ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук **Хорта Дмитрия Олеговича** на диссертационную работу **Раззамазова Никиты Ивановича** на тему «Обоснование параметров и режимов работы машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки почвы в плодопитомниках», представленную в диссертационный совет **24.1.211.01** на базе **Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (СФНЦА РАН)** к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

1. Актуальность избранной темы

Тема диссертационной работы посвящена автоматизации обработки приствольной полосы в плодопитомниках — важной технологической операции, от качества выполнения которой зависят влагообеспеченность, воздушный и тепловой режимы почвы, эффективность борьбы с сорной растительностью и, в конечном счёте, качество посадочного материала плодовых и плодово-ягодных культур.

В диссертации автор справедливо отмечает, что в плодопитомниках значительная доля работ по уходу за почвой в приствольных зонах до настоящего времени выполняется вручную, либо с использованием машин с ручным управлением рабочими органами. Это обусловливает высокую трудоёмкость, недостаточную производительность, риск повреждения культурных растений и зависимость качества работ от психофизиологического состояния оператора. Существующие технические решения либо не обеспечивают автоматизированного управления рабочими органами с учётом взаимного расположения рабочих органов и защитных зон растений, либо требуют сложных приводов и систем распознавания.

В связи с этим разработка машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки приствольной полосы в плодопитомниках, обоснование её параметров и режимов работы является актуальной научно-технической задачей, соответствующей приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации и паспорту специальности 4.3.1.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна

В диссертации выполнен анализ состояния вопроса обработки почвы в плодопитомниках, существующих технических средств и способов автоматизации, сформулированы агротехнические требования к машине. На основе анализа обоснованы конструктивно-технологическая схема машины, структурная схема автоматизированной системы управления, алгоритм её работы, а также математические модели взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой и подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы.

Теоретические исследования выполнены с использованием методов геометрии, теоретической механики, сопротивления материалов и теории автоматического управления. Экспериментальные исследования проведены на лабораторных стендах и в лабораторно-полевых условиях с использованием современной контрольно-измерительной техники, а обработка результатов — с применением методов математической статистики, что позволяет считать полученные результаты в целом обоснованными и достоверными.

Научную новизну работы составляют:

– математическая модель процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой, учитывающая совмещение поперечного перемещения рабочего органа с продольным;

– математическая модель процесса подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы машины с учётом задержки их подачи;

– экспериментальные зависимости параметров задержки подачи управляющих воздействий от рабочей скорости машины.

Практическую значимость имеют конструктивно-технологическая схема машины, программно-аппаратный комплекс АСУ, обоснованные параметры и режимы работы, а также результаты экономической оценки. Положительным является то, что результаты работы доведены до опытного образца, лабораторных стендов и производственной апробации, подтверждены патентами и свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

Первый вывод содержит результаты разработки принципиальной схемы машины для обработки приствольной полосы, достоверно обосновывает применение двух бесприводных ротационных рабочих органов с автоматизированным управлением на основе обработки контроллером видеоизображений и выявления цветового идентификатора культурного растения. Вывод достоверно отражает разработанную структурную схему автоматизированной системы управления (АСУ), которая представляет собой двухконтурную многоканальную замкнутую систему с отрицательной обратной связью (контуры регулирования отклонения модуля и рабочего зазора), а также алгоритм ее работы, включающий подготовку, запуск, обработку и передачу видеоизображений на дисплей.

Второй вывод достоверно отражает результаты теоретических исследований, заключающихся в разработке математической модели процесса взаимодействия бесприводного ротационного рабочего органа с почвой, учитывающей совмещение его поперечного перемещения с продольным. Вывод обосновывает взаимосвязь конструктивно-технологических, кинематических и силовых параметров машины. Также вывод достоверно отражает разработанную математическую модель процесса подачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы, учитывающую задержку их подачи и описывающую взаимосвязь параметров задержки с рабочей скоростью машины. Вывод достоверен и обладает научной новизной.

Третий вывод достоверно отражает результаты обоснования конструктивно-технологической схемы машины, согласно которой рабочие органы выполнены бесприводными ротационными с возможностью изменения рабочего зазора и поперечного перемещения. Вывод содержит достоверно установленные и научно обоснованные параметры машины при заданных углах наклона диска и пальца, максимальном и минимальном рабочих зазорах и диаметре рабочего органа.

Четвертый вывод достоверно отражает результаты лабораторных исследований. Установлено минимальное допустимое значение точности позиционирования не более 20 мм и стабильность работы АСУ при рабочей скорости более 1,7 км/ч, а также результаты лабораторно-полевого исследования опытного образца. Вывод достоверно подтверждает предположение о степенном виде зависимостей между параметрами задержки подачи управляющих воздействий и рабочей скоростью машины.

Пятый вывод достоверно отражает результаты экономической оценки предложенной машины. Установлено, что значения интегрального показателя конкурентоспособности двухмодульного варианта лежат в диапазоне (1,91-2,31) в сравнении с отечественной машиной МПП-2 и канадской Weeder Eco II, что свидетельствует о ее высоком уровне конкурентоспособности. Вывод содержит достоверно определенные аналитические зависимости, связывающие годовой экономический эффект, срок окупаемости дополнительных капиталовложений, цену машины и площадь плодопитомника.

3. Общая характеристика диссертации и её завершённость

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка терминов, списка литературы и приложений. Объём работы — 280 страниц, включая 79 рисунков и 24 таблицы; список литературы содержит 193 наименования, в том числе 17 иностранных источников.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ технологических процессов и технических средств обработки почвы в плодопитомниках, рассмотрены схемы размещения посадочного материала, виды обработки почвы и борьбы с сорной растительностью, агротехнические требования, существующие машины и научные исследования в области автоматизации и распознавания объектов. По результатам анализа сформулированы задачи исследования.

Во второй главе разработаны принципиальная схема машины, технологический процесс обработки приствольной полосы, структурная схема и алгоритм работы АСУ, математические модели взаимодействия рабочего органа с почвой и подачи управляющих воздействий, а также выполнены расчёты конструктивно-технологических, кинематических и силовых параметров машины.

В третьей главе приведены программа и методика экспериментальных исследований, описаны лабораторные установки, имитаторы рядка и модуля машины, опытный образец, лабораторные стенды, измерительные инструменты, результаты измерений параметров посадок в плодопитомниках и результаты лабораторных и лабораторно-полевых экспериментов.

В четвёртой главе выполнена экономическая оценка результатов исследования: обоснован выбор трактора, рассчитаны шаговый двигатель, максимальная эффективная мощность двигателя трактора, интегральный показатель конкурентоспособности, годовой экономический эффект и срок окупаемости дополнительных капиталовложений.

В заключении сформулированы основные выводы и рекомендации производству, а также перспективы дальнейшей разработки темы.

4. Освещение основных результатов работы в печати и соответствие автореферата основным положениям диссертации

По теме исследования опубликована 21 работа, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 5 патентов РФ на изобретение и 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты работы доложены и обсуждены на всероссийских и международных научно-практических конференциях, внедрены в учебный процесс АлтГТУ и производственную деятельность ООО «Чуклин инжиниринг», что подтверждается соответствующими актами. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

5. Вместе с тем при общей положительной оценке работы необходимо сделать ряд замечаний, часть которых требует пояснений соискателя:

1. В названии и постановке задач речь идёт об «обосновании параметров и режимов работы» машины, однако в работе значительное место занимает разработка автоматизированной системы управления (АСУ), алгоритмов и распознавания объектов. Следовало бы более чётко разделить, какие параметры и режимы обоснованы в диссертации, а какие приняты априори или заимствованы из известных источников. В частности, угол наклона диска $\varepsilon = 20°$ и угол наклона пальца $\gamma = 25°$ приняты по авторскому свидетельству СССР, а диаметр рабочего органа $d = 365$ мм — без развёрнутого обоснования.

2. Научная новизна включает математическую модель взаимодействия беспривода ротационного рабочего органа с почвой, учитывающую совмещение поперечного и продольного перемещения. Однако в главе 3 не приведено прямого сопоставления расчётных значений сил сопротивления почвы, действующих на палец и на рабочие органы модуля, с экспериментальными данными. Экспериментально подтверждены в основном работоспособность машины и зависимости задержек управления, но не сама модель взаимодействия с почвой. Это снижает степень доказанности новизны в части силового взаимодействия.

3. В параграфе 2.8 и в главе 3 зависимости времени задержки подачи управляющих воздействий от рабочей скорости описаны степенными эмпирическими выражениями с показателями 3,4087 и 1,2568. Фактически речь идёт об аппроксимации экспериментальных данных, а не о теоретической математической модели. Термин «математическая модель» в данном случае требует уточнения. Кроме того, коэффициенты A для лабораторных и лабораторно-полевых условий различаются в несколько раз; следовало бы пояснить физические причины такого различия.

4. Имеется методическое несоответствие в трактовке точности позиционирования. В параграфе 2.2 точность позиционирования определена как длина диапазона возможных отклонений модуля от культурного растения: $S0 = 2\Delta$. В экспериментах на лабораторных стендах под точностью позиционирования понимается зазор между имитаторами рабочего органа Sлаб. Эти величины не тождественны. Кроме того, в тексте главы 3 сначала говорится о $S0 = 10$ мм, а затем делается вывод о необходимости $S0min = 20$ мм. Требуется пояснить, какая именно величина принимается в качестве критерия и как она связана с реальным отклонением модуля от растения?

5. Вызывает вопросы согласованность выводов по скорости. По результатам экспериментов на стенде с ручным электрифицированным управлением предотвращение контакта имитаторов культурного растения с имитаторами рабочего органа возможно при скорости транспортёрной ленты $Vл \leq 1{,}82$ км/ч. По результатам экспериментов на стенде с автоматизированным управлением работа стабильна при $Vл < 1{,}7$ км/ч. Таким образом, автоматизированная система в описанных условиях не увеличила допустимую скорость по сравнению с ручным электрифицированным управлением. Это противоречит общей логике работы и требует объяснения.

6. В таблице 3.11 средний шаг культурных растений в плодопитомниках составляет 137–150 мм. Однако в лабораторных экспериментах по определению задержек управления задаются значения $\Delta X = 200$ мм и более, а в лабораторно-полевом исследовании имитированный рядок, судя по рисунку 3.8, также имеет шаг, существенно больший 137 мм. Неясно, почему экспериментальные исследования проведены не на характерном для рассматриваемых плодопитомников шаге посадки?

7. Диаметр защитной зоны $Dзз = 200$ мм принят при расчёте максимального рабочего зазора $SmaxDзз = 220$ мм, однако в работе не приведено достаточного обоснования именно этого значения. В таблице 1.1 для разных культур указаны иные диапазоны диаметра защитной зоны — от 150 до 400 мм и более. Следовало бы показать, для каких культур и условий принято $Dзз = 200$ мм и как это соотносится с реальными размерами надземной и корневой частей растений.

8. В главе 4 при расчёте шагового двигателя получены максимальный крутящий момент $Mшд\ max = 0{,}34$ Н·м и максимальная мощность $Nшд\ max = 26{,}44$

Вт. При этом в опытном образце применён шаговый двигатель 86EBP181ALC, обладающий существенно большим моментом. Неясно, чем обусловлен выбор столь мощного двигателя: запасом по моменту, пусковыми режимами, трением в винтовой и цепной передачах или иными факторами.

9. Экспериментальные исследования в значительной степени выполнены с использованием имитаторов культурных растений, представляющих собой пластиковые трубочки или композитные колышки с цветным идентификатором. Такие имитаторы позволяют оценить точность срабатывания АСУ и наличие контакта, но не позволяют количественно оценить агротехнические показатели: качество рыхления почвы, полноту уничтожения сорняков, повреждение корневой системы реальных растений. В лабораторно-полевом исследовании оценка работоспособности также в основном визуальная. Желательно было бы привести хотя бы ограниченные количественные данные по качеству обработки почвы и сохранности растений.

10. В работе не освещены вопросы надёжности АСУ в реальных полевых условиях: запылённость, вибрация, изменение освещённости, боковой ветер, возможное перекрытие цветового идентификатора листвой или почвой. Не приведены оценки вероятности ложного распознавания и поведения системы при потере идентификатора. Для машины, работающей в плодопитомнике, эти факторы имеют существенное практическое значение.

11. В экономической оценке при расчёте интегрального показателя конкурентоспособности в качестве базовой иностранной машины принята Weeder Eco II, цена которой пересчитана в рубли без учёта таможенных сборов. Автор сам отмечает, что с учётом сборов цена будет выше. Однако методика пересчёта, дата курса и влияние таможенных платежей на итоговый показатель раскрыты недостаточно. Это затрудняет оценку корректности сравнения.

12. Текст диссертации содержит отдельные технические и оформительские погрешности: нарушена нумерация в оглавлении на с. 3, некоторые формулы и таблицы при чтении PDF выглядят разорванными, встречаются опечатки и несогласованность обозначений. Это не снижает научной ценности работы, но затрудняет её восприятие.

6. Заключение

Диссертационная работа Раззамазова Никиты Ивановича на тему «Обоснование параметров и режимов работы машины с автоматизированным управлением рабочими органами для обработки почвы в плодопитомниках» является самостоятельно выполненным, логически завершённым научно-квалификационным исследованием, содержащим научно обоснованные технические и технологические решения по автоматизации обработки приствольной полосы в плодопитомниках.

Работа соответствует паспорту научной специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, имеет выраженную

практическую направленность, а её результаты доведены до опытного образца, программно-аппаратного комплекса и экономической оценки.

Отмеченные замечания носят в основном уточняющий и дискуссионный характер, не снижают общей научной и практической ценности работы и не ставят под сомнение её основные выводы. Диссертация в полном объёме соответствует критериям, установленным «Положением о порядке присуждения учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), а её автор, Раззамазов Никита Иванович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент, Хорт Дмитрий Олегович
доктор технических наук
главный научный сотрудник лаборатории
машинных технологий для возделывания
и уборки плодовых и ягодных культур
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

06 ноября 2026 г.

Хорт Дмитрий Олегович, главный научный сотрудник лаборатории машинных технологий для возделывания и уборки плодовых и ягодных культур ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), 109428, г. Москва, 1-1 Институтский проезд, д.5, тел. 8(499)1744347, +79197647332, эл. почта: Dmitriyhort@mail.ru

Подпись и должность Хорта Дмитрия Олеговича подтверждаю:
Ученый секретарь ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

к.т.н. Ещин А.В.

Раззамазов Н. И.