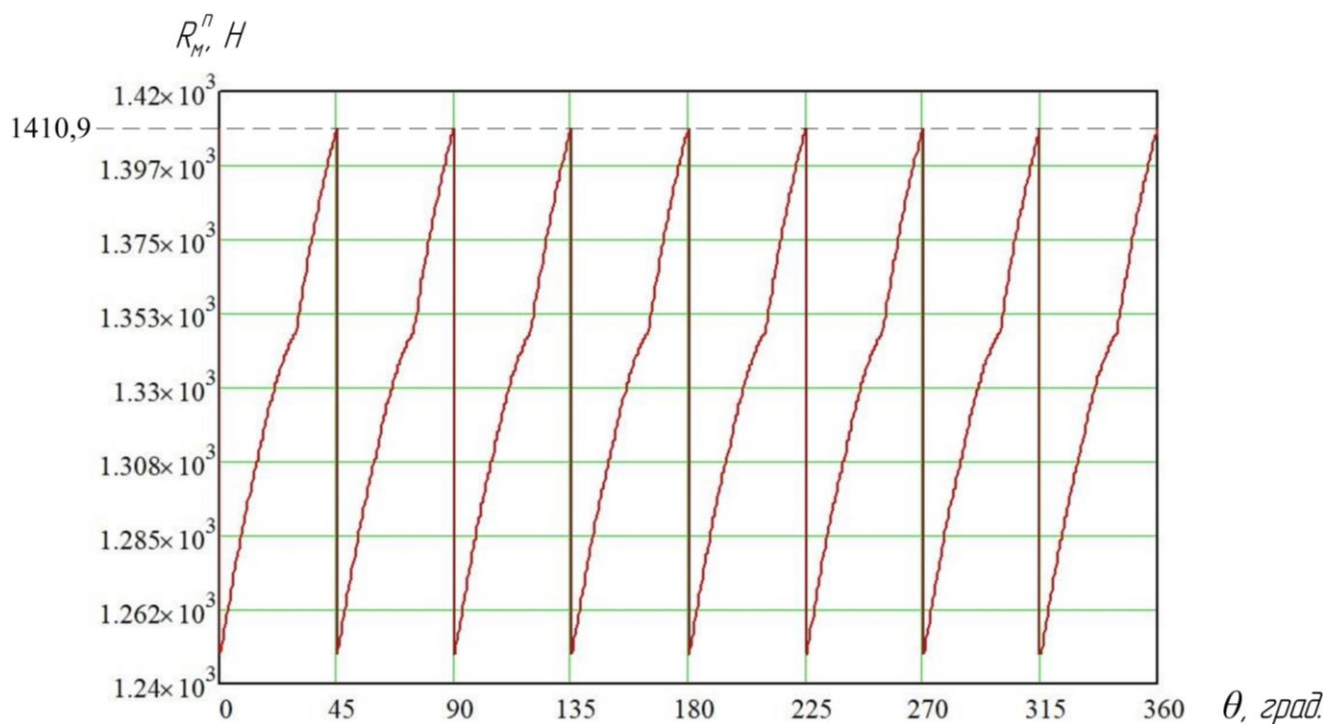


Рисунок 4.3 – График зависимости силы сопротивления движению машины от угла поворота пальца вокруг оси вращения диска рабочего органа при рабочей скорости машины $V_X = 1,61$ км/ч

Максимальные значения силовых показателей предложенного МТА по результатам расчёта представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Максимальные значения силовых показателей предложенного МТА по результатам расчёта

Параметр	Значение
Максимальная продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы модуля $P_{\text{мод}X_{\text{max}}}$, Н	275,30
Максимальная поперечная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы модуля $P_{\text{мод}Y_{\text{max}}}$, Н	80,23
Максимальная сила сопротивления движению машины $R_{\text{м}max}^{\text{п}}$, Н	1 410,9

4.1.3 Расчёт шагового двигателя

Приводным устройством модуля предложенной машины является шаговый двигатель, соединённый с винтом ШВП посредством цепной передачи. Допустимость использования шагового двигателя установим исходя из следующего условия:

$$M_{\text{шд}y} > M_{\text{шд}max}, \quad (4.1)$$

где $M_{\text{шд}y}$ – удерживающий момент шагового двигателя;

$M_{\text{шд}max}$ – максимальный крутящий момент, создаваемый на выходном вале шагового двигателя.

Крутящий момент, создаваемый на выходном вале шагового двигателя, определим по формуле:

$$M_{\text{шд}} = \frac{N_{\text{шд}}}{\omega_{\text{шд}}}, \quad (4.2)$$

где $N_{\text{шд}}$ – мощность шагового двигателя;

$\omega_{\text{шд}}$ – угловая скорость выходного вала шагового двигателя.

С учётом того, что в качестве винтовой передачи принята ШВП, а вал шагового двигателя и винт ШВП связаны посредством цепной передачи, угловую скорость выходного вала шагового двигателя определим из выражения:

$$\omega_{\text{шд}} = \omega_{\text{ШВП}} \cdot i_{\text{цп}}, \quad (4.3)$$

где $\omega_{\text{ШВП}}$ – угловая скорость винта ШВП;

$i_{\text{цп}}$ – передаточное число цепной передачи.

Передаточное число цепной передачи определяют по формуле:

$$i_{\text{цп}} = \frac{z_1}{z_2}, \quad (4.4)$$

где z_1 – количество зубьев ведомой звёздочки;

z_2 – количество зубьев ведущей звёздочки.

Мощность шагового двигателя $N_{\text{шд}}$ определим по формуле:

$$N_{\text{шд}} = \frac{N_{\text{ШВП}}}{\eta_{\text{цп}}}, \quad (4.5)$$

где $N_{\text{ШВП}}$ – мощность, передаваемая ШВП;

$\eta_{\text{цп}}$ – КПД цепной передачи;

Мощность, передаваемую ШВП, определим по формуле:

$$N_{\text{ШВП}} = F_{\text{в}} \cdot V_{\text{моду}}, \quad (4.6)$$

где F_B – осевая нагрузка, действующая на винт ШВП.

Осевую нагрузку, действующую на винт ШВП, определим из выражения:

$$F_B = F + P_{\text{модуль}}, \quad (4.7)$$

где F – сила трения, действующая на модуль.

Силу трения, действующую на модуль, определим по формуле:

$$F = \mu \cdot m_{\text{мод}} \cdot g, \quad (4.8)$$

где μ – коэффициент трения скольжения стали по стали;

$m_{\text{мод}}$ – масса модуля;

g – ускорение свободного падения.

За один оборот винта ШВП модуль перемещается на шаг винта ШВП $S_{\text{ШВП}}$.
Следовательно, поперечная скорость модуля равна:

$$V_{\text{модуль}} = \frac{S_{\text{ШВП}}}{T_{\text{ШВП}}}, \quad (4.9)$$

где $T_{\text{ШВП}}$ – период вращения винта ШВП.

Период вращения винта ШВП определим по формуле:

$$T_{\text{ШВП}} = \frac{2\pi}{\omega_{\text{ШВП}}}. \quad (4.10)$$

Исходя из выражений (4.2)–(4.10), крутящий момент, создаваемый на выходном вале шагового двигателя, определим по формуле:

$$M_{шд} = \frac{(\mu \cdot m_{мод} \cdot g + P_{моду}) \cdot S_{ШВП} \cdot z_2}{2 \cdot \pi \cdot z_1 \cdot \eta_{цп}}. \quad (4.11)$$

Исходя из выражений (4.2)–(4.4), (4.9)–(4.11), мощность шагового двигателя определим по формуле:

$$N_{шд} = \frac{(\mu \cdot m_{мод} \cdot g + P_{моду}) \cdot V_{моду}}{\eta_{цп}}. \quad (4.12)$$

Рассчитаем максимальный крутящий момент, создаваемый на выходном вале шагового двигателя, и максимальную мощность шагового двигателя при:

- коэффициенте трения скольжения стали по стали $\mu = 0,1$ [9, с. 98];
- КПД цепной передачи $\eta_{цп} = 0,97$ [10, с. 425].

Параметры машины, являющиеся исходными данными для расчёта, представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Параметры машины, являющиеся исходными данными для расчёта максимального крутящего момента, создаваемого на выходном вале шагового двигателя, и максимальной мощности шагового двигателя

Параметр	Значение
Масса модуля $m_{мод}$, кг	40 (согласно 3D-модели машины в программе «КОМПАС-3D»)
Шаг винта ШВП $S_{ШВП}$, мм	20 [19]
Количество зубьев ведущей звёздочки z_2 , шт.	13
Количество зубьев ведомой звёздочки z_1 , шт.	15
Максимальная поперечная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы модуля $P_{моду_{max}}$, Н	80,23 (согласно расчёту в параграфе 4.1.2)

По результатам расчёта $M_{шд_{max}} = 0,34$ Н·м, $N_{шд_{max}} = 26,44$ Вт.

4.1.4 Определение максимальной эффективной мощности двигателя трактора

Эффективную мощность двигателя трактора определяют по формуле:

$$N_e = N_{\text{тр}} + N_{\text{м}} + N_{\text{эс}}, \quad (4.13)$$

где $N_{\text{тр}}$ – мощность, требуемая для перемещения трактора;

$N_{\text{м}}$ – мощность, требуемая для перемещения машины;

$N_{\text{эс}}$ – мощность, требуемая энергетическим средствам.

Мощность, требуемую для перемещения трактора, определяют по формуле:

$$N_{\text{тр}} = N_{\text{тт}} + N_{\text{б}} + N_{\text{пт}}, \quad (4.14)$$

где $N_{\text{тт}}$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в трансмиссии трактора;

$N_{\text{б}}$ – мощность, затрачиваемая на буксование трактора;

$N_{\text{пт}}$ – мощность, затрачиваемая на перекатывание трактора.

Мощность, затрачиваемую на преодоление сил трения в трансмиссии трактора, определяют по формуле:

$$N_{\text{тт}} = N_{\text{н}} \cdot (1 - \eta_{\text{мп}}). \quad (4.15)$$

Мощность, затрачиваемую на буксование трактора, определяют по формуле:

$$N_{\text{б}} = P_{\text{нт}} \cdot V_X \cdot \delta_{\text{б}}, \quad (4.16)$$

где $P_{нт}$ – номинальное тяговое усилие трактора;

δ_6 – коэффициент буксования.

Номинальное тяговое усилие трактора в кН, согласно ГОСТ 27021–86 «Трактора сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы» [32], определяют по формуле:

$$P_{нт} = A \cdot m_{тр} (m_{тр} - \text{в кг}). \quad (4.17)$$

Мощность, затрачиваемую на перекатывание трактора, определяют по формуле:

$$N_{пт} = P_{пт} \cdot V_X, \quad (4.18)$$

где $P_{пт}$ – сила сопротивления перекатыванию трактора, определяемая по формуле:

$$P_{пт} = f_{сп} \cdot m_{тр} \cdot g. \quad (4.19)$$

Мощность, требуемую для перемещения машины, определим по формуле:

$$N_m = R_m \cdot V_X. \quad (4.20)$$

Из выражений (4.13)–(4.20) получим:

$$N_e = N_n \cdot (1 - \eta_{мп}) + V_X \cdot (A \cdot m_{тр} \cdot \delta_6 + f_{сп} \cdot m_{тр} \cdot g + R_m) + N_{эс}. \quad (4.21)$$

Поскольку во время работы предложенной машины энергетические средства (шаговый двигатель, гидроцилиндр) работают непостоянно, то в каждый момент времени величина $N_{эс}$ и, соответственно, величина N_e принимают разные значения.

Максимальное значение мощности, требуемой энергетическим средствам $N_{эсmax}$ (а следовательно, и максимальное значение эффективной мощности двигателя $N_{еmax}$), возникает в момент времени, когда работают все энергетические средства. Тогда для предложенной машины:

$$N_{эсmax}^п = n_{мод} \cdot (N_{шдmax} + N_{гц}), \quad (4.22)$$

где $N_{гц}$ – мощность, требуемая для перемещения штока гидроцилиндра, определяемая по формуле:

$$N_{гц} = p_{гт} \cdot Q_{гц}, \quad (4.23)$$

где $Q_{гц}$ – расход масла в гидроцилиндре, определяемый по формуле:

$$Q_{гц} = S_{ш} \cdot V_{ш}, \quad (4.24)$$

где $S_{ш}$ – площадь сечения штока гидроцилиндра;

$V_{ш}$ – скорость штока при втягивании (выдвижении).

Исходя из выражений (4.21)–(4.24), максимальную эффективную мощность двигателя трактора при работе предложенной машины определим по формуле:

$$\begin{aligned} N_{еmax}^п = N_n \cdot (1 - \eta_{мп}) + V_X \cdot (A \cdot m_{тр} \cdot \delta_б + f_{сп} \cdot m_{тр} \cdot g + R_{мmax}^п) + \\ + n_{мод} \cdot (N_{шдmax} + p_{гт} S_{ш} V_{ш}). \end{aligned} \quad (4.25)$$

Рассчитаем максимальную эффективную мощность двигателя предварительно выбранного трактора Агромаш-30ТК 121 при работе предложенной машины при:

- коэффициенте буксования $\delta_б = 0,16$ [32];
- коэффициенте сопротивления перекачиванию $f_{сп} = 0,2$ [8, с. 124];

- глубине обработки почвы $h = 80$ мм;
- удельном сопротивлении почвы $k = 50$ кПа [8, с. 123].

Параметры предложенного МТА, являющиеся исходными данными для расчёта, представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Параметры предложенного МТА, являющиеся исходными данными для расчёта максимальной эффективной мощности двигателя трактора

Параметр	Значение
Рабочая скорость V_X , км/ч	1,61 (согласно данным таблицы 4.1)
Количество модулей рабочих органов $n_{\text{мод}}$, шт.	2
Максимальная сила сопротивления движению машины $R_{\text{м} \max}^{\text{п}}$, Н	1 410,9 (определена в параграфе 4.1.2)
Максимальная мощность шагового двигателя $N_{\text{шд} \max}$, Вт	26,44 (определена в параграфе 4.1.3)
Площадь сечения штока гидроцилиндра $S_{\text{ш}}$, мм ²	1 256,6 [22]
Скорость штока при втягивании (выдвигении) $V_{\text{ш}}$, м/с	0,16 (при времени выдвигения штока, равном 1 с)

По результатам проведённого расчёта максимальная эффективная мощность двигателя трактора Агромаш-30ТК 121 при работе предложенной машины составила $N_{e \max}^{\text{п}} = 13\,562,3$ Вт.

Номинальная мощность двигателя трактора превышает его максимальную эффективную мощность. Таким образом, агрегатирование предложенной машины с трактором Агромаш-30ТК 121 является допустимым.

4.2 Определение интегрального показателя конкурентоспособности предложенной машины

Определение интегрального показателя конкурентоспособности машины $k_{\text{м}}$, методика которого представлена в приложении Л, выполнено в соответствии с

ГОСТ Р 53057–2008 «Машины сельскохозяйственные. Методы оценки конкурентоспособности» [36].

Для наиболее информативного представления о конкурентоспособности предложенной машины в качестве базовых машин приняты:

- отечественная машина МПП-2 компании ООО «Ваш трактор» (см. с. 30);
- иностранная (а именно – канадская) машина Weeder Eco II компании UNIVERCO Inc (см. с. 31).

В качестве рассматриваемых технико-экономических показателей выбраны: цена машины C_M ; производительность машины Q ; безопасность труда оператора, характеризующаяся комплексным показателем $k_{\text{бт}}$.

Ориентируясь на стоимость опытного образца машины 550 000 рублей¹⁾, будем рассматривать *диапазон значений цены предложенной машины* $C_M^{\text{п}} \in [300\,000; 1\,000\,000 \text{ рублей}]$, поскольку цена машины может отличаться от стоимости опытного образца вследствие изменения себестоимости, обусловленной: а) последующей модернизацией конструкции и программно-аппаратного комплекса; б) изменением стоимости комплектующих изделий; в) изменением стоимости услуг, связанных с разработкой и изготовлением машины.

Производительность машины определена по формуле:

$$Q = B \cdot V_X, \quad (4.26)$$

где B – ширина захвата машины, определяемая для базовой и предложенной машин соответственно по формулам:

$$B^{\text{б}} = n_{\text{секц}} \cdot b, \quad (4.27)$$

$$B^{\text{п}} = n_{\text{мод}} \cdot b, \quad (4.28)$$

¹⁾ Определена с учётом затрат, связанных с изготовлением опытного образца одномодульного варианта машины и совершённых в ходе выполнения работ по программам «УМНИК» и «Студенческий стартап» (см. с. 9).

где $n_{\text{секц}}$ – количество секций рабочих органов базовой машины.

Исходные данные приведены в таблице 4.5, опасные и вредные факторы – в таблице 4.6, результаты расчёта – в таблице 4.7.

Таблица 4.5 – Исходные данные для расчёта интегрального показателя конкурентоспособности предложенной машины

Параметр	Значение			Значение удельного веса β соответствующего факторного коэффициента k^{Φ}
	у базовой машины МПП-2	у базовой машины ECO Weeder II	у предложенной машины	
Цена машины C_M^*	400 000 рублей [72]	6 875 долларов США [182] (512 800 рублей)**	от 300 000 до 1 000 000 рублей	0,3
Производительность машины Q , га/ч (при рабочей скорости $V_X = 1,61$ км/ч)	0,225			0,2
Количество работников МТА n_p , чел.	3 [72]	3 [187]	1	0,5***
* По состоянию на 22.04.2026. ** Без учёта таможенных сборов при поставке в Россию. *** Удельный вес факторного коэффициента безопасности труда оператора.				

Таблица 4.6 – Опасные и вредные факторы при работе на МТА

Фактор	Значение факторного коэффициента	
	у базовой машины $k_u^{\text{овфб}}$	у предложенной машины $k_u^{\text{овфп}}$
Запылённость	0,4	–
Шум	0,3	–
Психофизиологический	0,3	0,5
Нагрузка на глаза	–	0,5

Таблица 4.7 – Результаты расчёта интегрального показателя конкурентоспособности предложенной машины

Базовая машина	Диапазон значений интегрального показателя конкурентоспособности предложенной машины k_M
МПП-2	[1,91; 2,19]
ECO Weeder II	[1,95; 2,31]

Исходя из результатов расчёта, делаем вывод о том, что уровень конкурентоспособности предложенной машины – высокий. Также отметим, что поскольку действительная цена базовой машины Π_M^b ECO Weeder II с учётом таможенных сборов при поставке в Россию выше, то, следовательно, выше и соответствующее значение показателя k_M .

4.3 Определение годового экономического эффекта от внедрения предложенной машины и срока окупаемости дополнительных капиталовложений

Определение годового экономического эффекта от внедрения предложенной машины $\mathcal{E}_{\text{год}}$ и срока окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{\text{ок}}$ выполнено согласно методике, представленной в работе [39], базирующейся на ГОСТ Р 53056–2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» [35] и приведённой в приложении М.

В качестве базовой из вышеупомянутых выбрана машина для приствольной обработки почвы в плодopитомниках МПП-2 (см. с. 30), поскольку на российском рынке представлена именно она.

Параметры трактора Агpомаш-30ТК 121, базового и предложенного МТА, являющиеся исходными данными, представлены в таблицах 4.1 и 4.8 соответственно.

Примем:

- коэффициент, учитывающий затраты на доставку, а также содержание снабженческих организаций $\eta = 1,1$ [39];
- продолжительность работы в течение дня $T_d = 10$ ч;
- норму амортизационных отчислений $H_a = 0,125$ [77];
- норму ежегодных отчислений на текущий ремонт и техническое обслуживание $H_{\text{то}} = 0,125$ [77];
- коэффициент дополнительной оплаты работников $K_{\text{доп}} = 0,5$;

- норматив отчислений на социальные взносы $K_{отч} = 0,3$ (согласно статье 425 Налогового кодекса РФ [76]);
- коэффициент эффективности капиталовложений $E_H = 0,15$ [81].

Таблица 4.8 – Параметры базового и предложенного МТА, являющиеся исходными данными для определения годового экономического эффекта от внедрения предложенной машины и срока окупаемости дополнительных капиталовложений

Показатель	Значение	
	для базового МТА	для предложенного МТА
Цена машины C_M , руб.*	400 000 [72]	от 300 000 до 1 000 000
Производительность машины Q , га/ч (при рабочей скорости $V_X = 1,61$ км/ч)	0,225	
Количество трактористов $n_{тр}$, чел.	1	
Количество операторов машины $n_{оп}$, чел.	2	0**
Коэффициент сложности работ тракториста $K_{стр}$	1,5	
Коэффициент сложности работ оператора машины $K_{соп}$	1,25	—
* По состоянию на 22.04.2026. ** В предложенной машине функции оператора выполняет тракторист.		

Также среди исходных данных – комплексная цена топлива $C_{топл}$, количество дней работы машины в году $D_{год}$, часовая тарифная ставка обслуживающего персонала $C_{тар}$, эффективная мощность двигателя трактора N_e . Определим их.

Комплексная цена топлива по состоянию на 22.04.2026 составляет $C_{топл} = 78,7$ руб./л (что эквивалентно 91,5 руб./кг) [38].

Количество дней работы в году определим по формуле:

$$D_{год} = \frac{A_{сез}}{A_d}, \quad (4.29)$$

где $A_{сез}$ – объём работы, выполняемый за сезон;

A_d – объём работы, выполняемый за день.

Объём работы, выполняемый за сезон, определим по формуле:

$$A_{\text{сез}} = S_{\text{пп}} \cdot n_{\text{рв}}, \quad (4.30)$$

где $S_{\text{пп}}$ – площадь плодopитомника;

$n_{\text{рв}}$ – количество раз выполнения обработки почвы, примем $n_{\text{рв}} = 3$.

Объём работы, выполняемый за день, определим по формуле:

$$A_{\text{д}} = Q \cdot T_{\text{д}}. \quad (4.31)$$

Из выражений (4.29)–(4.31) получим:

$$D_{\text{год}} = \frac{S_{\text{пп}} \cdot n_{\text{рв}}}{Q \cdot T_{\text{д}}}. \quad (4.32)$$

Часовая тарифная ставка обслуживающего персонала, составившая $C_{\text{тар}} = 475$ руб./ч, определена в приложении Н.

Усреднённая эффективная мощность двигателя трактора при работе предложенной машины¹⁾, составившая $\overline{N_e^{\text{п}}} = 7\,932,6$ Вт, определена в приложении П.

Эффективная мощность двигателя трактора при работе базовой машины, составившая $N_e^{\text{б}} = 8524,1$ Вт, определена в приложении Р.

Помимо вышесказанного учтём, что определять диапазон рассматриваемых значений площади плодopитомника $S_{\text{пп}}$ следует исходя из следующих условий:

1) максимальная допустимая площадь плодopитомника $S_{\text{ппmax}}$ – это такая площадь, при которой машина достигает полной загрузки в течение рабочего дня на протяжении всего сезона возделывания культур;

¹⁾ Как было отмечено ранее (с. 194), величина N_e на протяжении работы предложенной машины принимает разные значения. Поэтому при определении усреднённой эффективной мощности двигателя трактора на протяжении работы машины следует учесть долю использования шагового двигателя и долю использования гидроцилиндра.

2) срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$ не должен превышать срок полезного использования машины $T_{пим}$ ¹⁾.

Максимальную допустимую площадь плодopитомника определим исходя из выражения (4.32):

$$S_{ппmax} = \frac{D_{годmax} \cdot Q \cdot T_d}{n_{рв}}, \quad (4.33)$$

где $D_{годmax}$ – максимальное количество дней работы машины в году, принимаем $D_{годmax} = 100$ (в период с мая по август).

Таким образом, максимальная допустимая площадь плодopитомника равна $S_{ппmax} = 75,13$ га.

Согласно статье 259 Налогового кодекса РФ [76], при применении линейного метода начисления амортизации срок полезного использования машины (в годах) определяют по формуле:

$$T_{пим} = \frac{1}{H_a}. \quad (4.34)$$

Тогда второе условие представим в виде выражения:

$$\frac{1}{H_a} \geq T_{ок}. \quad (4.35)$$

Следовательно, срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$ не должен превышать 8 лет.

¹⁾ Если в результате расчёта $T_{ок} > T_{пим}$, то это означает, что в случае использования машины исключительно в течение срока $T_{пим}$ окупаемость дополнительных капиталовложений не достигается.

Таким образом, аналитические зависимости $\mathcal{E}_{\text{год}}(\mathcal{C}_{\text{м}}^{\text{п}}, S_{\text{пп}})$ и $T_{\text{ок}}(\mathcal{C}_{\text{м}}^{\text{п}}, S_{\text{пп}})$ примут следующий вид:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = -0,44 \cdot \mathcal{C}_{\text{м}}^{\text{п}} + 30\,996,70 \cdot S_{\text{пп}} + 176\,000,00, \quad (4.36)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{2,5 \cdot \mathcal{C}_{\text{м}}^{\text{п}} - 1\,000\,000,0}{400\,000,0 - \mathcal{C}_{\text{м}}^{\text{п}} + 70\,447,0 \cdot S_{\text{пп}}}, \quad (4.37)$$

а выражение, при соблюдении которого справедливо условие $T_{\text{пим}} \geq T_{\text{ок}}$, примет вид¹⁾:

$$\mathcal{C}_{\text{м}}^{\text{п}} - 53\,674 \cdot S_{\text{пп}} - 400\,000 \leq 0, \quad (4.38)$$

где $\mathcal{E}_{\text{год}}$ и $\mathcal{C}_{\text{м}}^{\text{п}}$ – в рублях, $S_{\text{пп}}$ – в га, $T_{\text{ок}}$ – в годах.

Исходя из полученных выражений, делаем вывод о том, что зависимость между экономическим эффектом от внедрения предложенной машины, её ценой и площадью плодopитомника задаётся уравнением плоскости, а между сроком окупаемости дополнительных капиталовложений, ценой предложенной машины и площадью плодopитомника – уравнением гиперболоиды.

Графики зависимостей по выражениям (4.36) и (4.37) с учётом граничного условия $S_{\text{ппmax}} = 75,13$ га представлены на рисунках 4.4 и 4.5 соответственно. Если значение параметра $\mathcal{E}_{\text{год}}$ меньше нуля, то это свидетельствует о том, что экономический эффект от внедрения машины отсутствует, а окупаемость, соответственно, не достигается. При построении графика $T_{\text{ок}}(\mathcal{C}_{\text{м}}^{\text{п}}, S_{\text{пп}})$ учтено, что если $\mathcal{C}_{\text{м}}^{\text{п}} < \mathcal{C}_{\text{м}}^{\text{б}}$, то параметр $T_{\text{ок}}$ определению не подлежит.

Поскольку в Алтайском крае распространены сельскохозяйственные предприятия с площадями плодopитомников до 15 га, то в качестве примеров результата расчёта рассмотрено применение предложенной машины в плодopитомниках

¹⁾ С учётом того, что значения параметров η , $T_{\text{д}}$, $N_{\text{а}}$, $N_{\text{то}}$, $K_{\text{доп}}$, $K_{\text{отч}}$, $E_{\text{н}}$, Q , $n_{\text{тр}}$, $K_{\text{стр}}$, $\mathcal{C}_{\text{топл}}$, $n_{\text{рв}}$, $\mathcal{C}_{\text{тар}}$ для базового и предложенного МТА одинаковы.

площадями 5, 10 и 15 га. При этом рассматриваемые значения цены предложенной машины, в соответствии с диапазоном значений, установленным в параграфе 4.2 (с. 197), – 300 000, 650 000 и 1 000 000 рублей. Результаты расчёта технико-экономических показателей предложенной машины для различных сельскохозяйственных предприятий представлены в приложении С.

Так, для сельскохозяйственного предприятия с плодопитомником площадью $S_{\text{пп}} = 10$ га при цене предложенной машины $C_M^{\text{п}} = 650\,000$ рублей приведённые затраты для предложенного МТА $J^{\text{п}}$ ниже, чем для базового $J^{\text{б}}$, на 6 666 руб./га, годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины составляет $\mathcal{E}_{\text{год}} = 199\,967$ руб. и срок окупаемости дополнительных капиталовложений составляет $T_{\text{ок}} = 1,38$ года (16,50 месяцев).

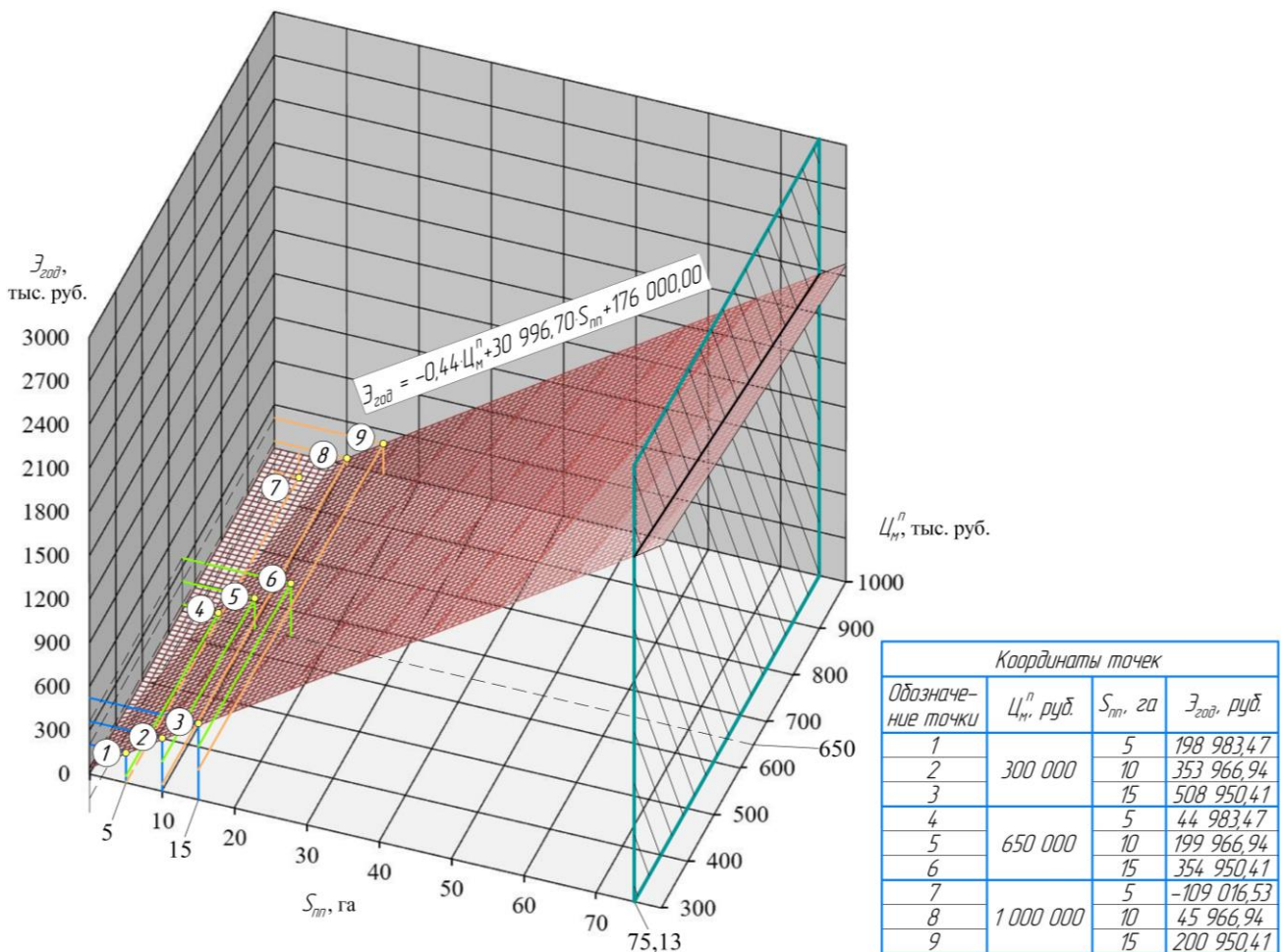


Рисунок 4.4 – График зависимости между годовым экономическим эффектом от внедрения предложенной машины, ценой предложенной машины и площадью плодопитомника

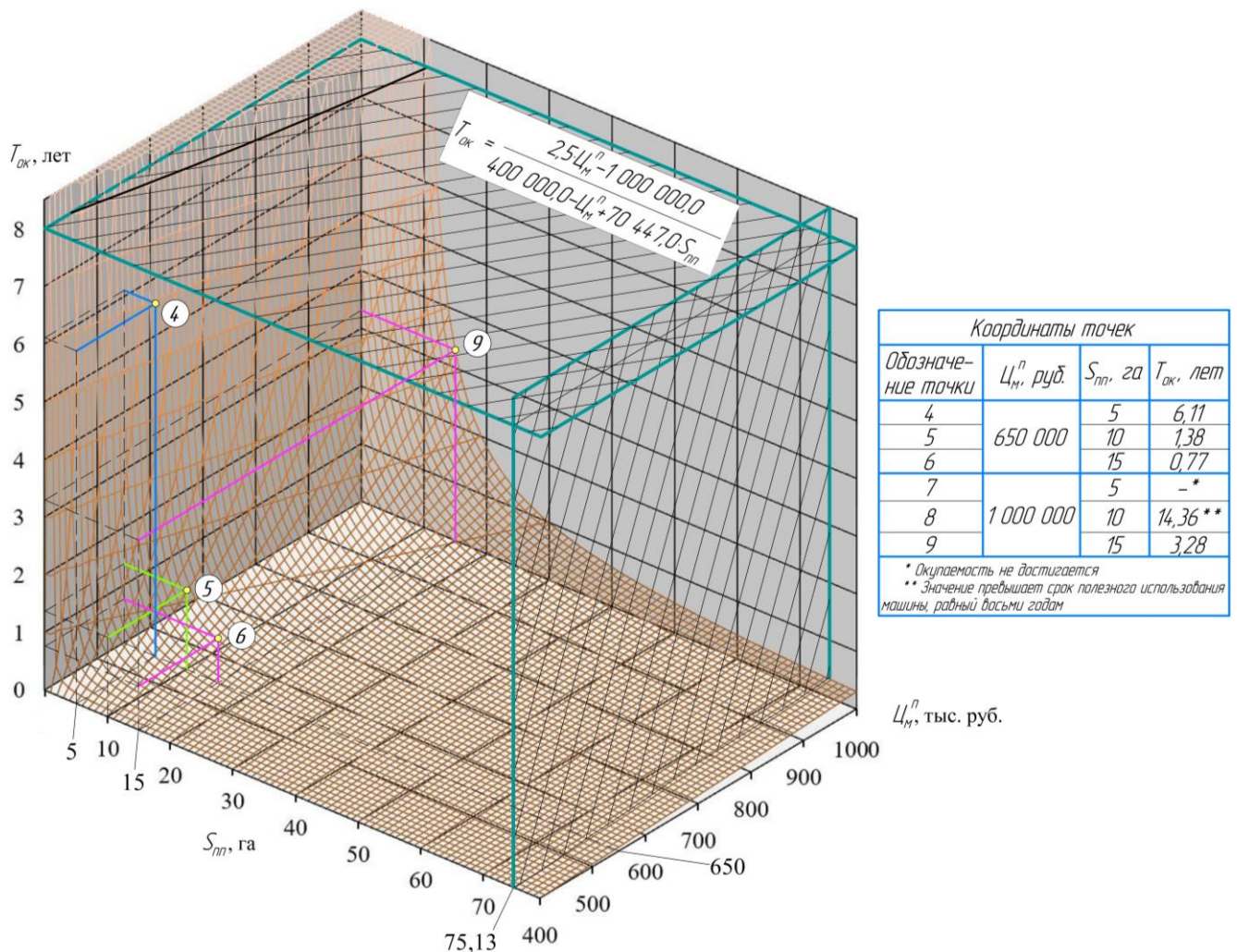


Рисунок 4.5 – График зависимости между сроком окупаемости дополнительных капиталовложений, ценой предложенной машины и площадью плодопитомника

В дальнейшем при совершенствовании конструкции и программно-аппаратного комплекса машины с учётом реализации тенденций развития, сформулированных в выводах третьей главы, а также при уточнении стоимости комплектующих изделий и услуг, связанных с разработкой и изготовлением машины, потребуется актуализация выполненного технико-экономического расчёта. Изменение исходных данных приведёт к соответствующему уточнению количественных значений рассматриваемых показателей. Вместе с тем полученные результаты позволяют сформировать представление об экономической эффективности и сроке окупаемости предложенной машины, при этом дальнейшая её модернизация не изменит общего характера полученных выводов.

Выводы по главе

1. Выполнен расчёт параметров МТА, в состав которого входит двухмодульный вариант предложенной машины, с учётом параметров предварительно выбранного трактора Агромаш-30ТК 121, гидроцилиндра, полольных лап, ранее принятых значений параметров машины и почвы (а именно: угла наклона диска рабочего органа к горизонтальной плоскости $\varepsilon = 20^\circ$ и наклона пальца к оси вращения диска рабочего органа $\gamma = 25^\circ$, максимального рабочего зазора $S_{max}^{D_{33}} = 220$ мм, минимального рабочего зазора $S_{min} = 5$ мм, диаметра рабочего органа $d = 365$ мм, диаметра пальца $d_{\text{п}} = 12$ мм, количества пальцев рабочего органа $c = 8$, количества рабочих органов модуля $n_{\text{ро}} = 2$, глубины обработки почвы $h = 80$ мм, плотности почвы $\rho = 1100$ кг/м³, коэффициента трения почвы по стали $f = 0,5$, твёрдости почвы $H = 50$ кПа, предельного напряжения почвы сдвигу $\tau = 20$ кПа) и при массе машины $m = 360$ кг, массе модуля $m_{\text{мод}} = 40$ кг, шаге винта ШВП $S_{\text{ШВП}} = 20$ мм, КПД цепной передачи $\eta_{\text{цп}} = 0,97$, количестве зубьев ведомой звёздочки $z_1 = 15$, количестве зубьев ведущей звёздочки $z_2 = 13$, количестве полольных лап модуля $n_{\text{пл}} = 2$, рабочей скорости машины $V_x = 1,61$ км/ч, удельном сопротивлении почвы $k = 50$ кПа, коэффициенте сопротивления перекачиванию $f_{\text{сп}} = 0,2$, коэффициенте трения скольжения стали по стали $\mu = 0,1$, согласно которому:

- максимальная продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы модуля, $P_{\text{мод}x_{\text{max}}} = 275,3$ Н;
- максимальная поперечная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы модуля, $P_{\text{мод}y_{\text{max}}} = 80,23$ Н;
- максимальная сила сопротивления движению машины $R_{\text{м}max}^{\text{п}} = 1410,9$ Н;
- получены выражения для определения энергетических параметров предложенного МТА:

а) крутящего момента, создаваемого на выходном вале шагового двигателя $M_{\text{шд}}$, максимальное значение которого составило $M_{\text{шд}max} = 0,34$ Н·м;

б) мощности шагового двигателя, используемого для перемещения модуля в поперечном направлении $N_{шд}$, максимальное значение которой составило $N_{шдmax} = 26,44$ Вт;

в) эффективной мощности двигателя трактора при работе предложенной машины $N_e^п$, максимальное значение которой составило $N_{e_{max}}^п = 13\,562,3$ Вт;

г) усреднённой эффективной мощности двигателя трактора при работе предложенной машины $\overline{N_e^п}$, значение которой составило $\overline{N_e^п} = 7\,932,6$ Вт.

2. Установлено, что значения интегрального показателя конкурентоспособности предложенной машины лежат в диапазонах $k_m \in [1,91; 2,19]$ и $k_m \in [1,95; 2,31]$ в сравнении с отечественной МПП-2 компании ООО «Ваш трактор» и канадской Weeder Eco II компании UNIVERCO Inc соответственно, что свидетельствует о её высоком уровне конкурентоспособности.

3. Определены аналитические зависимости, связывающие годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $\mathcal{E}_{год}$, срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$, цену предложенной машины $\mathcal{C}_м^п$ и площадь плодопитомника $S_{пп}$. На текущий момент выражения для определения указанных технико-экономических показателей выглядят следующим образом: $\mathcal{E}_{год} = -0,44 \times \mathcal{C}_м^п + 30\,996,70 \cdot S_{пп} + 176\,000,00$; $T_{ок} = \frac{2,5 \cdot \mathcal{C}_м^п - 1\,000\,000,0}{400\,000,0 - \mathcal{C}_м^п + 70\,447,0 \cdot S_{пп}}$ ($\mathcal{E}_{год}$ и $\mathcal{C}_м^п$ – в рублях, $S_{пп}$ – в га, $T_{ок}$ – в годах). В случае если необходимо обеспечить срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$, не превышающий срок полезного использования машины $T_{пим} = 8$ лет, то следует также учитывать следующее выражение: $\mathcal{C}_м^п - 53\,674 \cdot S_{пп} - 400\,000 \leq 0$.

4. Выполнен расчёт технико-экономических показателей от внедрения предложенной машины. Так, для сельскохозяйственного предприятия с плодопитомником площадью $S_{пп} = 10$ га при цене предложенной машины $\mathcal{C}_м^п = 650\,000$ руб. годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины составляет $\mathcal{E}_{год} = 199\,967$ руб., а срок окупаемости дополнительных капиталовложений – $T_{ок} = 1,38$ года (16,50 месяцев). Положительный экономический эффект обусловлен снижением приведённых затрат, достигаемым за счёт реализации АСУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана принципиальная схема машины, согласно которой обработку приствольной полосы производят два бесприводных ротационных рабочих органа, управление которыми происходит автоматизированно. Принцип работы автоматизированной системы управления основан на обработке контроллером видеоизображений с последующими выявлением цветового идентификатора культурного растения и подачей управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины. Разработана структурная схема системы, согласно которой она является двухконтурной многоканальной замкнутой, функционирующей на основе отрицательной обратной связи. Первый канал управления реализует контур автоматического регулирования отклонения модуля, содержащего рабочие органы, от культурного растения. Второй канал управления реализует контур автоматического регулирования рабочего зазора. Управление осуществляется по принципу минимизации ошибки регулирования каждой из регулируемых координат. Разработан алгоритм работы системы для обработки приствольной полосы, основными действиями и функциями которого являются подготовка, запуск, обработка, передача видеоизображений с видеокамер на дисплей.

2. Разработана математическая модель процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой, учитывающая совмещение его поперечного перемещения с продольным и описывающая взаимосвязь конструктивно-технологических, кинематических и силовых параметров машины. Разработана математическая модель процесса подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины при автоматизированном управлении рабочими органами, учитывающая задержку подачи этих управляющих воздействий и описывающая взаимосвязь параметров, характеризующих эту задержку, и рабочей скорости машины.

3. Обоснована конструктивно-технологическая схема машины для обработки почвы в плодопитомниках, согласно которой рабочие органы машины являются

бесприводными ротационными, установленными на корпусе модуля с возможностью изменения рабочего зазора с помощью гидроцилиндра при управлении посредством электрогидрораспределителя, причём корпус модуля имеет возможность поперечного перемещения при управлении посредством шагового двигателя, а обработку междурядий выполняют поперечные лапы. Установлены параметры машины при углах наклона диска рабочего органа к горизонтальной плоскости $\varepsilon = 20^\circ$ и наклона пальца к оси вращения диска рабочего органа $\gamma = 25^\circ$, максимальном рабочем зазоре $S_{max}^{D_{33}} = 220$ мм, минимальном рабочем зазоре $S_{min} = 5$ мм, диаметре рабочего органа $d = 365$ мм, диаметре пальца $d_{п} = 12$ мм, количестве пальцев рабочего органа $c = 8$, количестве рабочих органов модуля $n_{po} = 2$, рабочей скорости машины $V_X = 1,5$ км/ч, глубине обработки почвы $h = 80$ мм с учётом физико-механических свойств почвы и параметров посадок в плодopитомниках Алтайского края: рабочий диапазон модуля $Y_{рд} = 20,2$ см; расстояние между осью вращения рамки и осью вращения рабочего органа $R_p = 300$ мм, при этом угол поворота рамки $\alpha = 15,8^\circ$; ширина обработанной полосы $B_{пол} = 220$ мм; угол конусности конца пальца $\alpha_k = 50^\circ$; необходимая поперечная скорость модуля $V_{моду} = 0,2$ м/с; время задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения и на разведение рабочих органов $t_3^{мод} = t_3^p = 5,41$ мс; время задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение и на сведение рабочих органов $t_3^H = t_3^c = 27,28$ мс; максимальное значение продольной силы сопротивления почвы, действующей на рабочие органы модуля, $P_{модX_{max}} = 275,06$ Н, поперечной – $P_{модY_{max}} = 80,04$ Н.

4. По результатам лабораторных исследований установлено следующее: минимальное допустимое значение точности позиционирования $S_{0min} = 20$ мм; работа автоматизированной системы управления стабильна при рабочей скорости машины $V_X < 1,7$ км/ч. По результатам лабораторно-полевого исследования машины: подтверждено предположение о виде зависимостей между параметрами, характе-

ризующими задержку подачи соответствующего управляющего воздействия на исполнительный механизм, и рабочей скоростью машины V_X ; определены выражения, которыми задаются данные зависимости – $t_3^{\text{мод}} = t_3^p = \frac{21,566}{V_X^{3,4087}}$, $t_3^u = t_3^c = \frac{45,407}{V_X^{1,2568}}$ ($t_3^{\text{мод}}$, t_3^p , t_3^u , t_3^c – в мс, V_X – в км/ч). Экспериментально установлены режимы работы машины: рабочая скорость машины V_X – до 1,7 км, глубина обработки почвы h – до 80 мм.

5. Установлено, что значения интегрального показателя конкурентоспособности двухмодульного варианта предложенной машины лежат в диапазоне $k_m \in [1,91; 2,31]$ в сравнении с отечественной МПП-2 и канадской Weeder Eco II, что свидетельствует о её высоком уровне конкурентоспособности. Определены аналитические зависимости, связывающие годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $\mathcal{E}_{\text{год}}$, срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{\text{ок}}$, цену предложенной машины $\mathcal{C}_m^u$ и площадь плодopитомника $S_{\text{пп}}$. Так, для сельскохозяйственного предприятия при $S_{\text{пп}} = 10$ га и $\mathcal{C}_m^u = 650\,000$ руб. годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины и срок окупаемости дополнительных капиталовложений соответственно равны $\mathcal{E}_{\text{год}} = 199\,967$ руб. и $T_{\text{ок}} = 1,38$ года, что обусловлено снижением приведённых затрат, достигаемым за счёт автоматизации управления рабочими органами при обработке приствольной полосы.

Рекомендации производству

При разработке, модернизации, совершенствовании или адаптации машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки почвы в плодopитомниках применительно к условиям конкретного сельскохозяйственного предприятия или предприятия-изготовителя рекомендуется:

1. Пользоваться разработанными математическими моделями процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой и процесса подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины при автоматизированном управлении рабочими органами.

2. Рабочую скорость машины, превышающую 1,7 км/ч, и глубину обработки почвы, превышающую 80 мм, обеспечить применением воздействующего на модуль энергетического средства, обладающего более высокими максимальными значениями частоты вращения выходного вала и крутящего момента, передаваемого им, в сравнении с использованным в настоящем исследовании.

3. Расчёт технико-экономических показателей машины выполнять согласно представленным выражениям после уточнения значений исходных данных.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Результаты выполненной диссертационной работы могут лечь в основу дальнейших исследований, направленных на решение следующих задач:

1. Разработка интеллектуальной системы распознавания культурных растений, не требующей размещения идентификаторов на них и основанной на применении нейронных сетей и технологии машинного зрения.

2. Разработка имитационной компьютерной модели процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой.

3. Разработка машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки почвы при возделывании овощных и овощебахчевых культур.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АлтГТУ – ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»;

АСУ – автоматизированная система управления рабочими органами;

ВОМ – вал отбора мощности;

МичГАУ – Мичуринский государственный аграрный университет;

МТА – машинно-тракторный агрегат;

НИИСС им. М. А. Лисавенко – Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко;

НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;

ФНАЦ ВИМ – Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ;

ФНЦ им. И. В. Мичурина – Всероссийский научно-исследовательский институт садоводства им. И. В. Мичурина;

ФНЦ Садоводства – Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства;

ШВП – шарико-винтовая передача;

ЭВМ – электронная вычислительная машина;

HSV – hue, saturation, value (тон, насыщенность, значение);

B_m , B_m^b , B_m^p – балансовая стоимость машины, её значения для базовой и предложенной машин соответственно;

$D_{год}$, $D_{год_{max}}$ – количество дней работы машины в году и его максимальное значение соответственно;

$D_{мес}$ – количество дней работы тракториста в месяц;

Z_a – амортизационные отчисления для машины;

$Z_{МРОТ}$ – минимальный размер оплаты труда;

$Z_{отч}$ – сумма отчислений на социальные взносы при работе на МТА;

$Z_{от}$ – оплата труда с отчислениями на социальные нужды при работе на МТА;

Z_p, Z_p^b, Z_p^n – оплата труда работников МТА и её значения для базовой и предложенной машин соответственно;

Z_t – затраты труда и их значения для базовой и предложенной машин соответственно;

$Z_{то}$ – затраты на техническое обслуживание машины;

$Z_{топл}$ – затраты на топливо для МТА;

$Z_{экз}$ – эксплуатационные затраты при работе на МТА;

$K_{уд}$ – удельные капиталовложения для МТА;

N_a – норма амортизационных отчислений;

$N_{то}$ – норма ежегодных отчислений на текущий ремонт и техническое обслуживание;

$C_{тар}$ – часовая тарифная ставка обслуживающего персонала;

$\Phi_{Xil}, \Phi_{Xip}, \Phi_{Yil}, \Phi_{Yip}$ – флажок i -го растения, располагаемый вдоль осей X_d и Y_d на левом и правом видеоизображениях на дисплее соответственно;

C_m, C_m^b, C_m^n – цена машины, её значение базовой и предложенной машин соответственно;

$C_{топл}$ – комплексная цена топлива;

$\mathcal{E}_{год}$ – годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины;

A – коэффициент, устанавливаемый в зависимости от вида трактора;

A_d – объём работы, выполняемый за день;

$A_3^{мод}, A_3^p, A_3^c, A_3^n$ – коэффициенты задержки поперечного перемещения модуля относительно распознанного культурного растения, разведения рабочих органов, сведения рабочих органов и перемещения модуля в центральное положение соответственно;

$A_{сез}$ – объём работы, выполняемый за сезон;

a – порядковый номер опыта серии;

B, B^b, B^n – ширина захвата машины, её значение для базовой и предложенной машин соответственно;

$B_{пол}$ – ширина обработанной полосы;

b – ширина междурядья;

c – количество пальцев рабочего органа;

$D_P, D_{P_1}, D_{P_2}, D_{P_3}$ – точка приложения силы сопротивления почвы, действующей на палец, и её проекции на поперечную, горизонтальную и продольную плоскости соответственно;

$D_{зз}$ – диаметр защитной зоны;

d – диаметр рабочего органа;

$d_{п}, d_{п}^6$ – диаметр пальца и его значение для базовой машины соответственно;

E_H – коэффициент эффективности капиталовложений;

e_s, e_{Δ} – ошибки регулирования рабочего зазора и положения модуля относительно центра защитной зоны соответственно;

F_B – осевая нагрузка, действующая на винт ШВП;

F – сила трения, действующая на модуль;

f – коэффициент трения почвы по стали;

$f_{сп}$ – коэффициент сопротивления перекачиванию;

$f_{ток}$ – частота тока;

g – ускорение свободного падения;

H – твёрдость почвы;

h – глубина обработки почвы;

i – порядковый номер культурного растения;

$i_{цп}$ – передаточное число цепной передачи;

$J, J^6, J^п$ – приведённые затраты для МТА, их значения для базового и предложенного МТА соответственно;

j – порядковый номер пальца;

$K_{доп}$ – размер дополнительной оплаты работников;

$K_3^{мод}, K_3^p, K_3^c, K_3^ц$ – эмпирические множители задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения, разведение рабочих органов, сведение рабочих органов и перемещение модуля в центральное положение соответственно;

$K_{отч}$ – норматив отчислений на социальные взносы;

$K_{с_{оп}}, K_{с_{оп}}^б$ – коэффициент сложности работ оператора машины и его значение для базовой машины соответственно;

$K_{с_{тр}}, K_{с_{тр}}^б, K_{с_{тр}}^п$ – коэффициент сложности работ тракториста, его значения для базовой и предложенной машины соответственно;

k – удельное сопротивление почвы;

$k_{бт}, k_{бт}^б, k_{бт}^п$ – комплексный показатель безопасности труда оператора, его значения для базовой и предложенной машины соответственно;

$k_{в\text{ом}}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности, передаваемой от ВОМ трактора рабочим органам базовой машины;

k_m – интегральный показатель конкурентоспособности предложенной машины;

$k_{тл}$ – коэффициент пропорциональности между скоростью транспортёрной ленты и частотой тока;

$k_u^{овфб}, k_u^{овфп}$ – факторный коэффициент u -ого опасного, вредного фактора у базовой и предложенной машин соответственно;

$k_1^ф, k_2^ф, k_3^ф$ – факторный коэффициент цены, производительности труда и безопасности труда оператора предложенной машины соответственно;

$L_{пр}, L_{пр}^б$ – рабочая длина пальца и её значение для базовой машины соответственно;

$L_{пу}$ – условная длина пальца;

l, l_x, l_y, l_z – длина заглублённой части пальца и её проекции на оси X, Y, Z соответственно;

$l^б$ – длина заглублённой части пальца рабочего органа базовой машины;

$M_{п}, M_{п}^б$ – изгибающий момент, оказываемый на палец, и его значение для базовой машины соответственно;

$M_{шд}, M_{шд_{max}}$ – крутящий момент, создаваемый на выходном вале шагового двигателя, и его максимальное значение соответственно;

$M_{шд\gamma}$ – удерживающий момент шагового двигателя;

$m, m^б$ – масса машины и её значение для базовой машины соответственно;

$m_{мод}$ – масса модуля;

$m_{оп}$ – масса оператора машины;

$m_{тр}$ – эксплуатационная масса трактора;

$N, N^б$ – сила нормальной реакции поверхности почвы и её значение при движении базовой машины соответственно;

$N_б$ – мощность, затрачиваемая на буксование трактора;

$N_{гц}$ – мощность, требуемая для перемещения штока гидроцилиндра;

$N_м$ – мощность, требуемая для перемещения машины;

$N_н$ – номинальная мощность двигателя трактора;

$N_п^б$ – мощность, требуемая для вращения пальца рабочего органа базовой машины;

$N_{пм}$ – мощность, затрачиваемая на перекатывание машины;

$N_{пт}$ – мощность, затрачиваемая на перекатывание трактора;

$N_{ро}^б$ – мощность, требуемая для вращения рабочего органа секции базовой машины;

$N_{секц}^б$ – мощность, требуемая для вращения рабочих органов секции базовой машины;

$N_{тр}$ – мощность, требуемая для перемещения трактора;

$N_{тт}$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в трансмиссии трактора;

$N_{швп}$ – мощность, передаваемая ШВП;

$N_{шд}, N_{шдmax}$ – мощность шагового двигателя и её максимальное значение соответственно;

$N_{эс}, N_{эсmax}$ – мощность, требуемая энергетическим средствам, и её максимальное значение;

$N_{эс}^б$ – мощность, требуемая энергетическому средству при работе базовой машины;

$\overline{N_{эс}^п}$ – усреднённая мощность, требуемая энергетическим средствам при работе предложенной машины;

$N_e, N_{e_{max}}$ – эффективная мощность двигателя трактора и её максимальное значение соответственно;

$\overline{N_e}, \overline{N_e^п}$ – усреднённая эффективная мощность двигателя трактора и её значение при работе предложенной машины соответственно;

$N_e^б$ – эффективная мощность двигателя трактора при работе базового МТА;

$N_{e_{max}}^п$ – максимальная эффективная мощность двигателя трактора предложенного МТА;

n – целое число;

$n_{ка}$ – количество физических контактов имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа в a -ом опыте серии;

$n_{мод}$ – количество модулей машины;

$n_{оп}, n_{оп}^б$ – количество операторов машины и его значение для базовой машины соответственно;

$n_{пл}$ – количество полых лап модуля, обрабатывающих междурядья, ближайшие к ряду культурных растений по обе его стороны;

$n_p, n_p^б, n_p^п$ – количество работников МТА, его значение для базового и предложенного МТА соответственно;

$n_{разр}$ – число тарифных разрядов;

$n_{рв}$ – количество раз выполнения обработки почвы;

$n_{ро}, n_{ро}^б$ – количество рабочих органов секции (модуля) и его значение для базовой машины соответственно;

$n_{секц}$ – количество секций рабочих органов базовой машины;

$n_{тр}, n_{тр}^б, n_{тр}^п$ – количество трактористов, его значение для базового и предложенного МТА соответственно;

$n_{шд}$ – частота вращения выходного вала шагового двигателя;

n_a – общее количество проходов имитаторов культурного растения в a -ом опыте серии;

$OO', O_1O'_1, O_2O'_2, O_3O'_3$ – ось вращения диска рабочего органа и её проекции на поперечную, горизонтальную и продольную плоскости соответственно;

$P_{\text{мод}X}, P_{\text{мод}Y}, P_{\text{мод}X_{\text{max}}}, P_{\text{мод}Y_{\text{max}}}$ – продольная и поперечная силы сопротивления почвы, действующие на рабочие органы модуля, и их максимальные значения соответственно;

$P_{\text{п}}, P_{\text{п}1}, P_{\text{п}2}, P_{\text{п}3}$ – сила сопротивления почвы, действующая на палец, и её проекции на поперечную, горизонтальную и продольную плоскости соответственно;

$P_{\text{пл}}$ – сила сопротивления почвы, действующая на поперечные лапы машины;

$P'_{\text{пл}}$ – сила сопротивления почвы, действующая на продольную лапу;

$P_{\text{пм}}, P_{\text{пм}}^b$ – сила сопротивления перекачиванию машины и её значение для базовой машины соответственно;

$P_{\text{пт}}$ – сила сопротивления перекачиванию трактора;

$P_{\text{пmax}}$ – максимальное значение параметра $P_{\text{п}}$;

$P_{\text{п}j}, P_{\text{п}jX}, P_{\text{п}jY}$ – сила сопротивления почвы, действующая на j -ый палец, и её продольная и поперечная составляющие соответственно;

$P_{\text{п}jX}^b$ – продольная сила сопротивления почвы, действующая на j -ый палец рабочего органа базовой машины;

$P_{\text{п}X}, P_{\text{п}Y}, P_{\text{п}Z}$ – продольная, поперечная и вертикальная составляющие силы сопротивления почвы, действующей на палец, соответственно;

$P_{\text{п}X}^b$ – продольная сила сопротивления почвы, действующая на j -ый палец рабочего органа базовой машины;

$P_{\text{ро}X}, P_{\text{ро}Y}$ – продольная и поперечная силы сопротивления почвы, действующие на рабочий орган, соответственно;

$P_{\text{ро}X}^b$ – продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочий орган базовой машины;

$P_{\text{секц}_X}$ – продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы секции базовой машины;

$P_{\text{нт}}$ – номинальное тяговое усилие трактора;

P_X, P_X^6 – продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы машины, и её значение для базовой машины соответственно;

$p_{\text{гт}}$ – номинальное давление в гидросистеме трактора;

$Q, Q^6, Q^{\text{п}}$ – производительность машины, её значения для базовой и предложенной машин соответственно;

$Q_{\text{гц}}$ – расход масла в гидроцилиндре;

q – общее количество опытов серии;

$q_{\text{топл}}$ – удельный расход топлива двигателя трактора;

R, R_1 – радиус рабочего органа и его проекция на поперечную плоскость соответственно;

R^6 – радиус рабочего органа базовой машины;

R_p – радиус вращения оси рабочего органа вокруг оси вращения поворотной рамки;

$R_{\text{м}}, R_{\text{м}_{\text{max}}}$ – сила сопротивления движению машины и её максимальное значение соответственно;

$R_{\text{м}}^6, R_{\text{м}_{\text{max}}}^6$ – сила сопротивления движению базовой машины и её максимальное значение соответственно;

$R_{\text{м}}^{\text{п}}, R_{\text{м}_{\text{max}}}^{\text{п}}$ – сила сопротивления движению предложенной машины и её максимальное значение соответственно;

$R_{\text{зз}}$ – радиус защитной зоны;

$r_{\text{зв}}$ – задающее воздействие;

$r_{\text{лев}}, r_{\text{пр}}$ – расстояния между траекторией вращения пальцев левого рабочего органа и границей защитной зоны, между траекторией вращения пальцев правого рабочего органа и границей защитной зоны соответственно;

$r_{\text{с}}, r_{\text{с}_{\text{min}}}$ – сумма расстояния между траекторией вращения пальцев левого рабочего органа и границей защитной зоны и расстояния между траекторией

вращения пальцев правого рабочего органа и границей защитной зоны и его минимальное значение соответственно;

$S, S_{min}, S_{max}^{D_{зз}}$ – рабочий зазор, его минимальное значение и максимальное значение при диаметре защитной зоны $D_{зз}$ соответственно;

$S_{лаб}$ – зазор между пластинами имитаторов рабочего органа;

$S_{пп}, S_{ппmax}$ – площадь плодопитомника и её максимальное допустимое значение соответственно;

$S_{пл}$ – площадь сечения пласта почвы, захватываемого полостью лапой;

$S_{ш}$ – площадь сечения штока гидроцилиндра;

$S_{ШВП}$ – шаг винта ШВП;

S_0, S_{0min} – точность позиционирования и её минимальное допустимое значение соответственно;

$T_{год}$ – годовая зональная фактическая загрузка машины;

T_d – продолжительность работы в течение дня;

$T_{мес}$ – количество часов работы тракториста в месяц;

$T_{ок}$ – срок окупаемости дополнительных капиталовложений;

$T_{пим}$ – срок полезного использования машины;

T_r^B, T_r^H – высший и низший тарифный разряды по группам тракторов соответственно;

$T_{ШВП}$ – период вращения винта ШВП;

T_k^5 – тарифный коэффициент пятого квалификационного разряда;

t – время;

$t_3^{мод}, t_3^p, t_3^c, t_3^ц$ – время задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения, разведение рабочих органов, сведение рабочих органов и перемещение модуля в центральное положение соответственно;

$t_{св}$ – время движения рабочих органов в сведённом состоянии;

$t_{тп}$ – время технологического процесса обработки одного культурного растения и перемещения МТА между соседними культурными растениями;

$t_{гц}^{исп}$ – время использования гидроцилиндра в течение технологического процесса обработки одного культурного растения и перемещения МТА между соседними культурными растениями;

$t_{шд}^{исп}$ – время использования шагового двигателя в течение технологического процесса обработки одного культурного растения и перемещения МТА между соседними культурными растениями;

u_s, u_d – управляющие воздействия, подаваемые для регулирования рабочего зазора и положения модуля относительно центра защитной зоны соответственно;

V – скорость рабочего органа при огибании защитной зоны;

$V_{ким}, V_{ким_{max}}$ – скорость корпуса имитатора модуля и её максимальное значение соответственно;

V_l – скорость транспортёрной ленты;

$V_{моду}$ – поперечная скорость модуля;

$V_{п}, V_{пх}, V_{пy}, V_{пz}$ – абсолютная скорость конца пальца, её продольная, поперечная и вертикальная составляющие соответственно;

$V_{п}^b, V_{пх}^b, V_{пy}^b$ – абсолютная скорость конца пальца рабочего органа базовой машины и её продольная и поперечная составляющие соответственно;

$V_{ш}$ – скорость штока при втягивании (выдвижении);

V_x – рабочая скорость машины;

$v, v^b, v^п$ – количество учтённых опасных и вредных факторов, его значение для базовой и предложенной машины соответственно;

$W_{год}, W_{год}^п$ – годовая выработка машины и её значение для предложенной машины соответственно;

$W_{\bar{x}}$ – момент сопротивления изгибу относительно оси $\bar{x}$, перпендикулярной оси вращения пальца;

X_d – горизонтальная ось дисплея;

$X_{дф_{il}}$ – координата флажка $\Phi_{x_{il}}$ вдоль оси X_d ;

$X_{дф_{ip}}$ – координата флажка $\Phi_{x_{ip}}$ вдоль оси X_d ;

$X_{св}$ – путь, проходимый рабочими органами в сведённом состоянии;

$x_{po}, y_{po}, x'_{po}, y'_{po}$ – координатные оси эллипса, являющегося горизонтальной проекцией рабочего органа при сведённом и разведённом состояниях рабочих органов соответственно;

Y_d – вертикальная ось дисплея;

$Y_{dв}, Y_{dн}$ – верхнее и нижнее критические значения координаты Y_d соответственно;

$Y_{мод}, Y_{мод_{max}}$ – отклонение модуля от оси рядка и его максимальное абсолютное значение соответственно;

$Y_{кр}, Y_{кр_{max}}$ – отклонение культурного растения и его максимальное абсолютное значение соответственно;

$Y_{рд}$ – рабочий диапазон модуля;

$y'_{po_{max}}$ – максимальное значение параметра y'_{po} ;

U_S, U_d – сигналы измерительной информации, получаемой при регулировании рабочего зазора и положения модуля относительно центра защитной зоны соответственно;

z_1, z_2 – количество зубьев ведомой и ведущей звёздочек соответственно;

α – угол поворота рамки;

α_k – угол конусности конца пальца;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – удельные веса факторных коэффициентов цены, производительности труда и безопасности труда оператора предложенной машины соответственно;

γ, γ^b – угол наклона пальца к оси вращения диска рабочего органа и его значение для базовой машины соответственно;

δ_6 – коэффициент буксования;

Δ – отклонение модуля от культурного растения;

Δh – разница между глубиной обработки почвы и величиной заглубления пальца;

ΔX – шаг культурных растений;

ΔX_{di} – разница значений координат $X_{d\Phi_{il}}$ и $X_{d\Phi_{in}}$;

$\Delta X_{\text{ср}}$ – средний шаг культурных растений;

$\Delta Y, \Delta Y_{\text{max}}$ – смещение культурных растений и его максимальное значение соответственно;

ε – угол наклона диска рабочего органа к горизонтальной плоскости (угол наклона оси вращения диска рабочего органа к вертикали);

η – коэффициент, учитывающий затраты на доставку, а также содержание снабженческих организаций;

$\eta_{\text{мп}}$ – КПД механических потерь в трансмиссии трактора;

$\eta_{\text{цп}}$ – КПД цепной передачи;

θ, θ^6 – угол поворота пальца вокруг оси вращения диска рабочего органа и его значение для базовой машины соответственно;

λ – угол в полярных координатах;

μ – коэффициент трения скольжения стали по стали;

$\xi_{\text{гц}}$ – доля использования гидроцилиндра;

$\xi_{\text{шд}}$ – доля использования шагового двигателя;

ρ – плотность почвы;

$\sigma_{\text{п}}$ – нормальное напряжение, возникающее в пальце при изгибе от действия силы сопротивления почвы;

σ^2 – дисперсия;

τ – предельное напряжение почвы сдвигу;

$\psi, \psi_a, \psi_{\text{ср}}$ – коэффициент повреждения, его значение в a -ом опыте серии и его среднее значение соответственно;

ω^6 – угловая скорость рабочего органа базовой машины;

$\omega_{\text{ШВП}}$ – угловая скорость винта ШВП;

$\omega_{\text{шд}}$ – угловая скорость выходного вала шагового двигателя.

СПИСОК ТЕРМИНОВ

агротехнический просвет МТА: Расстояние по вертикали от опорной поверхности до наименее удаленных от нее элементов конструкции МТА над рядком.

борьба с сорняками: Уничтожение сорняков или снижение их вредоносности допустимыми способами и средствами [29].

время задержки подачи управляющего воздействия на перемещение модуля в центральное положение: Время между моментом завершения приствольной обработки почвы i -го культурного растения и моментом начала подачи управляющего воздействия от контроллера на исполнительный механизм для перемещения модуля в центральное положение, в случае если $(i+1)$ -ое культурное растение не распознано по крайней мере на одном из видеоизображений.

время задержки подачи управляющего воздействия на поперечное перемещение модуля относительно распознанного культурного растения: Время между моментом распознавания культурного растения и моментом начала подачи управляющего воздействия от контроллера на исполнительный механизм для поперечного перемещения модуля при выполнении приствольной обработки почвы i -го культурного растения.

время задержки подачи управляющего воздействия на разведение рабочих органов: Время между моментом достижения критического значения положения модуля относительно i -го культурного растения и моментом начала подачи управляющего воздействия от контроллера на исполнительный механизм для разведения рабочих органов при огибании защитной зоны i -го культурного растения.

время задержки подачи управляющего воздействия на сведение рабочих органов: Время между моментом достижения максимального рабочего зазора при огибании защитной зоны i -го культурного растения и моментом начала подачи управляющего воздействия от контроллера на исполнительный механизм для сведения рабочих органов, в случае если продольные расстояния от модуля до i -го и $(i+1)$ -ого культурного растения являются достаточными.

диаметр пальца: Диаметр цилиндрической части пальца.

защитная зона: Поверхность почвы вокруг культивируемых культурных растений, не подлежащая обработке во время проведения ухода за ними для предотвращения их повреждения.

идентификатор культурного растения: Характерный признак, выявление которого служит основанием для распознавания культурного растения.

коэффициент повреждения: Параметр, равный отношению количества культурных растений, защитные зоны которых были пересечены рабочими органами, к количеству культурных растений, приствольные зоны которых были обработаны.

лабораторный стенд имитации обработки почвы в автоматизированном режиме: Стенд, позволяющий имитировать процесс приствольной обработки почвы в плодопитомниках в автоматизированном режиме.

лабораторный стенд имитации обработки почвы в ручном электрифицированном режиме: Стенд, позволяющий имитировать процесс приствольной обработки почвы в плодопитомниках в ручном режиме посредством электрооборудования.

обработка почвы: Приёмы механического воздействия на почву, способствующие повышению её плодородия и созданию лучших условий для роста и развития растений [141].

отклонение культурного растения: Расстояние от культурного растения до оси рядка.

отклонение модуля от культурного растения: Расстояние между продольной плоскостью симметрии модуля и продольной плоскостью, проходящей через центр защитной зоны культурного растения, к которому приближаются рабочие органы модуля.

отклонение модуля от оси рядка: Расстояние между продольной плоскостью симметрии модуля и осью рядка.

рабочая длина пальца: Расстояние от конца пальца до места его крепления на диске рабочего органа.

рабочий диапазон модуля: Диапазон значений перемещения модуля в поперечном направлении.

рабочий зазор: Зазор между рабочими органами.

радиус рабочего органа: Радиус вращения концов пальцев вокруг оси вращения диска рабочего органа.

рыхление почвы: Технологическая операция, обеспечивающая изменение взаимного расположения почвенных отдельностей с увеличением объёма пор [29].

сигнал разведения рабочих органов: Управляющее воздействие, формируемое и подаваемое контроллером на приводное устройство для разведения рабочих органов.

сигнал сведения рабочих органов: Управляющее воздействие, формируемое и подаваемое контроллером на приводное устройство для сведения рабочих органов.

сигнал шага модуля влево (вправо, в центральное положение): Управляющее воздействие, формируемое и подаваемое контроллером на приводное устройство для поперечного перемещения модуля влево (вправо, в центральное положение).

смещение культурных растений: Расстояние между соседними культурными растениями поперёк ряда.

точность позиционирования: Длина диапазона возможных значений отклонений модуля от культурного растения.

условная длина пальца: Длина отрезка, проведённого вдоль пальца от конца пальца до оси вращения диска рабочего органа.

цветовой идентификатор культурного растения: Характерный цветовой признак, выявление которого служит основанием для распознавания культурного растения и который либо присущ культурному растению от природы, либо предварительно размещён на нём.

шаг культурных растений: Расстояние между соседними культурными растениями вдоль ряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированное ориентирование рабочих органов машин для маточников клоновых подвоев яблони / В. Г. Бросалин, А. А. Завражнов, А. И. Завражнов [и др.] // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2014. – № 6. – С. 47–53.
2. Авторское свидетельство № 1055359 СССР, МПК А01В 39/16. Ротационный почвообрабатывающий рабочий орган : № 3381059/30-15 : заявл. 05.01.1982 : опубл. 23.11.1983 / Н. Е. Руденко, В. Н. Орлов, Г. В. Чернявский, В. А. Орехов, А. П. Зубанов ; заявитель Всесоюзный научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства. – 2 с.
3. Авторское свидетельство № 397143 СССР, МПК А01В 39/16, А01В 21/06. Приспособление для межкустовой обработки почвы : № 1675027/30-15 : заявл. 29.06.1971 : опубл. 17.09.1973 / З. А. Хантадзе, Н. З. Бадридзе, Н. И. Джобинашвили, Б. А. Цискаридзе ; заявитель Грузинский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства им. К. М. Амираджиби. – 2 с.
4. Аккумулятор автомобильный Тюменский медведь 60 А/ч 590 А обр. пол. Евро авто (242x175x190) 6СТ-60VLA // АКБ АВТО : [сайт] / интернет магазин - akbauto.ru. – 2025. – URL: <https://clck.ru/3MThy2> (дата обращения: 05.06.2025).
5. Аксенов, А. Г. Обоснование и разработка адаптивных машинных технологий и технических средств для возделывания луковых культур : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... д-ра техн. наук / Аксенов Александр Геннадьевич. – Москва, 2021. – 281 с.
6. Анализ параметров работы устройства для гидравлического удаления сорной растительности / А. Ю. Измайлов, Д. О. Хорт, И. Г. Смирнов [и др.] // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29, № 4. – С. 614–634.
7. Анализ применения лазерного излучения для контроля сорной растительности / Д. И. Сафонов, И. Г. Смирнов, А. И. Кутырёв, М. А. Мирзаев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 2. – С. 20–28.

8. Аниферов, Ф. Е. Машины для садоводства : учебник / Ф. Е. Аниферов, Л. И. Ерошенко, И. З. Теплинский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Агропромиздат, 1990. – 304 с. – ISBN 5-10-000072-4.
9. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т. 1 / В. И. Анурьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1979. – 728 с.
10. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т. 2 / В. И. Анурьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1979. – 559 с.
11. Блок питания, 24В, 15А, 360Вт // Яндекс.Маркет : [сайт] / ООО «ЯНДЕКС МАРКЕТ». – 2025. – URL: <https://clck.ru/3J3GP4> (дата обращения: 21.03.2025).
12. Бычков, В. В. Новые специализированные машины для механизации садоводства / В. В. Бычков, Г. И. Кадыкало // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – № 1. – С. 52–56.
13. Бычков, В. В. Ресурсосберегающие технологии и технические средства для механизации садоводства / В. В. Бычков, Г. И. Кадыкало, И. А. Успенский // Садоводство и виноградарство. – 2009. – № 6. – С. 38–42.
14. Бычков, В. В. Специализированные технические средства для механизации трудоёмких процессов в садоводстве / В. В. Бычков // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 29, № 1. – С. 83–90.
15. Бычков, В. В. Тенденции развития машин для обработки почвы в садах и ягодниках / В. В. Бычков, Г. И. Кадыкало, В. А. Шевкун // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2011. – № 2. – С. 59–63.
16. Бюллетень «Площади, валовый сбор и урожайность многолетних насаждений в Российской Федерации в 2025 году» // Федеральная служба государственной статистики : [офиц. сайт] / Федеральная служба государственной статистики. – 1999–2026. – URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Plod_2025.xlsx (дата обращения: 22.04.2026).

17. Валиев, А. Р. Повышение эффективности обработки почвы в условиях Среднего Поволжья путем совершенствования машин с ротационными рабочими органами : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... д-ра техн. наук / Валиев Айрат Расимович. – Казань, 2018. – 486 с.

18. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1973. – 199 с.

19. Винт ШВП SCR-R2020 // CNC TECHNOLOGY : [сайт] / ЧПУ Технологии. – 2026. – URL: https://cnctechnology.ru/catalog/komplektuyushchie_k_chpu/shariko_vintovye_peredachi_shvp/vinty_i_gayki_shvp_klass_s7/1204/ (дата обращения: 10.02.2026).

20. Геймпад DVTech JS35 Vibro Master // DNS : [сайт] / Компания DNS. – 2002-2023. – URL: <https://www.dns-shop.ru/product/d5a60942520f6f9f/gejmpad-dvtech-js35-vibro-master/> (дата обращения: 19.12.2023).

21. Гидрораспределитель BE10.64 Г12 УХЛ4 // ГидроТехМаш : [сайт] / ООО ГидроТехМаш. – 2018. – URL: https://gidro2000.com/catalog/ve10_s_2_elektromagnitami/gidroraspreditel_ve10_64_g12_nm_ukhl4/ (дата обращения: 25.02.2024).

22. Гидроцилиндр ЕДЦГ 037.000-02 (ГЦ40.25x160) // ООО ПКФ «СИБТЕХНОКОМ» : [сайт] / ООО ПКФ «СИБТЕХНОКОМ». – [2026]. – URL: <https://sibtehnomok.ru/gidrotsilindr-yedtsg-037-000-02/?ysclid=mlfze4j6wk466571731> (дата обращения: 25.02.2024).

23. Глава Минсельхоза заявила о потребности АПК в 160 тысячах работников ежегодно // интерфакс : [сайт] / Interfax. – 1991–2025. – URL: <https://www.interfax.ru/russia/1051528> (дата обращения: 27.10.2025).

24. Глушаков, С. Н. Библиотека садовода: плодовой питомник : брошюра / С. Н. Глушаков, Г. А. Потехин. – Смоленск : ФГБОУ ВО Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – 35 с.

25. Гордеев, О. В. Проблемы обработки почвы между кустами ягодных культур и в частности смородины черной / О. В. Гордеев // Проблемы научного обеспе-

чения садоводства и картофелеводства : сб. тр. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию ФГБНУ ЮУНИИСК. – Челябинск : 2016. – С. 193–195.

26. Гордеев, О. В. Рабочий орган для рыхления почвы в рядке между кустами ягодных культур / О. В. Гордеев, В. О. Гордеев // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 8. – С. 3–7.

27. Гордеев, О. В. Ротационный рабочий орган для обработки почвы между кустами в рядах ягодных культур / О. В. Гордеев, Р. М. Латыпов // АПК России. – 2022. – Т. 29, № 1. – С. 26–29.

28. Горячкин, В. П. Собрание сочинений. В 7 т. Т. 2 / В. П. Горячкин. – Москва : Сельхозгиз, 1936. – 288 с.

29. ГОСТ 16265–89. Земледелие. Термины и определения : дата введ. 1991-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 21 с.

30. ГОСТ 17559–82. Лесные культуры. Термины и определения : дата введ. 1983-01-07. – Москва : Изд-во стандартов, 1982. – 11 с.

31. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация : дата введ. 2021-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 37 с.

32. ГОСТ 27021–86. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы : дата введ. 1987-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1986. – 5 с.

33. ГОСТ 34231–2017. Материал посадочный плодовых и ягодных культур. Термины и определения : дата введ. 2019-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2018. – 11 с.

34. ГОСТ 7057–2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний : дата введ. 2003-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2002. – 7 с.

35. ГОСТ Р 53056–2008. Машины сельскохозяйственные. Методы экономической оценки : дата введ. 2009-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2009. – 19 с.

36. ГОСТ Р 53057–2008. Машины сельскохозяйственные. Методы оценки конкурентоспособности : дата введ. 2009-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2009. – 7 с.

37. ГОСТ Р 54778–2011. Машины для уборки плодов и ягод. Методы испытаний : дата введ. 2012-03-01. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 31 с.

38. Дизельное топливо – стоимость литра: Алтайский край // ППР : [сайт] / ООО «ППР». – 2000–2026. – URL: <https://www.petroplus.ru/fuelindex/altayskiy-kray/diesel/> (дата обращения: 22.04.2026).

39. Дронова, О. Б. Учебно-методическое пособие к выполнению экономической части дипломных проектов конструкторского назначения для студентов специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», профиль «Технические средства агропромышленного комплекса» : учеб. пособие / О. Б. Дронова. – Барнаул : Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2018. – 34 с.

40. Дроссель ДКМ 10/3 // ТЛ-Гидравлика : офиц. сайт / ТЛ-Гидравлика – Производственная компания. – 2024. – URL: <https://tl-gidravlika.ru/katalog/gid-klapan/regulatory-rashoda/gidrodrossel-dkm-10/3.html> (дата обращения: 25.02.2024).

41. Дышеков, А. И. Разработка роботизированного устройства для распознавания столовой свеклы и сорной растительности : специальность 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса» : дис. ... канд. техн. наук / Дышеков Артур Изнаурович. – Москва, 2024. – 219 с.

42. Жук, Л. В. Линии и поверхности второго порядка : учеб. пособие / Л. В. Жук, О. Н. Прокуратова. – Елец : Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2018. – 83 с.

43. Завражнов, А. И. Роботизированные технические средства для цифрового садоводства / А. И. Завражнов, И. Г. Смирнов, А. А. Завражнов // Садоводы – за здоровьесбережение нации! : материалы науч.-практ. конф., Мичуринск–научоград РФ, 14–15 сент. 2023 г. / отв. ред.: Гудковский В. А., Завражнов А. И. ; Федер. науч. центр им. И. В. Мичурина. – Мичуринск, 2023. – С. 144–150.

44. Зиганшин, Б. Г. Некоторые проблемы технического обеспечения АПК и перспективы его развития / Б. Г. Зиганшин, А. Р. Валиев, Н. Н. Хамидуллин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2008. – Т. 3, № 2. – С. 148–152.

45. Импортозамещение специализированной сельскохозяйственной техники для садоводства / А. И. Завражнов, А. Ю. Измайлов, А. А. Завражнов [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 1. – С. 2–6.

46. Индуктивные бесконтактные датчики AR-LM8-3002NA, AR-LM8-3002PA. Руководство по эксплуатации v. 2025-02-14 VRD-DVM / АПК Энергосервис. – Санкт-Петербург, 2025. – 4 с.

47. Индуктивный бесконтактный датчик AR-LM12-3004. Руководство по эксплуатации v. 2025-02-14 DVM / АПК Энергосервис. – Санкт-Петербург, 2025. – 4 с.

48. Инновационные технические средства для садоводства / В. В. Бычков, Г. И. Кадыкало, В. А. Шевкун, П. В. Бондарев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2010. – № 4. – С. 68–72.

49. Карпенко, А. Н. Сельскохозяйственные машины / А. Н. Карпенко, А. А. Зеленов, В. М. Халанский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1975. – 512 с.

50. Комбинированные почвообрабатывающие машины / А. А. Вилде, А. Х. Цесниекс, Ю. П. Моритис [и др.]. – Ленинград : Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1986. – 128 с.

51. КОМПАС-3D v21 // КОМПАС-3D : [сайт] / ООО «АСКОН - Системы проектирования». – 1989–2024. – URL: <https://kompas.ru/kompas-3d/v21/> (дата обращения: 10.07.2024).

52. Комплекс машин для маточников вегетативно размножаемых подвоев и интенсивного сада / А. И. Завражнов, К. А. Манаенков, В. Ю. Ланцев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 1. – С. 49–52.

53. Комплекс технических средств для питомниководства / В. Ю. Ланцев, А. И. Завражнов, А. А. Завражнов, А. С. Ибраев // Интеллектуальные технологии и техника в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В. А. Солопов ; Мичуринский гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2016. – С. 298–305.

54. Комплексная механизация производства посадочного материала плодовых культур / А. И. Завражнов, В. Ю. Ланцев, А. С. Ибраев, А. А. Завражнов // Теория и практика мировой науки. – 2018. – № 1. – С. 32–37.

55. Комплексы машин, роботизированные системы и цифровые технологии в растениеводстве // Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ ФГБНУ ФНАЦ ВИМ : [официальный сайт] / ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – 2018. – URL: <https://vim.ru/science/scientific-directions/166/> (дата обращения: 27.03.2025).

56. Комплект 86EBP181ALC-12.5N.m+HBS86H // STEEPLINE. Производство станков с ЧПУ : [сайт] / STEEPLINE. – URL: <https://steepline.ru/tovar/421/komplekt-86ebp181alc.html?ysclid=mlfyj1g7ub384468712> (дата обращения: 10.02.2026).

57. Комплект оборудования по гидроприводу ОЛ-10 : паспорт. – Москва : Московский опытный механический завод, 1989. – 38 с.

58. Котиков, Ф. Н. Результаты испытания картофелесажалки проращенных клубней / Ф. Н. Котиков, В. Н. Ожерельев // Научное обеспечение агропромышленного производства : [в 5 ч.] : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 20–22 января 2010 г. / Курская гос. с.-х. акад. им. проф. И. И. Иванова. – Курск, 2010. – Ч. 3. – С. 102–106.

59. Курасов, В. С. Тракторы и автомобили, применяемые в сельском хозяйстве : учеб. пособие / В. С. Курасов, Е. И. Трубилин, А. И. Тлишев. – Краснодар : Кубанский ГАУ, 2011. – 132 с.

60. Куренной, Н. М. Плодоводство / Н. М. Куренной, В. Ф. Колтунов, В. И. Черепашин. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 399 с.

61. Кутырёв, А. И. Нейронная сеть для распознавания и классификации плодов яблони / А. И. Кутырёв, И. Г. Смирнов // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 8. – С. 123–133.

62. Кутырёв, А. И. Сверточная нейронная сеть (SEG-CNN) для распознавания, классификации и сегментации ветвей с плодами яблони и плодоножек на изображениях / А. И. Кутырёв, И. Г. Смирнов // Садоводство и виноградарство. – 2024. – № 2. – С. 53–62.

63. Лапа бритва КРН правая РЗЗ.00.220 (165 мм) // АЛМАЗ : [сайт] / ТД Алмаз. – 2026. – URL: https://almaztd.ru/spare_parts/dlya-seyalok-i-nbsp-posevnykh-kompleksov/lapa-britva-krn-pravaya-rzz-00-220-165-mm/ (дата обращения: 10.02.2026).

64. Летошнев, М. Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1949. – 856 с.

65. Личман, Г. И. Системы технического зрения, используемые в точном земледелии. Часть 1 / Г. И. Личман, И. Г. Смирнов, А. И. Беленков // Фермер. Поволжье. – 2017. – № 5. – С. 38–40.

66. Личман, Г. И. Системы технического зрения, используемые в точном земледелии. Часть 2 / Г. И. Личман, И. Г. Смирнов, А. И. Беленков // Фермер. Поволжье. – 2017. – № 6. – С. 40–43.

67. Манаенков, К. А. Ресурсосберегающие технологии и комплекс машин для ухода за почвой в интенсивных садах : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Манаенков Константин Алексеевич. – Мичуринск–наукоград РФ, 2010. – 35 с.

68. Манаенков, К. А. Ресурсосберегающий уход за почвой в интенсивных слаборослых садах / К. А. Манаенков, В. В. Хатунцев, В. Г. Бросалин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2006. – № 1. – С. 144–148.

69. Манаенков, К. А. Фрезы для механической обработки приствольных полос в садах / К. А. Манаенков, В. В. Хатунцев, П. Н. Кузнецов // Наука и образование. – 2019. – Т. 2, № 4. – С. 6–9.

70. Марчик, Т. П. Почвоведение с основами растениеводства : учеб. пособие / Т. П. Марчик, А. Л. Ефремов. – Гродно : ГрГУ, 2006. – URL: https://ebooks.grsu.by/pochva_s_osn_rast/index.htm (дата обращения: 25.02.2026).

71. Машина для приствольной обработки почвы / С. Ф. Сороченко, Н. М. Чуклин, Н. И. Раззамазов, В. А. Угаров // Ползуновский альманах. – 2022. – № 3. – С. 128–130.

72. Машина для приствольной обработки почвы МПП-2 // Ваш трактор : [сайт] / Ваш трактор. – Барнаул, 2025. – URL: <https://ваштрактор.рф/promyishlennoe-sadovodstvo/mashina-dlya-pristvolnoj-obrabotki-pochvyi-mpp-2.0> (дата обращения: 21.03.2025).

73. Международная система машин для комплексной механизации сельского и лесного хозяйства. [В 32 ч.] / СЭВ. Постоянная комис. по сельскому хоз-ву. – Москва : [б. и.], 1971. – [32 ч.].

74. Москалевич, В. Ю. Повышение надежности и эффективности почвообработки машин и орудий : специальность 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса» : дис. ... д-ра техн. наук / Москалевич Вадим Юрьевич. – Симферополь, 2023. – 379 с.

75. Найденов, А. А. Повышение эффективности обработки почвы вблизи рядов растений в ягодных насаждениях / А. А. Найденов, К. А. Манаенков // Наука и образование. – 2020. – Т. 3, № 4. – 6 с.

76. Налоговый кодекс Российской Федерации. Часть вторая : Кодекс Российской Федерации от 05.08.2000 № 117-ФЗ : [с изм. и доп. от 17.11.2025 № 418-ФЗ] // Официальный интернет-портал правовой информации / Государственная система правовой информации. – 2005–2026. – URL: <https://clck.ru/3RaUgC> (дата обращения: 02.02.2026).

77. Нормативный справочник по организации, планированию и предпринимательству на сельскохозяйственных предприятиях / под общ. ред. Пахтусова З. Е., Светлаковой Н. А. – Пермь : [Пермский гос. аграрно-технологический ун-т им. акад. Д. Н. Прянишникова], 2007. – 175 с.

78. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145 // Официальный интернет-портал правовой информации / Государственная система правовой информации. – 2005–2025. – URL: <https://clck.ru/3HsDKP> (дата обращения: 19.03.2025).

79. Об утверждении «Общих положений Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих народного хозяйства СССР»; раздела

«Профессии рабочих, общие для всех отраслей народного хозяйства» Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих, выпуск 1 : Постановление Госкомтруда СССР, Секретариата ВЦСПС от 31.01.1985 N 31/3-30 (ред. от 09.04.2018) // КонсультантПлюс : [сайт] / КонсультантПлюс. – 2021–2026. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78176/ (дата обращения: 01.02.2026).

80. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 № 20 : [с изм. и доп. от 10.03.2025 № 141] // Официальный интернет-портал правовой информации / Государственная система правовой информации. – 2005–2025. – URL: clck.ru/3LDgbz (дата обращения: 10.04.2025).

81. Об утверждении методики по определению уровня арендной платы за нежилые здания (помещения) : Приказ М-ва архитектуры, стр-ва и жилищно-коммунального хоз-ва Российской Федерации от 14 сент. 1992 г. № 209 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : офиц. портал / АО «Кодекс». – 2026. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9034800> (дата обращения: 02.02.2026).

82. Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий : Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529 // Официальный интернет-портал правовой информации / Государственная система правовой информации. – 2005–2025. – URL: <https://clck.ru/3HsFoV> (дата обращения: 19.03.2025).

83. Ожерельев, В. Н. Комплекс машин для производства ягод малины / В. Н. Ожерельев // Научное обеспечение агропромышленного производства : [в 5 ч.] : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 20–22 января 2010 г. / Курская гос. с.-х. акад. им. проф. И. И. Иванова. – Курск, 2010. – Ч. 3. – С. 94–97.

84. Ожерельев, В. Н. Механизированная технология возделывания земляники садовой / В. Н. Ожерельев, В. В. Сомин // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. с

междунар. участием : в 2 ч. / Рубцовский индустриальный ин-т. – Рубцовск, 2018. – Ч. 1. – С. 547–553.

85. Ожерельев, В. Н. Технология производства ягод и плодов: ягодные культуры : учеб. пособие для сред. проф. образования / В. Н. Ожерельев, М. В. Ожерельева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2025. – 184 с. – ISBN 978-5-534-20360-8.

86. Паспорт научной специальности 4.3.1. «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса» // Высшая аттестационная комиссия : [офиц. сайт] / Федеральная информационная система государственной научной аттестации (ФИС ГНА). – 2018–2026. – URL: <https://clck.ru/3RJpbD> (дата обращения: 16.01.2026).

87. Патент № 163245 Российская Федерация, МПК A01B35/02 (2006.01). Культиватор межстрочный навесной : № 2016105719/13 : заявл. 18.02.2016 : опубл. 10.07.2016 / А. А. Головин ; патентообладатель А. А. Головин. – 2 с.

88. Патент № 163824 Российская Федерация, МПК A01B35/00 (2006.01). Культиватор межстрочный навесной с камерой заднего вида : № 2016105732/13 : заявл. 18.02.2016 : опубл. 10.08.2016 / А. А. Головин, Л. А. Головина ; патентообладатель ООО «Творческое внедренческое предприятие «Новатор».

89. Патент № 187417 Российская Федерация, МПК A01B 13/16 (2006.01). Роторный щелеобразователь : № 2018112092 : заявл. 03.04.2018 : опубл. 05.03.2019 / С. Ф. Сороченко, В. А. Дрюк, С. В. Терехин, О. А. Харченко, В. К. Одинцов, В. В. Прищепин, А. Э. Дейтер : патентообладатель ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – 7 с.

90. Патент № 2033006 Российская Федерация, МПК A01B 39/22 (1995.01), A01B 39/20 (1995.01), A01B 39/18 (1995.01). Ротационный рабочий орган : № 5004414/15 : заявл. 06.08.1991 : опубл. 20.04.1995 / Е. И. Арцыбашев, Б. М. Петров ; патентообладатель Акционерное общество открытого типа «Научно-исследовательский и конструкторский институт по оборудованию для шинной промышленности».

91. Патент № 214424 Российская Федерация, МПК А01В 39/16 (2006.01). Машина для междурядной и приствольной обработки почвы : № 2022121705 : заявл. 08.08.2022 : опубл. 26.10.2022 / С. Ф. Сороченко, Е. Я. Маргольф, Н. М. Чуклин, М. И. Миляев, В. А. Дрюк, Н. И. Раззамазов, С. В. Терехин, Р. В. Метальников, В. А. Угаров ; патентообладатели ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», ООО «Ваш трактор». – 9 с.

92. Патент № 2299536 Российская Федерация, МПК А01В 41/06 (2006.01), А01В 69/04 (2006.01). Способ прополки растений пропашных сельскохозяйственных культур в защитной зоне рядков при капельном орошении : № 2005131348/12 : заявл. 10.10.2005 : опубл. 27.05.2007 / В. М. Ермаков, А. М. Салдаев, В. А. Шляхов, В. В. Коринец, Г. В. Гуляева ; патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства. – 4 с.

93. Патент № 2335109 Российская Федерация, МПК А01В 35/16 (2006.01). Устройство для обработки приствольной полосы в рядах многолетних насаждений : № 2006113358/12 / заявл. 20.11.2007 : опубл. 10.10.2008 / В. Г. Бросалин, К. А. Манаенков ; патентообладатель ФГОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный университет». – 6 с.

94. Патент № 2412569 Российская Федерация, МПК А01В13/36 (2006.01). Машина для обработки приствольных полос в саду : № 2009132273/21 : заявл. 26.08.2009 : опубл. 27.02.2011 / В. Г. Бросалин, К. А. Манаенков ; патентообладатель Мичуринский государственный аграрный университет, ООО «Научно-производственный центр «ТехноСад». – 7 с.

95. Патент № 2767791 Российская Федерация, МПК А01В39/16 (2006.01), А01В33/06 (2006.01). Машина для междурядной и приствольной обработки почвы : № 2021114807 / заявл. 24.05.2021 : опубл. 21.03.2022 / С. Ф. Сороченко, Н. И. Раззамазов, Н. М. Чуклин, Р. В. Метальников ; патентообладатель ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – 11 с.

96. Патент № 2806588 Российская Федерация, МПК A01B39/08 (2006.01), A01B39/16 (2006.01), A01B63/32 (2006.01). Машина для междурядной и приствольной обработки почвы : № 2022133752 / заявл. 21.12.2022 : опубл. 01.11.2023 / С. Ф. Сороченко, Н. И. Раззамазов, Н. М. Чуклин, Н. А. Колпаков ; патентообладатель ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – 12 с.

97. Патент № 2814021 Российская Федерация, МПК A01B 39/16 (2006.01), A01B 39/08 (2006.01), A01B 63/30 (2006.01). Машина для междурядной и приствольной обработки почвы : № 2023126637 / заявл. 17.10.2023 : опубл. 21.02.2024 / С. Ф. Сороченко, Н. И. Раззамазов, Н. М. Чуклин, К. В. Польских ; патентообладатели Раззамазов Никита Иванович, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – 10 с.

98. Патент № 2821886 Российская Федерация, МПК A01B 39/08 (2006.01), A01B 39/16 (2006.01), A01B 35/18 (2006.01). Машина для обработки почвы : № 2024100009 / заявл. 01.01.2024 : опубл. 27.06.2024 / С. Ф. Сороченко, Н. И. Раззамазов ; патентообладатель ООО «Техновывоз». – 12 с.

99. Патент № 2851360 Российская Федерация, МПК A01B 69/00 (2006.01), A01B 39/16 (2006.01), A01B 39/18 (2006.01). Способ управления рабочими органами технического средства для приствольной обработки почвы : № 2025115010 / заявл. 02.06.2025 : опубл. 24.11.2025 / Н. И. Раззамазов, С. Ф. Сороченко, Н. А. Пушков ; патентообладатель ООО «Техновывоз». – 15 с.

100. Перспективные технологии производства саженцев плодовых культур / А. И. Завражнов, А. А. Завражнов, В. Ю. Ланцев, Д. А. Мацнев // Сборник научных трудов, посвященный 85-летию Мичуринского государственного аграрного университета : в 4 т. – Мичуринск, 2016. – Т. 2 – С. 23–27.

101. Питомники АППМ // Ассоциация производителей посадочного материала : [информ. портал] / Ассоциация производителей посадочного материала. – 2026. – URL: <https://www.ruspitomniki.ru/pitomniki-rossii/?company=&country=457®ion=> (дата обращения: 22.04.2026).

102. Питомники АППМ. Группы растений // Ассоциация производителей посадочного материала : [информ. портал] / Ассоциация производителей посадочного материала. – 2026. – URL: <https://clck.ru/3TDc55> (дата обращения: 22.04.2026).

103. Плита к BE10 // ТД УралГидроМаш : [сайт] / ТД УралГидроМаш – насосы, гидравлика, пневматическое оборудование, фильтры, смазочные системы. – 2025. – URL: <https://clck.ru/3J55MK> (дата обращения: 21.03.2025).

104. Плодоводство / Ю. В. Трунов, Е. Г. Самощенко, Т. Н. Дорошенко [и др.] ; под ред. Ю. В. Трунова, Е. Г. Самощенко. – Москва : КолосС, 2012. – 415 с. – ISBN 978-5-9532-0833-8.

105. Подолько, П. М. Повышение качества предпосадочной обработки почвы под картофель применением бесприводного ротационного рабочего органа : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук / Подолько Павел Михайлович. – Челябинск, 2009. – 124 с.

106. Полищук, Е. А. Конструктивно-режимные параметры косилки для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук / Полищук Евгений Александрович. – Нальчик, 2022. – 176 с.

107. Пономарев, А. В. Параметры ротационной бороны для поверхностной обработки почвы в приствольных зонах плодовых деревьев : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук / Пономарев Артем Васильевич. – Зерноград, 2018. – 131 с.

108. Применение систем технического зрения в машинных технологиях в садоводстве / Г. И. Личман, И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт, Р. А. Филиппов // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 6. – С. 10–17.

109. Приоритетные технические средства для закладки и возделывания многолетних насаждений в садоводстве и питомниководстве России и Беларуси / Я. П. Лобачевский, И. Г. Смирнов, А. Н. Юрин [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 10. – С. 16–20.

110. Проектирование роторного щелеобразователя для посадки саженцев / Н. М. Чуклин, В. А. Угаров, О. А. Харченко, С. Ф. Сороченко // Ползуновский альманах. – 2018. – № 3. – С. 64–67.

111. Прополочный культиватор для внутрирядной обработки Robocrop In-Row Weeder // garford : [офиц. сайт] / Garford Farm Machinery Ltd. – Peterborough, 2023. – URL: <https://garford.com/ru/robocrop-inrow-weeder/> (дата обращения: 24.02.2024).

112. Профессиональная IDE для Data Science и веб-разработки на Python // JETBRAINS : [сайт] / JetBrains s.r.o. – 2000–2025. – URL: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/> (дата обращения: 31.03.2025).

113. Раззамазов, Н. И. Анализ видов обработки почвы и борьбы с сорной растительностью при возделывании культур в плодopитомниках / Н. И. Раззамазов ; науч. рук. С. Ф. Сороченко // Наука и молодежь : материалы XXII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Алтайский гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2025. – Т. 1, ч. 1. – С. 29–31.

114. Раззамазов, Н. И. Анализ и классификация систем управления рабочими органами машин для обработки почвы в плодopитомниках и садах / Н. И. Раззамазов ; науч. рук. С. Ф. Сороченко // Наука и молодежь : материалы XXI Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Алтайский гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2024. – Т. 1, ч. 1. – С. 32–34.

115. Раззамазов, Н. И. Анализ существующих решений в области механизации и автоматизации междурядной и приствольной обработки почвы в плодopитомниках и молодых садах / Н. И. Раззамазов, С. Ф. Сороченко // Ползуновский альманах. – 2023. – Т. 2, № 2 – С. 17–19.

116. Раззамазов, Н. И. Исследование пассивного ротационного рабочего органа почвообрабатывающей машины / Н. И. Раззамазов, С. Ф. Сороченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 7. – С. 79–87.

117. Раззамазов, Н. И. К технико-экономической оценке использования машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки почвы в плодopитомниках / Н. И. Раззамазов, С. Ф. Сороченко // Актуальные

вопросы автомобильного транспорта и наземных технологических систем (АВАТ-2025) : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. / Алтайский гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2025. – С. 99–103.

118. Раззамазов, Н. И. Классификация машин для обработки почвы в плодопитомниках / Н. И. Раззамазов, С. Ф. Сороченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – № 4. – С. 82–90.

119. Раззамазов, Н. И. Параметры роторного рабочего органа машины для приствольной обработки почвы в плодопитомниках / Н. И. Раззамазов, А. Ю. Супрунов, С. Ф. Сороченко // Научное творчество студентов и сотрудников факультета энергомашиностроения и автомобильного транспорта : сб. докл. 77-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и проф.-преподават. состава техн. ун-та. – Барнаул, 2019. – С. 68–73.

120. Раззамазов, Н. И. Перспективы совершенствования машины для приствольной обработки почвы в плодопитомниках / Н. И. Раззамазов // Молодежь – Барнаулу : материалы XXII гор. науч.-практ. конф. молодых ученых (2–9 нояб. 2020 г.) / гл. ред. Ю. В. Анохин ; Алтайский гос. ун-т. – Барнаул, 2021. – С. 50.

121. Раззамазов, Н. И. Разработка машины с автоматической системой управления рабочими органами для обработки почвы в плодопитомниках / Н. И. Раззамазов // Молодежь – Барнаулу : материалы XXV гор. науч.-практ. конф. молодых ученых / отв. ред. Штебнер А. Л. – Барнаул, 2024. – С. 59–60.

122. Раззамазов, Н. И. Разработка стенда для проведения исследований машины для приствольной обработки почвы в плодопитомниках / Н. И. Раззамазов, С. Ф. Сороченко // Ползуновский альманах. – 2022. – № 2, т. 2. – С. 16–19.

123. Раззамазов, Н. И. Распознавание объектов при приствольной обработке почвы в плодопитомниках / Н. И. Раззамазов, С. Ф. Сороченко // Наука и молодежь: материалы XVII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Алтайский гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2020. – Ч. 4. – С. 44–46.

124. Раззамазов, Н. И. Результаты лабораторных исследований системы управления рабочими органами машины для приствольной обработки почвы /

Н. И. Раззамазов, С. Ф. Сороченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4. – С. 99–106.

125. Разработка автоматической системы управления рабочими органами машины для приствольной обработки почвы / Н. А. Пушков, Н. И. Раззамазов, В. С. Афонин, С. Ф. Сороченко // Современные цифровые технологии : сб. материалов III Всерос. науч.-практ. конф. (03 июня 2024 г.). – Барнаул, 2024. – С. 268–271.

126. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе / Д. О. Хорт, А. И. Кутырёв, И. Г. Смирнов [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67, № 1. – С. 133–141.

127. Разработка системы автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве / Д. О. Хорт, А. И. Кутырёв, И. Г. Смирнов, И. В. Воронков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 2. – С. 61–68.

128. Разработки Студенческого конструкторского бюро АлтГТУ для садоводства / С. Ф. Сороченко, Н. М. Чуклин, В. А. Угаров, Н. И. Раззамазов // Актуальные вопросы автомобильного транспорта (АВАТ-2023) : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. / Алтайский гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2024. – С. 42–46.

129. Региональное соглашение о размере минимальной заработной платы в Алтайском крае на 2025 – 2027 годы // КонтурНорматив : [сайт] / СКБ Контур. – 1988–2026. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=122&documentId=31934> (дата обращения: 03.02.2026).

130. Робототехнические средства в растениеводстве / И. Г. Смирнов, А. А. Артюшин, Д. О. Хорт [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 118. – С. 1651–1660.

131. Роде, А. А. Толковый словарь по почвоведению / А. А. Роде. – Москва : Наука, 1975. – 288 с.

132. Роторный щелеобразователь // Ваш трактор : [сайт] / Ваш трактор. – Барнаул, 2025. – URL: <https://ваштрактор.рф/promyishlennoe-sadovodstvo/shheleobrazovatel-rotornyij-shhr-2.8> (дата обращения: 21.03.2025).

133. Рулетка VIRA by RAGE с автостопом 8 м х 25 мм 100058 // ВсеИнструменты.ру : [сайт] / ВсеИнструменты.ру. – 2006–2026. – URL: <https://www.vseinstrumenti.ru/product/ruletk-vira-by-rage-avtostopor-8-m-h-25-mm-100058-2561168/> (дата обращения: 08.07.2025).

134. Сабликов, М. В. Сельскохозяйственные машины. Часть 2. Основы теории и технологического расчета / М. В. Сабликов. – Москва : Колос, 1968. – 296 с.

135. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684665 Российская Федерация. Система управления рабочими органами машины для приствольной обработки почвы : № 2023683675 / заявл. 06.11.2023 : опубл. 17.11.2023 / Н. И. Раззамазов, С. Ф. Сороченко, В. С. Коновалов ; правообладатель Раззамазов Никита Иванович. – 1 с.

136. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025690127 Российская Федерация. Программа автоматизированного управления рабочими органами машины для приствольной обработки почвы : № 2025689525 / заявл. 25.10.2025 : опубл. 05.11.2025 / Н. И. Раззамазов, Н. А. Пушкин, Р. О. Тогузов, М. Г. Сабылин ; правообладатель ООО «Техновывоз». – 1 с.

137. Свиридов, В. Г. Обоснование и разработка комбинированных рабочих органов для ухода за посевами в лесных питомниках : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесного хозяйства и лесозаготовок» : дис. ... канд. техн. наук / Свиридов Василий Геннадьевич. – Воронеж, 2004. – 180 с.

138. Секундомер электронный RGK SWE-02. Руководство по эксплуатации / [Shanghai SASEY Trade Co.]. – Китай, [2024]. – 12 с.

139. Сельскохозяйственные машины / Б. Г. Турбин, А. Б. Лурье, С. М. Григорьев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1967. – 583 с.

140. Сельскохозяйственный словарь-справочник : с 3.700 статьями, 650 ил. в тексте / гл. ред. А. И. Гайстер ; переплет Г. Рифтин. – 2-е изд., испр. и доп. –

Москва ; Ленинград : Гос. изд-во колхоз. и совхоз. лит-ры, 1934. – XII, [4] с., 1280 стб.

141. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь / гл. ред. В. К. Месяц. – Москва : Советская энциклопедия, 1989. – 656 с.

142. Серия 8Ч. Червячные мотор-редукторы и редукторы : каталог. – Медногорск, 2010. – 20 с.

143. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – Москва : Машиностроение, 1977. – 328 с.

144. Смирнов, И. Г. Алгоритм работы автономного роботизированного комплекса мониторинга сорной растительности / И. Г. Смирнов, А. И. Дышеков, Ф. В. Девяткин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 1. – С. 71–75.

145. Смирнов, И. Г. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур / И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт, А. И. Кутырёв // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 35–41.

146. Смирнов, И. Г. Машинное обеспечение интеллектуальных агроботехнологий / И. Г. Смирнов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти д-ра техн. наук, проф. Ф. Х. Бурумкулова. – Саранск, 2016. – С. 304–309.

147. Смирнов, И. Г. Разработка технологических процессов и технических средств для интеллектуальных технологий возделывания кустарниковых ягодных культур : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... д-ра техн. наук / Смирнов Игорь Геннадьевич. – Москва, 2019. – 427 с.

148. Смирнов, И. Г. Техническое обеспечение работ по уходу за междурядьями в садах интенсивного типа / И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт, Р. А. Филиппов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы

Международ. науч.-техн. конф. : в 3 т. / Респ. унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2014. – Т. 2. – С. 303–311.

149. Смирнов, М. П. Обоснование параметров бесприводного ротационного рабочего органа почвообрабатывающего адаптера к сеялкам для пропашных культур : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук / Смирнов Михаил Петрович. – Чебоксары, 2012. – 158 с.

150. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – 3-е изд., стер. – Москва : Наука, 1969. – 512 с.

151. Соколова, Л. Н. Защита полевых культур : учеб. пособие / Л. Н. Соколова, О. В. Антюхова. – Тирасполь : Приднестровский гос. ун-т им. Т. Г. Шевченко, 2016. – 161 с.

152. Сороченко, С. Ф. К обоснованию параметров машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки почвы в плодopитомниках / С. Ф. Сороченко, Н. И. Раззамазов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1. – С. 96–102.

153. Сороченко, С. Ф. Определение функциональных зависимостей выходных параметров движения рабочих органов машины для приствольной обработки почвы в плодopитомниках и садах / С. Ф. Сороченко, Н. И. Раззамазов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4. – С. 109–116.

154. Справочник агронома Сибири / И. И. Синягин, А. И. Тютонников, В. А. Кубышев [и др.]. – Москва : Колос, 1978. – 527 с.

155. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 4 т. Т. 3 / Т. С. Атакишиев, Н. Б. Барер, А. С. Бетчер [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1969. – 744 с.

156. Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07.07.2017 № 1455-р // Официальный интернет-портал правовой информации /

Государственная система правовой информации. – 2005–2025. – URL: <https://clck.ru/3LLNHM> (дата обращения: 11.04.2025).

157. Технические и технологические решения круглогодичного выращивания садовой земляники / А. А. Цымбал, И. И. Чухляев, Н. В. Лимаренко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 185–192.

158. Технология возделывания земляники на промышленных плантациях и в репродукционных питомниках Нечерноземной зоны РСФСР : рекомендации / В. Г. Трушечкин, И. И. Чухляев, И. Н. Шахова [и др.]. – Москва : Россельхозиздат, 1981. – 16 с.

159. Технология и средства механизации для плодопитомников горной и предгорной зон Северного Кавказа / С. М. Джигилов, Л. Р. Гулуева, С. Г. Бестаев, З. С. Бадтиева // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 51, № 2. – С. 146–152.

160. Трактор АГРОМАШ 30ТК // TraktorBook.com. Характеристики спецтехники : [сайт]. – 2025. – URL: <https://traktorbook.com/traktor-agromash-30tk> (дата обращения: 10.02.2025).

161. Трактор Агромаш 30ТК, Агромаш 50ТК, Агромаш 60ТК. Инструкция по эксплуатации 30.50.60ТК.0000 ИЭ – 2013 год // ЗУСН : [сайт] / ЗУСН. – URL: <https://Zuch.ru/textbooks/eng/rtclllej/houg?ysclid=mjbcnavpa683121282> (дата обращения: 09.02.2026).

162. Тракторы «Беларусь» МТЗ-50, МТЗ-50Л, МТЗ-52, МТЗ-52Л / Отв. за выпуск В. В. Касперович. – 5-е изд., доп. и испр. – Минск : Полигр. комбинат им. Якуба Коласа Государственного ком. Совета Министров БССР по делам изд-в, полиграфии и книж. торговли, 1974. – 336 с.

163. Улитин, Н. С. Сопротивление материалов : учеб. для техникумов / Н. С. Улитин. – 4-е изд., доп. – Москва : Высш. шк., 1975. – 365 с. – ISBN 5-10-000072-4.

164. Утков, Ю. А. Этапы создания специализированных технических средств для садоводства / Ю. А. Утков, В. В. Бычков, Г. И. Кадыкало // Плодоводство и ягодоводство России. – 2010. – Т. 25. – С. 299–317.

165. Фархутдинов, И. М. Научное обоснование и разработка энергосберегающих почвообрабатывающих и посевных машин на основе цифровых двойников : специальность 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса» : дис. ... д-ра техн. наук / Фархутдинов Ильдар Мавлярович. – Уфа, 2024. – 415 с.

166. Филиппов, Р. А. Инновационный комплекс машин для садоводства и виноградарства / Р. А. Филиппов, И. Г. Смирнов // Таврический вестник аграрной науки. – 2017. – № 2. – С. 161–174.

167. Хажметова, А. Л. Параметры и режимы работы агрегата для ухода за междурядьями и приствольными полосами плодовых насаждений : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук / Хажметова Алина Лиуановна. – Нальчик, 2019. – 149 с.

168. Хомко, В. Г. Развитие корневой системы смородины и крыжовника на остепнённом черноземе второй надпочвенной террасы // Сборник работ по селекции и агротехнике плодовых и ягодных культур. – Воронеж, 1969. – С. 372–382.

169. Хорт, Д. О. Цифровые технологические и технические решения для интенсивного садоводства : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... д-ра техн. наук / Хорт Дмитрий Олегович. – Москва, 2022. – 452 с.

170. Цымбал, А. А. Исследование процесса обработки почвы в приствольных полосах сада / А. А. Цымбал, А. В. Скачков // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3. – С. 180–187.

171. Шаговые двигатели, устройства управления шаговыми двигателями, контроллеры движения / Autonics. Sensors&Controllers. – URL: https://amitron-ek.ru/upload/iblock/a85/Stepping_Drivers.pdf (дата обращения: 19.12.2023).

172. Шевчук, В. В. Обґрунтування параметрів і режимів роботи голчатої бори : спеціальність 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» : дис. ... канд. техн. наук / Шевчук Віталій Вікторович. – Львів, 2015. – 156 с.

173. Acer Aspire 5745PG-373G32Miks // НИКС. Компьютерная компания : [сайт] / НИКС – Компьютерный Супермаркет. – Москва, 1991–2025. – URL: <https://clck.ru/3J4tKE> (дата обращения: 21.03.2025).

174. AI-based orchard monitoring at night: enhancing sustainable fruit production through real-time apple detection / A. Kuttyrev, D. Khort, I. Smirnov, V. Zubina. – DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202561403008> // E3S Web of conferences. International Conference on AgriTech and Water Management (ICAW 2024). – [S. l.] : EDP Sciences, 2025. – Vol. 614. – P. 03008. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2025/14/e3sconf_icaw2024_03008.pdf (дата обращения: 25.03.2025).

175. Altivar 312. Преобразователи частоты для асинхронных двигателей. Руководство по установке / Schneider Electric. – Франция, 2009. – 29 с.

176. Arduino Nano // Arduino : [website] / Arduino S.r.l. – 2021. – URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano> (date of request: 19.12.2023).

177. ASUS Vivobook 16 OLED (M1605) // ASUS : [сайт] / ASUSTeK Computer Inc. – [2024]. – URL: <https://www.asus.com/ru/laptops/for-home/vivobook/asus-vivobook-16-oled-m1605> (дата обращения: 05.10.2024).

178. AUTONOMOUS LASERWEEDER DEMO UNIT // Carbon Robotics : [website] / Carbon Robotics™. – 2021. – URL: <https://carbonrobotics.com/autonomous-weeder> (date of request: 24.02.2024).

179. Code editing. Redefined // Microsoft : [website] / Microsoft. – 2023. – URL: <https://code.visualstudio.com/> (дата обращения: 10.10.2023).

180. C310 HD WEBCAM. Complete Setup Guide. – URL: <https://www.logitech.com/assets/46734/5/hd-webcam-c310.pdf> (date of request: 19.12.2023).

181. Arduino IDE 2.2.1 // Arduino : [website] / Arduino. – 2023. – Downloads. – URL: <https://www.arduino.cc/en/software/#ide> (date of request: 30.09.2023).

182. Hillside Cultivator Co. LLC Prices and Parts 2024 / Hillside Cultivator Co. LLC. – Lititz, 2024. – 16 p.

183. Hoeing machine // DAMCON : [website] / Damcon B.V. – 2022. – URL: <https://damcon.com/machine/damcon-hoeing-frame/> (date of request: 02.12.2023).

184. Jain, R. Machine Vision / R. Jain, R. Kasturi, B. Schunk. – New York : McGraw-Hill, Inc, 1995. – 549 p. – ISBN 0-07-032018-7.
185. Kress finger weeder // DAMCON : [website] / Damcon B.V. – 2022. – URL: <https://damcon.com/machine/kress-finger-weeder/> (date of request: 02.12.2023).
186. Logitech Attack 3. Quick-start guide / Logitech. – Switzerland, 2008. – 2 p.
187. Mechanical weeder Ecoweeder 2 rows. PTO driven // UNIVERCO : [website] / Univerco. – 2019. – URL: <https://univerco.com/en/product/weeder-eco-ii/> (date of request: 24.02.2024).
188. Microsoft Excel // Microsoft : [сайт] / Microsoft. – 2023. – URL: <https://www.microsoft.com/ru-ru/microsoft-365/excel> (дата обращения: 05.10.2023).
189. PTC MathCAD : [website] / PTC Inc. – 2023. – URL: www.mathcad.com (date of request: 05.10.2023).
190. Real-time image processing for the guidance of a small agricultural field inspection vehicle / R. Gottschalk, X. P. Burgos-Artizzu, A. Ribeiro [et al.] // International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications. – 2010. – Vol. 8, Nos. 1–4. – P. 434–443.
191. REMOWEED AND SCORPION automatic weeder // Ferrari GROWTECH : [website] / FERRARI COSTRUZIONI MECCANICHE S.R.L. – 2025. – URL: <https://ferrarigrowtech.com/en/automated-weeders/28-remoweed.html> (date of request: 31.03.2025).
192. Robotic Platform for Horticulture: Assessment Methodology and Increasing the Level of Autonomy / A. Kutyrev, N. Kiktev, M. Jewiarz [et al.] // Sensors. – 2022. – Vol. 22, iss. 22. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/22/8901> (date of request: 04.02.2025).
193. XWST Преобразователь 12В в 36В 1-30А // AliExpress : [сайт] / AliExpress. – 2019–2025. – URL: <https://aliexpress.ru/item/4000750422496.html> (дата обращения: 26.06.2025).

ПРИЛОЖЕНИЕ А**Дипломы победителя программ Фонда содействия развитию малых форм
предприятий в научно-технической сфере**

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**Свидетельство победителя конкурсного отбора на назначение стипендии
Президента Российской Федерации для аспирантов и адъюнктов по
приоритетному направлению стратегии научно-технологического развития
Российской Федерации**



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Охранные документы

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2767791

Машина для междурядной и приствольной обработки почвы

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ) (RU)*

Авторы: *Сороченко Сергей Федорович (RU), Раззамазов Никита Иванович (RU), Чулкин Никита Михайлович (RU), Метальников Роман Витальевич (RU)*

Заявка № 2021114807
Приоритет изобретения 24 мая 2021 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 21 марта 2022 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 24 мая 2041 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности
Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ (19) **RU** (11) **2 767 791** (13) **C1**

(51) МПК
A01B 39/16 (2006.01)
A01B 33/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01B 39/166 (2021.08); A01B 33/06 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021114807, 24.05.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 24.05.2021

Дата регистрации: 21.03.2022

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 24.05.2021

(45) Опубликовано: 21.03.2022 Бюл. № 9

Адрес для переписки:
656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ), отдел правовой охраны и использования результатов интеллектуальной деятельности (ОПОИРИД)

(72) Автор(ы):
Сороченко Сергей Федорович (RU),
Раззамазов Никита Иванович (RU),
Чулкин Никита Михайлович (RU),
Метальников Роман Витальевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 1729311 A1, 30.04.1992; SU 1232152 A1, 23.05.1986; SU 1794335 A1, 15.02.1993; CN 111194582 A, 26.05.2020; DE 3738289 A1, 24.05.1989.

(54) Машина для междурядной и приствольной обработки почвы

(57) Реферат:
Изобретение относится к сельскому хозяйству. Машина для междурядной и приствольной обработки почвы состоит из рамы, содержащей поперечную балку, навесное устройство и кронштейны, а также опорных колес и модулей. Каждый модуль состоит из корпуса, присоединенного к поперечной балке, двух рабочих органов роторного типа с вертикальной осью вращения, установленных на поворотных рамках, шарнирно соединенных с корпусом с возможностью поворота в вертикальной плоскости. Рабочие органы состоят из вала, в нижней части которого установлен диск с пальцами, а в верхней части вал соединен с валом гидромотора. Корпус имеет возможность перемещения вдоль поперечной балки с одной степенью свободы посредством винтового механизма, состоящего из винта и гайки, винт которого относительно поперечной балки имеет одну степень свободы с возможностью вращения и соединен с валом сервопривода, а гайка соединена с корпусом. Поворотные рамки посредством тит соединены с гидросилиндрами, установленным на корпусе и гидравлически соединенным с гидрораспределителем, который гидравлически соединен с гидросистемой трактора и электрически соединен с контроллером, который также электрически соединен с пультом управления, датчиком скорости машины, сервоприводами и системой видеонаблюдения, которая также электрически соединена с дисплеем. Обеспечиваются более комфортные и безопасные условия работы операторов, повышение производительности работы машины. 4 ил.

Стр. 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ИЗМЕНЕНИЕ
В ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2767791

Государственная регистрация предоставления права использования по договору

Вид договора: *лицензионный*

Дата и номер государственной регистрации предоставления права использования по договору: 07.06.2023 № P10433919

Лицо(а), предоставляющее(ие) право использования: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (RU)*

Лицо(а), которому(им) предоставлено право использования: *Общество с ограниченной ответственностью "Алтайский Завод Автопартного Спецоборудования" (RU)*

продолжение см. на обороте

Запись внесена в Государственный реестр изобретений Российской Федерации 07 июня 2023 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности
Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ (19) **RU** (11) **2 767 791**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ИЗВЕЩЕНИЯ К ПАТЕНТУ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

QB4A Государственная регистрация предоставления права использования по договору

Вид договора: *лицензионный*

Лицо(а), предоставляющее(ие) право использования: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (RU)*

Лицо(а), которому(им) предоставлено право использования: *Общество с ограниченной ответственностью "Алтайский Завод Автопартного Спецоборудования" (RU)*

Условия договора: *неисключительная лицензия на срок до 31.12.2026 на территории РФ.*

Дата и номер государственной регистрации предоставления права использования по договору: 07.06.2023 P10433919

Дата внесения записи в Государственный реестр: 07.06.2023

Дата публикации и номер бюллетеня: 07.06.2023 Бюл. №16

Стр. 1



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ (19) RU (11) 2 806 588 (13) C1

(51) МПК
A01B 39/08 (2006.01)
A01B 39/16 (2006.01)
A01B 63/32 (2006.01)
G05D 1/02 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01B 39/08 (2023.08); A01B 39/16 (2023.08); A01B 63/02 (2023.08); A01B 63/245 (2023.08); G05D 1/0246 (2023.08); G05D 1/0268 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2022133752, 21.12.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 21.12.2022

Дата регистрации: 01.11.2023

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 21.12.2022

(45) Опубликовано: 01.11.2023 Бюл. № 31

Адрес для переписки:
656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВО "АлГТУ им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ), отдел правовой охраны и использования результатов интеллектуальной деятельности (ОПОИРИД)

(72) Автор(ы):
Сороченко Сергей Федорович (RU),
Раззамазов Никита Иванович (RU),
Чуклин Никита Михайлович (RU),
Колпаков Николай Анатольевич (RU)

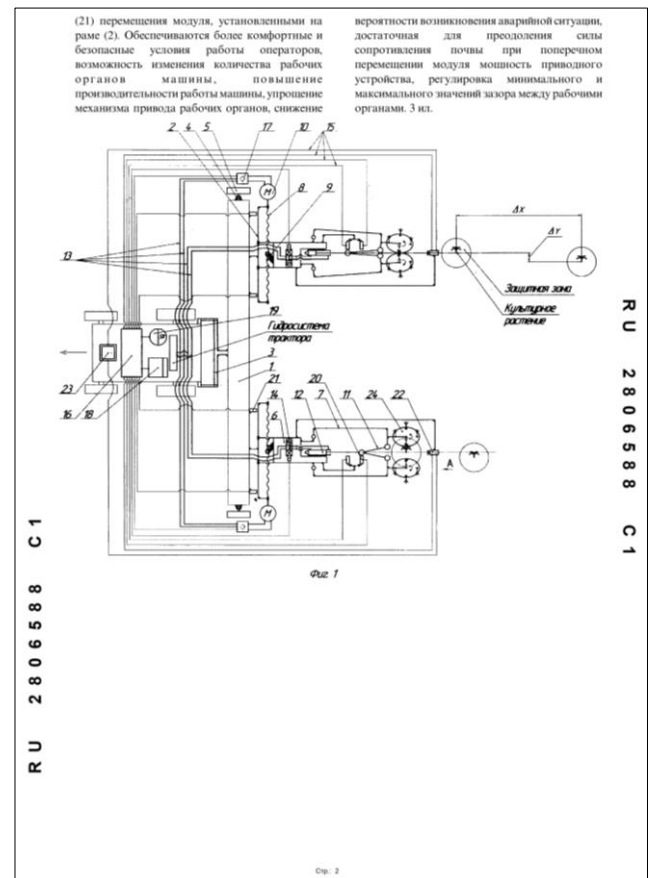
(73) Патентообладатель(и):
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2767791 C1, 21.03.2022, RU 2703483 C1, 17.10.2019, RU 163824 U1, 10.08.2016, DE 4004247 A1, 14.08.1991, WO 2008135867 A2, 13.11.2008.

(54) Машина для междурядной и приствальной обработки почвы

(57) Реферат:
Изобретение относится к сельскому хозяйству. Машина для междурядной и приствальной обработки почвы состоит из рамы (1), содержащей поперечную балку (2), навесное устройство (3), кронштейны (4), опорные колеса (5) и модули. Каждый из модулей состоит из корпуса (6), на котором шарнирно установлены поворотные рамки (7) с возможностью поворота в вертикальной плоскости и который присоединен к поперечной балке (2) с возможностью перемещения вдоль этой балки (2) с одной степенью свободы посредством винтового механизма, состоящего из винта (8) и гайки (9). Винт (8) винтового механизма относительно поперечной балки (2) имеет одну степень свободы с возможностью вращения посредством приводного устройства, выполненного в виде гидромотора (10), установленного на раме (2), а гайка (8) установлена на корпусе (6). Поворотные рамки (7) посредством тяг (11) соединены со штоком гидrocилindra (12), установленного на корпусе (6) и гидравлически посредством трубопроводов (13) соединенного с гидрораспределителем (14), также гидравлически соединенным с гидросистемой трактора и электрически посредством электропроводов (15) соединенным с контроллером (16), который также электрически соединен с пультом (18) управления, датчиком (19) скорости машины, приводными устройствами (10) и видеосистемами (22), которые также электрически соединены с дисплеем (23). На каждой поворотной рамке (7) установлен пассивный ротационный рабочий орган (24). Гидромотор (10) гидравлически соединен с сервоклапаном (17) гидравлически соединенным с гидросистемой трактора и электрически соединенным с контроллером (16), который также электрически соединен с ограничителями (20) перемещения штока гидrocилindra (12), установленными на корпусе (6), и ограничителями

Стр. 1





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 814 021** (13) **C1**

(51) МПК
A01B 39/16 (2006.01)
A01B 39/08 (2006.01)
A01B 63/30 (2006.01)
A01B 63/32 (2006.01)
A01B 69/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01B 39/166 (2023.08); A01B 39/085 (2023.08); A01B 63/245 (2023.08); A01B 63/30 (2023.08); A01B 63/32 (2023.08); A01B 69/001 (2023.08); A01B 69/004 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023126637, 17.10.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 17.10.2023

Дата регистрации: 21.02.2024

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 17.10.2023

(45) Опубликовано: 21.02.2024 Бюл. № 6

Адрес для переписки:
656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВО АлтГТУ, отдел правовой охраны и использования результатов интеллектуальной деятельности (ОПОИРИД)

(72) Автор(ы):
Сороченко Сергей Федорович (RU), Раззамазов Никита Иванович (RU), Чуклин Никита Михайлович (RU), Польских Кирилл Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Раззамазов Никита Иванович (RU), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2767791 C1, 21.03.2022, RU 2273978 C2, 20.04.2006, RU 2804100 C1, 26.09.2023, DE 4004247 A1, 14.08.1991.

(54) Машина для междурядной и приствольной обработки почвы

(57) Реферат:
Изобретение относится к сельскому хозяйству. Машина для междурядной и приствольной обработки почвы состоит из рамы (1), опорных колес (5) видеосистем, электрически соединенных с дисплеем и модулем. Рама (1) содержит поперечную балку (2), навесное устройство (3) и кронштейны (4). Каждый из модулей состоит из корпуса (9), на котором шарнирно и с возможностью поворота в вертикальной плоскости установлены поворотные рамки (10), на каждой из которых установлен ротационный рабочий орган. На корпусе (9) симметрично относительно продольной плоскости симметрии корпуса (9) установлены магнитоустойчивые датчики (15). Корпус (9) присоединен к поперечной балке (2) с возможностью перемещения вдоль этой балки (2) с одной степенью свободы посредством винтового механизма, состоящего из винта (11) и гайки (12). Винт (11) винтового механизма относительно поперечной балки (2) имеет одну степень свободы с возможностью вращения посредством приводного устройства (13), установленного на раме (1), а гайка (12) установлена на корпусе (9). Поворотные рамки (10) посредством троса соединены со штоком гидравлического, установленного на корпусе (9) и гидравлически посредством трубопроводов соединенного с гидрораспределителем, также гидравлически соединенным с гидросистемой трактора и электрически посредством электропроводов соединенным с контроллером, который также электрически соединен с пультом управления, приводными устройствами (13) и магнитоустойчивыми датчиками (15). Обеспечиваются комфортные и безопасные условия труда операторов, выполняющих роль наблюдателей процессов, повышение производительности машины, упрощение системы управления рабочими органами. 2 ил.

Стр. 1



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 821 886** (13) **C1**

(51) МПК
A01B 39/08 (2006.01)
A01B 39/16 (2006.01)
A01B 35/18 (2006.01)
A01B 63/26 (2006.01)
A01B 63/32 (2006.01)
A01B 69/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01B 39/08 (2024.01); A01B 39/163 (2024.01); A01B 35/18 (2024.01); A01B 63/26 (2024.01); A01B 63/32 (2024.01); A01B 69/001 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2024100009, 01.01.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 01.01.2024

Дата регистрации: 27.06.2024

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 01.01.2024

(45) Опубликовано: 27.06.2024 Бюл. № 18

Адрес для переписки:
656033, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Рельсовая, 37, ООО "Техновызов", РАЗЗАМАЗОВ НИКИТА ИВАНОВИЧ

(72) Автор(ы):
Сороченко Сергей Федорович (RU), Раззамазов Никита Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Общество с ограниченной ответственностью "Техновызов" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2767791 C1, 21.03.2022, RU 2804100 C1, 26.09.2023, SU 1384230 A1, 30.03.1988, SU 33740 A1, 31.12.1933, FR 1006494 A, 23.04.1952, WO 2021016444 A1, 28.01.2021.

(54) Машина для обработки почвы

(57) Реферат:
Изобретение относится к сельскому хозяйству. Машина для обработки почвы состоит из рамы, содержащей поперечную балку, навесное устройство и кронштейны, а также опорных колес, видеосистем и модуля. Модуль состоит из корпуса, на котором шарнирно установлены поворотные рамки с возможностью поворота в вертикальной плоскости и который присоединен к поперечной балке с возможностью перемещения вдоль этой балки с одной степенью свободы посредством винтового механизма, состоящего из винта и гайки. Винт относительно поперечной балки имеет одну степень свободы с возможностью вращения посредством сервопривода, а гайка установлена на корпусе. Поворотные рамки соединены посредством троса с дополнительной гайкой, установленной на продольном винте, который соединен с корпусом с одной степенью свободы относительно корпуса с возможностью вращения. Сервопривод установлен на раме и электрически соединен с контроллером, также электрически соединенным с управляющим устройством, датчиком скорости машины и видеосистемой, посредством электропроводов соединенной с дисплеем. На каждой поворотной рамке установлен ротационный рабочий орган. Обеспечивается упрощение конструкции машины. 4 ил.

Стр. 1



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 851 360 (13) C1

(51) МПК
A01B 69/00 (2006.01)
A01B 39/16 (2006.01)
A01B 39/18 (2006.01)
A01B 63/32 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01B 69/001 (2025.08); A01B 69/004 (2025.08); A01B 39/163 (2025.08); A01B 39/18 (2025.08); A01B 63/004 (2025.08); A01B 63/32 (2025.08); A01B 79/005 (2025.08)

(21)(22) Заявка: 2025115010, 02.06.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 02.06.2025

Дата регистрации: 24.11.2025

Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 02.06.2025

(45) Опубликовано: 24.11.2025 Бюл. № 33

Адрес для переписки: 656053, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Рельсовая, 37, ООО "Техновызов", РАЗЗАМАЗОВ НИКИТА ИВАНОВИЧ

(72) Автор(ы): Раззамазов Никита Иванович (RU), Сороченко Сергей Федорович (RU), Пушков Никита Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и): Общество с ограниченной ответственностью "Техновызов" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2767791 C1, 21.03.2022, RU 2804100 C1, 26.09.2023, US 11483958 B2, 01.11.2022, EP 4226751 A1, 16.08.2023, US 12141985 B2, 12.11.2024, US 2023044622 A1, 09.02.2023.

(54) Способ управления рабочими органами технического средства для приствольной обработки почвы

(57) Реферат: Изобретение относится к области сельского хозяйства. Способ управления рабочими органами технического средства для приствольной обработки почвы, включающий непрерывные получение контроллером видеозаписей от видеокамер и передачу видеозаписей на дисплей, обработку видеозаписей контроллером. Контроллер, видеокамеры и дисплей составляют систему бесконтактного распознавания культурного растения. По результатам обработки видеозаписей контроллером контроллер определяет скорости и моменты времени начала и конца: - перемещения секции рабочих органов относительно ряда культурных растений для обеспечения расстояния, значение которого входит в допустимый диапазон, между продольной плоскостью симметрии секции рабочих органов и продольной плоскостью, проходящей через центр защитной зоны культурного растения; - разведения рабочих органов секции для предотвращения их

Стр. 1

помеченного контроллером флажками на видеозаписях на дисплее, после чего контроллер выполняет расчёт среднего арифметического значения координат центров флажков, а при отсутствии флажка по крайней мере на одном из видеозаписей на дисплее, свидетельствующем об отсутствии культурного растения в поле зрения по крайней мере одной из видеокамер, происходит перемещение секции рабочих органов в центральное положение. При необходимости происходит переключение на бортовое ручное управление. Обеспечиваются более комфортные и безопасные условия труда оператора, возможность перемещения секции рабочих органов относительно ряда культурных растений, исключение необходимости физического контакта с культурным растением, упрощение алгоритма распознавания культурных растений. 4 ил.

Стр. 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023684665

Система управления рабочими органами машины для приствольной обработки почвы

Правообладатель: **Размазов Никита Иванович (RU)**

Авторы: **Размазов Никита Иванович (RU), Сороченко Сергей Фёдорович (RU), Коновалов Владимир Сергеевич (RU)**

Заявка № **2023683675**
Дата поступления **06 ноября 2023 г.**
Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ **17 ноября 2023 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью
Сертификат: 47864091301386404690307304647
Владелец: **Ю.С. Зубов**
Действителен с 08.08.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU2023684665

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2023684665 Дата регистрации: 17.11.2023 Номер и дата поступления заявки: 2023683675 06.11.2023 Дата публикации и номер бюллетеня: 17.11.2023 Бюл. № 11 Контактные реквизиты: нет	Автор(ы): Размазов Никита Иванович (RU), Сороченко Сергей Фёдорович (RU), Коновалов Владимир Сергеевич (RU) Правообладатель(и): Размазов Никита Иванович (RU)
---	--

Название программы для ЭВМ:
Система управления рабочими органами машины для приствольной обработки почвы

Реферат:
Программа предназначена для управления положением рабочих органов машины для приствольной обработки почвы относительно культурных растений в горизонтальной плоскости в плодородных почвах и садах и вывода информации о выполняемых процессах на дисплей оператора машины. Предусмотрены: возможность выбора видеоканера, с которой поступает изображение, и управляющего устройства из соответствующих списков, содержащих сведения о подключаемых к ЭВМ устройствах; возможность поворота изображения. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows 7 и выше.

Язык программирования: C++
Объем программы для ЭВМ: 4827 Байт

Стр. 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025690127

Программа автоматизированного управления рабочими органами машины для приствольной обработки почвы

Правообладатель: **Общество с ограниченной ответственностью "Техновизов" (RU)**

Авторы: **Размазов Никита Иванович (RU), Пушков Никита Алексеевич (RU), Тогузов Руслан Олегович (RU), Сабалин Михаил Григорьевич (RU)**

Заявка № **2025689525**
Дата поступления **25 октября 2025 г.**
Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ **05 ноября 2025 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью
Сертификат: 47864091301386404690307304647
Владелец: **Ю.С. Зубов**
Действителен с 08.08.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU2025690127

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2025690127 Дата регистрации: 05.11.2025 Номер и дата поступления заявки: 2025689525 25.10.2025 Дата публикации и номер бюллетеня: 05.11.2025 Бюл. № 11	Автор(ы): Размазов Никита Иванович (RU), Пушков Никита Алексеевич (RU), Тогузов Руслан Олегович (RU), Сабалин Михаил Григорьевич (RU) Правообладатель(и): Общество с ограниченной ответственностью "Техновизов" (RU)
---	---

Название программы для ЭВМ:
Программа автоматизированного управления рабочими органами машины для приствольной обработки почвы

Реферат:
Программа предназначена для автоматизированного управления положением рабочих органов машины для приствольной обработки почвы относительно культурных растений и вывода изображений на экран. Предусмотрены: настройка системы управления положением рабочих органов, системы бесконтактного распознавания культурного растения, параметров цветопередачи и угла поворота изображений; выбор видеоканера из списка доступных; ввод значения рабочей скорости машины; запись данных о настройках в файл с последующим их чтением при очередном запуске; запуск и остановка автоматизированной системы управления. Бесконтактное распознавание культурного растения осуществляется путём выявления цвета, содержащегося у попадающей в поле зрения видеоканера области, что позволяет однозначно идентифицировать его. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows 7 и выше.

Язык программирования: Python
Объем программы для ЭВМ: 46,4 КБ

Стр. 1

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Справка о внедрении в учебный процесс



**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
**«Алтайский государственный
технический университет
им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ)**
пр-т Ленина, 46, г. Барнаул, 656038
Телефон: (3852) 29-07-10
Факс: (3852) 36-78-64
E-mail: politeh@altgtu.ru
<http://www.altstu.ru>

УТВЕРЖДАЮ
Ректор АлтГТУ
А. М. Марков



_____ 2025 г.

СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»

Настоящим подтверждается, что результаты научно-исследовательской работы ассистента кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Раззамазова Н. И. под руководством д.т.н., доцента Сороченко С. Ф. внедрены в лабораторный блок курса дисциплины Б1.В.7 «Автоматизация технических средств агропромышленного комплекса» по направлению 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, профиль «Технические средства агропромышленного комплекса» в виде методических указаний к лабораторной работе, которые приведены в следующем издании:

– Раззамазов, Н. И. Исследование машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки почвы в плодопитомниках в лабораторных условиях : методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Автоматизация технических средств агропромышленного комплекса» для студентов очной и заочной форм обучения специальности «Наземные транспортно-технологические средства», специализации «Технические средства агропромышленного комплекса» / Н. И. Раззамазов, С. Ф. Сороченко. – Барнаул : Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2025. – 15 с. – Режим доступа: http://elibr.altstu.ru/eum/download/ajax/Razzamazov_IMASURODOPPLU_mu.pdf (дата обращения: 24.03.2025).

Проректор по научной
и инновационной работе АлтГТУ

А. А. Беушев

Заведующий кафедрой «Автомобили и
автомобильное хозяйство»

А. С. Баранов

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Акт передачи конструкторской документации опытного образца машины

УТВЕРЖДАЮ Проректор по научной и инновационной работе АлтГТУ А. А. Беушев  _____ 2026 г.	УТВЕРЖДАЮ Генеральный директор ООО «Чуклин инжиниринг» Н. М. Чуклин  _____ 2026 г.
Акт внедрения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ	
Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» – д.т.н., профессор кафедры «Автомобильный транспорт и наземные технологические системы» Сороченко Сергей Федорович и аспирант кафедры «Автомобильный транспорт и наземные технологические системы» Раззамазов Никита Иванович – и представитель ООО «Чуклин инжиниринг» – Генеральный директор Чуклин Никита Михайлович – составили настоящий акт о передаче конструкторской документации проекта «Машина с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки почвы» с целью использования на предприятии. Комплект конструкторской документации включает в себя: – пространственные модели сборочных единиц; – пространственные модели деталей; – пространственные модели прочих изделий; – сборочные чертежи и спецификации сборочных единиц; – рабочие чертежи деталей. Акт составлен в двух экземплярах.	
Представители ФГБОУ ВО АлтГТУ _____ С. Ф. Сороченко _____ Н. И. Раззамазов	

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Сертификаты участника выставок разработок



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Награды, сертификаты





ПРИЛОЖЕНИЕ И**Письмо заинтересованности в результатах настоящего исследования**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АЛТАЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ»
(ФГБНУ ФАНЦА)

п. Научный городок, д.35, г. Барнаул, Алтайский край, 656910
Тел/факс (3852) 49-62-30, e-mail: aniish@mail.ru
ИНН/КПП 2223043971/222301001

15.08.2016 № 01-27

Письмо заинтересованности в результатах настоящего исследования

Настоящим письмом сообщаем о том, что руководство Научно-исследовательского института садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко в лице руководителя отдела, ведущего научного сотрудника, заведующего лабораторией селекции декоративных культур, к.с.-х.н. Синогейкиной Галины Эдуардовны ознакомилось с результатами диссертационного исследования Раззамазова Никиты Ивановича по теме «Обоснование параметров и режимов работы машины с автоматизированной системой управления рабочими органами для обработки почвы в плодopитомниках», выполненного под руководством профессора кафедры «Автомобильный транспорт и наземные технологические системы» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, д.т.н. Сороченко Сергея Федоровича. Выражаем свою заинтересованность в результатах, полученных в ходе настоящего исследования.

На сегодняшний день при выполнении приствольной обработки почвы в плодopитомниках НИИСС им. М. А. Лисавенко используется машина МПП-2, которая, несмотря на механизацию технологического процесса обработки приствольной полосы, характеризуется повышенными требованиями безопасности оператора, рабочее место которого находится вблизи зон, обрабатываемых

рабочими органами, недостаточным обзором рабочей зоны, повышенной утомляемостью оператора. Результаты диссертационного исследования Н.И. Раззамазова в области автоматизации обработки приствольной полосы востребованы, поскольку их внедрение будет способствовать повышению эффективности работы машины для обработки почвы в плодопитомниках за счёт уменьшения влияния психофизиологических особенностей оператора, улучшения условий его труда и сведения функции оператора преимущественно к контролю работы машины. Помимо этого, диссертантом показаны условия, при которых достигаются положительный годовой экономический эффект и окупаемость машины в пределах срока её полезного использования, что также свидетельствует о практической значимости результатов исследования.

Руководитель отдела НИИСС
ФГБНУ ФАНЦА



Г.Э. Синогейкина

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Определение зависимости скорости транспортёрной ленты от частоты тока

Порядок определения зависимости скорости транспортёрной ленты $V_{\text{л}}$ от частоты тока $f_{\text{ток}}$:

- 1) запустили мотор-редуктор;
- 2) посредством преобразователя частоты тока задали значение частоты тока $f_{\text{ток}} = 4,0$ Гц;
- 3) измерили время одного прохода транспортёрной ленты с помощью секундомера с точностью 0,005 с (повторность измерений – три);
- 4) определили скорость транспортёрной ленты $V_{\text{л}}$ как отношение длины ленты ко времени одного её прохода;
- 5) повторили действия 1)–4) при значениях частоты тока $f_{\text{ток}} = 8,2; 12,3; 16,0; 20,0; 24,1$ Гц¹⁾;
- 6) выполнили аппроксимацию полученных данных.

График зависимости скорости транспортёрной ленты $V_{\text{л}}$ от частоты тока $f_{\text{ток}}$ представлен на рисунке К.1.

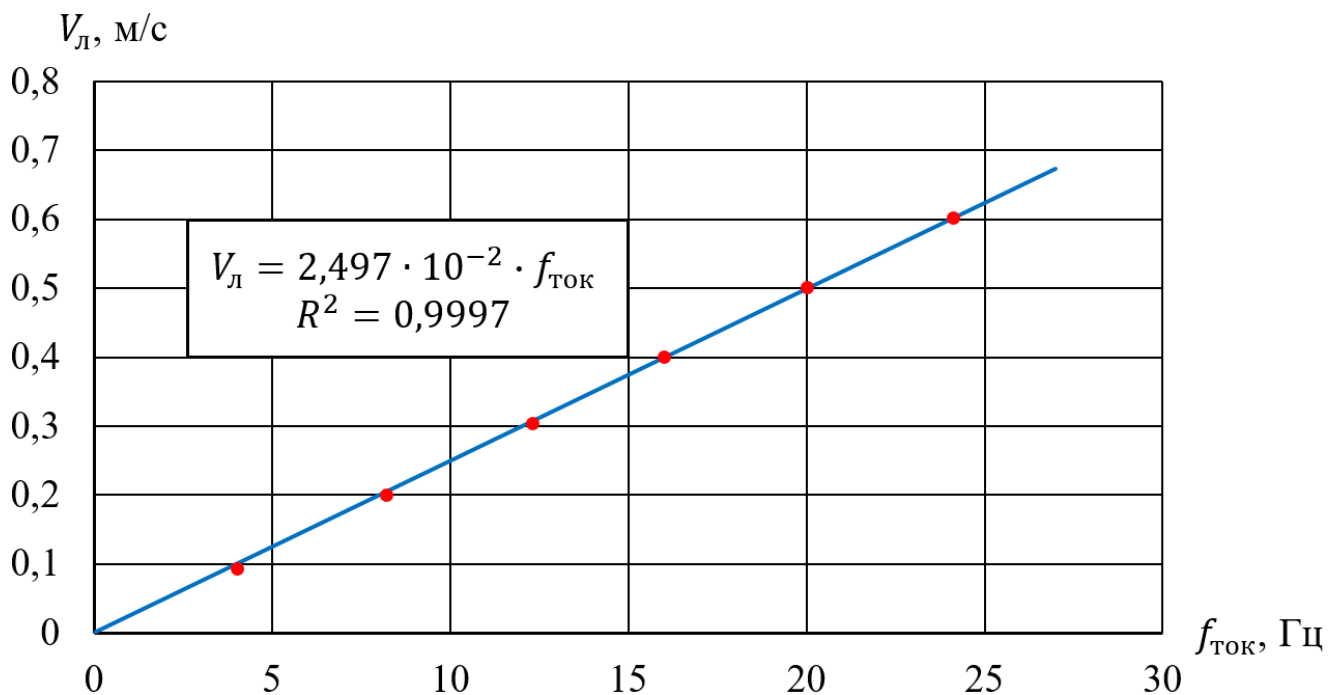


Рисунок К.1 – График зависимости скорости транспортёрной ленты $V_{\text{л}}$ от частоты тока $f_{\text{ток}}$

¹⁾ Шаг частоты тока $f_{\text{ток}}$ непостоянен в силу сложности регулирования этого параметра посредством ручки потенциометра преобразователя частоты тока по причине его высокой чувствительности.

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Методика определения интегрального показателя конкурентоспособности предложенной машины в соответствии с ГОСТ Р 53057–2008

Исходные данные:

- $\Pi_M^6, \Pi_M^П$ – цена базовой и предложенной машин соответственно;
- $k_u^{овф}$ – факторный коэффициент u -ого опасного, вредного фактора;
- n_p – количество работников МТА;
- Q – производительность машины;
- v – количество учтённых опасных и вредных факторов;
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – удельные веса факторных коэффициентов цены, производительности труда и безопасности труда оператора предложенной машины соответственно.

Интегральный показатель конкурентоспособности предложенной машины равен:

$$k_M = k_1^\phi \cdot \beta_1 + k_2^\phi \cdot \beta_2 + k_3^\phi \cdot \beta_3. \quad (\text{Л.1})$$

Факторные коэффициенты цены, производительности труда и безопасности труда оператора предложенной машины соответственно равны:

$$k_1^\phi = \frac{\Pi_M^6}{\Pi_M^П}, \quad (\text{Л.2})$$

$$k_2^\phi = \frac{З_T^6}{З_T^П}, \quad (\text{Л.3})$$

$$k_3^\phi = \frac{k_{6T}^П}{k_{6T}^6}, \quad (\text{Л.4})$$

где $З_T^6, З_T^П$ – затраты труда базовой и предложенной машин соответственно;

$k_{6T}^П, k_{6T}^6$ – комплексный показатель безопасности труда оператора предложенной и базовой машин соответственно.

Затраты труда и комплексный показатель безопасности труда оператора соответственно равны:

$$З_T = \frac{n_p}{Q}, \quad (\text{Л.5})$$

$$k_{6T} = \left[\sum_{u=1}^v \frac{1}{k_u^{овф}} - v + 1 \right]^{-1}. \quad (\text{Л.6})$$

Из выражений (Л.1)–(Л.6) получим:

$$k_M = \frac{\Pi_M^6}{\Pi_M^П} \cdot \beta_1 + \frac{Q^П \cdot n_p^6}{Q^6 \cdot n_p^П} \cdot \beta_2 + \frac{\sum_{u=1}^v \frac{1}{k_u^{овф6}} - v_6 + 1}{\sum_{u=1}^v \frac{1}{k_u^{овфП}} - v_П + 1} \cdot \beta_3. \quad (\text{Л.7})$$

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Методика определения экономического эффекта от внедрения предложенной машины и срока окупаемости дополнительных капиталовложений в соответствии с пособием О. Б. Дроновой

Исходные данные:

- $D_{\text{год}}$ – количество дней работы машины в году;
- N_a – норма амортизационных отчислений;
- $N_{\text{то}}$ – норма ежегодных отчислений на текущий ремонт и техническое обслуживание;
- $C_{\text{тар}}$ – часовая тарифная ставка обслуживающего персонала;
- C_m – цена машины;
- $C_{\text{топл}}$ – комплексная цена топлива;
- B – ширина захвата машины;
- E_n – коэффициент эффективности капиталовложений;
- $K_{\text{доп}}$ – размер дополнительной оплаты работников;
- $K_{\text{отч}}$ – норматив отчислений на социальные взносы;
- $K_{\text{стр}}, K_{\text{соп}}$ – коэффициент сложности работ тракториста и оператора машины соответственно;
- $n_{\text{оп}}, n_{\text{тр}}$ – количество операторов машины и трактористов соответственно;
- N_e – эффективная мощность двигателя трактора;
- T_d – продолжительность работы в течение дня;
- V_x – рабочая скорость машины;
- $q_{\text{топл}}$ – удельный расход топлива двигателя трактора;
- η – коэффициент, учитывающий затраты на доставку, а также содержание снабженческих организаций.

Примечание – Для показателей, отличающихся по значению для базовой и предложенной машин, используются верхние индексы «б» и «п» соответственно.

Балансовая стоимость, производительность, годовая зональная фактическая загрузка и годовая выработка машины соответственно равны:

$$B_m = C_m \cdot \eta, \quad (M.1)$$

$$Q = B \cdot V_x, \quad (M.2)$$

$$T_{\text{год}} = T_d \cdot D_{\text{год}}, \quad (M.3)$$

$$W_{\text{год}} = Q \cdot T_{\text{год}}. \quad (M.4)$$

Амортизационные отчисления для машины равны:

$$Z_a = \frac{B_m \cdot N_a}{W_{\text{год}}}. \quad (M.5)$$

Затраты на техническое обслуживание машины равны:

$$З_{то} = \frac{Б_{м} \cdot Н_{то}}{W_{год}}. \quad (M.6)$$

Затраты на топливо для МТА равны:

$$З_{топл} = \frac{N_e \cdot q_{топл} \cdot Ц_{топл}}{Q}. \quad (M.7)$$

Оплата труда работников базового и предложенного МТА соответственно равна:

$$З_p^6 = \frac{C_{тар} \cdot (1 + K_{доп}) \cdot (K_{стр}^6 \cdot n_{тр}^6 + K_{соп}^6 \cdot n_{оп}^6)}{Q^6}, \quad (M.8)$$

$$З_p^п = \frac{C_{тар} \cdot (1 + K_{доп}) \cdot K_{стр}^п \cdot n_{тр}^п}{Q^п}. \quad (M.9)$$

Сумма отчислений на социальные взносы равна:

$$З_{отч} = З_p \cdot K_{отч}. \quad (M.10)$$

Оплата труда с отчислениями на социальные нужды равна:

$$З_{от} = З_p + З_{отч}. \quad (M.11)$$

Эксплуатационные затраты при работе на МТА равны:

$$З_{экс} = З_a + З_{то} + З_{топл} + З_{от}. \quad (M.12)$$

Удельные капиталовложения для МТА равны:

$$K_{уд} = \frac{Б_{м}}{W_{год}}. \quad (M.13)$$

Приведённые затраты для МТА равны:

$$J = З_{экс} + E_H \cdot K_{уд}. \quad (M.14)$$

Годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины равен:

$$\mathcal{E}_{год} = (J^6 - J^п) \cdot W_{год}^п. \quad (M.15)$$

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений (определяется при $Б_M^п > Б_M^6$) равен:

$$T_{ок} = \frac{Б_M^п - Б_M^6}{\mathcal{E}_{год}}. \quad (M.16)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Определение часовой тарифной ставки обслуживающего персонала

Исходя из сведений, представленных в параграфе 311 Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих [79], определяем, что в работе МТА задействован тракторист с пятым квалификационным разрядом, к которому относятся «Трактористы, занятые в зелёном хозяйстве при выполнении комплекса работ по <...> посадке зелёных насаждений, уходу за ними». Тогда часовую тарифную ставку обслуживающего персонала определим по формуле:

$$C_{\text{тар}} = \frac{З_{\text{МРОТ}} \cdot T_k^5}{T_{\text{мес}}}, \quad (\text{Н.1})$$

где $З_{\text{МРОТ}}$ – минимальный размер оплаты труда;

T_k^5 – тарифный коэффициент пятого квалификационного разряда;

$T_{\text{мес}}$ – количество часов работы тракториста в месяц.

Тарифный коэффициент определим по формуле:

$$T_k^5 = 1 + 4 \cdot \frac{T_p^B - T_p^H}{n_{\text{разр}}}, \quad (\text{Н.2})$$

где T_p^B , T_p^H – высший и низший тарифный разряды по группам тракторов соответственно;

$n_{\text{разр}}$ – число тарифных разрядов, определяемое формуле:

$$n_{\text{разр}} = T_p^B - 1. \quad (\text{Н.3})$$

Количество часов работы тракториста в месяц определим по формуле:

$$T_{\text{мес}} = D_{\text{мес}} \cdot T_d, \quad (\text{Н.4})$$

где $D_{\text{мес}}$ – количество дней работы тракториста в месяц.

Из выражений (Н.1)–(Н.4) получим:

$$C_{\text{тар}} = \frac{З_{\text{МРОТ}} \cdot \left(1 + 4 \cdot \left(\frac{T_p^B - T_p^H}{T_p^B - 1} \right) \right)}{D_{\text{мес}} \cdot T_d}. \quad (\text{Н.5})$$

Выполним расчёт тарифной ставки тракториста.

Исходные данные: $З_{\text{МРОТ}} = 28\,475$ рублей [129]; $T_p^B = 5$ [79]; $T_p^H = 2$ [79]; $D_{\text{мес}} = 24$ (при шестидневной рабочей неделе); $T_d = 10$ ч.

По результатам расчёта тарифная ставка тракториста составила $C_{\text{тар}} = 475$ руб./ч.

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Определение усреднённой эффективной мощности двигателя трактора при работе предложенной машины

Усреднённую эффективную мощность двигателя трактора при работе предложенной машины определим на основе выражения (4.21). Усреднённую мощность, требуемую энергетическим средствам при работе предложенной машины, определим по формуле:

$$\overline{N}_{\text{эс}}^{\text{п}} = n_{\text{мод}} \cdot (N_{\text{шд}} \cdot \xi_{\text{шд}} + N_{\text{гц}} \cdot \xi_{\text{гц}}), \quad (\text{П.1})$$

где $\overline{N}_{\text{эс}}^{\text{п}}$ – усреднённая мощность, требуемая энергетическим средствам при работе предложенной машины; $\xi_{\text{шд}}$, $\xi_{\text{гц}}$ – доли использования шагового двигателя и гидроцилиндра соответственно.

Доля использования шагового двигателя и доля использования гидроцилиндра, исходя из определений, соответственно равны:

$$\xi_{\text{шд}} = \frac{t_{\text{шд}}^{\text{исп}}}{t_{\text{тп}}}, \quad (\text{П.2})$$

$$\xi_{\text{гц}} = \frac{t_{\text{гц}}^{\text{исп}}}{t_{\text{тп}}}, \quad (\text{П.3})$$

где $t_{\text{шд}}^{\text{исп}}$ – время использования шагового двигателя в течение технологического процесса обработки одного культурного растения и перемещения МТА между соседними культурными растениями; $t_{\text{тп}}$ – время технологического процесса обработки одного культурного растения и перемещения МТА между соседними культурными растениями; $t_{\text{гц}}^{\text{исп}}$ – время использования гидроцилиндра в течение технологического процесса обработки одного культурного растения и перемещения МТА между соседними культурными растениями.

Поскольку значения параметров ΔX и ΔY одного порядка, то:

- 1) время между соседними подачами управляющих воздействий на шаговый двигатель в сравнении со временем технологического процесса крайне мало;
- 2) сигнал втягивания штока либо не поступает вовсе, либо после его подачи практически сразу поступает сигнал выдвигания штока.

Таким образом, примем $\xi_{\text{шд}} = 1$ и $\xi_{\text{гц}} = 0$. Окончательно усреднённую эффективную мощность двигателя трактора при работе предложенной машины определим по формуле:

$$\overline{N}_{\text{е}}^{\text{п}} = N_{\text{н}} \cdot (1 - \eta_{\text{мп}}) + V_{\text{х}} \cdot (A \cdot m_{\text{тр}} \cdot \delta_{\text{б}} + f_{\text{сп}} \cdot m_{\text{тр}} \cdot g + R_{\text{мmax}}^{\text{п}}) + n_{\text{мод}} \cdot N_{\text{шдmax}}. \quad (\text{П.4})$$

Учитывая исходные данные для расчёта, представленные в параграфе 4.1.4 и таблице 4.1, получим значение усреднённой эффективной мощности двигателя трактора при работе предложенной машины $\overline{N}_{\text{е}}^{\text{п}} = 7\,932,6$ Вт.

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Определение эффективной мощности двигателя трактора при работе базовой машины

Исходя из выражения (4.21) и того, что базовый МТА отличается от предложенного МТА типом и приводом рабочих органов, эффективную мощность двигателя трактора определим по формуле:

$$N_e^6 = N_n \cdot (1 - \eta_{мп}) + V_X \cdot (A \cdot m_{тр} \cdot \delta_6 + f_{сп} \cdot m_{тр} \cdot g + R_m^6) + N_{эс}^6. \quad (P.1)$$

где R_m^6 – сила сопротивления движению базовой машины;

$N_{эс}^6$ – мощность, требуемая энергетическому средству базовой машины.

Силу сопротивления движению базовой машины определим по формуле:

$$R_m^6 = P_X^6 + P_{пм}^6, \quad (P.2)$$

где P_X^6 – продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы базовой машины;

$P_{пм}^6$ – сила сопротивления перекачиванию базовой машины.

Продольную силу сопротивления почвы, действующую на рабочие органы базовой машины, определим по формуле:

$$P_X^6 = n_{секц} \cdot P_{секц_X}, \quad (P.3)$$

где $P_{секц_X}$ – продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочие органы секции базовой машины.

Продольную силу сопротивления почвы, действующую на рабочие органы секции базовой машины, определим по формуле:

$$P_{секц_X} = n_{ро}^6 \cdot P_{ро_X}^6, \quad (P.4)$$

где $n_{ро}^6$ – количество рабочих органов секции базовой машины;

$P_{ро_X}^6$ – продольная сила сопротивления почвы, действующая на рабочий орган базовой машины.

Продольную силу сопротивления почвы, действующую на рабочий орган базовой машины, определим по формуле:

$$P_{\text{po}X}^6 = \sum_{j=1}^c P_{\text{п}jX}^6, \quad (\text{P.5})$$

где $P_{\text{п}jX}^6$ – продольная сила сопротивления почвы, действующая на j -ый палец рабочего органа базовой машины.

Поскольку рабочие органы базовой машины являются приводными ротационными с вертикальной осью вращения (рисунок Р.1), то абсолютную скорость конца пальца определим по формуле:

$$V_{\text{п}}^6 = \sqrt{(V_{\text{п}X}^6)^2 + (V_{\text{п}Y}^6)^2}, \quad (\text{P.6})$$

где $V_{\text{п}X}^6$, $V_{\text{п}Y}^6$ – продольная и поперечная составляющие абсолютной скорости конца пальца рабочего органа базовой машины соответственно.

Продольную и поперечную составляющие абсолютной скорости конца пальца рабочего органа базовой машины соответственно определим по формулам:

$$V_{\text{п}X}^6 = V_X + \omega^6 \cdot R^6 \cdot \cos(\theta^6), \quad (\text{P.7})$$

$$V_{\text{п}Y}^6 = \omega^6 \cdot R^6 \cdot \sin(\theta^6), \quad (\text{P.8})$$

где ω^6 – угловая скорость рабочего органа базовой машины;

R^6 – радиус вращения конца пальца рабочего органа базовой машины;

θ^6 – угол поворота пальца вокруг оси вращения диска рабочего органа базовой машины.

Продольную силу сопротивления почвы, действующую на j -ый палец рабочего органа базовой машины, определим по формуле:

$$P_{\text{п}X}^6 = P_{\text{п}}^6 \cdot \frac{V_{\text{п}X}^6}{V_{\text{п}}^6}, \quad (\text{P.9})$$

где $P_{\text{п}}^6$ – сила сопротивления почвы, действующая на палец рабочего органа базовой машины, определяемая по формуле:

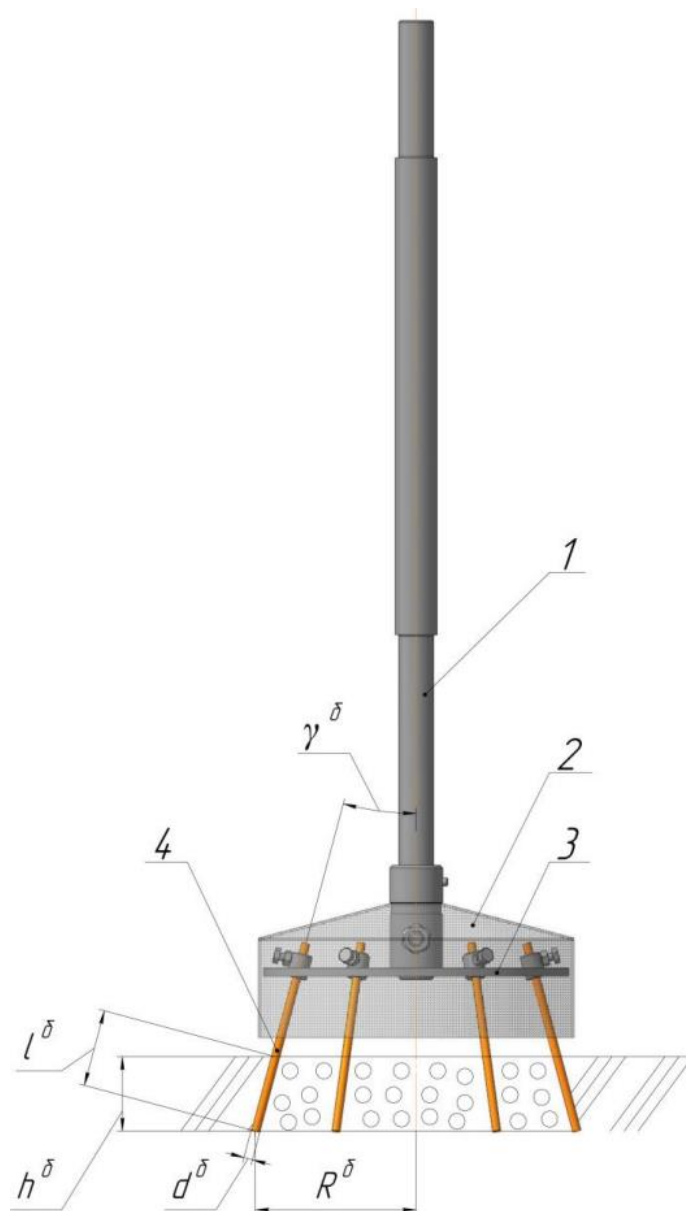
$$P_{\text{п}}^6 = k \cdot d_{\text{п}}^6 \cdot l^6, \quad (\text{P.10})$$

где $d_{\text{п}}^6$ – диаметр пальца рабочего органа базовой машины;

l^6 – длина заглублённой части пальца рабочего органа базовой машины.

Согласно работе [119], палец рабочего органа базовой машины расположен под углом γ^6 к оси его вращения. Тогда длину заглублённой части пальца рабочего органа базовой машины определим по формуле:

$$l^6 = \frac{h}{\cos(\gamma^6)}. \quad (\text{P.11})$$



1 – вал; 2 – защитный кожух; 3 – палец

Рисунок Р.1 – Рабочий орган машины МПП-2

Силу сопротивления перекачиванию базовой машины определим по формуле:

$$P_{\text{пм}}^{\delta} = f_{\text{сп}} \cdot N^{\delta}, \quad (\text{Р.12})$$

где N^{δ} – сила нормальной реакции поверхности почвы при движении базовой машины.

При движении базовой машины по горизонтальной плоскости силу нормальной реакции поверхности почвы определим по формуле:

$$N^{\delta} = (m^{\delta} + n_{\text{оп}}^{\delta} \cdot m_{\text{оп}}) \cdot g, \quad (\text{Р.13})$$

где m^{δ} – масса базовой машины;

$n_{\text{оп}}^{\delta}$ – количество операторов базовой машины, $n_{\text{оп}}^{\delta} = n_{\text{секц}}$;

$m_{\text{оп}}$ – масса оператора машины.

Исходя из выражений (Р.2)–(Р.13), получим:

$$R_M^6 = f_{сп} \cdot g \cdot (m^6 + n_{секц} \cdot m_{оп}) + n_{секц} \cdot n_{ро}^6 \times \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{k \cdot d_{п}^6 \cdot h \cdot V_X}{\cos(\gamma^6) \cdot \sqrt{\left(V_X + \omega^6 \cdot R^6 \cdot \cos\left(\theta^6 + \frac{(j-1) \cdot 2\pi}{c} \right) \right)^2 + \left(\omega^6 \cdot R^6 \cdot \sin\left(\theta^6 + \frac{(j-1) \cdot 2\pi}{c} \right) \right)^2}} \right) \right]. \quad (P.14)$$

Поскольку энергетическим средством базового МТА является ВОМ, то мощность, требуемую энергетическому средству при работе базовой машины, определим по формуле:

$$N_{эс}^6 = N_{секц}^6 \cdot k_{ВОМ}, \quad (P.15)$$

где $k_{ВОМ}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности, передаваемой от ВОМ трактора рабочим органам базовой машины;

$N_{секц}^6$ – мощность, требуемая для вращения рабочих органов секции базовой машины.

Мощность, требуемую для вращения рабочих органов секции базовой машины, определим по формуле:

$$N_{секц}^6 = n_{ро}^6 \cdot N_{ро}^6, \quad (P.16)$$

где $N_{ро}^6$ – мощность, требуемая для вращения рабочего органа секции базовой машины.

Мощность, требуемую для вращения рабочего органа секции базовой машины, определим по формуле:

$$N_{ро}^6 = c \cdot N_{п}^6, \quad (P.17)$$

где $N_{п}^6$ – мощность, требуемая для вращения пальца рабочего органа базовой машины.

Мощность, требуемую для вращения пальца рабочего органа базовой машины, определим по формуле:

$$N_{п}^6 = M_{п}^6 \cdot \omega^6, \quad (P.18)$$

где $M_{п}^6$ – изгибающий момент, оказываемый на палец рабочего органа базовой машины.

Введём допущение: точка приложения силы сопротивления почвы, действующей на палец рабочего органа базовой машины $P_{п}^6$, расположена в середине заглублённой части пальца. Исходя из этого, изгибающий момент, оказываемый на палец рабочего органа базовой машины, определим по формуле:

$$M_{\Pi}^{\delta} = P_{\Pi}^{\delta} \cdot \left(L_{\Pi\Pi}^{\delta} - \frac{l^{\delta}}{2} \right). \quad (\text{P.19})$$

где $L_{\Pi\Pi}^{\delta}$ – рабочая длина пальца рабочего органа базовой машины.

Исходя из выражений (P.1), (P.10), (P.14)–(P.19), получим:

$$N_e^{\delta} = N_{\Pi} \cdot (1 - \eta_{\text{мп}}) + V_X \cdot (A \cdot m_{\text{тр}} \cdot \delta_{\delta} + f_{\text{сп}} \cdot (m_{\text{тр}} + m^{\delta} + n_{\text{секц}} \cdot m_{\text{оп}}) \cdot g + n_{\text{секц}} \cdot n_{\text{ро}}^{\delta} \times \\ \times \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{(2 \cdot L_{\Pi\Pi}^{\delta} \cdot \cos(\gamma^{\delta}) - h) \cdot k \cdot d_{\Pi}^{\delta} \cdot V_X}{2 \cdot \cos(\gamma^{\delta}) \cdot \sqrt{\left(V_X + \omega^{\delta} \cdot R^{\delta} \cdot \cos\left(\theta^{\delta} + \frac{(j-1) \cdot 2\pi}{c}\right) \right)^2 + \left(\omega^{\delta} \cdot R^{\delta} \cdot \sin\left(\theta^{\delta} + \frac{(j-1) \cdot 2\pi}{c}\right) \right)^2}} \right) \right] + \\ + \frac{k_{\text{ВОМ}} \cdot n_{\text{ро}}^{\delta} \cdot c \cdot \omega^{\delta} \cdot k \cdot d_{\Pi}^{\delta} \cdot h \cdot (2 \cdot L_{\Pi\Pi}^{\delta} \cdot \cos(\gamma^{\delta}) - h)}{2 \cdot \cos^2(\gamma^{\delta})}. \quad (\text{P.20})$$

Выполним расчёт эффективной мощности двигателя трактора при работе базовой машины N_e^{δ} при:

- глубине обработки почвы $h = 80$ мм;
- удельном сопротивлении почвы $k = 50$ кПа;
- коэффициенте буксования $\delta_{\delta} = 0,15$;
- коэффициенте сопротивления перекачиванию $f_{\text{сп}} = 0,2$;
- массе оператора машины $m_{\text{оп}} = 75$ кг;
- коэффициенте, учитывающем потери мощности, передаваемой от ВОМ трактора рабочим органам, $k_{\text{ВОМ}} = 1,3$ (исходя из кинематической схемы машины [91]).

Параметры трактора Агромаш-30ТК 121 и базовой машины, являющиеся исходными данными для расчёта, представлены в таблицах 4.1 и P.1 соответственно.

Таблица P.1 – Параметры базовой машины, являющиеся исходными данными для расчёта

Параметр	Значение
Масса m^{δ} , кг	390
Рабочая скорость V_X , км/ч	1,61
Радиус рабочего органа R^{δ} , мм	120
Рабочая длина пальца $L_{\Pi\Pi}^{\delta}$, мм	114
Диаметр пальца d_{Π}^{δ} , мм	6
Угол наклона пальца к оси вращения диска рабочего органа γ^{δ} , град.	15
Угловая скорость рабочего органа ω^{δ}	12,57 с ⁻¹ (установлено с учётом того, что «расстояние между проходами соседних пальцев должно быть равномерным» [119])
Количество секций рабочих органов $n_{\text{секц}}$, шт.	2
Количество рабочих органов секции $n_{\text{ро}}^{\delta}$, шт.	2
Количество пальцев рабочего органа c , шт.	8

По результатам расчёта $N_e^{\delta} = 8\,524,1$ Вт.

ПРИЛОЖЕНИЕ С

Результаты расчёта технико-экономических показателей предложенной машины для различных сельскохозяйственных предприятий

Таблица С.1 – Техничко-экономические показатели машины для сельскохозяйственного предприятия с плодopитомником площадью $S_{пп} = 5$ га при цене предложенной машины $Ц_m^п = 300\,000$ руб.

Показатель	Значение	
	для базовой машины МПП-2	для предложенной машины
Балансовая стоимость B_m , руб.	440 000	330 000
Амортизационные отчисления $З_a$, руб./га	3 666,67	2 750,00
Затраты на техническое обслуживание $З_{то}$, руб./га	3 666,67	2 750,00
Затраты на топливо для МТА $З_{топл}$, руб./га	847,78	788,95
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды при работе на МТА $З_{от}$, руб./га	16 437,44	6 164,04
Эксплуатационные затраты при работе на МТА $З_{экз}$, руб./га	24 618,56	12 452,99
Удельные капиталовложения для МТА $K_{уд}$, руб./га	29 333,33	22 000,00
Приведённые затраты для МТА J , руб./га	29 018,56	15 752,99
Годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $Э_{год}$, руб.	—	198 983,47
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$	—	

Таблица С.2 – Техничко-экономические показатели машины для сельскохозяйственного предприятия с плодopитомником площадью $S_{пп} = 10$ га при цене предложенной машины $Ц_m^п = 300\,000$ руб.

Показатель	Значение	
	для базовой машины МПП-2	для предложенной машины
Балансовая стоимость B_m , руб.	440 000	330 000
Амортизационные отчисления $З_a$, руб./га	1 833,33	1 375,00
Затраты на техническое обслуживание $З_{то}$, руб./га	1 833,33	1 375,00
Затраты на топливо для МТА $З_{топл}$, руб./га	847,78	788,95
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды при работе на МТА $З_{от}$, руб./га	16 437,44	6 164,04
Эксплуатационные затраты при работе на МТА $З_{экз}$, руб./га	20 951,89	9 702,99
Удельные капиталовложения для МТА $K_{уд}$, руб./га	14 666,67	11 000,00
Приведённые затраты для МТА J , руб./га	23 151,89	11 352,99
Годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $Э_{год}$, руб.	—	353 966,94
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$	—	

Таблица С.3 – Техничко-экономические показатели машины для сельскохозяйственного предприятия с плодopитомником площадью $S_{пп} = 15$ га при цене предложенной машины $Ц_{м}^{п} = 300\,000$ руб.

Показатель	Значение	
	для базовой машины МПП-2	для предложенной машины
Балансовая стоимость B_m , руб.	440 000	330 000
Амортизационные отчисления $З_a$, руб./га	1 222,22	916,67
Затраты на техническое обслуживание $З_{то}$, руб./га	1 222,22	916,67
Затраты на топливо для МТА $З_{топл}$, руб./га	847,78	788,95
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды при работе на МТА $З_{от}$, руб./га	16 437,44	6 164,04
Эксплуатационные затраты при работе на МТА $З_{экз}$, руб./га	19 729,67	8 786,32
Удельные капиталовложения для МТА $K_{уд}$, руб./га	9 777,78	7 333,33
Приведённые затраты для МТА J , руб./га	21 196,33	9 886,32
Годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $Э_{год}$, руб.	—	508 950,41
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$	—	

Таблица С.4 – Техничко-экономические показатели машины для сельскохозяйственного предприятия с плодopитомником площадью $S_{пп} = 5$ га при цене предложенной машины $Ц_{м}^{п} = 650\,000$ руб.

Показатель		Значение	
		для базовой машины МПП-2	для предложенной машины
Балансовая стоимость B_m , руб.		440 000	715 000
Амортизационные отчисления $З_a$, руб./га		3 666,67	5 958,33
Затраты на техническое обслуживание $З_{то}$, руб./га		3 666,67	5 958,33
Затраты на топливо для МТА $З_{топл}$, руб./га		847,78	788,95
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды при работе на МТА $З_{от}$, руб./га		16 437,44	6 164,04
Эксплуатационные затраты при работе на МТА $З_{экз}$, руб./га		24 618,56	18 869,66
Удельные капиталовложения для МТА $K_{уд}$, руб./га		29 333,33	47 666,67
Приведённые затраты для МТА J , руб./га		29 018,56	26 019,66
Годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $Э_{год}$, руб.		—	44 983,47
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$	лет	—	6,11
	месяцев	—	73,36

Таблица С.5 – Техничко-экономические показатели машины для сельскохозяйственного предприятия с плодopитомником площадью $S_{пп} = 10$ га при цене предложенной машины $Ц_{м}^{п} = 650\,000$ руб.

Показатель		Значение	
		для базовой машины МПП-2	для предложенной машины
Балансовая стоимость B_m , руб.		440 000	715 000
Амортизационные отчисления $З_a$, руб./га		1 833,33	2 979,17
Затраты на техническое обслуживание $З_{то}$, руб./га		1 833,33	2 979,17
Затраты на топливо для МТА $З_{топл}$, руб./га		847,78	788,95
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды при работе на МТА $З_{от}$, руб./га		16 437,44	6164,04
Эксплуатационные затраты при работе на МТА $З_{экз}$, руб./га		20 951,89	12 911,32
Удельные капиталовложения для МТА $K_{уд}$, руб./га		14 666,67	23 833,33
Приведённые затраты для МТА J , руб./га		23 151,89	16 486,32
Годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $Э_{год}$, руб.		—	199 966,94
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$	лет	—	1,38
	месяцев	—	16,50

Таблица С.6 – Техничко-экономические показатели машины для сельскохозяйственного предприятия с плодopитомником площадью $S_{пп} = 15$ га при цене предложенной машины $Ц_{м}^{п} = 650\,000$ руб.

Показатель		Значение	
		для базовой машины МПП-2	для предложенной машины
Балансовая стоимость B_m , руб.		440 000	715 000
Амортизационные отчисления $З_a$, руб./га		1 222,22	1 986,11
Затраты на техническое обслуживание $З_{то}$, руб./га		1 222,22	1 986,11
Затраты на топливо для МТА $З_{топл}$, руб./га		847,78	788,95
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды при работе на МТА $З_{от}$, руб./га		16 437,44	6 164,04
Эксплуатационные затраты при работе на МТА $З_{экз}$, руб./га		19 729,67	10 925,21
Удельные капиталовложения для МТА $K_{уд}$, руб./га		9 777,78	15 888,89
Приведённые затраты для МТА J , руб./га		21 196,33	13 308,55
Годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $Э_{год}$, руб.		—	354 950,41
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$	лет	—	0,77
	месяцев	—	9,30

Таблица С.7 – Техничко-экономические показатели машины для сельскохозяйственного предприятия с плодopитомником площадью $S_{пп} = 5$ га при цене предложенной машины $Ц_{м}^п = 1\,000\,000$ руб.

Показатель	Значение	
	для базовой машины МПП-2	для предложенной машины
Балансовая стоимость B_m , руб.	440 000	1 100 000
Амортизационные отчисления $З_a$, руб./га	3 666,67	9 166,67
Затраты на техническое обслуживание $З_{то}$, руб./га	3 666,67	9 166,67
Затраты на топливо для МТА $З_{топл}$, руб./га	847,78	788,95
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды при работе на МТА $З_{от}$, руб./га	16 437,44	6 164,04
Эксплуатационные затраты при работе на МТА $З_{экз}$, руб./га	24 618,56	25 286,32
Удельные капиталовложения для МТА $K_{уд}$, руб./га	29 333,33	73 333,33
Приведённые затраты для МТА J , руб./га	29 018,56	36 286,32
Годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $Э_{год}$, руб.	–	–109 016,53
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$	–	окупаемость не достигается

Таблица С.8 – Техничко-экономические показатели машины для сельскохозяйственного предприятия с плодopитомником площадью $S_{пп} = 10$ га при цене предложенной машины $Ц_{м}^п = 1\,000\,000$ руб.

Показатель		Значение	
		для базовой машины МПП-2	для предложенной машины
Балансовая стоимость B_m , руб.		440 000	1 100 000
Амортизационные отчисления $З_a$, руб./га		1 833,33	4 583,33
Затраты на техническое обслуживание $З_{то}$, руб./га		1 833,33	4 583,33
Затраты на топливо для МТА $З_{топл}$, руб./га		847,78	788,95
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды при работе на МТА $З_{от}$, руб./га		16 437,44	6 164,04
Эксплуатационные затраты при работе на МТА $З_{экз}$, руб./га		20 951,89	16 119,66
Удельные капиталовложения для МТА $K_{уд}$, руб./га		14 666,67	36 666,67
Приведённые затраты для МТА J , руб./га		23 151,89	21 619,66
Годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $Э_{год}$, руб.		–	45 966,94
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$	лет	–	14,36
	месяцев	–	172,30

Таблица С.9 – Техничко-экономические показатели машины для сельскохозяйственного предприятия с плодopитомником площадью $S_{пп} = 15$ га при цене предложенной машины $C_m^п = 1\,000\,000$ руб.

Показатель		Значение	
		для базовой машины МПП-2	для предложенной машины
Балансовая стоимость B_m , руб.		440 000	1 100 000
Амортизационные отчисления Z_a , руб./га		1 222,22	3 055,56
Затраты на техническое обслуживание $Z_{то}$, руб./га		1 222,22	3 055,56
Затраты на топливо для МТА $Z_{топл}$, руб./га		847,78	788,95
Оплата труда с отчислениями на социальные нужды при работе на МТА $Z_{от}$, руб./га		16 437,44	6 164,04
Эксплуатационные затраты при работе на МТА $Z_{экз}$, руб./га		19 729,67	13 064,10
Удельные капиталовложения для МТА $K_{уд}$, руб./га		9 777,78	24 444,44
Приведённые затраты для МТА J , руб./га		21 196,33	16 730,77
Годовой экономический эффект от внедрения предложенной машины $\mathcal{E}_{год}$, руб.		—	200 950,41
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений $T_{ок}$	лет	—	3,28
	месяцев	—	39,41