

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Рязанский государственный агротехнологический университет  
имени П.А. Костычева»

*На правах рукописи*



Тетерин Владимир Сергеевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ И  
ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ  
ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ**

**Диссертация**

на соискание ученой степени доктора технических наук

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для  
агропромышленного комплекса

**Научный консультант:**

доктор технических наук, член-корреспондент РАН  
Сибирёв Алексей Викторович

**Рязань – 2026**

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ И ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ.....	12
1.1 Тенденции возделывания картофеля.....	12
1.2 Анализ способов производства органоминеральных удобрений.....	27
1.3 Анализ технических средств производства органоминеральных удобрений.....	45
1.4 Анализ способов внесения органоминеральных удобрений.....	54
1.5 Анализ технических средств внесения органоминеральных удобрений в почву .....	63
1.6 Анализ технических средств аэрозольного внесения органоминеральных удобрений в период вегетации картофеля.....	67
1.7 Анализ выполненных исследований .....	71
Выводы по первой главе .....	79
1.8 Анализ проблемы, постановка цели и задач исследований .....	80
2. АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ .....	82
2.1 Теоретические предпосылки к совершенствованию подготовки органоминеральных удобрений .....	82
2.2 Конструктивно-технологическая схема линии подготовки органоминеральных удобрений .....	90
2.3 Теоретическое обоснование параметров технических средств подготовки органоминеральных удобрений .....	94
2.3.1 Обоснование системы очистки органоминеральных удобрений от нерастворимых примесей .....	94
2.3.2 Обоснование системы автоматизации линии подготовки органоминеральных удобрений .....	100

2.4 Экспериментальное обоснование параметров технических средств подготовки органоминеральных удобрений .....	111
2.4.1 Экспериментальные исследования влияния параметров и ступеней системы очистки на наличие балластных примесей в органоминеральных удобрениях .....	111
2.4.2 Экспериментальные исследования автоматизации линии подготовки органоминеральных удобрений .....	120
2.4.3 Производственные исследования линии подготовки органоминеральных удобрений .....	132
Выводы по второй главе .....	135
<b>3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРЕДПОСАДОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ .....</b>	<b>138</b>
3.1 Теоретические предпосылки к совершенствованию локально-ленточного внесения удобрений .....	138
3.2 Конструктивно-технологическая схема гребнеобразующего культиватора-подкормщика .....	150
3.3 Теоретическое обоснование параметров гребнеобразующего культиватора-подкормщика для совместного локально-ленточного внесения органоминеральных и минеральных удобрений .....	155
3.3.1 Обоснование конструкции шнекового дозирующего устройства ...	155
3.3.2 Моделирование процесса дозирования твердых минеральных удобрений в шнековом дозирующем устройстве .....	164
3.3.3 Обоснование конструктивных параметров сошника для распределения удобрений в гребне .....	167
3.4 Экспериментальное обоснование параметров гребнеобразующего культиватора-подкормщика для локально-ленточного внесения удобрений .....	183

3.4.1 Экспериментальные исследования шнекового дозирующего устройства .....	183
3.4.2 Экспериментальные исследования сошника и системы дозирования для оценки распределения удобрений по площади .....	187
3.4.3 Экспериментальные исследования сошника для оценки распределения удобрений в гребне .....	195
3.5 Полевые исследования совместного локально-ленточного внесения стимуляторов роста, органоминеральных и минеральных удобрений ....	199
3.6 Производственные исследования гребнеобразующего культиватора-подкормщика .....	204
Выводы по третьей главе.....	209
<b>4. ТЕОРЕТИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ КАРТОФЕЛЯ .....</b>	<b>212</b>
4.1 Теоретические предпосылки совместного внесения органоминеральных удобрений во время пестицидной обработки .....	212
4.2 Конструктивно-технологическая схема аэрозольного опрыскивателя пропашных культур .....	219
4.3 Теоретическое обоснование параметров аэрозольного опрыскивателя для совместного внесения органоминеральных удобрений во время пестицидной обработки .....	223
4.4 Экспериментальное обоснование параметров аэрозольного опрыскивателя для совместного внесения органоминеральных удобрений во время пестицидной обработки .....	234
4.4.1 Экспериментальные исследования оценки распределения аэрозоля рабочего раствора в тоннельном укрытии аэрозольного опрыскивателя.....	234
4.4.2 Экспериментальные исследование дисперсности и равномерности распределения аэрозоля при обработке картофеля .....	236

4.4.3 Сравнительные исследования равномерности распределения рабочего раствора при обработке растений картофеля штанговым опрыскивателем и аэрозольным генератором с тоннельным укрытием...	240
4.5 Производственные исследования совместного внесения органоминеральных удобрений и пестицидов в период вегетации картофеля .....	248
Выводы по четвертой главе.....	257
<b>5. РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ .....</b>	<b>260</b>
Выводы по пятой главе.....	267
Заключение .....	268
Список используемой литературы .....	273
Приложения .....	314

## **Введение**

**Актуальность темы.** Картофель является одной из ключевых культур в обеспечении продовольственной безопасности, являясь одним из основных продуктов питания. Использование органоминеральных удобрений и совершенствование технологий внесения может способствовать увеличению урожайности и улучшению качества картофеля за счёт обеспечения растений необходимыми питательными веществами.

Использование органоминеральных удобрений в сочетании с минеральными может улучшить развитие корневой системы и повысить урожайность. Внесение балластных органоминеральных удобрений существующими машинами затруднено, наличие балластного остатка снижает их эффективность и провоцирует неисправности оборудования. В связи с чем, совершенствование технических средств подготовки органоминеральных удобрений имеет большое народнохозяйственное значение для возделывания картофеля.

Разработка технических средств внесения удобрений способствует минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Более точное и рациональное использование удобрений снижает риск загрязнения почвы и водных объектов, что соответствует принципам устойчивого развития и охраны окружающей среды.

**Степень разработанности темы.** Подготовка органоминеральных удобрений является важным фактором, влияющим на их качественные характеристики. Вопросам механизации производства и подготовки органоминеральных удобрений занимались Белых С.А., Богословский В. Н., Измайлова А.Ю., Костенко М.Ю., Петраков А. Д., Промтов М.А., Радченко С. М., Сорокин К.Н., Сорокин Н.Т., Cavalcanti F. M., Corma A., Dick S., Feng E., Gao X., Kozonoe C. E., Olayiwola T., Yusuf F., Zhang Z. и др. Вопросами использования органоминеральных удобрений, аэрозольной обработки и совершенствованием технических средств при возделывании картофеля занимались Аксёнов А.Г., Борычев С.Н., Бышов Н.В., Гаджиев П.И., Жевора С.В., Зиганшин Б. Г., Зинченко В.А., Кадыров С. В., Калинин А. Б., Колчин Н.Н., Костенко М.Ю., Костенко Н.А.,

Личман Г.И., Лобачевский Я.П., Марченко А.Н., Перминова И.В., Пономарев А.Г., Ремболович Г.К., Рычков В.А., Сибирёв А.В., Старовойтов В.И., Старовойтова О. А., Тетерина О.А., Успенский И.А., Шемякин А.В., Chen Y., Dean B. B., Mak J., Niedziński T., Obermayr M., Saunders C. и др.

Научная гипотеза – получение стабильного урожая качественного картофеля, возможно на основе комплексного подхода подготовки органоминеральных удобрений к совместному внесению с минеральными удобрениями и пестицидами, а также совершенствования технических средств внесения.

Цель исследования – совершенствование технических средств подготовки и внесения органоминеральных удобрений, направленное на повышение результативности возделывания картофеля.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить основные подходы к совершенствованию подготовки и внесения органоминеральных удобрений при возделывании картофеля.
2. Обосновать параметры технических средств для подготовки органоминеральных удобрений.
3. Обосновать параметры технических средств для совместного локально-ленточного внесения органоминеральных и минеральных удобрений.
4. Обосновать параметры технических средств для совместного внесения аэрозоля органоминеральных удобрений и пестицидов.
5. Провести технико-экономическую оценку технических средств для подготовки и внесения органоминеральных удобрений при возделывании картофеля.

**Объект исследования.** Технические средства для подготовки и внесения органоминеральных удобрений при возделывании картофеля.

**Предмет исследования.** Теоретические и экспериментальные закономерности изменения параметров технических средств подготовки и внесения органоминеральных удобрений, а также обеспечение стабильности процессов с использованием предложенных решений на основе методов искусственного интеллекта.

### **Научная новизна** заключается:

- в определении параметров технических средств подготовки органоминеральных удобрений с применением искусственной нейронной сети;
- в разработке компьютерной модели (цифрового двойника) дозирующего устройства;
- в разработке аналитической зависимости равномерности подачи удобрений от параметров дозирующего устройства;
- в разработке теоретической зависимости отскока гранул минеральных удобрений от параметров рассеивателя;
- в разработке номограммы для выбора средней скорости движения агрегата в зависимости от объёмного расхода генерируемого аэрозоля и геометрических параметров тоннельного укрытия;

Новизна технических решений средств подготовки и внесения органоминеральных удобрений для возделывания картофеля подтверждена патентами РФ на изобретение и полезную модель № 2727637, № 2727193, №2762212, №2645765, №2780210, №213790, №2810531, №2804071, №2814712 и свидетельствами о регистрации программы для ЭВМ №2021660616, №2022665285, №2025686849.

**Теоретическая значимость работы** заключается в полученных зависимостях для определения параметров технических средств и машин подготовки и внесения органоминеральных удобрений, а также применения искусственной нейронной сети для определения параметров технических средств подготовки органоминеральных удобрений.

### **Практическая значимость работы:**

- теоретически и экспериментально обоснованные параметры технических средств подготовки и внесения органоминеральных удобрений;
- результаты оценки эффективности обработки поверхности листьев генератором горячего тумана BF-150 с тоннельным укрытием;

- результаты технико-экономической оценки предложенных технических средств подготовки и внесения органоминеральных удобрений при возделывании картофеля.

**Методология и методы исследования.** Для достижения поставленной цели и решения задач исследования использовались методологии системного анализа, теоретической механики, теории искусственных нейронных сетей, теории вероятностей, математической статистики, математического анализа и компьютерного моделирования. Проведение экспериментальных исследований осуществлялось в лабораторных и производственных условиях с использованием сертифицированного оборудования, с применением стандартных и частных методик, разработанных специально для предлагаемых технических решений. Обработка результатов экспериментальных исследований осуществлялась с использованием лицензионных программ STATISTICA 8.0, MathCad 15, RealFlow 10 и Microsoft Excel 2016.

**Положения, выносимые на защиту.**

- параметры технических средств подготовки органоминеральных удобрений с применением искусственной нейронной сети;
- параметры гребнеобразующего культиватора-подкормщика для совместного внутрипочвенного внесения органоминеральных и минеральных удобрений;
- параметры аэрозольного опрыскивателя пропашных культур для совместной аэрозольной обработки органоминеральными удобрениями и пестицидами;
- результаты технико-экономической оценки предложенных технических средств для подготовки и внесения органоминеральных удобрений при возделывании картофеля.

**Достоверность результатов исследований**, обеспечивается применением современных методик, сертифицированного оборудования и стандартных процедур статистической обработки данных. Результаты исследования прошли апробацию на различных научных конференциях, а также были опубликованы в

авторитетных научных изданиях. Полученные данные согласуются с информацией из независимых источников, что подтверждает их достоверность. Результаты экспериментальной проверки адекватно согласуются с теоретическими предпосылками, демонстрируя высокую степень достоверности проведённых исследований.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты и положения диссертационной работы были представлены и обсуждены на научных конференциях различного уровня: 52-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, посвященной 200-летию со дня рождения профессора Ярослава Альбертовича Линовского «Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства.», Москва, 24–25 октября 2018 года; 72-й международной научно-практической конференции «Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации», Рязань, 20 апреля 2021 года; I Национальной научно-практической конференции с международным участием «Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии», Рязань, 23 ноября 2021 года; 73-й Международной научно-практической конференции «Научно-технологические приоритеты в развитии агропромышленного комплекса России», Рязань, 21 апреля 2022 года; Национальная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве», Рязань, 27 января 2022 года; II Национальной научно-практической конференции с международным участием «Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития», Рязань, 24 ноября 2022 года; Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные инженерные решения для АПК», Рязань, 28 марта 2024 года.

**Реализация результатов исследований.** Технические решения для подготовки органоминеральных удобрений из органического сырья прошли производственную проверку на предприятии ООО «Гуматы» Курганской области в 2021 году. Гребнеобразующий культиватор подкормщик прошёл

производственную проверку в ООО «Авангард» Рязанского района, Рязанской области в 2022 году. Аэрозольный опрыскиватель пропашных культур для совместной аэрозольной обработки органоминеральными удобрениями и пестицидами прошел производственную проверку в Институте семеноводства и агротехнологий – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2022 году.

**Личный вклад соискателя** заключается в формулировке цели и постановке задач исследования, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обосновании параметров предложенных технических решений подготовки и внесения органоминеральных удобрений, разработке лабораторных стендов и опытных образцов, обработке и интерпретации полученных результатов, проведении производственных исследований, определении технико-экономической эффективности внедрения предложенных технических решений в производственные процессы, апробации результатов и подготовке публикаций.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 38 печатные работы, в том числе 16 публикаций в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ, 2 публикации в изданиях, рецензируемых в базе данных Scopus, 1 монография, 10 патентах и 4 свидетельствах о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем публикаций по теме диссертации составил 21,05 п.л., из них соискателю принадлежит 16,85 п.л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 390 страницах и состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения. Работа содержит 107 рисунков, 10 таблиц и 11 приложений. Список литературы состоит из 300 наименований, в том числе 70 – иностранных источников

# **1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ И ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ**

## **1.1 Тенденции возделывания картофеля**

Картофель является одной из ключевых культур в обеспечении продовольственной безопасности, являясь одним из основных продуктов питания в рационе многих россиян. Он богат питательными веществами, включая крахмал, витамины и минералы. Благодаря тому, что данная культура обладает высокой адаптивностью, она возделывается во всех климатических регионах нашей страны. Кроме того, помимо употребления в пищу, картофель используется в качестве корма для животных, а также в производстве крахмала, спирта и других продуктов. Крахмал из него применяется в кулинарии, текстильной, бумажной и фармацевтической промышленности. Из картофеля также получают глюкозу и патоку, которые используются в пищевой промышленности. Таким образом, картофель играет важную роль в сельском хозяйстве и экономике страны. Его универсальность и способность адаптироваться к разным условиям делают его одной из наиболее важных сельскохозяйственных культур в России.

Развитие отечественного картофелеводства способствует снижению зависимости от импорта и укреплению продовольственной безопасности страны. Однако для повышения урожайности и качества картофеля необходимо совершенствовать в том числе и технологии его возделывания.

Развитие способов внесения удобрений и средств защиты растений является важным аспектом успешного производства картофеля. Необходимо разрабатывать новые формы удобрений и сочетания уже имеющихся препаратов, а также технологии их внесения, которые будут более эффективными и экологически безопасными. Кроме того, разработка инновационных подходов к внесению средств защиты растений должна быть направлена как на повышение

эффективности от использования существующих и разрабатываемых препаратов, так и на сокращение экологической нагрузки на окружающую среду.

Таким образом, совершенствование технологий возделывания картофеля и развитие способов внесения удобрений и средств защиты растений являются важными задачами для обеспечения продовольственной безопасности и развития сельского хозяйства в России.

В настоящее время существует различные технологии возделывания картофеля, каждая из которых может включать в себя определённые подходы и методы, направленные на оптимизацию процессов посадки, выращивания и сбора урожая.

Каждая технология может быть классифицирована по различным критериям адаптивности, представленным на рисунке 1.1.

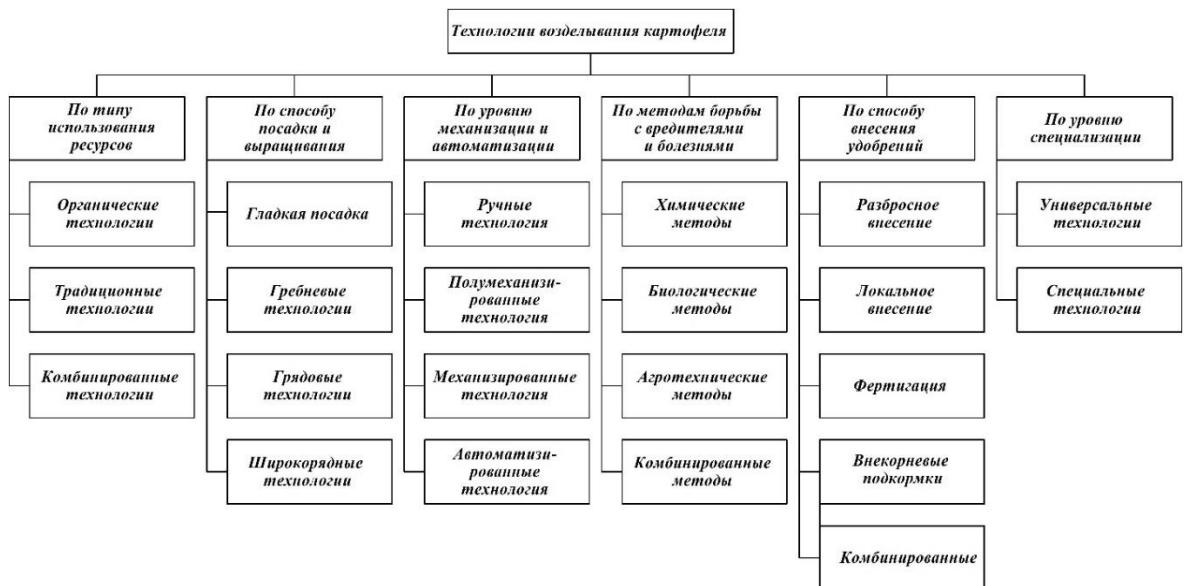


Рисунок 1.1 – Классификация признаков адаптивности технологий возделывания картофеля

Используемые современные технологии возделывания картофеля могут быть характеризованы различными признаками адаптивности и сочетать в себе критерии, обеспечивающие приспособленность к почвенно-климатическим условиям, ресурсосбережение, устойчивую защиту от заболеваний и вредителей,

экологическую безопасность и др. Рассмотрим более подробно основные критерии характеризующие технологии возделывания картофеля.

По типу используемых ресурсов технологии можно разделить на органические, традиционные и комбинированные.

Органические технологии подразумевают отказ от использования пестицидов, агрохимикатов и стимуляторов роста, за исключением препаратов биологического (органического) происхождения. Данные технологии направлены на использование агротехнологических приёмов способных раскрыть потенциал самого растения в частности к подобным приёмам относятся проращивание клубней на свету, декапитация (удаление верхушки растений) и другие [45, 74].

Под традиционными технологиями подразумеваются методы возделывания картофеля, которые используются уже на протяжении многих лет и доказали свою эффективность. Они подразумевают научно обоснованное использование минеральных удобрений и средств защиты растений, заключающееся в соблюдении дозировок и сроков внесения требуемых удобрений и препаратов [77, 214].

Комбинированные технологии сочетают в себе подходы органических и традиционных технологий и направлены на повышение эффективности производства картофеля при сокращении экологической нагрузки на окружающую среду [10, 153, 161, 183].

По способу посадки и выращивания можно разделить на технологии гладкой посадки, гребневые, грядовые и широкорядные.

Технология гладкой посадки картофеля актуальна в условиях с достаточно пористым грунтом и теплым климатом, обеспечивающим или даже превышающим биологическую потребность культуры в тепле и свете. Как правило использование данных технологий актуально в степных зонах [30, 31].

Гребневая технология посадки заключается в предварительном формировании гребней высотой до 15 см и расстоянием между ними 70-75 см. В гребнях создаётся лучший водно-воздушный режим, почва быстрее прогревается. Это означает, что корни растений получают больше воздуха и влаги, а также

находятся в более тёплой среде, что способствует лучшему росту и развитию картофеля. Данная технология применяется как правило на тяжёлых и переувлажнённых почвах. Она позволяет обеспечить лучший дренаж и предотвратить переувлажнение грунта [31].

Грядовая технология возделывания заключается в формировании гряд высотой до 35 см и шириной основания 140 см. Высадка растений в сформированные гряды осуществляется двумя рядками. Данная технология подходит к регионам с большим количеством осадков, так в случае выпадения ливневых дождей, гряды в меньшей степени подвержены разрушению чем гребни, при этом обладают лучшей способностью к дренированию излишней влаги из зоны расположения клубневого гнезда [77].

Широкорядная технология возделывания является разновидностью гребневой технологии, при этом ширина междурядий у данной технологии варьируется от 90 до 102 см. Использование данной технологии актуально на суглинистых почвах, увеличенное расстояние между гребнями позволяет растениям получать больше солнечного света, воздуха и питательных веществ. Кроме того, в связи с ростом использования тяжелых энергонасыщенных тракторов возникают сложности использования классических гребневых технологий с шириной междурядий 70 см, в связи с несовпадением ширины междурядий и ширины колеи [27, 215].

По уровню механизации и автоматизации технологии возделывания картофеля следует разделять на ручные, полумеханизированные, механизированные и автоматизированные технологии.

Ручные технологии возделывания основаны на использовании ручного труда и не подразумевают использование сельскохозяйственной техники. Они включают в себя ручную посадку, прополку, окучивание и сбор урожая. Данные технологии используются как правило на небольших участках земли, где невозможно или нецелесообразно использовать средства механизации.

Полумеханизированные технологии возделывания используются как правило на участках, где не всегда возможно использование средств механизации.

Например, можно механизировать процессы посадки или обработки почвы, но при этом выполнение других операций возможно производить вручную.

Механизированные технологии возделывания включают в себя посадку, обработку почвы, внесение удобрений и средств защиты растений, а также сбор урожая с использованием средств механизации. Данные технологии подходят для средних и крупных сельскохозяйственных предприятий, где использование техники экономически выгодно и технологически возможно.

Автоматизированные технологии возделывания подразумевают использование машин, которые выполняют сельскохозяйственные работы с минимальным участием человека. В данных технологиях могут применяться роботизированные комплексы, оснащенные датчиками и программным обеспечением, которые позволяют им ориентироваться в пространстве и выполнять агротехнологические операции с высокой степенью точности. Также применяются принципы дифференцированной посадки и внесения удобрений. Используются технологии мониторинга и анализа данных, позволяющие осуществлять сбор информации о состоянии почвы, растений и окружающей среды. С этой целью могут быть использованы как комплексы, устанавливаемые на сельскохозяйственную технику, так и дроны различной конструкции. Так же автоматизированные технологии включают в себя использование GPS-навигации и GIS-систем для точного определения местоположения и характеристик полей, а также использование искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации процессов и повышения эффективности работы [75, 78, 93, 184].

По методам борьбы с вредителями и болезнями технологии возделывания картофеля можно разделить на химические, биологические, агротехнические и комбинированные методы.

Химические методы борьбы с вредителями и болезнями подразумевают использование препаратов химического происхождения (пестицидов), задачей которых является предотвращение или сокращение ущерба от заболеваний различной этиологии и жизнедеятельности вредителей. Использование пестицидов возможно на различных стадиях развития растений при этом важно осуществлять

выбор и концентрацию препаратов, а также сроки осуществления обработки исходя из вида вредителя или болезни, стадии развития растения и погодных условий, чтобы не навредить полезным организмам и окружающей среде. В свою очередь химические методы защиты растений необходимо использовать в сочетании с агротехническими и биологическими методами, с целью предотвращения возникновения резистентности у вредителей и болезней, а также уменьшения негативного воздействия на окружающую среду [216].

Биологические методы борьбы с вредителями и болезнями основаны на использовании живых организмов или продуктов их жизнедеятельности. Они считаются более экологичными и безопасными для окружающей среды, чем химические методы. Среди биологических методов борьбы с вредителями можно отметить использование энтомофагов, то есть хищных насекомых, являющихся естественными врагами вредителей и питающиеся ими. Кроме того, могут использоваться биологические препараты, содержащие бактерии, вирусы или грибы, которые специфически поражают определённые виды вредителей и болезней [24, 234]. Использование биоудобрений и биостимуляторов, которые обогащают почву полезными микроорганизмами и улучшают рост и развитие растений, способствует повышению устойчивости картофеля к болезням и вредителям [13, 14, 213, 250]. Несмотря на то, что биологические методы имеют определённые преимущества перед химическими, их использование усложняется тем, что они являются в ряде случаев более подвержены условиям окружающей среды, в связи с чем их использование требуют более тщательного планирования и реализации. Поэтому биологические методы часто используются в сочетании с другими методами защиты растений.

Агротехнические методы борьбы с вредителями и болезнями заключаются в проведении комплекса приёмов, направленных на создание неблагоприятных условий для обитания и развития вредоносных организмов. К подобным мероприятиям относится соблюдение правил проведения севооборотов и пространственной изоляции, так картофель следует высаживать на прежнее место не ранее чем через 3–4 года, а также желательно располагать их вдали от других

паслёновых культур, тем самым снижая риски распространения общих вредителей и болезней. Кроме того, важным фактором является использование здорового посадочного материала. После уборки урожая важным является уничтожение растительных остатков путём их сжигания или компостирования, что обеспечивает уничтожение зимующих стадий вредителей и возбудителей болезней [19, 20, 87, 162].

Комбинированные методы борьбы с вредителями и болезнями основаны на сочетании различных подходов. Они объединяют в себе химические, биологические и агротехнические методы с целью повышения эффективности и снижения факторов риска, связанных с экологической нагрузкой на окружающую среду, возможным появлением резистентных форм вредителей и патогенов, вызывающих заболевания растений.

По способам внесения удобрений технологии возделывания картофеля можно разделить на разбросное и ленточное (локальное) внесение, а также фертигацию и внекорневые подкормки.

Разбросное внесение минеральных удобрений подразумевает их распределение по поверхности всего поля. Для реализации данного подхода используются, как правило, распределители минеральных удобрений центробежного типа. При использовании устаревших моделей распределителей данный метод имеет определённые недостатки: неравномерное распределение гранул удобрений по поверхности поля; определённая часть удобрений попадает в пересыхающий слой почвы, где они становятся недоступными для корневой системы. При этом неравномерное распределение удобрений оказывает существенное влияние на урожайности сельскохозяйственных культур и по различным оценкам может приводить к снижению урожайности до 17,5% [17, 56, 149].

Метод ленточного (локального) внесения предполагает размещение удобрений непосредственно в корнеобитаемые слои почвы, с целью повышения эффективности их использования на 7–20% и сокращения их дозы на 25–30% по сравнению с разбросным внесением. При возделывании картофеля с

использованием данного метода внесения удобрений необходимо учитывать тип почв и параметры используемых удобрений. Регулировка подлежат доза внесения, а также ширина лент и расстояние между ними. Для пропашного возделывания расстояние между лентами может составлять от 20 до 30 см, для без пропашного — от 12 до 17 см. Глубина заделки лент зависит от типа почв и может варьироваться от 8–10 см для дерново-подзолистых почв до 10–12 см для песчаных и супесчаных почв [56, 149, 232, 252].

Фертигация подразумевает внесение минеральных удобрений в жидким виде одновременно с поливом. Как правило данный подход используется совместно с технологиями капельного полива (микроорошение). Фертигация позволяет осуществлять более точную корректировку питания возделываемых культур, при этом требуется постоянный контроль состояния растений. Важно отметить, что при реализации данного метода в системах капельного полива необходимо применять удобрения, полностью растворимые в воде. Кроме того, в зависимости от типа почв, а также с целью сокращения затрат при фертигации в период основной обработки или перед посевом могут вноситься традиционные удобрения [219].

Внекорневая подкормка подразумевает внесения удобрений, при котором питательные вещества поступают в растение через листья и стебли. Для проведения некорневых подкормок используются различные типы опрыскивателей: самоходные, прицепные, навесные устройства, а также авиация. Внекорневая подкормка способствуют улучшению фотосинтетической активности, обеспечивая приток органических веществ и энергии к корням растений, стимулируют дыхание, ускоряют рост корней и увеличивают их способность поглощать минералы. Однако проведение некорневых подкормок в начале вегетационного периода, когда преобладают синтетические процессы, может негативно сказаться на развитии растения. На этом этапе попадание элементов питания в листья может вызвать связывание и задержку продуктов фотосинтеза на месте их образования. Поэтому наиболее актуальным является проведение некорневых подкормок в конце цветения или в период активного гидролиза. Это позволяет значительно улучшить качество урожая [149].

По уровню специализации технологии можно разделить на универсальные и специальные.

Специальные технологии возделывания картофеля разрабатываются с учётом особенностей почвы, климатических условий и других факторов. Например, на тяжёлых глинистых и суглинистых почвах корневая система картофеля может испытывать трудности с дыханием, в таком случае рекомендуется для улучшения аэрации проводить глубокое рыхление почвы перед посадкой, а также использовать фрезерные культиваторы для создания гребней и борозд. В свою очередь песчаные почвы быстро теряют влагу, в связи с чем при выращивании картофеля на данных почвах важно обеспечить достаточный полив и внесение органических удобрений для улучшения структуры почвы и удержания влаги. Кроме того, специальные технологии адаптируют и под климатические условия, так, например, при возделывании картофеля в регионах с засушливым климатом рекомендуется применять агротехнологические операции, направленные на сохранение влаги в почве, такие как мульчирование и капельное орошение. Возделывание картофеля в регионах с холодным климатом, требует от производителей уделять внимание в первую очередь ранним сортам картофеля, срок созревания которых будет наступать до прихода холода, кроме того, рекомендуется использовать укрытия, такие как агроволокно или плёнка, для защиты растений от заморозков [35, 44, 105]. Также к специальным технологиям относятся технологии возделывания в закрытом грунте используемые как правила в селекции и семеноводстве картофеля, среди подобных методов возделывания можно отметить гидропонику и аэропонику, они подразумевают выращивание картофеля без почвы, в питательном растворе или в воздушной среде с частым распылением элементов питания в виде аэрозоля [55, 204].

Универсальные технологии возделывания картофеля представляют собой комплекс методов и приёмов, которые можно применять в различных условиях и регионах. Они объединят в себе, как правило, сочетание различных агротехнологических приёмов, направленных на повышение урожайности, улучшение качества продукции и снижение затрат на производство. Используя

универсальные технологии возделывания картофеля, необходимо осуществлять выбор сорта, адаптированного к местным климатическим условиям и почвам. Подготовка почвы и уход за посадками заключается в осуществлении вспашки, внесении удобрений, регулярном рыхлении и окучивании, а также в борьбе с вредителями и болезнями. Важно соблюдать севооборот, чтобы предотвратить истощение почвы и накопление патогенов. Таким образом, данные технологии могут применяться в разных регионах и условиях, что делает их универсальными. Однако важно учитывать местные особенности и адаптировать методы под конкретные условия [149, 213, 214].

Рассмотрим основные технологии возделывания картофеля, используемые в настоящее время.

Заворовская технология (традиционная механизированная технология) возделывания картофеля является наиболее распространённой технологией. Для неё характерны следующие критерии адаптивности:

- По типу используемых ресурсов данную технологию можно отнести к комбинированным, при реализации данной технологии вносятся как органические удобрения (навоз, компост), которые вносят под предшествующую культуру или осенью под зяблевую вспашку, так и минеральные удобрения, которые в основном вносят весной перед посадкой.
- По способу посадки и выращивания в данной технологии могут быть использованы технологии гладкой посадки и гребневые технологии с шириной междурядий 70 см, при этом глубина посадки может варьироваться от типа почвы и размера клубней.
- По уровню механизации и автоматизации в зависимости от условий выращивания картофеля данная технология может являться как полумеханизированной, так и механизированной. Данной технологии характерна механизация агротехнологических операций по обработке почвы в осенний и весенний период. Осенью проводят вспашку или глубокое рыхление, чтобы уничтожить сорняки и вредителей. Весной почву боронуют, культивируют на глубину 10-14 см и осуществляют глубокую безотвальную перепашку зяби на

глубину 27-30 см [214]. При этом уход за посадками включает в себя такие агротехнологические операции, как прополку, окучивание, рыхление почвы, борьбу с вредителями и болезнями. При этом ряд операций за сезон может осуществляться несколько раз, так окучивание необходимо проводить 2–3 раза, рыхление почвы – после каждого полива или дождя, а прополку – по мере появления сорняков. В результате конечный уровень механизации данной технологии будет определяться исходя из экономических и производственных условий возделывания культуры в том или ином хозяйстве.

- По методам борьбы с вредителями и болезнями данной технологии характерно применение химических методов защиты растений.
- По способам внесения удобрений для данной технологии характерен, как правило, разбросной (сплошной) метод. При этом как было отмечено внесение удобрений осуществляется в осенний и весенний период.
- По уровню специализации её можно отнести к универсальной технологии возделывания картофеля.

Голландская технология возделывания картофеля представляет собой методику, которая включает в себя ряд агротехнических приёмов, направленных на повышение урожайности и качества картофеля. Для неё характерны следующие критерии адаптивности:

- По типу используемых ресурсов её можно отнести к комбинированным технологиям, так как она сочетает в себе органические и традиционные подходы. Например, используются как органические удобрения (навоз, компост), которые вносятся под предшествующую культуру или осенью под зяблевую вспашку, так и минеральные удобрения, которые в основном вносят весной перед посадкой.
- По способу посадки и выращивания. В рамках голландской технологии применяются гребневые технологии с шириной междуурядий 75 см. Характерная глубина посадки клубней картофеля для данной технологии составляет до 6 см [214].

- По уровню механизации и автоматизации. Голландскую технологию можно отнести к механизированной. Она подразумевает использование сельскохозяйственной техники для обработки почвы, внесения удобрений, посадки и ухода за посадками. Так, согласно технологии, предполагается осуществление предпосадочного фрезерования на глубину до 15 см., после посадки картофеля производится фрезерование поверхностного слоя почвы на глубину 2-3 см., затем через 10-15 дней после посадки или при достижении растений высоты в 5-7 см. формируются гребни [85, 149, 214].

- По методам борьбы с вредителями и болезнями. Для голландской технологии характерно применение химических методов защиты растений. Однако она также может включать в себя биологические методы, например, использование энтомофагов или биологических препаратов, содержащих бактерии, вирусы или грибы, которые специфически поражают определённые виды вредителей и болезней.

- По способам внесения удобрений. Для голландской технологии характерен комбинированный метод внесения удобрений. Он включает в себя разбросное (сплошное) внесение минеральных удобрений и фертигацию — внесение жидких минеральных удобрений одновременно с поливом.

- По уровню специализации. Голландскую технологию возделывания можно отнести к универсальным технологиям. Это означает, что она может быть адаптирована для различных условий и регионов.

Гrimmовская технология возделывания картофеля предназначена для выращивания картофеля на тяжёлых почвах с высоким уровнем засорения камнями [73]. Для неё характерны следующие критерии адаптивности:

- По типу используемых ресурсов её также, как и предыдущие технологии можно отнести к комбинированным, так как она сочетает в себе органические и традиционные подходы.
- По способу посадки и выращивания гrimmовская технология относится к грядовым технологиям возделывания, так согласно способу её

реализации весной почва готовится к посадке, для этого на первом этапе нарезают борозды глубиной до 25-30 см на ширину колеи трактора с формированием гряды шириной по основанию 140 см и рыхлением подпахотного горизонта на глубину 10-15 см, затем с использованием специальных сепарирующих машин осуществляется очистка почвенного слоя от почвенных комков и камней размерностью более 100 мм [214].

- По уровню механизации и автоматизации рассматриваемая технология относится к механизированным. Стоит отметить, что основные технологические операции в области обработки почвы осуществляются в весенний период и во избежание выноса камней из междурядий в зону размещения клубней не производятся в период вегетации картофеля. В свою очередь дальнейший уход за посадками осуществляется с использованием химических препаратов, направленных на подавление роста и развития сорных растений, вредителей и заболеваний, внесение которых производится с использованием широкозахватных опрыскивателей [73]. Для неё характерны следующие критерии адаптивности:

- По методам борьбы с вредителями и болезнями, данной технологии характерно использование химических препаратов для защиты посадок картофеля.
- По способам внесения удобрений в данной технологии могут быть использованы методы сплошного или ленточного внесения удобрений.
- По уровню специализации. Гриммовскую технологию следует отнести к специальным технологиям возделывания, так как её реализация целесообразна на тяжелых почвах с высоким засорением камнями и включает в себя такие специфические операции, как сепарация почвы от почвенных комков и камней с последующим вывозом их с территории поля.

Широкорядная технология возделывания картофеля являются разновидностью гребневой технологии, при этом ширина междурядий у данной технологии варьируется от 90 до 102 см. Использование данной технологии актуально на суглинистых и высокоплодородных почвах, увеличенное расстояние между гребнями позволяет растениям получать больше солнечного света, воздуха

и питательных веществ [73]. Для неё характерны следующие критерии адаптивности:

- По типу используемых ресурсов технологию можно отнести к комбинированным, так как в процессе её реализации могут быть использованы как органические, так и минеральные удобрения.
- По способу посадки и выращивания данная технология, как следует из названия, относится к широкорядным технологиям. Высота грядок при данном способе возделывания может доходить до 30 см, в свою очередь расстояние между ними в отечественной практике принято в 90 см, в то время как США, Канаде, Великобритании оно может доходить до 102 см [27]. Для данной технологии характерны следующие операции по подготовки почвы в весенний период: сплошное фрезерование на глубину до 16 см и глубокое рыхление на глубину до 27 см в местах расположения бедующих гребней [214].
- По уровню механизации и автоматизации широкорядная технология относится к механизированным. Для реализации данной технологии применяются различные сельскохозяйственные машины, такие как фрезерные культиваторы, культиваторы-окучники, картофелепосадочные машины, ботвоудалители и картофелеуборочные комбайны [214].
- По методам борьбы с вредителями и болезнями. Широкорядную технологию можно отнести к комбинированным. При этом основным способом борьбы с вредителями, болезнями, а также сорной растительностью будет являться химический метод, но могут также быть использованы биологические методы и агротехнологические приёмы [73].
- По способам внесения удобрений описываемая технология реализует те же подходы, что и традиционная технология возделывания и характерным для неё является, как правило, разбросной (сплошной) метод.
- По уровню специализации широкорядная технология является универсальной и, несмотря на описанные выше особенности, может применяться на различных типах почв и климатических условиях.

Грядовая и грядово-ленточная технологии являются близкими друг другу и имеют незначительные различия в связи с тем в литературе их иногда описывают совместно [73, 214]. Для данных технологий характерны следующие критерии адаптивности:

- По типу используемых ресурсов. Комбинированные технологии, сочетающие в себе подходы органических и традиционных методов, направлены на повышение эффективности производства картофеля при сокращении экологической нагрузки на окружающую среду.
- По способу посадки и выращивания. Грядовые технологии заключаются в формировании гряд высотой до 35 см и шириной основания 140 см. Высадка растений в сформированные гряды, осуществляется двумя рядками на глубину 6-8 см с расстоянием рядками 30 см. Реализация данных технологий в регионах с высоким выпадением осадков позволяет лучше дренировать влагу, а в засушливых регионах способствует её накоплению [214].
- По уровню механизации и автоматизации. Механизированная или автоматизированная технология в зависимости от условий выращивания картофеля. Данной технологии характерна механизация агротехнологических операций по обработке почвы в осенний и весенний период. Осеню проводят вспашку или глубокое рыхление, чтобы уничтожить сорняки и вредителей. Весной почву боронуют, культивируют на глубину 12–14 см, затем осуществляется нарезка гряд. При этом уход за посадками включает в себя такие агротехнологические операции, как прополка, окучивание, рыхление почвы, борьбу с вредителями и болезнями [214]. В результате конечный уровень механизации данной технологии будет определяться исходя из экономических и производственных условий возделывания культуры в том или ином хозяйстве.
- По методам борьбы с вредителями и болезнями. Комбинированные методы борьбы с вредителями и болезнями основаны на сочетании различных подходов. Они объединяют в себе химические, биологические и агротехнические методы с целью повышения эффективности и снижения факторов риска, связанных

с экологической нагрузкой на окружающую среду, возможным появлением резистентных форм вредителей и патогенов, вызывающих заболевания растений.

- По способам внесения удобрений. Ленточное (локальное) внесение предполагает размещение удобрений непосредственно под рядок растений картофеля в корнеобитаемые слои почвы.
- По уровню специализации данные технологии следует отнести к специальным, так как они разрабатываются с учётом особенностей почвы, климатических условий и других факторов. Например, на тяжёлых глинистых и суглинистых почвах корневая система картофеля может испытывать трудности с дыханием, в таком случае рекомендуется для улучшения аэрации проводить глубокое рыхление почвы перед посадкой, а также использовать специальные культиваторы для создания гребней и борозд. Песчаные почвы быстро теряют влагу, в связи с чем при выращивании картофеля на данных почвах важно обеспечить достаточный полив и внесение органических удобрений для улучшения структуры почвы и удержания влаги.

На основе вышеизложенного можно говорить о том, что при осуществлении выбора подходящей технологии возделывания картофеля необходимо обращать внимание на множество различных факторов: тип почвы, климатические условия, наличие ресурсов и оборудования, а также цели и задачи, которые ставит перед собой фермер или аграрное предприятие. Важно учитывать особенности каждой технологии и адаптировать их под конкретные условия и потребности.

## **1.2 Анализ способов производства органоминеральных удобрений**

Непрерывно развивающееся сельскохозяйственное производство требует применения современных и эффективных агротехнологических приёмов, способных обеспечить повышение урожайности и качества продукции. Важно отметить, что растущий спрос на экологически безопасные сельскохозяйственные

продукты, способствует более активному использованию органических и органоминеральных удобрений.

Органоминеральные удобрения являются современным и эффективным решением для сельскохозяйственного производства, поскольку они объединяют в себе преимущества органических и минеральных удобрений. В их основе лежат такие органические вещества как гуминовые и фульвокислоты, которые способствуют эффективному росту и развитию растений, снижают стресс, обогащают почву и способствуют развитию микроорганизмов. Кроме того, их состав может включать в себя основные элементы питания – азот, калий, фосфор, а также различные микроэлементы [52, 181, 193].

Органоминеральные удобрения могут различаться между собой по различным признакам, характеризующим особенности их производства и могут быть классифицированы по типу исходного сырья, способу производства, типу конечного продукта и соотношению органических и неорганических компонентов (рисунок 1.2).

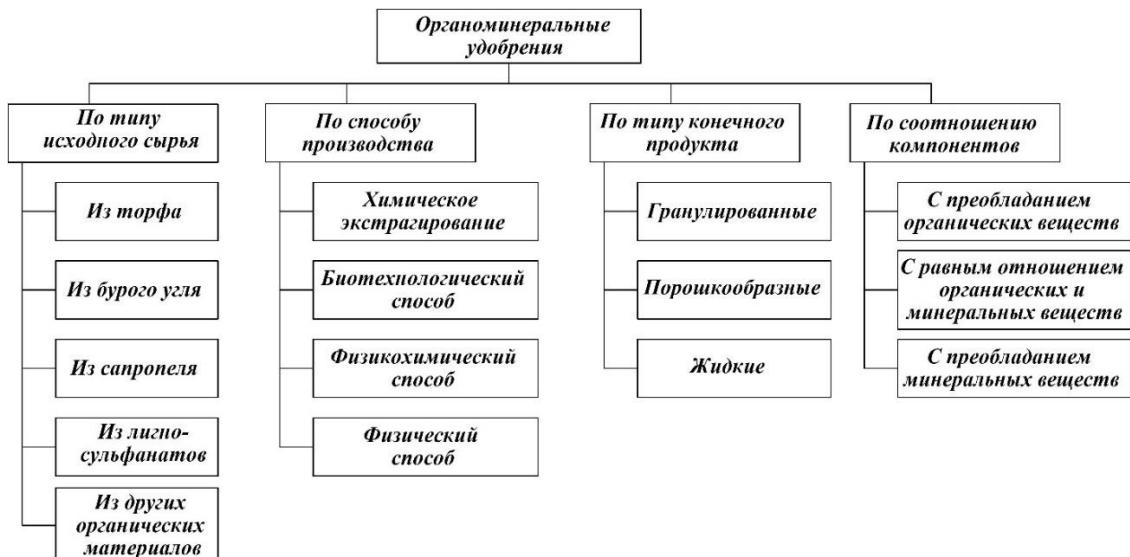


Рисунок 1.2 – Классификация органоминеральных удобрений

Процесс производства органоминеральных удобрений начинается с выбора исходного сырья. В качестве, которого могут быть использованы различные органические материалы. При этом по типу исходного сырья можно выделить следующие наиболее часто используемые природные компоненты: торф, бурый

уголь, сапропель, лигносульфонаты и другие органические материалы (биогумус, помёт).

Выбор сырья для производства органоминеральных удобрений во многом определяется его доступностью в конкретном регионе, свойствами и составом. В нашей стране наиболее распространёнными источниками для производства органоминеральных удобрений служат, торф, бурый уголь, реже встречаются препараты из сапропеля и лигносульфанатов.

После выбора исходного сырья перед этапом извлечения из него гуминовых и фульвокислот оно должно пройти предварительную обработку. В её состав могут входить следующие технологические операции: доведение сырья до необходимой влажности, предварительное измельчение, очистка от посторонних примесей и др.

К одним из основных критериев классификации органоминеральных удобрений можно отнести их различия по способу производства. В зависимости от технологии производства их можно отнести к органоминеральным удобрениям полученным путём: химического экстрагирования; биотехнологическим способом; физико-химическим способом; физическим способом. Рассмотрим более подробно каждый из подходов их производства.

Наиболее распространённым подходом в производстве органоминеральных удобрений (гуминовых удобрений), является технология химического экстрагирования, заключающаяся в извлечении водорастворимых солей гуминовых и фульвокислот из органических материалов с помощью химических реагентов [193]. Это позволяет получить более концентрированный и легкоусвояемый продукт, который можно использовать для улучшения плодородия почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур. В процессе производства органоминеральных удобрений с использованием данного метода применяются в основном такие реагенты как: гидроксид калия; гидроксид натрия; пирофосфат натрия, сода, фтористый натрий, щавелевокислый натрий, амиак, щавелевокислый аммоний и др. Кроме того могут использоваться органические растворители: бромистый ацетил, водный диоксан, фурфурол, амины и другие [88, 172, 192, 253, 282].

Использование метода химической экстракции позволяет получать гуминовые удобрения в форме препаратов, то есть составов с высокой степенью очистки от наличия нерастворимых элементов, входящих в состав сырья (торф, бурый уголь и т.д.). Подобные препараты используются в процессе осуществления предпосевной обработки семян или внекорневой подкормки растений и относятся к стимуляторам роста растений.

В отличие от них, балластные гуматы получают без глубокой очистки сырья и конечного продукта. Они содержат не только полезные вещества, но и остатки угольной, торфяной массы или другого типа сырья. Эти удобрения используют в более высоких дозах, сопоставимых с общепринятыми дозами традиционных органических удобрений. Производство таких удобрений иногда включает обогащение их элементами минерального питания (азотом, фосфором, калием, микроэлементами) в ходе обработки химическими реагентами [12, 88, 172]. Гуминовые балластные удобрения отличаются высокой физиологической активностью, как и безбалластные препараты. При этом они положительно влияют на состояние почвы способствуя её оздоровлению и улучшению структуры. Рассмотрим некоторые примеры производства органоминеральных (гуминовых) удобрений способом химической экстракции.

Согласно патенту РФ 2263092 от 24.12.2003 способ приготовления жидкых гуминовых удобрений заключается в том, что гуматосодержащее сырьё (торф, сапропель, биогумус, дефекат) смешивают с водой. В полученную суспензию при одновременном интенсивном перемешивании добавляют золу лузги подсолнечника, лузги гречихи или костры льна и твёрдую щёлочь. Перемешивание полученной реакционной массы осуществляют в течение 10-12 часов с поддержанием pH среды на уровне 11-12, данный показатель регулируется путём добавления дополнительного количества щёлочи. Таким образом, в результате щелочной экстракции образуются водорастворимые гуминовые кислоты и продукты распада органических составляющих сырья. Полученная суспензия оставляется для отстаивания в течение 2-2,5 часов, после чего отделяют жидкую

фракцию. Основным недостатком данного способа является его трудоёмкость и длительность процесса производства [119].

Способ получения органоминеральных удобрений, описанный в патенте РФ 2159222 основывается на выполнении следующих операций. В реактор, оборудованный мешалкой, помещают торф, сапропель или бурый уголь необходимой фракции и увлажняют холодной водой, после чего при комнатной температуре в полученную суспензию добавляют пирофосфат калия в соотношении 25:1. Далее полученную смесь перемешивают и выдерживают при комнатной температуре. Затем добавляют мочевину и снова перемешивают. В результате полученный продукт расфасовывают в необходимую тару [112]. Недостатком данного способа является его продолжительность во времени (около 40 часов), что обусловлено наличием нескольких последовательных технологических этапов, разнесённых во времени.

В патенте РФ 2286970 от 10.11.2006 описывается способ получения водорастворимого гумата. Согласно изобретению, торф упаковывают в пакеты из тканого или перфорированного материала и помещают в герметичную ёмкость, в которую подают 3,2 %-ный водный раствор гидроксида калия. Обработку торфа в пакетах производят при температуре 55-65 °C и соотношении торф:жидкость – 1:3; 1:3,5 на протяжении 45-50 минут. После чего полученный продукт сливают в накопительную ёмкость, а содержимое пакетов отжимают путём центрифugирования со скоростью вращения 700–1000 оборотов в минуту. Оставшаяся в пакетах балластная часть используется в качестве рекультиванта почв [121].

Изобретение, описанное в патенте РФ 2178777 позволяет выделять гуминовые вещества в виде кислот и их солей из природного гумифицированного материала. Для этого гумифицированный материал обрабатывают щелочным раствором при нормальных условиях в присутствии мочевины и комплексона в соотношениях 1:1-5:0,1-2,5. Стоит отметить, что согласно результатам, описанным в патенте способ, обеспечивает низкий выход гуминовых веществ, тем самым является малоэффективным [114].

Известен способ производства органоминеральных удобрений из леонардитовой руды, описанный в патенте США №4786307. Согласно изобретению, процесс производства заключается в следующем. Предварительно осуществляется экстракция гуминовых и фульвокислот леонардитовой руды путём смешивания её с подходящим хелатирующим агентом, далее при нагревании происходит смешивание кислотного экстракта с катионной металлической солью соответствующего микроэлемента (железа, цинка, меди, марганца, магния и кобальта) в присутствии оксикислот (лимонная, яблочная, аскорбиновая и др). Для получения стабильного хелатного продукта со слабощелочным pH добавляется безводный аммиак [143]. Недостатком данного способа является сложность и многостадийность процесса получения хелатных композиций микроэлементов из экстракта гуминовых и фульвокислот, а также необходимость строгого контроля pH и температуры на разных этапах процесса.

Удобрение гуминовое из торфа «Гумостим» изготовлено по технологии СибНИСХиТ. Способ его получения заключается в щелочном гидролизе низинного торфа водным раствором аммиака в присутствии перекиси водорода при нагревании до 110-140°C в течение 4-4,5 часов с последующим отделением жидкой фазы. При этом низинный торф с зольностью 40-60% и содержанием гуминовых кислот 14-19% смешивают с водой в соотношении 1:6-8, а затем смешивают с водным аммиаком в дозе 15-19% и перекисью водорода в дозе 15-19% на абсолютно сухое вещество торфа. Изобретение позволяет получить стимулятор роста растений из низинного торфа с высокой зольностью и низким содержанием гуминовых кислот [50].

Известен способ приготовления органического реагента, описанный в патенте РФ N 2025515 от 10.06.92, заключающийся в смешивании торфа с раствором гидроокиси натрия, термообработке полученной смеси, отделении раствора органического реагента фильтрацией. Термообработку смеси ведут при температуре 115-130°C. Выщелачивание металлов из сырья органическим реагентом проводят при следующем режиме тепловой обработки: давление 0,3-0,5 атм. в течение 10-30 минут при температуре до 130°C [108]. Недостатком способа

является сложность технологического процесса. Кроме того, в результате воздействия высоких температур разрушается природная структура гуминовых веществ.

В статье извлечение и очистка гуминовых кислот из лигнитных отходов с помощью щелочной обработки и мембранный ультрафильтрации описано получение гумата натрия. В процессе производства уголь смешивался с раствором NaOH, полученная суспензия перемешивалась на протяжении 4 часов при температуре 85 °C. Затем осуществлялась очистка полученного раствора гуматов от балластных остатков, для этого суспензия центрифугировалась в течении 15 минут [281].

Согласно патенту, на изобретение №2181710 от 27.04. 2002г. Способ получения жидкого гуминового удобрения, включает в себя перемешивание гуматосодержащего сырья, в том числе биогумуса, с водным раствором щелочи, отстаивание суспензии, отделение жидкой фракции, введение в нее микроэлементов питания растений, в том числе меди и/или бора, цинка или магния, в качестве дополнительного гуматосодержащего сырья используют торф, в качестве щелочи - 0,5-2% водный раствор едкого калия. Перемешивание гуматосодержащего сырья с водным раствором щелочи осуществляют в соотношении 1:11-13, а после отделения жидкой фракции в качестве вспомогательных веществ в нее дополнительно вводят, по меньшей мере, молибден, и/или кобальт или селен, и/или окись кремния [115]. Однако этот метод достаточно трудоемок, а полученное удобрение содержит невысокую концентрацию действующих веществ.

В исследовании по изучению характеристик гуминовых кислот, полученных из пакистанских углей для извлечения гуматов использовались гидроксид калия и азотная кислота. Согласно описанной методики 100 миллилитрах 2% раствора азотной кислоты смешивали с 40 граммами угля. Смесь перемешивали в течении часа, после чего полученную суспензию фильтровали, промывали водой и сушили в сушильном шкафу при температуре 40 °C. После чего полученную массу

обрабатывали раствором KOH различной концентрации. Лучший выход гуминовых кислот для образцов с исследуемых месторождений оказался при обработке 3,5% растворами KOH [297].

Существует технология получения гуминовых удобрений, при которой гуматосодержащий компонент обрабатывают щелочью (патент РФ на изобретение № 2128155, класс C05F 11/02, опубликованный 27.03.1999 г.). После обработки гуматсодержащего сырья щелочью осуществляют переосаждение соляной кислотой с получением водорастворимого гумата натрия при доведении до pH 2,7-7,7. В качестве гуматосодержащего сырья используют лечебную грязь [110]. Недостатком данного патента является низкое качество получаемых гуминовых удобрений, которые при внесении в почву растворяются в воде и уносятся дождем.

Известен способ получения безбалластного гумата аммония. Согласно которому выделение гуматов аммония проводится из бурого угля Александрийского месторождения при одновременном тонком активационном диспергировании перемешивании в присутствии 8% амиака от массы сухого угля и при соотношении уголь:жидкость – 1:8. Продолжительность процесса диспергирования составляет 25-30 мин. Необходимое качество диспергирования угля за минимальное время в указанных условиях достигается на мельнице-смесителе, разработанной в Могилевском машиностроительном институте [107].

Биотехнологический способ производства органоминеральных удобрений основан на использовании микроорганизмов, которые способствуют разложению органических веществ и высвобождению питательных элементов. Данный подход позволяет получить экологически чистое удобрение, которое способствует улучшению структуры почвы, повышению её плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур. Рассмотрим некоторые примеры производства органоминеральных (гуминовых) удобрений биотехнологический способом.

В Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства и торфа разработали органическое удобрение, процесс производства которого основан на биохимической активации торфа с использованием мочевины и биокатализатора. Процесс происходит при температуре 15–25 °C. Данные метод

позволяет получить обогащённый торф аммонийным азотом до 1,1–1,3%, водорастворимыми органическими веществами – до 0,88 % из которых гуминовые кислоты составляют 0,15 % в пересчёте на абсолютно сухое вещество [158].

Описан способ гидротермального получения гуминовой кислоты на основе угля. Согласно изобретения бурый уголь предварительно измельчают и просеивают для получения порошка необходимой фракции. После чего порошок бурого угля подвергается предварительной обработке, для этого его смешивают с полиглутаминовой ферментной жидкостью в соотношении 1 г: 9–11 мл. Полученный раствор перемешивания в течение 12–24 часов при температуре 37 °C на водяной бане. Затем раствор фильтруется, нейтрализуется и сушится до получения порошка бурого угля. Получены порошок лигнита смешивается с водой в реакторе в соотношении 1 г:8–10 мл при температуре 90–110 °C в течение 15–35 минут. На конечном этапе раствор подвергается декомпрессионной фильтрации для получения гуминовой кислоты на основе угля [241].

Имеются данные о том, что микробный инокулят штаммов микроорганизмов, адаптированных к торфу, способствует мягкому протеканию микробиологических процессов минерализации и трансформации органического вещества торфа. Согласно исследованиям, проведенным сотрудниками Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа, внесение 5-20 % микробного инокулята обогащает его элементами питания и биологически активными веществами в количестве, способствующем повышению его эффективности [157].

Известен способ биологического производства гуминовой кислоты согласно которому уголь смешивают с водой и доводят уровень pH смеси примерно до 7,8. Далее в смесь добавляют консорциум микроорганизмов в количестве около 10% по объёму. Обработка угля происходит в анаэробных условиях в атмосфере N<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub> в соотношении примерно 80:20. Температура может варьироваться от 20 °C до 60 °C, хотя 37 °C является предпочтительной температурой для облегчения процесса. Реактор инкубируется при температуре около 37 °C в течение 21–28 дней. В результате образуются метан, углекислый газ, жирные кислоты, спирты, в том числе этанол и метанол, а также гуминовые кислоты [285].

Согласно способу производства гуминовых удобрений, описанному в патенте РФ № 2092471. Предварительно осуществляется подготовка инокулята заключающаяся в том, что для бактерий *Acinetobacter calcoaceticus* ВКПМ В-4883 подготавливают питательную среду, представляющую собой водный экстракт древесной зелени хвойных пород. Культивирование проводят в колбах на качалках или в термостате при температуре 25–30 °C в течение 24–36 часов. Полученная жидкая культура штамма и является инокулятом. Затем в ёмкость объёмом 1500 мл загружают измельчённый бурый уголь (или его отходы) в количестве 200 г и заливают водой в количестве 650 мл. В эту смесь добавляют 150 г подготовленного инокулята. Ферментацию проводят в течение 48 часов при температуре 25–30 °C и активном перемешивании с подачей воздуха [109].

В работе Кляйна О.И. с соавторами была рассмотрена возможность получения физиологически активных гуминовых веществ из вторичного угольного сырья при помощи базидиальных грибов. Показано, что в процессе роста выбранных штаммов грибов на средах, содержащих гуминовые вещества, одновременно протекают деструктивные и конденсационные процессы их трансформации [76].

Физические способы производства гуминовых удобрений заключаются в физической обработке сырья, содержащего гуминовые вещества, для получения концентрированных жидких или твёрдых форм удобрений. Среди физических способов производства органоминеральных удобрений можно выделить электрогидравлическую обработку и кавитационное диспергирование, которое в свою очередь принято разделять на гидродинамическую и ультразвуковую кавитацию. Рассмотрим некоторые примеры производства органоминеральных (гуминовых) удобрений с использованием физических способов.

Электрогидравлическая технология получения гуминовых веществ отличается простотой исполнения, дешевизной и эффективностью. В 1951 году Л.А. Юткиным была предложена электрогидравлическая обработка торфа, при которой происходит переход нерастворимых форм химических соединений в растворимые [230].

Ряд способов электрогидравлической обработки торфов описаны и запатентованы еще в СССР [1 – 3]. В настоящее время сущность электрогидравлического эффекта и многообразных возможностей его применения достаточно хорошо изучены.

В исследованиях на пяти видах торфа было отмечено, что в процессе электрогидравлической обработки происходит интенсивное диспергирование материала. Кроме того, отмечается, что электрогидравлическая обработка значительно увеличивает массовое содержание питательных веществ и микроэлементов в торфе. Согласно представленным результатам, рост аммиачного азота при данном методе обработки наблюдался в 4-4,5 раза, а водорастворимых органических веществ от 1,5 до 5 раз, при этом электрогидравлическое воздействие вызывает гидролитическое дезаминирование свободных кислот [51].

Известен способ получения гуминового удобрения с помощью высоковольтных импульсных разрядов в жидкости при заданных параметрах разрядов. Предварительно очищенные от посторонних примесей бурый уголь, торф загружают в электроразрядную камеру, заполненную водой, в соотношении 40 % массы воды и 60 % массы гумусосодержащего материала и действуют на них высоковольтными импульсными разрядами с энергией от 0,625 кДж до 2,5 кДж при частоте следования импульсов от 4 Гц до 6 Гц, в зависимости от прочности материалов. Высоковольтный электрический разряд является мощным источником давления и высоких температур, под действием которых осуществляется тонкая дезинтеграция материала и происходят диссоциация молекул воды с образованием ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ . При этом активируется разрядное среда, кислород и его соединения инициируют окислительно-восстановительные реакции, в результате которых гуминовые вещества из исходного сырья переходят в раствор [191].

Применение кавитационного процесса в методах производства гуминовых препаратов способствует увеличению их физиологической активности. С помощью кавитации можно достичь высокого уровня выделения водорастворимых органических соединений и проведения реакций гидротермального синтеза.

Кавитационное воздействие считается щадящим методом, поскольку обработка сырья происходит при температуре раствора, не превышающей 35 °С. Это предотвращает значительную химическую деструкцию исходного материала. Благодаря такой технологии конечный препарат сохраняет витамины, ферменты и другие биологически активные вещества, которые обычно разрушаются при высоких температурах [192]. В кавитаторе одновременно происходят процессы диспергации, экстракции, растворения и дезинтеграции клеточных структур. Пиковые повышения давления и ударные волны, образующиеся при кавитации, приводят к распаду воды на радикалы водорода и гидроксила, которые, взаимодействуя с легко окисляемыми веществами торфа, способствуют ускоренному переходу гуминовых веществ в раствор [52, 192].

Гуминовые препараты, полученные с использованием кавитационного воздействия на смесь каустобиолитов и воды, обладают повышенной физиологической активностью. Это связано с тем, что неупорядоченные полимерные структуры гуминовых кислот и их солей при измельчении более эффективно усваиваются мембранами клеток растений.

Кавитационное воздействие происходит за счёт знакопеременных нагрузок и схлопывания пузырьков в зонах повышенного давления, что приводит к дезинтеграции и деструкции каустобиолитов. Для реализации этого процесса используются различные устройства, такие как роторные импульсные аппараты, кавитаторы и ультразвуковые устройства [16, 54, 96, 187, 247, 268].

Согласно способу получения, жидкого торфогуминового удобрения, описанному в патенте РФ 2411224, гуматсодержащее сырьё (торф) проходит предварительную подготовку, на первом этапе происходит его измельчение и просеивание через вибросито с размером ячеек от 3 до 10 мм. После чего подготовленный торф загружают в ёмкость с водой в соотношении 1:1 (по весу) и перемешивают на протяжении 1–2 часов. Полученную водно-торфянную суспензию фильтруют путём прокачивания насосом через сетку для удаления крупных фракций торфа более 3 мм. Затем отфильтрованную суспензию перекачивают насосом в рабочую ёмкость кавитационного генератора и запускают генератор со

скоростью вращения рабочих органов от 3000–6000 об/мин, проводя обработку гидродинамической кавитацией в течение 2–3 часов при температуре не более 80 °С. Готовый продукт имеет консистенцию геля, который с помощью кавитационного генератора перекачивают в дозатор, охлаждают до температуры окружающего воздуха и расфасовывают в товарные ёмкости [126].

В процессе производства органоминеральных удобрений также используются методы ультразвукового воздействия, обеспечивающие извлечение питательных элементов из гуматосодержащего сырья. При этом как правило сырьё проходит предварительную обработку. Принцип работы данного метода заключается в том, что ультразвуковые излучатели создают интенсивность волновой энергии более 10 Вт/см<sup>2</sup> в результате возникает акустическая кавитация, образуя вихревой или струйный поток. Жидкая составляющая продукта интенсивно обрабатывается энергией газоструйных генераторов. В газовой и жидкой фазах продукта возникают пульсирующие сверхдавления, что приводит к диспергированию и эмульгированию. Преобразования продукта происходят благодаря тепломассоэнергообменным процессам потока. Это помогает распределить компоненты лучше и сделать производство более эффективным. После завершения всех этапов обработки продукт обретает необходимые свойства гуминового удобрения [52].

Следует отметить, что органоминеральные удобрения, которые были получены с использованием только физических методов воздействия на гуматосодержащее сырьё обладают низкой эффективностью в связи с невысоким содержанием в них водорастворимых гуминовых и фульвокислот.

В свою очередь физические методы способствуют повышению эффективности выделения питательных элементов из гуматосодержащего сырья при химической экстракции. В связи с чем совместное использование химических и физических методов можно объединить в отдельную группу способов производства органоминеральных удобрений. Рассмотрим более подробно существующие физико-химические способы производства органоминеральных удобрений.

Согласно изобретению, описанному в патенте РФ №2685904 для получения гуминового препарата использовался измельчённый до фракции 0,01 – 1 мм малозольный бурый уголь, смешивание которого осуществлялось в виброкипящем слое с аэрозолем горячего активированного 2% водного раствора гидроксида калия. Аэрозоль размерностью 1-20 мкм получают путём пропускания раствора через гидроакустический преобразователь. В результате готовым продуктом является тёмно-бурая паста, содержащая не менее 40% гумата калия от массы сухого вещества. Паста готова к употреблению после разбавления водой до текучего состояния [135].

Учеными Югорского государственного университета разработан способ получения гуминовых кислот и гуматов из торфа (патент RU 2429214). Согласно способу, в качестве гуматосодержащего сырья используется верховой или низинный воздушно-сухой торф. «Далее торф обрабатывается 0,5–1,0 молярными щелочными растворами или водным раствором аммиака в течение 5–10 минут при температуре 10–60 °C и частоте вращения ротора 3000 об/мин. Обработка проводится в условиях механоакустического воздействия. охлаждённую реакционную смесь центрифигируют для отделения жидкой фазы (целевого продукта) от твёрдого остатка. После чего жидкую фазу подкисляют серной или иной протонной кислотой до pH 2 для осаждения гуминовых кислот. Затем гуминовые кислоты отделяют от кислого фильтрата центрифугированием или фильтрованием. На конечном этапе продукт отмывают от анионного остатка кислоты и сушат при 80 °C до постоянной массы» [127, 190].

Способ получения биологически активных гуминовых веществ был разработан учеными Уфимского государственного нефтяного технического университета (патент РФ 2471755). Заявленный способ заключается в обработке ила раствором аммиачной воды с конечным содержанием NH<sub>4</sub> в растворе 20–50 г/л (pH 12) при температуре 80 °C в течение 30 минут. После чего полученную смесь выдерживают в течение суток при комнатной температуре. Далее смесь окисляют пероксидом водорода из расчёта 0,05–0,2 г/г абсолютно сухого ила в условиях ультразвукового воздействия (частота 22 кГц, интенсивность 7 Вт/см<sup>2</sup>) в течение 8

минут. Реакционную смесь разделяют на твёрдый нерастворимый осадок и жидкую целевую фазу, после чего нейтрализуют жидкую фазу молочной кислотой до pH 7. Полученное вещество представляет собой биологически активные гуминовые вещества, которые могут быть использованы в качестве удобрения. [129].

В патенте на изобретение 2275348, описывающем способ получения гуматов щелочных металлов: «уголь, содержащий гуминовые кислоты, смешивают с химической присадкой, содержащей соединения щелочных металлов, и окислителем (например, перманганатом калия) в соотношении: 0,05:1, полученную смесь подвергают обработке в дезинтеграторе» [120]. Затем в процессе измельчения подают карбонаты калия и/или натрия в качестве химической присадки. После чего при перемешивании до получения однородной массы с продуктом, полученным после измельчения, подают гидроксиды щелочных металлов (КОН, NaOH). Далее происходит обработка смеси раствором пластификатора и смачивателя под давлением  $3 \cdot 10^5$ – $4 \cdot 10^5$  Па, что обеспечивает подачу раствора через оросителя в виде аэрозоля и получение непылящего окомкованного продукта с размером частиц 2–4 мм [120].

Известен способ, согласно которому гуминовые кислоты извлекают из торфа и сапропеля путём их смешивания с водой, а затем подвергают кавитационной обработке. Для приготовления концентрата используют торфянную крошку с размером частиц не более 5 мм и смешивают с водой, чтобы получить пасту, которая будет легко проходить по трубопроводу и быстро растворяться. При комнатной температуре заливают воду в бак-мешалку и включают двигатель пульсационного насоса. Затем порциями добавляют торфянную крошку в движущийся поток воды. Через 10 минут после полной загрузки торфянной крошки добавляют сапропель. Обрабатывают смесь ещё 5 минут при скорости потока 12 м/с. Затем вводят едкий калий, а через 5–6 минут — белый шлам. Смесь торфа, сапропеля и белого шлама обрабатывают кавитацией до температуры 90 °С. Процесс брожения, дегазации, катализа и остывания происходит в промежуточной ёмкости в течение суток. Получается готовое к использованию удобрение — структурированный торфо-сапропелевый концентрат [132].

Получения азотсодержащих гуминовых удобрений из торфа возможно следующим образом. В качестве гуматосодержащего сырья используется низинный торф влажностью не более 50%, который в течении 30 минут предварительно обрабатывают 0,5–5,0%-ным водным раствором аммиака с одновременным кавитационным воздействием. После чего в условиях кавитации его окисляют пероксидом водорода при температуре 60 °С на протяжении 15-60 минут. Охлаждённую реакционную смесь выгружают и центрифицируют, отделяя жидкую фазу (целевой продукт) от твёрдого остатка. Затем жидкую фазу концентрируют в вакууме при 50 °С до получения сухого остатка [124].

В результате можно отметить, что органоминеральные удобрения могут быть получены различными способами, каждый из которых имеет свои особенности и преимущества. Технология химического экстрагирования, позволяет получать более концентрированный и легкоусвояемый продукт, который можно использовать для улучшения плодородия почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур. При этом важно учитывать потенциальные недостатки метода химического экстрагирования: возможное наличие химических остатков в конечном продукте, а также высокую стоимость процесса производства.

Биотехнологический способ основан на использовании микроорганизмов, которые способствуют разложению органических веществ и высвобождению питательных элементов. Добавленные в почву микроорганизмы помогают улучшить её структуру и плодородие. Однако при реализации метода необходимо осуществлять строгий контроль процесса, для обеспечения эффективной работы микроорганизмов. Кроме того, возникают риски распространения патогенных микроорганизмов, что может привести к заболеваниям растений. Также данный подход имеет определённые сложности, связанные с масштабированием процесса для обработки больших объёмов органических отходов. Таким образом, биотехнологический метод требует тщательного планирования и контроля, чтобы обеспечить максимальную эффективность и безопасность использования удобрений в сельском хозяйстве.

Физические способы включают электрогидравлическую обработку и кавитационное диспергирование, которые позволяют получить концентрированные жидкие или твёрдые формы удобрений. Реализация данных подходов способствует улучшению структуры и свойств удобрений за счёт физических процессов. Однако физические методы обработки не всегда обеспечивают оптимальные условия для экстракции гуминовых кислот. В результате удобрения могут содержать недостаточное количество этих полезных веществ, что снижает их эффективность.

В свою очередь физико-химические способы объединяют химические и физические методы воздействия на гуматосодержащее сырьё. Кроме того, реализация данных способов обработки позволяет точно контролировать параметры процесса, такие как температура, давление, время и концентрация реагентов, что обеспечивает предсказуемость результатов и возможность оптимизации процесса. В результате повышается эффективность выделения питательных элементов, а контроль над процессом позволяет добиться стандартизации продукции, что важно для обеспечения её качества и безопасности.

Также органоминеральные удобрения можно классифицировать по типу конечного продукта на жидкие, гранулированные и порошкообразные.

Гранулированные органоминеральные удобрения имеют форму гранул, содержащих органические вещества и минеральные элементы. Гранулы постепенно растворяются в почве, обеспечивая длительное питание растений. Такие удобрения удобны в применении, так как не требуют частого внесения и могут использоваться как при посадке, так и в процессе вегетации растений.

Порошкообразные органоминеральные удобрения — это сухие смеси, состоящие из органических компонентов, а также минеральных добавок. Они обычно используются для приготовления растворов для полива или опрыскивания растений, а также могут применяться в качестве мульчирующего материала.

Жидкие органоминеральные удобрения представляют собой концентрированные растворы, содержащие органические вещества (гуминовые, фульвовые кислоты и другие) и минеральные элементы (азот, фосфор, калий и

другие). Они удобны в использовании, так как их можно легко дозировать и применять для корневых и внекорневых подкормок, благодаря высокой усваиваемости растениями и равномерному распределению питательных веществ.

Органоминеральные удобрения можно классифицировать по соотношению органических и минеральных компонентов. Это позволяет подобрать наиболее подходящее удобрение в зависимости от потребностей растений и характеристик почвы.

Удобрения с преобладанием органических веществ. Они идеально подходят для улучшения структуры почвы, увеличения её влагоёмкости и воздухопроницаемости. Удобрения данной категории способствуют развитию полезных микроорганизмов в почве, что положительно влияет на рост и развитие растений.

Органоминеральные удобрения с равным соотношением органических и минеральных веществ, представляют собой сбалансированный комплекс питательных элементов необходимых для роста и развития растений. «Они обеспечивают оптимальное соотношение доступных для растений форм макро- и микроэлементов, что способствует улучшению плодородия почвы и повышению урожайности» [190].

Органоминеральные удобрения с преобладанием минеральных веществ, в данном случае можно говорить о минеральных удобрениях, обогащённых органическими компонентами (биологизированные). Они предназначены для быстрого восполнения дефицита питательных веществ в почве и обеспечения растений необходимыми макро- и микроэлементами, а органическая составляющая способствует повышению доступности питательных веществ для растений и улучшению структуры почвы.

В результате можно говорить о том, что технологии производства органоминеральных удобрений зависят от многих факторов, включая доступность сырья, требования к качеству продукта, экономические соображения и экологические аспекты. Что в конечном итоге определяет выбор методов производства, таких как смешивание органических и минеральных компонентов,

их гранулирование, сушка, фасовка и другие технологические операции. Важно учитывать особенности каждого этапа производства для получения качественного продукта, который будет соответствовать потребностям рынка и способствовать сокращению экологической нагрузки на окружающую среду.

### **1.3 Анализ технических средств производства органоминеральных удобрений**

Качество производимых органоминеральных (гуминовых) удобрений определяется множеством различных показателей: изначальное качество используемого сырья, технология производства, используемые реагенты и т.д. При этом ключевую роль играет технологическое оборудование, которое применяется на всех этапах производственного процесса. Оно во многом определяет эффективность производственных процессов, в частности такие важные параметры как точность дозирования и смешивания компонентов, что в итоге влияет на качество конечного продукта. Автоматизированные системы контроля и управления процессом производства помогают минимизировать человеческий фактор и обеспечить стабильность качества продукции.

Кроме того, правильный выбор технологического оборудования позволяет оптимизировать производственные процессы, что приводит к снижению затрат на производство и уменьшению себестоимости продукции. Важно, чтобы используемое технологическое оборудование соответствовало специфике производства органоминеральных удобрений и обеспечивало максимальную эффективность работы [206]. Таким образом, выбор качественного технологического оборудования является одним из ключевых факторов, определяющих успешность производства высококачественных органоминеральных удобрений и его экономическую эффективность.

Компания ООО «Амальтеа - Сервис» разработала и производит установку для подготовки удобрений «ДЭВА» (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 –Установка для подготовки удобрений «ДЭВА»

Установка ДЭВА включает в себя следующие основные элементы: роторно-импульсный аппарат РИА (150, 200 или 250); насос на подачу РИА; ёмкость со встроенной мешалкой для предварительного размешивания; трубопроводы с запорной арматурой. Кроме того, установка может быть оборудована системой автоматики. Производительной данной установки составляет от 10 до 20 м<sup>3</sup>/смену при потреблении электрической энергии до 15кВт\*ч на 1 м<sup>3</sup>.

Установка для подготовки удобрений «ДЭВА» на базе роторноимпульсных аппаратов РИА позволяет получить стабильную водную суспензию из сапропеля безреагентным способом. Практические испытания показали более высокий выход гуминовых кислот по сравнению с реагентными методами обработки сапропеля [101].

Тесар-ЭКОГАЛЬ предлагает «Ультразвуковой модуль приготовления растворов и суспензий» (рисунок 1.4). В модуле реализуется сверхмощный режим кавитации, так называемая «стриммерная» кавитация. Плотность ультразвукового излучения в осевой зоне таких реакторов может достигать нескольких десятков Вт/см<sup>3</sup> [103].



Рисунок 1.4 – Ультразвуковой модуль синтеза гуматов

Комплекс изготавливается как в стационарном, так и в мобильном исполнении. Сырьем для работы установки могут сложить как биогумус, так и ископаемое сырье (уголь, торф и т.д.). Рабочая зона реактора выполнена в виде цилиндра диаметром 100 мм и высотой 470 мм. Акустическая мощность излучения может составлять, в зависимости от модификации аппарата, от 4 до 7 кВт, при КПД аппарата не менее 0,85. Вес аппарата, в комплекте с генератором, не более 40 кг.

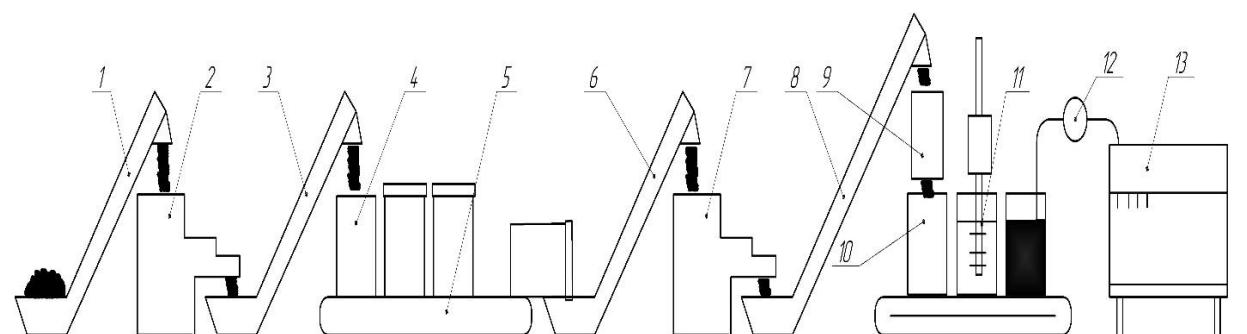
Вариант компоновки реактора в установке с ориентировочной производительностью до 440 кг/час по некоторым типам обрабатываемых водных суспензий имеет габаритные размеры (длина × ширина × высота) не более 2500 × 2000 × 2000 мм. Вес, не более 300 кг. Комплекс состоит из ультразвукового реактора с генератором, химического реактора с мешалкой, циркуляционного насоса, платформы и пульта управления.

К недостаткам данной установки можно отнести сложность загрузки сырья и непригодность для поточной работы. Установка не предназначена для непрерывной обработки больших объемов сырья, что может замедлить процесс производства удобрений и сделать его менее эффективным. В установке не предусмотрена предварительная подготовка гуматосодержащего сырья, в связи с чем исходное сырье должно быть высокого качества и не иметь посторонних примесей.

Известна технологическая линия, описанная в патенте РФ 2573358 и представляющая собой комплекс оборудования, предназначенного для переработки торфа и получения гуминового препарата. В состав описанной технологической линии входит: приёмный бункер с решёткой, виброгрохот, ленточный конвейер, дозатор торфа, дозатор сухого щелочного реагента, ёмкость для воды, насос высокого давления, кавитатор-активатор воды, озонатор, реактор-смеситель, вихревой гидродинамический кавитационный диспергатор, ёмкость гидратации, грязевой насос, ёмкость для осадка, насос для подачи гуминовых веществ, фильтры грубой и тонкой очистки, накопительные ёмкости, насос для подачи гуминового препарата на фасовку, фасовочно-упаковочное оборудование [133].

Данная технологическая линия включает в себя множество сложных и дорогостоящих компонентов, что требует на начальном этапе значительные финансовые затраты на приобретение оборудования и последующее обслуживание линии. При этом процесс переработки торфа в гуминовый препарат, согласно предложенному способу, занимает значительное время (более 72 часов), включая предварительную подготовку, измельчение, окисление, гидратацию и очистку. Это может замедлить производство и снизить его эффективность.

Для получения биологически активного гуминового продукта в патенте РФ 2472761 на способ производства описана технологическая линия, схема которой представлена на рисунке 1.5.



1,3,6,8 – загрузочные транспортеры; 2,7 – гранулятор; 4 – закрывающиеся ёмкости; 5 – транспортёр; 9 – дозатор; 10 – мерная ёмкость; 11 – погружной смеситель; 12 – перекачивающий насос; 13 – разливочная линия.

Рисунок 1.5 – Схема технологической линии производства биологически активного гуминового продукта

Описанная технологическая линия предназначена для работы с торфом, прошедшим предварительную подготовку (измельчение, просеивание и т.д.). Поступившее сырьё при помощи загрузочного транспортёра загружают в гранулятор для первичного гранулирования, которое завершается получением гранул размером 5 мм и температурой 70–80 °C, которые подаются в закрывающиеся емкости для постепенного остывания в течении 12 часов. Затем гранулы поступают на вторичное гранулирование, где получают гранулы размером 3 мм и температурой 80 °C. Отмечается, что в результате двойного поэтапного гранулирования происходит механохимическая активация торфа. Полученные гранулы размерностью 3 мм поступают через дозатор в мерную ёмкость с водным раствором. Далее с помощью погружного смесителя осуществляется механохимическая активация торфа в течение 15–20 минут, после чего в гомогенную торфяную смесь постепенно добавляется щёлочь до pH 10–10,5 при работающем смесителе, которая перемешивается в течении 30–45 минут. Далее в смесь дополнительно добавляется 10–15 % от общего объёма смеси воды и осуществляется перемешивание в течении 10 минут, после чего остывшую пасту затаривают в ёмкости [130].

К недостаткам данного технологического процесса можно отнести многоступенчатость процесса, в частности первичное и вторичное гранулирование с использованием двух грануляторов, необходимость в технологических перерывах для промежуточного и конечного остывания продукта. В связи с чем усложняется процесс производства и требуется значительные затраты времени и ресурсов.

Одним из возможных недостатков способа производства водорастворимых солей гуминовых кислот и описанной технологической линии является сложность технологического процесса, требующего большого количества разнотипового оборудования и обеспечивающего определённые условия на каждом этапе производства, а также необходимость строгого контроля за параметрами реакции, температуры и давления.

Также учеными института ФГБНУ ВНИМС были разработаны и внедрены технологические линии по производству гуминовых удобрений из различных

видов органического сырья. Работы по созданию оборудования для производства гуминовых удобрений начались в 2010 году. В основу первых установок легла технология щелочной экстракции, однако они не обеспечивали достаточной степени очистки и дисперсности продукта. В 2012 году был разработан технологический комплекс по производству гуминовых препаратов с использованием ультразвукового диспергирования суспензии торфа (рисунок 1.6) [189, 190].



Рисунок 1.6 – Технологическая линия с системой ультразвукового диспергирования [189, 190]

В 2014 году на основе технологии гидродинамической кавитации была создана технологическая линия для производства комплексных удобрений на основе гуминовых (рисунок 1.7) [189, 190].



Рисунок 1.7 – Технологическая линия для производства комплексных удобрений на основе гуминовых образца 2014 года [189, 190]

Данная технологическая линия имела большую металлоёмкость и длительный производственный цикл, поэтому в конструкцию были внесены изменения. Модернизированная линия позволила снизить энергетические и временные затраты при производстве гуминовых и комплексных удобрений, а также получить высококачественный продукт (рисунок 1.8) [189, 190].



Рисунок 1.8 – Технологическая линия для производства гуминовых удобрений из торфа [189, 190]

Ещё одним направлением в разработке технических средств для механизации производства гуминовых удобрений стало создание технологической линии для получения гуматов из бурого угля (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Технологическая линия производства гуминовых удобрений из бурого угля [189, 190]

Общий принцип работы разработанных ФГБНУ ВНИМС технологических линий по производству органоминеральных удобрений основан на использовании физико-химических способов экстракции и очистки гуминовых веществ из различных видов органического сырья с последующим производством органоминеральных и комплексных удобрений [43, 189, 193].

Среди основных недостатков данных технологических линий следует отметить недостаточную степень очистки от нерастворимых примесей, кроме того, процесс загрузки сырья и дозирования щёлочи осуществляется оператором вручную.

Следует отметить, что для производства органоминеральных удобрений производителями разрабатываются не только технологические линии, но и отдельные узлы, способствующие повышению качества получаемого продукта и эффективности экстракции гуминовых веществ. Так учеными ФГБНУ ВНИМС разработана оригинальная конструкция дисмембратора, обеспечивающего получение гуминовых удобрений высокого качества за счёт максимального измельчения и интенсивного перемешивания суспензии торфа (рисунок 1.10) [144, 166].



Рисунок 1.10 – Дисмембратор

Внедрение этой разработки в состав технологической линии позволило повысить качество выпускаемой продукции и увеличить производительность оборудования до 2000 л в смену.

Для обработки гуматсодержащего сырья за счет волновой энергии в технологических линиях может использоваться устройство деструкции углеводородов, описанное в патенте РФ 2392046. Принцип работы устройства заключается в акустическом резонансном возбуждении вихревых потоков в вихревых трубах переменного сечения с завихрителями потока. Это приводит к временной или безвозвратной деструкции за счёт создания вихревого потока с максимальной энергией акустического резонансного возбуждения [125].

Также для получения органоминеральных удобрений из торфа предлагается использовать газоструйный генератор. Согласно способу, описанному в патенте на изобретение № 2457896, для получения ценного вещества в форме биодоступных органических соединений и микроэлементов используется ультрадисперсная эмульсия торфа (УДЭТ). Для её получения в устройство подаётся водная смесь с торфом и воздух или пар на газоструйный генератор. Происходит мокрый помол торфа, в результате чего получается удобрение, содержащее гуминовые кислоты, фульвокислоты и другие полезные компоненты. Таким образом, принцип работы заключается в использовании газоструйных генераторов для создания высокой интенсивности ультразвука, которая позволяет проводить физико-химические преобразования многофазного продукта [128].

Выбор качественного технологического оборудования играет важную роль в производстве органоминеральных удобрений. От него зависит эффективность производственных процессов и качество конечного продукта.

Существует множество установок, линий и отдельных узлов, предназначенных для производства органоминеральных и комплексных удобрений из различных видов органического сырья. Они отличаются принципами работы и конструктивными особенностями. Однако многие из них имеют недостатки, связанные с необходимостью совершенствования технологического процесса [204]. В частности, некоторые установки недостаточно эффективно очищают продукт от нерастворимых примесей, а процесс загрузки сырья и дозирования щёлочи осуществляется вручную.

Таким образом, несмотря на широкий выбор оборудования, существует потребность в его дальнейшем совершенствовании, особенно в области очистки от балластного остатка и автоматизации процессов добавления щёлочи. Это позволит повысить качество и эффективность производства органоминеральных удобрений.

#### **1.4 Анализ способов внесения органоминеральных удобрений**

Перед современным сельскохозяйственным производством в настоящее время стоит задача – обеспечить растущий спрос на продовольствие и сохранить экологическую устойчивость агроэкосистем. Удобрения играют ключевую роль в получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур, однако подходы, основанные только на внесении органических или минеральных составов, имеют существенные ограничения. Органические удобрения, хотя и улучшают структуру почвы, часто не обеспечивают точного баланса питательных элементов и имеют ограниченную экономическую эффективность. В свою очередь минеральные удобрения могут приводить к деградации грунтов и загрязнению окружающей среды из-за избыточного применения [151, 170].

В свою очередь использование органоминеральных (гуминовых) удобрений является перспективным решением, способным объединить преимущества органических и минеральных составов. Такие удобрения содержат органические вещества и минеральные компоненты, что позволяет обеспечить растения всеми необходимыми питательными элементами в доступной форме.

Однако успешное применение органоминеральных удобрений требует соблюдения специализированных технологий, учитывающих их уникальные свойства. От методов внесения зависят равномерность распределения, сохранение питательных элементов в почве и минимизация потерь. Рассмотрим современные подходы к внесению органоминеральных удобрений.

На сегодняшний день в сельскохозяйственной практике наибольшее распространение получили следующие способы внесения органоминеральных удобрений:

- предпосевная обработка семенного материала;
- обработка почвы при предпосевной и послеуборочной культивации;
- корневая подкормка;
- внекорневая подкормка вегетирующих растений.

Основные технологии применения органоминеральных удобрений представлены на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 - Основные технологии применения органоминеральных удобрений

Рассмотрим более подробно каждую из представленных технологий применения органоминеральных удобрений

Органоминеральные (гуминовые) удобрения успешно применяются в процессе протравливания и предпосевной обработки семенного и посадочного материала. Предпосевная обработка семян, клубней, черенков и корней растений при посадке преследует своей целью увеличение энергии прорастания и пробуждения иммунных сил растительного организма, получение усиленного питания в самой ранней фазе развития растения или после перенесенного стресса при пересадке. Прямой результат операции – ускорение прорастания, увеличение всхожести, рост и развитие корневой системы. При обработке семян органоминеральными удобрениями совместно с гербицидами, инсектицидами и фунгицидами они продлевают защитное действие протравителей и снижают фитотоксическое действие последних [65, 81].

В сельскохозяйственном производстве для предпосевной обработки семенного и посадочного материала органоминеральными удобрениями используют следующие способы: сухое, полусухое, мокрое, термическое протравливание и инкрустация (дражирование).

Возможны три варианта обработки семенного и посадочного материала гуматами: предпосевная обработка семян с использованием только гумата; протравливание семян в сочетании «протравитель + гумат»; инкрустование семян с помощью эфироцеллюлозного прилипателя, протравителя и гумата.

Для протравливания и предпосевной обработки семенного и посадочного материала органоминеральными удобрениями используют передвижные и стационарные протравиватели шнекового, барабанного и камерного типа [32, 212].

В частности, предпосевная обработка семян ячменя ярового сортов: «Владимир, Маргрет, Аннабель × Эльф; Зазерский 85, гуминовыми препаратами в дозе 200 мл на 1 тонну семян способствует повышению посевных качеств, независимо от способа обработки семян. В свою очередь в проведённых исследования наибольшая эффективность отмечалась при использовании гуминовых препаратов в виде аэрозоля горячего тумана. Показатели энергии прорастания и всхожести у сорта Зазерский 85 увеличились на 15,2 % и 9,1 % в сравнении с контролем, у сорта «Владимир» – на 12,0 % и 6,5 %, у сорта «Маргрет» – на 5,6 % и 6,5 %, у гибридной линии «Аннабель × Эльф» – на 4,4 % и 4,2 %» [32, 210].

Имеются положительные результаты предпосадочной обработки семенного картофеля, согласно исследованиям при норме обработки 10 л/т раствором фульвогумата в дозе 1 мл/л активизируются биологические процессы, связанные с прорастанием клубней. Также предпосевная обработка картофеля гуминовыми препаратами способствует увеличение скорости появления всходов на 10-30 % и высоте растений на 9 - 40 % в зависимости от сорта и способа обработки [134, 150, 209].

Также имеются результаты исследований, согласно которым гуминовым препаратом BioHum (содержание гуминовых кислот не менее 10 г/л) осуществлялась предпосевная обработка клубней картофеля. Согласно результатам исследований, наибольшей положительный эффект был получен при обработке клубней рабочим раствором в концентрации 1:10 с нормой расхода 20 л/т, так при данной концентрации наблюдалась максимальная высота растений 24,3 см против 19,7 см в контрольном варианте, увеличение урожайности на данном варианте составило 10,3 %. Содержание крахмала в экспериментальных образцах статистически незначительно варьировалось от 13,3% до 13,7%, в контрольном варианте — 12,6%. При этом в результатах исследования отмечается статистически значимая связь между урожайностью картофеля и количеством агрономически полезной микрофлоры [250].

Внесение органоминеральных удобрений в процессе предпосевной и послеуборочной обработки почвы.

Чтобы поддерживать баланс гумуса в почве, необходимо осуществлять внесение органических удобрений, долгое время для этих целей использовали компост, навоз, торф и др., однако содержание гуминовых веществ в данных удобрениях относительно невелико. В связи с чем необходимо использовать большие нормы внесения, что увеличивает транспортные и производственные издержки. В связи с этим целесообразно использование гуминовых удобрения — они лишены недостатков традиционных органических удобрений, эффективно обогащают почву гумусом за счёт стимулирования биологической активности и разложения органических остатков.

В частности, органоминеральные удобрения эффективны для обработки пожнивных остатков и соломы перед заделкой их в почву. Например, при использовании соломы на удобрение (осенняя запашка), на каждую тонну соломы рекомендуется вносить азотные удобрения из расчета 10 кг действующего вещества по азоту, который служит источником питания для почвенных микроорганизмов. В противном случае микроорганизмы начинают использовать азот гумуса, разрушая его. Обычно за зимний период солома разлагается на 40-60

% (при достаточном количестве влаги в почве). Эта технология может быть значительно удешевлена и ускорена с помощью органоминеральных удобрений. Увеличиваются запасы общего углерода и азота, подвижного фосфора и калия. Коэффициент разложения соломы при этом может достигать 80 %. При использовании данной технологии с помощью опрыскивателя обрабатывают солому гуматом из расчета 1,2 л/га (расход рабочей жидкости 200-300 л/га в зависимости от типа опрыскивателя). Затем лущением или дискованием заделывают на глубину 6-10 см. Для уменьшения испарения воды, период времени между опрыскиванием и заделкой должен быть как можно короче. Лучший результат достигается, когда дисковая борона идет непосредственно за опрыскивателем [63, 97, 99].

Имеются положительные результаты использования гуминового препарата Экорост (содержание гуминовых веществ до 70 г/л) для утилизации соломы в качестве удобрения. Согласно результатам исследования, рабочий раствор составлял 0,4 л препарата Экорост и 300 л воды, внесение осуществлялось при помощи опрыскивателя и специальной машины для утилизации незерновой части урожая с расходом 300 л/га. В результате проведенных исследований автором отмечается положительное влияние использования органоминеральных удобрений при утилизации соломы в качестве удобрения, характеризующееся увеличением скорости разложения растительных остатков, а также увеличением урожайности последующих культур и их качества [25].

Внесение гуминовой кислоты в почву значительно улучшает показатели роста растений, содержание фотосинтетических пигментов, общую и товарную урожайность, а также качество клубней. Кроме того, этот метод позволяет улучшить химический состав клубней и снизить процент потери веса и гниения. Комбинированное внесение фосфорных удобрений и гуминовой кислоты показывает высокую эффективность по большинству изучаемых параметров, чем внесение только одного из них. Отмечается увеличение эффективности используемых удобрений при внесении 30 кг Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на гектар с применением гуминовой кислоты, повышение показателей вегетативного роста, общей и

товарной урожайности, средней массы и диаметра клубней, а также концентрации азота, фосфора, калия, углеводов и общего количества сахаров в клубнях. Кроме того, данная комбинация способствует улучшению сохранности клубней и снижению процента их гниения по сравнению с другими обработками [279].

При нулевой и минимальной технологии обработки почвы применяют машины для внесения удобрений в почву, в которых применен дисковый рабочий орган. Этот рабочий орган позволяет вносить жидкие гуминовые удобрения в почву непосредственно после уборки урожая по стерне или мульче, оставляя минимальный след после себя, не разрыхляя почву. Диск прорезает щель в почве, затем нож, расположенный вслед за диском, подает удобрения в почву.

При технологии strip-till (полосной обработки) удобрения размещаются в непосредственной близости от семян возделываемой культуры. Согласно результатом исследований отмечается положительное влияние разных доз гумата натрия в составе органоминеральных удобрений (ОМУ) на рост и гормональный баланс растений пшеницы. Авторы исследования предлагают включать гумат натрия в гранулы ОМУ для повышения эффективности применения удобрений. При основном состав гранул содержащим 60-65 % свежего куриного помета, 54-33 % доломита (карбонаты кальция и магния) отмечается, что оптимальным является добавление гумата натрия в концентрации  $2,5 \cdot 10^{-2}$  % от массы гранулы ОМУ. Это позволяет стимулировать рост растений и улучшать их гормональный статус. Авторами отмечается перспективность использования гранул ОМУ с включением гумата натрия по технологии strip-till [186].

Органоминеральные удобрения также можно использовать для раскисления почв. Известкование почвы, как агротехнический прием, широко внедрен в практику мирового земледелия, но наука постоянно ищет альтернативу мелиорантам для раскисления почв. Одним из путей снижения затрат и повышения эффективности процесса раскисления почв является применение гуминовых удобрений как альтернативы известковым удобрениям. При внесении в почву они увеличивают ее буферную емкость и способность поддерживать естественный

уровень рН, снимают излишнюю кислотность почв, избавляют от вредного воздействия средств защиты растений, тяжелых металлов, радионуклидов [42, 249].

Внесение гуминовых препаратов при раскислении почв производится по существующим технологиям, комплексом машин для внесения жидких комплексных удобрений и средств защиты растений.

Внесение гуминовых препаратов в дозах 0,01 % и 0,02 % растворов, способствовало снижению кислотности почвы, загрязненной изотопом цезия-137, в среднем на 0,2-0,3 единицы рН [222].

Внесение органоминеральных удобрений на стадии предпосевной культивации почвы может производиться до посева сельскохозяйственных культур, а может совмещаться с ним. Последнее является весьма экономически выгодным приемом, так как позволяет задействовать меньше техники, а, значит, снижаются расходы ГСМ и трудозатраты. Совмещение операций по посеву и внесению удобрений дает не только экономический эффект, но и положительно влияет на экономию удобрений и агротехнику сельскохозяйственной культуры в целом. Кроме того, растению легче получить питательные вещества из удобрений, находящихся в почве, а не на поверхности.

Внесение гуминовых удобрений при данном способе может осуществляться несколькими типами агрегатов: стерневыми культиваторами, агрегатами для полосовой обработки почвы, комбинированными посевными и посадочными агрегатами.

Например, при применение гуминовых кислот в норме внесения 20 л/га и сульфата цинка при предпосевной обработке почвы оказывается положительное влияние на содержание хлорофилла, урожайность и компоненты урожайности овса. Кроме того, увеличивается холодоустойчивость растений овса. Это особенно важно для регионов с холодным климатом и почвами, бедными питательными веществами [267].

Корневая подкормка вегетирующих растений.

При корневой подкормке гуминовые удобрения вносятся непосредственно в корневую зону растений путем полива почвы раствором или добавки его к

питательному раствору при капельном орошении. Хотя расход гуминовых удобрений при корневой обработке значительно выше, чем при обработке семян и внекорневой обработке, целесообразность внесения их в почву диктуется не столько соображениями роста растений данного года, сколько гораздо более важной задачей - сохранением плодородия почвы на длительный многолетний период. Данного способ применения органоминеральных удобрений способствует активизации ферментативных процессов в почве, что приводит к ускоренному восстановлению содержания гумуса, улучшению структуры почвы и созданию условий для нормального развития естественной микрофлоры растений и почвы [23, 38].

Внесение удобрений при корневых подкормках осуществляется культиваторами-растениепитателями и удобрительными комплексами. Корневая подкормка растений гуматами может осуществляться в процессе междуурядной обработки сельскохозяйственных культур. Для этих целей используют культиваторы, оборудованные специальными подкормочными приспособлениями.

Согласно результатам исследований, внесение органоминеральных удобрений в процессе микроорошения способствует получению положительного эффекта от их применения. Лучшая урожайность у различных культур отмечалась при следующих схемах обработки: у белокочанной капусты при обработке препаратом «Reasil micro Amino B» после высадки рассады с нормой расхода 0,5 л/га и затем внесение «Reasil Forte Carb-N-Humic» (с содержанием гуминовых и фульвокислот в препарате 9%) с нормой расхода 2 л/га в начале завязывания кочанов; у томатов при внесении, через одну неделю после высадки рассады, гуматов калия или натрия с микроэлементами при норме расхода 0,5 л/га, затем с интервалом в одну неделю дважды с нормой расхода 0,5 л/га вносится «Reasil micro Amino Cu»; у огурцов при внесении гуматов калия или натрия с микроэлементами при норме расхода 0,5 л/га через две недели после посева с повторной обработкой через одну и три недели [165].

**Внекорневая подкормка вегетирующих растений (опрыскивание).**

Из всех вышеперечисленных способов внесения органоминеральных удобрений самый распространенный методом является опрыскивание. При этом чаще всего гуматы вносят в составе баковых смесей с пестицидами и гербицидами. Это позволяет «увеличить эффективность обработки, снизить химический стресс растений от обработки и уменьшить дозу вносимых препаратов на 20-40 %, что способствует улучшению агроэкологической ситуации и дает возможность сэкономить на приобретении дорогостоящих пестицидов» [81].

Внекорневая обработка стимулирует рост и развитие растений, способствует усилению процесса фотосинтеза в листьях растений и увеличивает содержание хлорофилла, повышают активность ферментов, стимулирует процессы дыхания, синтеза белков и углеводов, что в свою очередь создает предпосылки получения экологически чистой продукции [53, 94, 198].

Для большинства растений данный подход является наиболее эффективным методом проведения подкормки, обеспечивающим максимальную долю прироста урожая и повышение его качества. Однако при этом большое значение имеют сроки проведения обработок, так как внекорневые обработки, проведенные в физиологически важные фазы развития растений, обладают гораздо большим эффектом.

К недостаткам данного способа применения органоминеральных удобрений можно отнести неравномерное распределение удобрения по поверхности поля и, как следствие, неравномерный рост и созревание растений. Кроме того, увеличиваются нормы расхода рабочего раствора, что приводит к нерациональному использованию.

Для внесения гуминовых удобрений методом некорневой подкормки применяют опрыскиватели зарубежного и отечественного производства различных типов: самоходные, монтируемые, навесные, полуприцепные и прицепные.

Согласно имеющихся данных: «некорневое внесение в фазу колошения смеси регулятора роста растений АгроСтимул (80 мл/га) и удобрения на основе гуминовых кислот Гуми-30 (0,2 кг/га), способствует повышению урожайности и качества зерна озимой пшеницы сорта Пионерская 32» [163].

Обработка растений картофеля сорта Ред Скарлет в фазу бутонизации - начало цветения гуминовыми удобрениями с нормой расхода 0,5 л/га, способствует повышению урожайности, а также увеличению крахмалистости клубней, а также сокращается риск заражения клубней сухой гнилью и паршой обыкновенной [175].

Отмечается положительный эффект от осуществления листовых подкормок при орошаемом возделывании картофеля. Согласно имеющимся данным проведение подкормок сорта Розара по схеме: первая обработка препаратом «Reasil micro Hydro Mix» с нормой расхода 1,0 л/га, затем вторая и третья обработки препаратом «Reasil Forte Carb-N-Humic» с нормой расхода 2,0 л/га каждая – наблюдалось увеличение урожайности на 6,49 т/га, при увеличении доли товарных клубней, кроме того отмечалось увеличение крахмала и витамина С [33].

Рассматривая опыт применения органоминеральных удобрений в растениеводстве, следует отметить, что они главным образом используются для обработки семенного материала, а также обработки вегетирующих растений. Зачастую они используются в составе баковых смесей с минеральными удобрениями, пестицидами и регуляторами роста растений.

В свою очередь необходимо разработать научно обоснованные подходы рационального применения органоминеральных удобрений, так как большинство существующих способов их внесения относятся к интенсивному земледелию и не соответствуют принципам экологизации сельского хозяйства и перехода к высокопродуктивному органическому земледелию.

## **1.5 Анализ технических средств внесения органоминеральных удобрений в почву**

В современном сельском хозяйстве одной из ключевых задач является повышение урожайности и качества получаемой сельскохозяйственной продукции. Для достижения этой цели необходимо обеспечить растения всеми необходимыми питательными веществами в доступной форме.

Внесение органоминеральных удобрений в почву является одним из ключевых агротехнических приёмов, который позволяет улучшить структуру почвы, повысить её плодородие и как следствие урожайность возделываемых культур. Однако для эффективного внесения удобрений необходимо использовать современные технические средства, которые обеспечивают распределение удобрений в необходимом количестве по площади поля с их заделкой на необходимую глубину.

Анализ существующих технических средств для внесения органоминеральных удобрений, их характеристик, преимуществ и недостатков, позволит определить наиболее перспективные направления развития техники для внесения удобрений, с целью обеспечения эффективности сельскохозяйственного производства и устойчивого развития растениеводства.

Использование технологий локального внесения позволяет вносить гуминовые удобрения непосредственно в корневую зону растений. Это способствует активизации ферментативных процессов, развитию естественной микрофлоры растений и почвы, улучшается поглощение питательных веществ корнями растений, тем самым способствуя сокращению дозы используемых минеральных удобрений на 25–30% по сравнению с разбросными методами, а также увеличивая урожайность сельскохозяйственных культур. При этом важно правильно рассчитать норму удобрений в соответствии с потребностями культуры и почвенно-климатическими условиями, чтобы избежать снижения эффективности или негативного влияния избыточных доз [179, 216].

Для реализации локального внесения удобрений используются различные агрегаты: культиваторы-растениепитатели, удобрители, плуги-удобрители, плоскорезы-удобрители, дисковые сошники зерновых сеялок и другие. Это позволяет объединить процесс внесения удобрений с технологиями предпосевной обработки почвы и сократить трудозатраты [11, 56, 231, 251].

Для внесения жидких форм минеральных и органоминеральных удобрений в междурядье пропашных культур в период вегетации используются различные механизированные комплексы: BLU-JET AT 3000 (3015) (США); Дончанка-М;

Агристо Аммиачник ПЖУ-2000/4500; Güstrower GFI 15-4; Dalton Stealth; Колнаг КЛ – 4,2-00; Агрифлекс КРН-5,6/70-Ж и др. Основные технические характеристики данных машин приведены в приложении А. Представленные удобрительные комплексы подходят как для традиционной, так и для минимальной обработки.

Использование комплексов растениепитателей (BLU-JET AT 3000 (3015) (США); Дончанка-М; Агристо Аммиачник ПЖУ-2000/4500), несмотря на имеющиеся у них преимущества модели в недостаточной степени подходят для использования их при возделывании картофеля, так как в них не предусмотрена возможность формирования гребней, что при проведение последующих технологических операций может привести к неравномерному распределению удобрений, особенно если гребни будут иметь разную высоту и ширину. В результате одни растения могут получить больше удобрений, чем другие, что приведёт к неравномерному росту и развитию растений.

Применение культиваторов-инжекторов (Güstrower GFI 15-4; Dalton Stealth) при возделывании картофеля может быть также ограничено рядом трудностей, в частности шаг посадки (густота) картофеля может не совпадать с шагом инжекторов, в результате чего не для всех растений удобрения будут поступать в корнеобитаемый слой почвы, кроме того, в зависимости от типа почвы и других условий эффективность работы таких агрегатов может варьироваться.

В свою очередь несмотря на то, что пропашные культиваторы (Колнаг КЛ – 4,2-00; Агрифлекс КРН-5,6/70-Ж и др) предназначены для осуществления внекорневых подкормок пропашных культур при проведении обработок междуурядий, среди их недостатков можно отметить ограниченный выбор жидких удобрений и пестицидов. Кроме того, данные модели не предназначены для внесения удобрений под основную обработку почвы, а только при междуурядной обработке пропашных культур [11, 85, 148].

Для внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений существуют конструкции культиваторов от различных производителей (Amazone, Farmet, Bednar, Mascio Gaspardo и др). Основные технические характеристики некоторых из моделей машин приведены в приложении А.

Рассматривая имеющиеся конструкции культиваторов подкормщиков для внесения твердых минеральных удобрений можно отметить, что ряд моделей (Amazone Cenius TX, Strip Master EN, Strip Master EN) предназначены для внесения удобрений под культуры сплошного сева и не могут быть использованы в гребневых технологиях. «В свою очередь имеющиеся на рынке культиваторы, которые могут быть использованы в технологиях возделывания картофеля (КОН-2,8; Mascio Gaspardo HL 4 70), обладают невысокими объёмами бункеров для удобрений, а используемые в них системы дозирования не предусмотрены для внесения основных объёмов удобрений, в отличии от аналогов используемых при возделывании культур сплошного сева» [85, 148].

На рынке сельскохозяйственной техники в настоящее время имеются культиваторы, позволяющие осуществлять внесение как жидких, так и твердых минеральных удобрений. Подобные модели, в частности, имеются в линейке компаний Orthman и Kuhn. Технические характеристики некоторых из моделей также представлены в приложении А.

При этом несмотря на то, что представленные на рынке модели обладают возможностью внесения двух типов удобрений, использование их при возделывании картофеля может быть ограничено рядом недостатков. Так как данные модели нацелены в большей степени для возделывания культур сплошного сева и не подразумевается их использование в гребневых технологиях возделывания, то в процессе формирования гребней могут возникать ситуации, связанные с неравномерным распределением удобрений, а также неоптимальным их расположением для растений картофеля.

Проведенный анализ показывает, что несмотря на имеющиеся технические средства для внутрипочвенного внесения удобрений у существующих моделей имеется ряд ограничений, не позволяющих полноценное их использование при возделывании картофеля. Кроме того, у ряда моделей имеются ограничения по типу используемых удобрений, а также по производительности, что не позволяет использовать их для основного внесения удобрений. В связи с чем разработка культиваторов-подкормщиков для возделывания пропашных культур с акцентом

на инновационные технические решения в области дозирования, подачи и распределения удобрений в почве является перспективным направлением исследований.

## **1.6 Анализ технических средств аэрозольного внесения органоминеральных удобрений в период вегетации картофеля**

Современное интенсивное сельскохозяйственное производство невозможно без широкого применения различных ядохимикатов, необходимых для борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений. Активное использование пестицидов ведёт к тому, что всё большее количество загрязняющих веществ попадает в организм человека с питьевой водой и продуктами питания, нанося непоправимый ущерб здоровью [208].

Исследования, направленные на сокращение объёмов используемых пестицидов при возделывании сельскохозяйственных культур, позволяют повысить экологичность. Кроме того, необходимо уделять внимание снижению стресса у культурных растений, возникающего после использования пестицидов.

Одним из перспективных направлений в этой области является разработка и внедрение технологий аэрозольного внесения органоминеральных удобрений (ОМУ). Кроме того, совместное использование ОМУ и пестицидов способствуют эффективности их работы, что позволяет снизить их количество без потери эффективности, также органоминеральные удобрения способствуют укреплению иммунитета растений, снижению стресса и повышению их устойчивости к вредителям и болезням.

Анализ технических средств аэрозольного внесения ОМУ в период вегетации картофеля представляет собой важную задачу, решение которой позволит определить наиболее эффективные и экономически выгодные технологии применения органоминеральных удобрений.

Для внесения средств защиты растений и осуществления внекорневых подкормок используются опрыскиватели различной конструкции. При этом по типу агрегатирования данные машины могут быть навесным, прицепными или самоходные, они могут отличаться объёмом бака для рабочего раствора, иметь различные технические решения для осуществления распыления рабочей жидкости.

Основной группой технических средств для внесения органоминеральных удобрений и средств защиты растений в период вегетации являются штанговые опрыскиватели. Глобально данные машины можно разделить на 3 основные группы: навесные, прицепные и самоходные. Разработкой и реализацией штанговых опрыскивателей занимаются компании по всему миру. Технические характеристики некоторых наиболее распространённых в России опрыскивателей представлены в приложении Б.

Представленные модели штанговых опрыскивателей обладают различными характеристиками и функциональными возможностями. Навесные, прицепные и самоходные опрыскиватели имеют свои преимущества и недостатки, при этом к общим их недостаткам можно отнести тот факт, что опрыскивание растений осуществляется сверху, тем самым охватывая не все поверхности растений и не обеспечивая равномерного распределения рабочего раствора. Кроме того, при обработке данными типами опрыскивателей имеется риск сноса ветром препарата, что может привести к загрязнению окружающей среды и снижению эффективности обработки.

В свою очередь, различные компании предлагают определённые конструктивные решения для повышения эффективности опрыскивателей. Компания Hardi (Дания) в линейках своих штанговых опрыскивателей реализует конструкцию штанг под названием TWIN FORCE. Данная система создаёт воздушную завесу, направляющую спрей защитно стимулирующих препаратов к растениям, сокращая возможные риски сноса и позволяя осуществлять обработки на более высоких скоростях. Подобные системы также реализованы у компаний RAU (Германия), Kyndestoft (Германия), Lemken (Германия) и др. [102, 155].

Также предлагаются различные прототипы штанговых опрыскивателей, где на штанге устанавливаются вентиляторы, которые в процессе работы создают направленные к растениям турбулентные потоки, которые увлекают за собой капли аэрозоля (рисунок 1.12) [235].



Рисунок 1.12 – Вентиляторный опрыскиватель Калетча

Основными недостатками подобных технических решений, является то, что для правильной атомизации требуется значительная скорость воздуха, при этом, если купол не поглощает энергию, происходит отскок воздуха и возникает дрейф. Кроме того, создаваемые воздушные потоки поднимают пыль с поверхности поля, которая в результате смешивается с аэрозолем, снижая его эффективность.

Ещё одним решением, направленным на снижение сноса капель аэрозоля, являются вращающиеся распылители (рисунок 1.13).

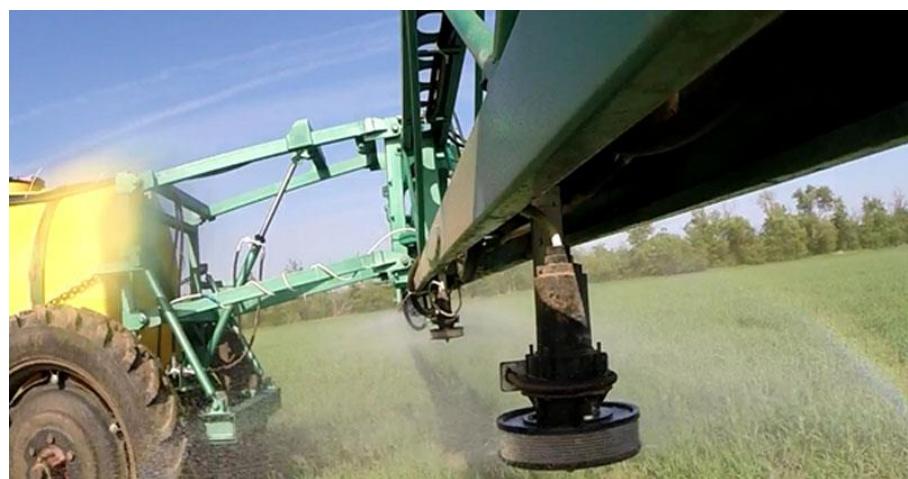


Рисунок 1.13 – Вращающийся электрический распылитель

Принцип работы подобных распылителей основан на механическом дроблении рабочей жидкости сетчатым барабаном, который вращается с высокой скоростью и приводится в действие электрическим двигателем. Сокращение сноса рабочего раствора в данных распылителях достигается за счет получения капель размерностью 200-250 микрон. В свою очередь данный фактор также можно отнести и к недостаткам данных распылителей, так как данный размер капель не является оптимальным для проникновения раствора в растения через листья и стебли.

Кроме того, активно разрабатываются различные конструкции вентиляторных опрыскивателей. Принцип работы подобных опрыскивателей заключается в формировании воздушного потока аэрозоля с помощью вентилятора и форсунок, обеспечивая распределение рабочего раствора по посадкам обрабатываемых культур. В большей степени данные модели опрыскивателей применяются для использования в садоводстве и при обработке теплиц.

К недостаткам данных систем опрыскивания следует отнести вероятность распыления препаратов за пределы обрабатываемых территорий. Также конструкция данных опрыскивателей не обеспечивает равномерное распределения аэрозоля с каплями одного размера. Кроме того, при обработке подобными машинами необходимо учитывать направление и скорость ветра, для предотвращения сноса препаратов.

Стоит отметить, что в настоящее время рядом компаний пересматривается подход к осуществлению операций по защите сельскохозяйственных угодий от сорных растений, внедряя системы сверхточного опрыскивания. В частности, швейцарская компания Ecorobotix представила сверхточный опрыскиватель ARA (приложение Б). Представленная модель опрыскивателя при помощи системы машинного зрения определяет сорные растения и при помощи форсунок осуществляет адресную обработку каждого из сорных растений. По заявлению производителя данный подход позволяет экономить до 95% гербицидов. Также следует отметить, что наличие куполов над обрабатываемой зоной препятствует сносу препарата.

В свою очередь, несмотря на имеющиеся преимущества, данный опрыскиватель имеет ряд существенных недостатков, среди которых можно отметить: низкую производительность, которая доходит до 4 га/час; ограниченность использования модели по проведению конкретной операции в виде защиты от сорняков, обработку фунгицидами или внекорневые подкормки. Кроме того, как и у штанговых опрыскивателей обработка растений на данной модели осуществляется сверху, в результате чего нижняя поверхность листьев остаётся необработанной.

В результате проведённого анализа можно отметить такие тенденции в развитии опрыскивателей, как внедрение систем точного внесения препаратов за счёт посекционного отключения форсунок опрыскивателей, автоматическая регулировка высоты форсунок над поверхностью растений, системы параллельного вождения, технологии селективного внесения препаратов. Кроме того, важно отметить, что основная масса представленных на рынке машин являются штанговыми опрыскивателями с форсунками. В результате чего обработка растений осуществляется сверху, а образуемые капли имеют дисперсность от 60 мкм, что является как правило верхним пороговым значением для размера устьиц растений, при этом стоит учитывать также тот факт, что основная их часть у картофеля находится на нижней поверхности листьев.

В связи с чем перспективным представляется разработка аэрозольного опрыскивателя пропашных культур, направленного на повышение эффективности использования применяемых препаратов, за счёт равномерного покрытия растений со всех сторон при дисперсности капель менее 60 мкм; сокращение экологической нагрузки на окружающую среду, за счёт уменьшения рисков сноса аэрозоля порывами ветра, а также снижения нормы используемых препаратов.

## **1.7 Анализ выполненных исследований**

Картофель занимает важное место в обеспечении продовольственной безопасности страны благодаря своей универсальности и способности

адаптироваться к различным условиям возделывания. В процессе изучения технологий выращивания картофеля были рассмотрены различные подходы и методы, направленные на повышение эффективности его возделывания. Исследование основных технологий возделывания картофеля, таких как Заворовская, Голландская, Гриммовская, широкорядная, а также грядовая и грядово-ленточная, позволило выявить их ключевые особенности и критерии адаптивности. Каждая из этих технологий имеет свои преимущества и ограничения, что подчёркивает необходимость тщательного выбора наиболее подходящей технологии с учётом конкретных условий и потребностей сельскохозяйственного производства [27, 35, 44, 45, 77, 173, 180, 199, 203, 213, 214].

Для повышения эффективности возделывания картофеля большое значение имеют агротехнологические приёмы, связанные с операциями по внесению удобрений и средств защиты растений. Одним из ключевых направлений в развитии данных технологий является внесение органоминеральных (гуминовых) удобрений. Их использование в агрономической практике демонстрирует значительный потенциал для снижения уровня засоления почв и восстановления их агрофизических свойств, в частности они эффективно нейтрализуют негативное воздействие высоких доз минеральных удобрений, пестицидов и ядохимикатов, способствуют оптимизации водно-воздушного режима почвы. Гуминовые вещества способствуют увеличению содержания гумуса в почвенном профиле, что приводит к улучшению структуры почвы и её способности удерживать влагу и питательные вещества, стимулируя повышение урожайности сельскохозяйственных культур и улучшая качественные характеристики получаемой продукции, что отмечается в работах Антоновой О.И., Богданчикова И. Ю., Гапеевой Н.Н., Кондратенко Е.П., Кузьмина Н.А., Лысенко Ю.А, Наими О.И., Соболевой О.М., Хусид С.Б., Чердаковой А. С., Cejkova A., Feficova D., Jirku V., Masak J., Snajdr J. и др.[18, 23, 25, 26, 81, 97, 182, 222, 251]. Так же в исследованиях Перминовой И.В., Безугловой О.С., Митрофанова С.В., Radwan E. A., El-Shall Z. S. A., Ali R. A. M., Kutlu I., Gulmezoglu N., Полиенко Е. А., Лыхман B. A., отмечается эффективность совместного внесения минеральных и

органоминеральных удобрений на различных сельскохозяйственных культурах [147, 156, 267, 279].

В свою очередь эффективность внесения органоминеральных (гуминовых) удобрений напрямую коррелирует с их качеством, которое определяется технологическими параметрами производства и применяемым оборудованием. В ходе анализа выполненных исследований установлено, что производство органоминеральных удобрений базируется на различных методах, включая химическое экстрагирование, биотехнологические, физико-химические и физические способы получения. Вопросами технологий производства органоминеральных удобрений посвящены работы Андреева А.В., Галочкина А.И., Данилова О. С., Денисюк Е. А., Дудкина Д.В., Ефанова М.В., Кляйн О. И., Константинова А. И., Куликовой Н. А., Михеева В. А., Москаленко Т.В., Рачкова А.Н., Смышляева Э. И., Соколова Г. А., Kun Wang, Liangliang Wei., Zara M. и др. [1, 2, 3, 16, 52, 54, 76, 96, 113, 115, 116, 117, 188, 230, 242, 248, 269, 298].

В связи с тем, что на качество производимых органоминеральных удобрений непосредственное влияние оказывает то технологическое оборудование, которое используется на производстве, данному вопросу уделяется значительное внимание со стороны учёных. В частности, вопросами совершенствования и разработки новых технических решений, направленных на получение органоминеральных удобрений, занимались Измайлов А.Ю., Сорокин Н.Т., Сорокин К.Н., Промтов М.А., Гайбарян М.А., Алексеев В.М., Петраков А. Д., Радченко С. М., Богословский В. Н., Аникин В. С., Аникин В. В., Srivastava K. C., Walia D. S. и др. [43, 111, 118, 122, 123, 125, 128, 133, 144, 164, 166, 189, 191, 287].

Современное и правильно подобранное оборудование позволяет обеспечить оптимальные условия для производства органоминеральных удобрений, что напрямую влияет на эффективность и безопасность конечного продукта. Кроме того, качественное оборудование способствует минимизации потерь активных веществ и улучшению однородности удобрений, что в свою очередь повышает их агрономическую ценность и экономическую выгоду для потребителей. В качестве

подхода к выбору технологического оборудования Сорокин К.Н. предлагает использовать следующую математическую модель:

$$\begin{cases} P = \sum_{j=1}^m P_j, \\ K_{ии} = (K_{ии1}, K_{ии2}, \dots, K_{ииm}), \\ Q_{тех} = \min_{i \rightarrow m}(q_1, q_2, \dots, q_m), \\ C_1 = f(T_{в}, \delta_1), \\ \delta_2 = f(C_1) \end{cases} \quad (1.1)$$

где  $P$  – потребляемая мощность электроэнергии, кВт/ч;

$P_j$  – потребляемая мощность электроэнергии  $j$ -го оборудования, кВт/ч;

$K_{ии}$  – коэффициент искусственного интеллекта модульного оборудования, предназначен для определения уровня автоматизации технологического процесса;

$Q_{тех}$  – производительность технологической линии, л/ч;

$q_i$  – производительность отдельного оборудования технологической линии, л/ч;

$m$  – количество используемого оборудования;

$C_1$  – концентрация солей гуминовых кислот в готовом продукте, г/л;

$T_{в}$  – содержание гуминовых кислот в исходном сырье, г/л;

$\delta_1$  – дисперсность используемого органического сырья, мм;

$\delta_2$  – дисперсность готового продукта, мм.

Вопросам использования современных интеллектуальных технологий в промышленном производстве, в частности в химической промышленности, а также в вопросах производства органоминеральных удобрений посвящены работы Белых С.А., Измайлова А.Ю., Сорокина К.Н.Cavalcanti F. M., Corma A., Dick S., Feng E., Gao X., Kozonoe C. E., Olayiwola T., Valeh-e-Sheyda P., Verma A. K., Yang F., Yusuf F., Zhang Z. [191, 240, 243, 246, 291, 292, 297, 299].

В работах Белых С.А. и Никитина В.С. с целью получения комплексных органоминеральных удобрений, обогащённых микроэлементами предложена математическая модель расчёта требуемого количества микроэлементов под планируемую урожайность исходя из условий возделывания [162, 273].

$$Y = \frac{A_1 X_1 (1 + X_2)}{1 + A_2 X_2 + A_3 X_1 X_2}, \quad (1.2)$$

где  $Y$  – планируемая урожайность культуры, ц/га;

$X_1$  – содержание конкретного микроэлемента в почве, мг/кг;

$X_2$  – переменная учитывающая все источники питания;

$A_1, A_2, A_3$  – коэффициенты уравнения для различных микроэлементов, определяемые в результате оценки параметров аппроксимирующей функции.

Представленная модель позволяет рассчитывать дозы внесения микроэлементов в концентрат органоминеральных удобрений исходя из содержания в нём солей гуминовых и фульвовых кислот, дальнейших способов их внесения (внутрипочвенное внесение, предпосевная обработка семян, некорневая подкормка), содержания микроэлементов в почве и вида возделываемой сельскохозяйственной культуры [162, 273].

Эффективность внесения органоминеральных удобрений зависит не только от их качества, но и от технологии внесения. Правильный выбор способа внесения удобрения, корневой или некорневой подкормки, может значительно повысить его эффективность. Таким образом, для достижения наилучших результатов в сельском хозяйстве необходимо учитывать, как характеристики самих удобрений, так и методы их использования.

Грамотный подход к внесению удобрений особенно важен при возделывании картофеля. Органоминеральные удобрения могут способствовать повышению урожайности и улучшению качества клубней. При внесении удобрений под картофель следует учитывать тип почвы, её плодородие и потребности культуры в питательных веществах на разных этапах роста. Например, на начальных стадиях развития растения требуется больше азота, а в период формирования клубней — калия и фосфора. Кроме того, важно соблюдать рекомендуемые дозы и сроки внесения удобрений, чтобы избежать негативного воздействия на окружающую среду и качество урожая [148, 152, 160, 196, 197, 228]. Изучению вопросов, связанных с возделыванием картофеля посвящены работы Аксёнова А.Г., Борычева С.Н., Бышова Н.В., Гарьяновой Е. Д., Гаджиева П.И., Горячкина В.П., Дорохова А.С., Жевора С.В., Калимулина М.Н., Калинина А. Б., Колчина Л.М., Колчина Н.Н., Костенко М.Ю., Левшина А.Г., Лобачевского Я.П., Пономарева А.Г., Сибирёва А.В., Старовойтова В.И., Старовойтовой О. А., Успенского И.А., и

др. авторов [15, 17, 19, 36, 39, 40, 41, 44, 45, 47, 67, 69, 70, 77, 79, 92, 98, 159, 167, 171, 185, 187, 195, 200, 214, 218].

Вопросы развития технических средств и технологий внесения удобрений при возделывании картофеля описаны в работах авторов, уделяющих внимание аспектам культивации почвы и внутрипочвенного внесения удобрений. Культивация почвы перед посадкой картофеля способствует улучшению её структуры, аэрации и водопроницаемости, что положительно сказывается на росте растений и усвоении питательных веществ. Внутрипочвенное внесение удобрений позволяет более точно доставлять питательные вещества к корневой системе растений, что повышает эффективность использования удобрений и способствует увеличению урожайности картофеля. Среди авторов, занимающихся этими вопросами, можно выделить следующих исследователей: Андреева К.П., Белых С.А., Гаджиева П.И., Калинина А. Б., Калугина Д.С., Личмана Г.И., Макарова В.А., Марченко А.Н., Тальвинской Н.Г., Трапезникова В.К., Chen Y., Mak J., Niedziński T., Obermayr M., Saunders C., Ucgul M. [17, 59, 60, 63, 66, 71, 72, 86, 90, 91, 95, 99, 100, 148, 154, 168, 184, 196, 213, 216, 271, 277, 278, 290].

Стоит отметить, что точное дозирование удобрений является критически важным для повышения эффективности сельскохозяйственного производства и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Развитие систем управления процессом дозирования минеральных удобрений способствует оптимизации их использования, что позволяет улучшить урожайность и снизить затраты. Исследования и разработки в этой области имеют большое значение для современного аграрного сектора. Среди учёных, занимающихся исследованием данного вопроса, можно отметить работы следующих авторов: Борычева С.Н., Костенко М.Ю., Костенко Н.А., Личмана Г.И., Милюткина В. А., Ремболовича Г.К., Рычкова В.А., Старовойтовой О.А., Тетериной О.А., Шемякина А.В., Dean B. B., Simard R.R. и др. [47, 64, 86, 169, 211, 213, 245, 273, 284].

Для повышения равномерности подачи и точности дозирования в сельском хозяйстве широко применяются шнековые дозирующие устройства. Они позволяют эффективно дозировать различные материалы, такие как семена, корма

и удобрения. Их использование позволяет оптимизировать процессы внесения удобрений, что в свою очередь способствует повышению урожайности и эффективности сельскохозяйственного производства. В свою очередь для оценки объёмной производительность шнековых устройств некоторыми исследователями предлагается использовать [64] следующую формулу:

$$V_{\text{о.ш.}} = \frac{1}{3 \operatorname{tg} \alpha_0} [a(3R_B^2 - a^2) - 3R_B^2(R_B - B)\gamma] \quad (1.3)$$

где  $\alpha_0$  – угол естественного откоса сыпучего материала, град;

$B, a, \gamma$  – параметры сыпучего тела, мм ( $\gamma$  – рад);

$R_B$  – радиус винта шнека, мм;

Несмотря на то, что внесение удобрений при возделывании картофеля является одним из определяющих факторов, оказывающих непосредственное влияние на урожайность культуры, следует отметить имеющиеся данные о получении положительного эффекта от внесение органоминеральных удобрений в период вегетации. Оно позволяет обеспечить растения необходимыми питательными веществами в нужный момент, что способствует повышению урожайности и улучшению качества продукции. Аэрозольное внесение органоминеральных удобрений (гуминовых) в сочетании со средствами защиты растений помогает укрепить иммунитет картофеля, снизить стресс и повысить его устойчивость к вредителям и болезням. Это особенно важно в условиях интенсивного сельскохозяйственного производства, где использование пестицидов может привести к накоплению вредных веществ в почве и растениях. Результаты исследований использования органоминеральных удобрений в процессе вегетации отражены в работах следующих авторов: Бутова А.В., Ермакова Е.И., Зинченко В.А., Кадырова С. В., Коновалова Н. Н., Корсакова К. В., Перминовой И.В., Попова А.И., Пронько В. В., Степченко Л.М, Bertling I., Mbuyisa S., Ramos M. E., Wraight S. P. И др. [28, 33, 53, 58, 65, 68, 147, 156, 274, 296].

Таким образом, аэрозольное внесение органоминеральных удобрений является перспективным направлением в агротехнике картофеля, которое позволяет повысить экологичность производства, эффективность использования

удобрений и средств защиты растений, а также качество и безопасность сельскохозяйственной продукции. Работы следующих учёных посвящены исследованию и разработке технических средств для осуществления аэрозольных обработок: Гордеенко О. В., Дресвянниковой Е. В. Зиганшина Б. Г., Иванова Б. Л., Кота Т. П., Крук И. С., Лекомцева П. Л., Манохиной А. А., Мишурева Н. П., Старовойтова В. И. и др. [34, 46, 80, 84, 149, 155, 202, 213, 287]. При этом важное внимание уделяется интеграции новых устройств с существующими сельскохозяйственными машинами и системами точного земледелия, а также обеспечению безопасности и экологичности технологий, минимизируя рисков загрязнения окружающей среды.

Следует отметить, что эффективность применения технических средств для осуществления аэрозольной обработки сельскохозяйственных культур во многом зависит от степени неравномерности распределения защитно-стимулирующих препаратов по поверхности растения. Для оценки полноты покрытия обрабатываемой поверхности каплями рядом исследователей предлагается использовать [104] следующее выражение:

$$\Pi = 1,5 \cdot Q_1 \cdot \sum_{i=1}^{i=4} \frac{\psi_i}{d_{ki}^3} \cdot 10^{-2} \quad (1.4)$$

где  $\Pi$  – полнота покрытия, %;

$Q$  – минутный расход рабочей жидкости, л/мин;

$\psi_i$  – доля капель данного класса в факеле распыленной жидкости;

$d_{ki}$  – средний диаметр капли в данном классе, мм.

В результате проведённого анализа можно говорить о том, что разработка современных технических средств по производству и внесению органоминеральных удобрений при возделывании картофеля является актуальной задачей направленной на повышение урожайности и качества продукции. Интеграция новых устройств с существующими сельскохозяйственными машинами и системами точного земледелия позволяет повысить эффективность использования удобрений и экологичность производства. Аэрозольное внесение органоминеральных удобрений в период вегетации картофеля также

демонстрирует положительный эффект, укрепляя иммунитет растений и повышая их устойчивость к вредителям и болезням. Это направление является перспективным для дальнейшего исследования и разработки технических средств.

Таким образом, продолжение разработок в области производства и внесения органоминеральных удобрений, а также повышение эффективности внесения минеральных удобрений и препаратов для защиты растений при возделывании картофеля имеет большое значение для повышения эффективности сельскохозяйственного производства и обеспечения продовольственной безопасности.

## **Выводы по первой главе**

1. Проведённый анализ показал, что технологии производства органоминеральных удобрений зависят от многих факторов, включая доступность сырья, требования к качеству продукта, экономических соображениях и экологических аспектов. В свою очередь качество производимых органоминеральных удобрений необходимо обеспечивать за счет соответствия требуемым показателям на каждом этапе производственного процесса. Несмотря на широкий выбор технологического оборудования для производства органоминеральных удобрений, существует потребность в его дальнейшем совершенствовании, особенно в области очистки от балластного остатка и автоматизации процессов добавления щёлочи.

2. Анализ применения органоминеральных удобрений показал, что необходимо разработать научно обоснованные технологии рационального использования органоминеральных удобрений, так как большинство существующих способов их внесения относятся к интенсивному земледелию и не соответствуют принципам экологизации сельского хозяйства и перехода к высокопродуктивному органическому земледелию.

3. Проведенный анализ показал, что несмотря на имеющиеся технические средства для внутрипочвенного внесения удобрений у существующих моделей

имеется ряд ограничений, не позволяющих полноценное их использование при возделывании картофеля. В связи с чем разработка культиваторов-подкормщиков для возделывания пропашных культур с акцентом на инновационные технические решения в области совместного внесения различных видов удобрений, их дозирования, подачи и распределения в почве является перспективным направлением исследований.

4. Проведенный анализ показал, что перспективным представляется разработка аэрозольного опрыскивателя пропашных культур, направленного на повышение эффективности использования применяемых препаратов, за счёт равномерного покрытия растений со всех сторон при дисперсности капель менее 60 мкм; сокращение экологической нагрузки на окружающую среду, за счёт уменьшения рисков сноса аэрозоля порывами ветра, а также нормы используемых препаратов.

## **1.8 Анализ проблемы, постановка цели и задач исследований**

На основе вышеизложенного можно отметить, что повышение результативности возделывания картофеля в результате эффективного внесения минеральных удобрений и пестицидов при его возделывании, а также обеспечение экологической безопасности, возможно за счёт совместного использования органоминеральных (гуминовых) удобрений и совершенствования технических средств производства и внесения.

Вышесказанное позволяет сформулировать научную проблему, заключающуюся в недостаточной изученности и разработанности комплексных подходов к производству и внесению органоминеральных (гуминовых) удобрений с внедрением современных технических средств, которые бы обеспечивали оптимальное использование питательных веществ, способствуя повышению урожайности и качества возделываемого картофеля, с учётом необходимости минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

В результате можно сформулировать научную гипотезу: получение стабильного урожая качественного картофеля, возможно на основе комплексного подхода подготовки органоминеральных удобрений к совместному внесению с минеральными удобрениями и пестицидами, а также совершенствования технических средств внесения.

Цель исследования – совершенствование технических средств подготовки и внесения органоминеральных удобрений, направленное на повышение результативности возделывания картофеля.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить основные подходы к совершенствованию подготовки и внесения органоминеральных удобрений при возделывании картофеля.
2. Обосновать параметры технических средств для подготовки органоминеральных удобрений.
3. Обосновать параметры технических средств для совместного локально-ленточного внесения органоминеральных и минеральных удобрений.
4. Обосновать параметры технических средств для совместного внесения аэрозоля органоминеральных удобрений и пестицидов.
5. Провести технико-экономическую оценку технических средств для подготовки и внесения органоминеральных удобрений при возделывании картофеля.

## **2. АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

### **2.1 Теоретические предпосылки к совершенствованию подготовки органоминеральных удобрений**

При получении гуминовых удобрений и препаратов необходимо уделять особое внимание качественным характеристикам конечного продукта. В настоящее время при оценке качества гуминовых препаратов обращают внимание на следующие их характеристики: содержание балластного остатка; содержание гуминовых и фульвокислот; уровень рН.

Содержание нерастворимого балластного остатка в органоминеральных удобрениях способно оказать негативное влияние на их эффективность и безопасность. Наличие балластных примесей может способствовать образованию плёнок на поверхности почвы или листьев растений, препятствуя доступу питательных веществ к корням или листьям. Кроме того, чем меньше балластных веществ, тем выше концентрация полезных компонентов, таких как гуминовые и фульвокислоты в конечном продукте, что также может способствовать более выраженному положительному эффекту от внесения удобрений.

Стоит учитывать тот факт, что при внесении органоминеральных удобрений при вегетационной обработке с использованием опрыскивателей с форсуноками определённого диаметра сечения в случае наличия балластных частиц в рабочем растворе необходимо учитывать их размер и размер пропускного отверстия форсунок. Если частицы слишком крупные, они могут забивать форсунки, что приведёт к неравномерному распределению удобрения и снижению эффективности обработки.

Таким образом, эффективная очистка органоминеральных удобрений от балластного остатка является важным этапом их подготовки. Данный этап позволяет повысить качество продукции, её эффективность и безопасность, а также улучшить репутацию производителя на рынке.

Проведённый анализ технологий производства органоминеральных удобрений, показывает, что для очистки получаемых препаратов используются различные подходы к очистке от балластного остатка, в частности: отстаивание, фильтрация с использованием кассетных фильтров, центрифугирование и др. Рассмотрим более подробно некоторые из используемых подходов.

Одним из самых примитивных подходов к удалению нерастворимого балластного остатка при производстве органоминеральных удобрений является технология отстаивания. Согласно данному подходу, полученная партия удобрений оставляется от нескольких часов до нескольких суток в накопительной ёмкости до момента осаждения нерастворимого балластного остатка [106, 131]. При этом скорость оседания будет зависеть от таких параметров как объём полученного продукта, степень измельчения частиц балластного остатка, плотность раствора и др. Стоит отметить, что данный способ очистки требует меньших финансовых затрат на его реализацию, при этом одним из основных недостатков данного способа является низкая скорость и неэффективность процесса очистки, особенно при работе с мелкими частицами балластного остатка, которые могут долго оставаться во взвешенном состоянии. Кроме того, метод отстаивания занимает много времени и требует значительных производственных площадей для размещения накопительных ёмкостей.

Широкое распространение в технологии производства органоминеральных удобрений получил подход с использованием кассетных фильтров. Степень очистки при данном подходе зависит в первую очередь от размерности фильтрующих элементов, используемых в них. Использование подобных фильтров способствует увеличению производительности технологических линий, позволяя обеспечить поточную работу [109, 110, 115, 119, 126]. Однако данные фильтрующие системы имеют определённые недостатки, связанные с необходимостью регулярной замены или очистки фильтрующих элементов, так как по мере заполнения фильтра частицами балластного остатка эффективность фильтрации снижается. В результате возникают перерывы в работе технологического процесса из-за простоя оборудования, что приводит к

дополнительным затратам на обслуживание. Кроме того, при наличии в потоке крупных частиц, способных повредить структуру фильтрующего элемента могут возникнуть проблемы связанные с эффективностью работы фильтровальной системы и сроком её службы [193, 204].

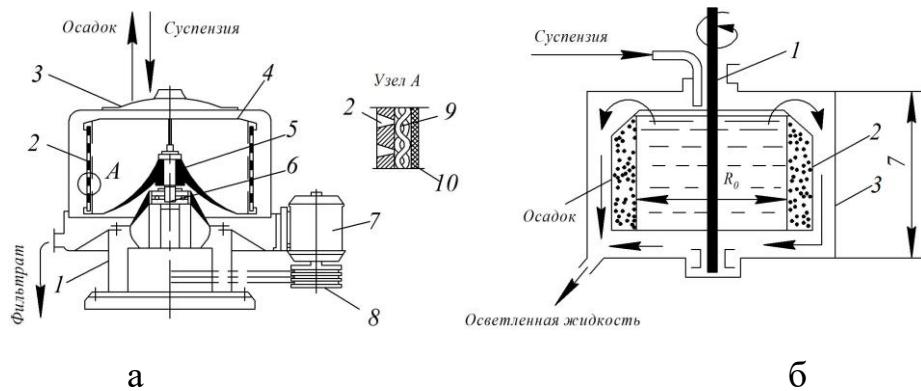
Для очистки жидких фракций от различных твердых примесей в промышленности широко используются гидроциклоны. Несмотря на достаточно простую конструкцию они обеспечивают сложный гидродинамический процесс. Тurbulentный режим течения жидкости в аппарате способствует явлению турбулентной диффузии, которая оказывает значительное влияние на разделяющую способность гидроцикла. Это делает гидроциклоны особенно эффективными для очистки органоминеральных удобрений, поскольку они способны эффективно отделять балластные примеси. Кроме того, гидроциклоны не имеют фильтрующих элементов, что исключает необходимость их регулярной замены или очистки. Это не только снижает эксплуатационные расходы, но и обеспечивает непрерывность процесса очистки, повышая производительность и эффективность работы оборудования [193, 204].

Среди недостатков гидроциклонов следует отметить зависимость качества очистки от изменения параметров процесса, в частности существенное влияние могут оказать такие факторы, как вязкость и плотность жидкости, размер и плотность частиц примесей. Изменения этих параметров могут потребовать корректировки настроек системы очистки для поддержания требуемой производительности. Следует обратить внимание также на то, что гидроциклоны эффективны для отделения большинства твёрдых примесей, при этом они могут быть менее эффективны при работе с очень мелкими частицами, которые могут оставаться во взвешенном состоянии и проходить через устройство вместе с очищенной жидкостью. Однако несмотря на имеющиеся недостатки использование гидроциклонов в подготовке органоминеральных удобрений имеет значительные перспективы, так как позволяет повысить качество продукции и эффективность производственных процессов.

В свою очередь для эффективного выделения балластных частиц, в том числе и мелкой фракции, из растворов биологически активных веществ, успешно используют центробежное поле. Аппараты, в которых осуществляют разделение неоднородных систем в центробежном поле, называются центрифугами и сепараторами. Такие аппараты широко используются в биотехнологической, пищевой, химической промышленности и других областях.

Метод центрифugирования используется для разделения неоднородных систем и основан на воздействии центробежного силового поля. Этот процесс позволяет эффективно отделять частицы размером от 25 мм до 0,5 мкм. Центрифugирование обеспечивает более быстрое и полное разделение по сравнению с другими методами.

Существуют два основных способа центробежного разделения жидких систем: центробежное фильтрование и центробежное осаждение. Фильтрующие центрифуги оснащены перфорированным ротором с фильтровальной перегородкой, через которую проходит жидкость, а твёрдые частицы оседают на фильтрующем материале. Осадок в подобных устройствах может выгружаться во время вращения ротора или после его остановки.



а - фильтрующая центрифуга периодического действия: 1 - статина; 2 - перфорированный барабан; 3 - крышка; 4 - кожух; 5 - ступица; 6 - подшипник; 7 - электродвигатель; 8 - шкив с ремённой передачей; 9 - дренажная сетка; 10 - фильтрующая ткань. б - центрифуга отстойного типа: 1 - вал; 2 - барабан; 3 – корпус

Рисунок 2.1 – Примеры принципиальных схем центрифуг различного типа

Отстойные центрифуги имеют сплошной ротор, в котором под действием центробежной силы тяжёлые твёрдые частицы оседают на стенках в виде

кольцевого слоя, а жидкий компонент образует отдельный слой ближе к оси вращения. Жидкость отводится из ротора через перелив или отсос, а осадок выгружается во время работы или после остановки машины.

По сравнению с фильтрами центрифуги имеют следующие преимущества, обуславливающие их большое распространение: а) высокая интенсивность процесса за счет больших значений фактора разделения; б) компактность (в отличие от фильтров, не требуется вспомогательное оборудование для поддержания движущей силы процесса вакуум-насосов, насосов); в) большие возможности механизации, автоматизации процесса; г) меньшие требования к суспензии и осадку. Основным же их недостатком является высокая стоимость, связанная со сложностью конструкции и высокими требованиями к точности изготовления элементов.

Одним из ключевых аспектов качества органоминеральных удобрений является содержание гуминовых и фульвокислот, а также уровень pH. Эти параметры напрямую влияют на эффективность усвоения питательных веществ растениями и общее состояние почвы.

Исходя из проведенного анализа технологий производства органоминеральных удобрений (подраздел 1.2), можно отметить, что на уровень данных показателей непосредственное влияние оказывают такие исходные параметры как качество исходного сырья, способ производства, соотношение используемого экстрагента и реагента, продолжительность процесса извлечения и другие. Результаты, описывающие эффективность извлечения гуминовых кислот на примере ряда патентов представлены в таблице 2.1.

Согласно проведённому анализу открытых источников, описывающих технологии производства органоминеральных удобрений, процесс их получения основывается как правило на устоявшейся рецептуре, строго по технологическим картам с использованием устоявшихся пропорций сырья, реагента, воды и т.д. С возможным промежуточным контролем уровня pH, температуры и содержания гуминовых веществ в конечном продукте.

Таблица 2.1 – Эффективность извлечения гуминовых кислот в зависимости от используемого сырья, реагентов и технологий извлечения

Сырьё	Содержание ГК в сырье, %	Реагент	Масса реагента на 1 кг сырья, гр	Технология	Содержание ГК в конечном продукте, %	pH	Источник
Бурый уголь Ленского бассейна	21,2	NaOH	624	Выщелачивание	86,6		[113]
Бурый уголь Ленского бассейна	21,2	KOH	903	Выщелачивание	85,3		[113]
Бурый уголь	80,2	NaOH	83	Сухое смешивание	74,6	9,3	[118]
Бурый уголь	-	NH <sub>4</sub> OH	30	Выщелачивание	18,9	7,23	[122]
Торф	-	KOH +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	Выщелачивание с электролизом	1,21	10	[123]
Торф	-	NaOH	120	Выщелачивание	3,6	7,15	[116]
Бурый уголь + торф + Внепечная пыль	-	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + (NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	50 + 280 + 100	Выщелачивание	19,2	-	[111]
Бурый уголь + торф + Внепечная пыль	-	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + (NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	60 + 220 + 100	Выщелачивание	18,8	-	[111]
Уголь + Опилки	78,8	NaOH	421	Выщелачивание	2,4	-	[117]
Уголь + Опилки	78,8	NaOH	233	Выщелачивание	4,3	-	[117]
Уголь + Опилки	78,8	NaOH	107	Выщелачивание	9,4	-	[117]
Бурый малозольный уголь	40	KOH	30	Выщелачивание	40	-	[135]

Однако, как уже отмечалось ранее содержание гуминовых веществ в конечном продукте во много определяется его исходным значением в используемом сырье. При этом следует отметить, что содержание гуминовых веществ в сырье может варьироваться от поставки к поставке, а также в случае изменения поставщика. В связи с чем на производствах возникает необходимость проведения дополнительных исследований, направленных на поиск рациональных параметров для вновь поступающей партии сырья и последующий корректировки технологического процесса.

В свою очередь в современном производстве находят всё большее применение технологии на базе искусственных нейронных сетей. В химической промышленности нейронные сети используются для прогнозирования молекулярных свойств, диагностики неисправностей и прогнозного управления технологическими процессами. Кроме того, нейронные сети помогают в оптимизации процессов, включая термодинамику и явления переноса, а также в анализе и оптимизации каталитических процессов [240].

В области термодинамики и явлений переноса нейронные сети позволяют более точно прогнозировать фазовое равновесие и коэффициенты переноса в различных химических системах. С их помощью осуществляют оценку теплофизических свойств ионных жидкостей. Они позволяют ускорить расчёты и улучшить точность прогнозирования по сравнению с традиционными методами [246, 292, 297].

Кинетика и катализ также активно используют нейронные сети для определения взаимосвязи между структурой катализатора и его активностью, оптимизации каталитической активности и прогнозирования результатов каталитических реакций. Это особенно важно в условиях растущего спроса на эффективное использование ресурсов и разработку новых катализаторов [240, 243, 291].

Анализ и оптимизация процессов с помощью нейронных сетей позволяют моделировать и прогнозировать различные промышленные

процессы, выявлять оптимальные параметры и тенденции, что способствует повышению эффективности и снижению затрат. Кроме того, использование нейронных сетей для обнаружения и диагностики неисправностей, контроля качества и замены сложных феноменологических моделей способствует обеспечению безопасности и повышению эффективности управления технологическим процессом [240, 299].

Использование нейронных сетей при подготовке органоминеральных удобрений является перспективным направлением развития. Они могут быть использованы для улучшения состава удобрений, прогнозирования их эффективности и разработки новых методов производства. Нейронные сети способны анализировать большие объёмы данных о свойствах гуминовых кислот и других компонентов удобрений, что позволит создавать более эффективные и экологически безопасные продукты. Кроме того, они могут помочь в выявлении оптимальных условий для синтеза и внесения гуминовых удобрений, что повысит их качество и урожайность сельскохозяйственных культур [207].

В связи с вышеизложенным можно отметить, что при разработке способа подготовки органоминеральных удобрений необходимо уделять особое внимание процессам очистки получаемого продукта, в частности следует обратить внимание на использование многоступенчатых систем очистки. Кроме того, применение современных цифровых технологий способно обеспечить повышение эффективности подготовки и качества получаемой продукции. Таким образом, разработка способа подготовки органоминеральных удобрений и линии с использованием современных технических решений является актуальной задачей, решение которой позволит обеспечить получение продукции отвечающей высоким стандартам качества и экологической безопасности. Это, в свою очередь, будет способствовать развитию сельского хозяйства и повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

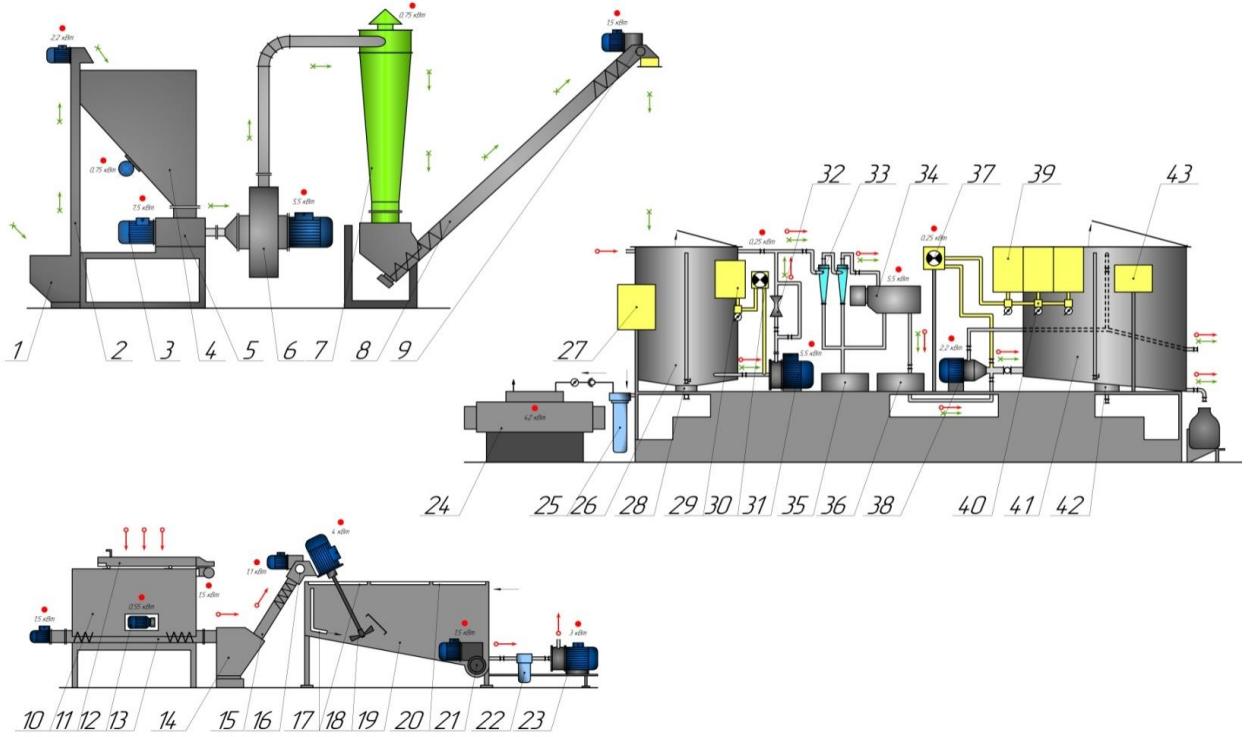
## **2.2 Конструктивно-технологическая схема линии подготовки органоминеральных удобрений**

Для подготовки органоминеральных удобрений из органического сырья была разработана конструктивно-технологическая схема линии подготовки органоминеральных удобрений (рисунок 2.2). Она включает в себя: измельчитель молоткового типа, шнековый транспортер, накопительный бункер для органического сырья, с установленными на нем вибросепаратором, шнековый транспортер, гидромеханический узел предварительной подготовки сырья, оборудованный проточным водонагревателем, лопастным смесителем и циркуляционным насосом, реактор, емкость для раствора щелочи, насос-дозатор, датчик уровня pH, дезинтегратор, кавитатор, батарею гидроциклонов, центрифугу, емкости для микроэлементов, насосы-дозаторы микроэлементов, накопительную ёмкость [136, 145].

В процессе подготовки органоминеральных удобрений на представленной линии используемое сырье проходит предварительную подготовку. При использовании торфа, сапропеля или биогумуса сырьё подвергается предварительной очистке от песка и других нерастворимых включений, при использовании бурого угля его необходимо измельчить до фракции 0,5 – 1 мм.

Далее процесс подготовки органоминеральных удобрений происходит по одному из следующих сценариев.

При использовании в качестве гуматосодержащего сырья бурый уголь, его фракцию размером не более 5-10 мм подают в измельчитель молоткового типа, где происходит его измельчение до фракции 0,5 – 1 мм. Затем при помощи шнекового транспортера измельченный материал поступает в накопительный бункер, в данном случае вибросепаратор находится в нерабочем (поднятом) положении, после заполнения накопительного бункера подача измельченного бурого угля прекращается и измельчитель отключается.



1 - приемный бункер сырья; 2 - нория загрузки сырья; 3 - площадной вибратор; 4 - бункер; 5 - измельчитель сырья; 6 - вентилятор высокого давления; 7 - циклон-пылеуловитель; 8 - шнек винтовой; 9 - весовой дозатор; 10 - емкость сепаратора; 11 - лоток сепарации; 12 - вибратор площадочный; 13 - шнек выгрузки сырья; 14 - бункер приема сырья; 15 - шнек подачи сырья; 16 - весовой дозатор сырья; 17 - гидродинамическая барботажная линия; 18 - смеситель механический, лопастной; 19 - емкость гидратации; 20 - крышки укрывные; 21 - шнек выгрузки балластной части; 22 - фильтр грубой очистки; 23 - гидродинамический измельчитель; 24 - проточный водонагреватель; 25 - узел подготовки воды; 26 - емкость реактора; 27 - силовой шкаф с пультом управления приводами; 28 - шлюзовый затвор очистки реактора; 29 - емкость щелочного раствора; 30 - насос-дозатор для ввода щелочи; 31 - дезинтегратор; 32 - кавитатор; 33 - батарея гидроциклонов; 34 - центрифуга; 35 - ёмкость для сбора балластной части; 36 - промежуточная ёмкость; 37 - диафрагменный насос подачи микродобавок; 38 - рециркуляционный насос; 39 - ёмкости микродобавок; 40 - электромагнитные краны управления выдачи микродобавок; 41 - накопительная емкость; 42 - шлюзовый затвор очистки накопительной ёмкости; 43 - пост компьютерного управления процессом дозирования микродобавок

Рисунок 2.2 – Схема линии подготовки органоминеральных удобрений

Далее в реактор осуществляется подача воды температурой 70-80 °C, нагрев которой осуществляется при помощи установленного проточного водонагревателя. Выбор данного температурного режима обусловлен более интенсивным образования солей гуминовых и фульвокислот в процессе диспергирования. После заполнения реактора водой на 2/3 от требуемого объёма запускается процесс подачи измельченного бурого угля при помощи

шнекового транспортера из накопительного бункера, одновременно с этим производится запуск дезинтегратора, который осуществляет перекачивание суспензии по замкнутому циклу реактор- дезинтегратор-кавитатор-реактор. В процессе работы дезинтегратора происходит активное образование солей гуминовых и фульвовых кислот за счёт гравитационных процессов, происходящих с суспензией внутри него. Подача подогретой воды и бурого угля прекращается при достижении заданного соотношения. После чего осуществляется дифференцированное введение в суспензию 50% раствора KOH из емкости для раствора щелочи при помощи насоса дозатора, при этом норма внесения щелочи определяется на основе показаний датчика уровня pH на основе результатов моделирования нейронной сети. Дозирование щёлочи происходит до момента прекращения активного образования солей гуминовых и фульвовых кислот. После прекращения активного образования солей гуминовых и фульвовых кислот и стабилизации среды, дезинтегратор прекращает работу по замкнутому циклу реактор- дезинтегратор-кавитатор-реактор и начинает подачу суспензии на батарею гидроциклонов, где происходит стадия грубой очистки, после чего суспензия поступает в центрифугу, где происходит стадия тонкой очистки. В итоге на выходе из центрифуги получаются безбалластные органоминеральные удобрения, которые подаются в накопительную ёмкость. При необходимости получения комплексных органоминеральных удобрений в процессе подачи безбалластных органоминеральных удобрений в накопительную ёмкость, осуществляется дозирование необходимых микроэлементов из емкостей для микроэлементов при помощи насосов дозаторов непосредственно в поток безбалластных органоминеральных удобрений поступающий из центрифуги в накопительную ёмкость, что способствуют лучшему смешиванию микроэлементов и органоминеральных удобрений [136, 193, 201, 204, 288].

При использовании в качестве гуматосодержащего сырья торфа, сапропеля или биогумуса, к нему предъявляются требования по исходной влажности, которая не должна превышать 30 %. Используемое сырьё

предварительно поступает на вибросепаратор, для проведения его очистки от балластных примесей размерностью более 4 мм, просеянное сырье поступает в накопительный бункер, после заполнения которого происходит прекращение подачи сырья и остановка вибросепаратора. Перед подачей сырья в реактор оно проходит дополнительную очистку от песка и других нерастворимых примесей в гидромеханическом узле предварительной подготовки сырья. Для этого в гидромеханический узел предварительной подготовки сырья подаётся подогретая до температуры 70 – 80 °С вода, нагрев которой осуществляется при помощи установленного проточного водонагревателя. При заполнении ёмкости предварительной подготовки на 2/3 водой начинается подача шнековым транспортером просеянного сырья из накопительного бункера одновременно с этим включается лопастной смеситель и циркуляционный насос работающий по замкнутому циклу гидромеханический узел предварительной подготовки сырья -циркуляционный насос - гидромеханический узел предварительной подготовки сырья. Совместная работа лопастного смесителя и циркуляционного насоса обеспечивает интенсивное отделение песка и других нерастворимых включений от рабочей суспензии. При достижении в гидромеханическом узле предварительной подготовке сырья необходимого соотношения воды и гуматосодержащего сырья происходит прекращение их подачи. При этом процесс работы лопастного смесителя и циркуляционного насоса продолжается ещё в течении 15 – 25 минут, после чего происходит их отключение. Затем суспензия отстаивается в течении 5 минут, после чего включается циркуляционный насос и осуществляет перекачку суспензии в реактор, после завершения перекачки циркуляционный насос отключается и включается дезинтегратор работающий по циклу реактор-дезинтегратор-кавитатор-реактор. Одновременно осуществляется дифференцированное введение в суспензию 50% раствора KOH из емкости для раствора щелочи при помощи насоса дозатора, при этом норма внесения щелочи определяется на основе показаний датчика уровня pH на основе результатов моделирования нейронной сети.

Дозирование щёлочи происходит до момента прекращения активного образования солей гуминовых и фульвовых кислот. После прекращения активного образования солей гуминовых и фульвовых кислот и стабилизации среды, дезинтегратор прекращает работу по замкнутому циклу реактор-дезинтегратор-кавитатор-реактор и начинает подачу суспензии на батарею гидроциклонов, где происходит стадия грубой очистки, после чего суспензия поступает в центрифугу, где происходит стадия тонкой очистки. В итоге на выходе из центрифуги получаются безбалластные органоминеральные удобрения, которые подаются в накопительную ёмкость [136, 193, 204, 288].

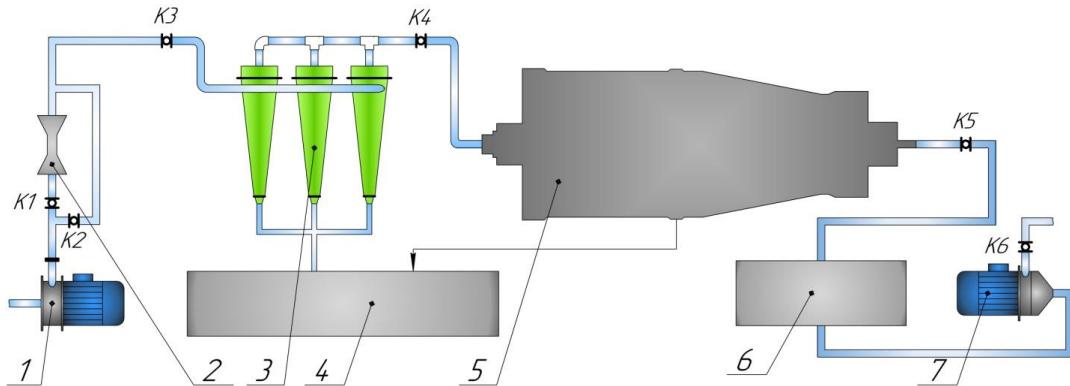
Использование предлагаемой линии и описанного способа производства органоминеральных удобрений позволит обеспечить получение удобрений из различных видов органического сырья, с высокой степенью очистки конечного продукта. Кроме того, использование современных подходов к дозированию и контролю качества, в частности внедрение датчиков контроля уровня pH, систем машинного обучения, позволит повысить точность и надёжность процесса, что обеспечит стабильную подготовку высококачественных удобрений.

## **2.3 Теоретическое обоснование параметров технических средств подготовки органоминеральных удобрений**

### **2.3.1. Обоснование системы очистки органоминеральных удобрений от нерастворимых примесей**

На основе проведённого анализа технологий и технических средств производства органоминеральных удобрений, в ходе разработки линии подготовки органоминеральных удобрений, с целью повышения качества конечного продукта, было принято решение о использовании двухступенчатой системы очистки (рисунок 2.3).

Согласно описанному способу после осуществления в реакторе экстракции солей гуминовых и фульвовых кислот, суспензия поступает на батарею гидроциклонов, где осуществляется её первичная очистка, за счёт отделения и осаждения нерастворимых балластных примесей.



1 - дезинтегратор; 2 - кавитатор; 3 - батарея гидроциклонов; 4 - емкость для сбора балластного остатка; 5 - центрифуга; 6 – промежуточная ёмкость; 7 - циркуляционный насос; K1- K6 - технологические краны

Рисунок 2.3 - Схема двухступенчатой системы очистки

органоминеральных удобрений

Разделяемая суспензия поступает в гидроциклон через входной патрубок, приобретая тангенциальное движение, в результате чего возникают значительные центробежные силы. Под действием возникающей центробежной силы, во много раз превышающей значение силы тяжести, более тяжёлая фаза суспензии, включающая в себя нерастворимые примеси, движется от центра к стенкам гидроциклона по спирали вниз и затем выходит через нижнюю насадку. В свою очередь более лёгкая часть суспензии, являющаяся раствором солей гуминовых и фульвовых кислот, перемещается во внутреннем спиральном потоке, направленном вверх, и покидает гидроциклон через патрубок для отвода очищенного продукта [22].

В свою очередь качество очистки суспензии будет определяться минимальным диаметром балластных частиц, улавливаемых гидроциклоном, данный показатель можно определить, как [22]:

$$d_{б.ч.} = \sqrt{\frac{K \cdot \mu_{cyc}}{L_{гц} \left( \frac{\rho_{б.ч.} - \rho_{cyc}}{\rho_{cyc}} \right) \cdot \Delta \rho_{гц}}} \quad (2.1)$$

где  $K$  – коэффициент эффективности гидроциклона;

$\mu_{cyc}$  – вязкость суспензии, Па·с;

$L_{cyc}$  – рабочая длина гидроциклона, м;

$\rho_{б.ч.}$  – плотность балластных частиц, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{cyc}$  – плотность суспензии, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta \rho_{гц}$  – гидравлическое сопротивление гидроциклона, Н/м<sup>2</sup>;

$Q_{cyc}$  – производительность гидроциклона, м<sup>3</sup>/с.

Производительность гидроциклона можно определить, как [22, 153]:

$$Q_{гц} = 0,485 \cdot k_D \cdot k_\alpha \cdot d_{пит} \cdot d_{сл} \sqrt{P_{пит}} \quad (2.2)$$

где  $k_D$  – коэффициент, учитывающий диаметр гидроциклона;

$k_\alpha$  – коэффициент, учитывающий конусность гидроциклона;

$d_{пит}$  – диаметр питающего отверстия, м;

$d_{сл}$  – диаметр сливного отверстия, м;

$P_{пит}$  – питающее давление, Па.

Диаметр сливного отверстия можно определить исходя из следующих параметров [22, 29]:

$$d_{сл} = 0,34 \cdot D_{цик} \quad (2.3)$$

Коэффициент, учитывающий диаметр гидроциклона описывается формулой [22, 153]:

$$k_D = 0,8 + \frac{1,2}{1+10 \cdot D_{цик}}; \quad (2.4)$$

где  $D_{цик}$  – диаметр гидроциклона, м;

Коэффициент, учитывающий конусность гидроциклона, описывается формулой [22, 153]:

$$k_\alpha = 0,79 + \frac{0,044}{0,0379 + \tan^2 \alpha_k / 2}; \quad (2.5)$$

где  $\alpha_k$  – угол конусности, град.

Как правило в конструкции гидроциклонов используются углы конусности 10 и 20 градусов. При использовании гидроциклона с углом конусности 20° минимальное значение балластных частиц, которые будут отфильтрованы гидроциклоном можно определить по следующей формуле [22, 153]:

$$d_{min\ 6.\text{ч.}} = 0,479 \sqrt{\frac{d_{сл}\cdot D_{цик}\cdot a}{d_{пес}\cdot \sqrt{P_{пит}}\cdot (\rho_{б.ч.}-\rho_{сус})}} \quad (2.6)$$

где  $a$  – содержание балластной части в суспензии, %;

$d_{пес}$  – диаметр песковой насадки, м.

Подставив в выражение (2.6) значение выражения (2.3) определим необходимый диаметр гидроциклона:

$$D_{цик} = \sqrt{\frac{d_{min\ 6.\text{ч.}}^2 \cdot d_{пес} \cdot \sqrt{P_{пит}} \cdot (\rho_{б.ч.}-\rho_{сус})}{0,078 \cdot a}} \quad (2.7)$$

Питающее давление будет определяться, как:

$$P_{пит} = \frac{H_{дез} \cdot \rho_{сус} \cdot g \cdot A_{сус}}{\eta_{дез}}; \quad (2.8)$$

где  $H_{дез}$  – напор создаваемый дезинтегратором, м;

$A_{сус}$  – расход суспензии, м<sup>3</sup>/с;

$\eta_{дез}$  – КПД дезинтегратора.

Степень очистки раствора органоминеральных удобрений в первую очередь зависит от планируемой технологии их использования. При внесении гуминовых удобрений при помощи штанговых опрыскивателей размерность балластных частиц не должна превышать размерность формируемых капель, находящихся в диапазоне от 80 до 360 мкм [80]. Задавшись минимальным значением размерности частиц балластной части и режимов работы гидроциклона на основе выражения (2.7), определим рациональный диаметр гидроциклона.

Для построения в программе MathCad графика зависимости диаметра гидроциклона от рабочего давления в системе и диаметра песковой насадки были приняты следующие исходные параметры: диаметр минимальной балластной части, которая будет отфильтрована составлял 100 мкм; плотность

балластной частицы – 1520 кг/м<sup>3</sup>; плотность воды для создания суспензии – 1000 кг/м<sup>3</sup>; наличие балластных примесей – 8%; диаметр песковой насадки варьировался от 0,005 до 0,025 м.

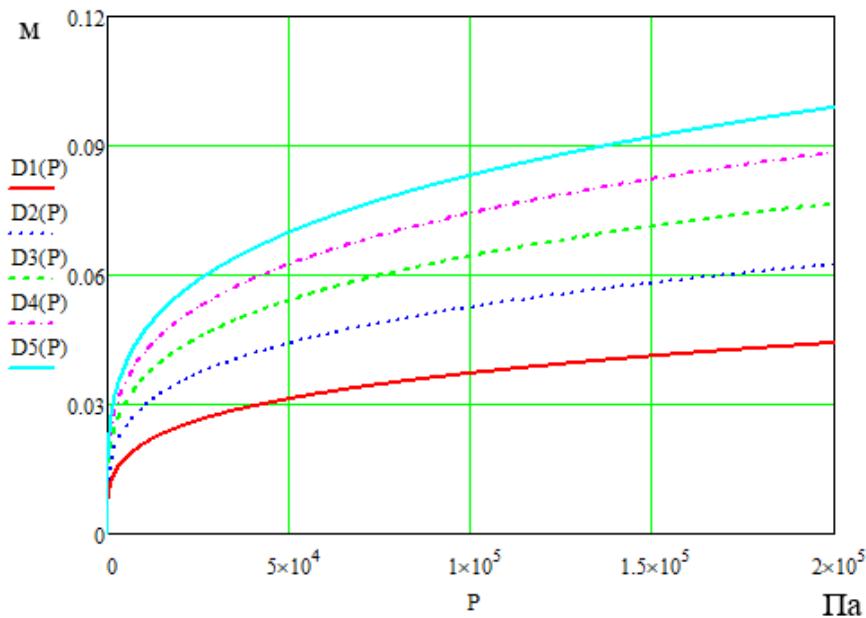


Рисунок 2.4 – зависимость диаметра гидроциклона от питающего давления в системе и диаметра песковой насадки

Анализ рисунка 2.4 показал, что для полноценной очистки проходящей суспензии от балластных частиц диаметром более 100 мкм, диаметр гидроциклона должен находиться в пределах от 0,06 до 0,09 м при питающем давлении от  $1,2 \cdot 10^5$  до  $2,0 \cdot 10^5$  Па.

На основании полученных результатов математического анализа были выбраны параметры гидроциклона, приведённые в ГОСТ 10718-81 и ТУ 48-1313-59-89: диаметр гидроциклона ( $D_{цик}$ ) – 75 мм; диаметр питающего отверстия ( $d_{num}$ ) – 17 мм; диаметр сливного отверстия ( $d_{cl}$ ) – 22 мм; диаметр песковой насадки ( $d_{nec}$ ) может составлять 8; 12; 17 мм, что также соответствует полученным результатам.

После прохождения первой ступени очистки, в виде гидроциклонов, раствор солей гуминовых и фульвовых кислот поступает на вторую ступень очистки, представленную центрифугой. При этом для более высокой степени очистки может быть использован сепаратор тарельчатого типа.

Жидкостные сепараторы находят применение в различных отраслях промышленности, таких как очистка сточных вод, медицинская и пищевая промышленность. Они могут быть использованы для обработки гуминовых удобрений, что позволяет очищать их от примесей и улучшать качество. Благодаря своей эффективности и возможности достижения высокой степени разделения, жидкостные сепараторы являются ценным инструментом в процессах, требующих тщательной очистки и разделения жидких сред.

Под действием центробежной силы образующийся осадок нерастворимых балластных примесей сдвигается к периферии ротора и сползает в сборники. Очищенный раствор солей гуминовых и фульвовых кислот потоком направляется к оси вращения сепаратора и отводится через сливную трубу. При этом обе фракции после сепарации непрерывным потоком выводятся из барабана в соответствующие приёмные ёмкости. При разделении суспензии раствор солей гуминовых и фульвовых кислот выводится из барабана непрерывно, а вторая балластная часть накапливается в барабане и разгружается периодически. В свою очередь непрерывный отвод балластной части возможен на сопловых сепараторах, в которых твёрдые частицы выбрасываются из периферии барабана в виде концентрированной суспензии.

В результате итоговая производительность линии будет определяться производительностью используемой центрифуги. При этом важно, чтобы производительность центрифуги отвечала следующему условию:

$$Q_{\text{ц}} \geq Q_{\text{гц}}; \quad (2.9)$$

где  $Q_{\text{ц}}$  – производительность центрифуги,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Производительность центрифуги можно определить, как [83, 152]:

$$Q_{\text{ц}} = 1,1 \cdot 10^{-11} \cdot k_{\text{п.ц}} \cdot T_{\text{ц}} \cdot z_{\text{ц}} \cdot V_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}}^2 \cdot \eta_{\text{ц}} \quad (2.10)$$

где  $k_{\text{п.ц}}$  – коэффициент, учитывающий переполнение рабочего объёма барабана центрифуги;

$T_{\text{ц}}$  – период разделения, с;

$z_{\text{ц}}$  – число межтарелчатых пространств;

$V_{\text{ц}}$  – объём межтарелчатого пространства,  $\text{м}^3$ ;

$n_{ц}$  – частота вращения барабана центрифуги, об/мин;

$\eta_{ц}$  – КПД центрифуги.

Исходя из справочной производительности гидроциклона, выбираем производительность центрифуги из условия, описанного в выражении (2.9), таким образом производительность центрифуги должна быть более  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . В результате можем принять в качестве второй ступени очистки сепаратор А1-ОЦМ-10 отвечающий ГОСТ 18113-2013, ГОСТ 11117-85 и имеющего следующие параметры: производительность  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; Частота вращения барабана – 6500 об/мин; рабочее давление до 3 МПа; число тарелок в барабане – 53 шт; межтарелочное пространство 0,7 мм.

В результате проведённых исследований определены основные параметры системы очистки органоминеральных удобрений от нерастворимых примесей, в частности первой и второй ступени очистки. В качестве первой ступени очистки на основе минимально допустимого размера нерастворимых примесей был выбран гидроциклон согласно ГОСТ 10718-81 и ТУ 48-1313-59-89 со следующими параметрами: диаметр гидроциклона – 75 мм; диаметр питающего отверстия – 17 мм; диаметр сливного отверстия – 22 мм; диаметр песковой насадки может составлять 8; 12; 17 мм, что также соответствует полученным результатам. В качестве второй ступени очистки был выбран сепаратор А1-ОЦМ-10, отвечающий условию, что производительность последующей ступени очистки должна быть больше или равна производительности предыдущей ступени очистки.

### **2.3.2 Обоснование системы автоматизации линии подготовки органоминеральных удобрений**

В современном мире при производстве и реконструкции промышленных объектов активно применяются системы автоматизации. Особое внимание уделяется в данном вопросе технологическому оборудованию, используемому

в энергетике, металлургии, пищевой и химической промышленности, в том числе при подготовке удобрений. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) требуют высокой точности и надёжности работы приборов и систем автоматизации. Точность измерений и регулируемых воздействий зависит от правильного монтажа, подбора компонентов системы и алгоритма её работы [206].

В процессе проектирования и разработки технологического оборудования, оснащённого системами автоматизации, особое внимание уделяется элементам контроля различных технологических параметров. Важными параметрами данных систем является надёжность и достоверность технологического контроля, которые зависят от настройки средств измерения, систем и устройств технологической сигнализации, защиты и блокировки. Настройка средств измерения и систем автоматизации тесно связана с настройкой самого технологического процесса.

Автоматизация производства активно внедряется в том числе и в агропромышленный комплекс. В связи с растущим спросом на экологически чистые продукты питания, наблюдается повышение спроса и на органоминеральные удобрения на основе гуминовых и фульвовых кислот, отвечающих высоким потребительским свойствам. Что в свою очередь создаёт потребность в автоматизации процессов их подготовки.

Задачи по автоматизации линий подготовки органоминеральных удобрений включают переход от ручного управления и контроля к автоматическим устройствам, способствуя снижению трудозатрат и минимизации человеческого фактора [206].

Различают три уровня автоматизации производства:

- частичная автоматизация – автоматизация отдельных машин, агрегатов, технологических операций. Характерна для сельскохозяйственного производства, при выполнении полевых операций. Производится, когда управление процессами вследствие их сложности или скротечности практически недоступно человеку;

– комплексная автоматизация - предусматривает автоматизацию технологического участка, отдельного цеха или всего предприятия, функционирующего как единый, автоматизированный комплекс.

– полная автоматизация - функции контроля и управления производством передаются техническим средствам. На современном уровне развития полная автоматизация практически не применяется, так как функции контроля остаются за человеком.

В случае с автоматизацией линии подготовки органоминеральных удобрений обойтись без человеческого участия невозможно, поэтому в данном случае рассматривается частичная автоматизация процессов, то есть автоматизация отдельных технологических операций и узлов линии, при этом количество автоматизированных процессов должно стремиться к максимально возможному.

Согласно описанному способу производства органоминеральных удобрений, процесс автоматизации линии можно разделить на два этапа (рисунок 2.5):

1. Подготовительный, заключающийся в измельчении, первичной сепарации (просеивании), гидродинамической очистке, дозировании сырья, нагреве и подачи воды.

2. Основной этап, заключающейся в непосредственном извлечении солей гуминовых и фульвовых кислот из исходного сырья.

В процессе создания органоминеральных удобрений из различного органического сырья (торф, бурый уголь, сапропель и т.д.) применяются различные технологические операции. Среди них: измельчение и просеивание сырья для удаления крупных примесей, нагрев воды, очистка сырья от песка и нерастворимых примесей с помощью гидродинамической обработки, смешивание и перекачка водно-торфяной суспензии с её одновременным измельчением, дозирование щёлочи и микроэлементов, а также мониторинг входных и выходных параметров процессов в соответствии с настройками.

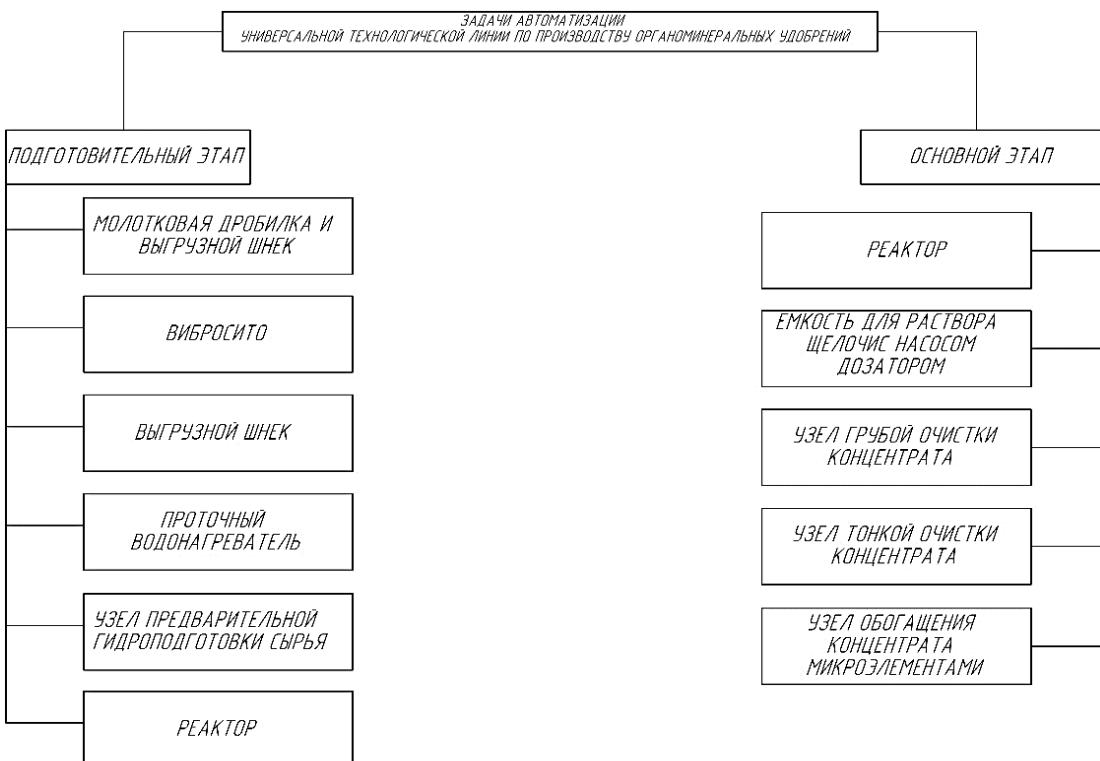


Рисунок 2.5 – Задачи автоматизации линии подготовки органоминеральных удобрений

Процессы, происходящие на линии и пригодные для автоматизации, можно разделить на несколько категорий: управление включением и выключением электроприводов на различных узлах линии, контроль времени работы отдельных компонентов, сбор и анализ данных с датчиков микроконтроллерным оборудованием и передача управляющих сигналов на соответствующие механизмы [206, 207].

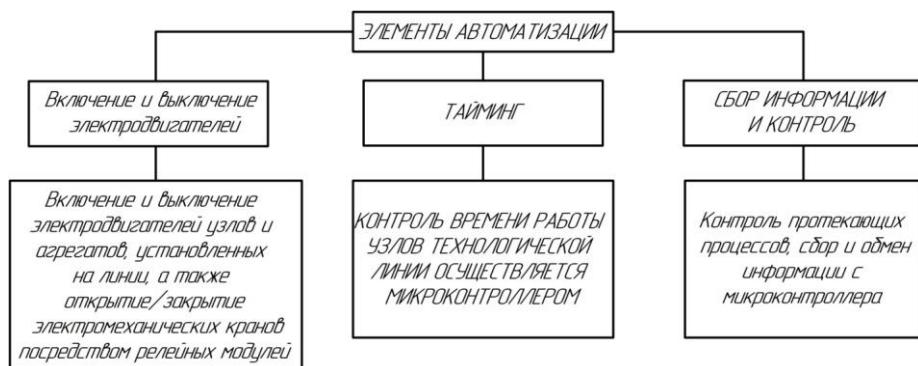


Рисунок 2.6 – Основные элементы автоматизации

Схема для автоматизации линии и поэтапный процесс автоматизации с указанием узла автоматизации, действия и функции элемента автоматизации, контролирующих устройств, исполнительных механизмов и описание процесса представлены в приложении В.

Для автоматизации линии подготовки органоминеральных удобрений необходимо оснастить её датчиками и оборудованием, устойчивым к сильнощелочной среде и пригодным для работы в жидкостях. Автоматизация должна охватывать все модули линии, учитывая используемое сырьё. При разработке проекта были введены условные обозначения для различных компонентов: Дп — датчики; ЭДп — электродвигатели; Рп — релейные модули; НДп — насосы-дозаторы; ЭКп — электромагнитные клапаны; Кп — электромеханические краны [206].

Важным условием для стабильной работы линии является наличие у системы автоматизации собственного источника питания и стабилизатор напряжения. Кроме того, при реализации логики работы линии необходимо учитывать возникновения нештатных ситуаций, связанных с недостатком исходного сырья, отключением электричества, возникновением засоров и загрязнений, при возникновении которых система должна выходить в аварийный режим и осуществлять остановку оборудования и подавать сигнал оператору сохраняя момент остановки. В свою очередь в результате аварийной остановки оператор должен иметь возможность осуществления запуска линии с того же момента в ручном режиме.

Кроме того, важно предотвратить преждевременный износ и выход из строя основных рабочих органов измельчения (дезинтеграторов, дробилок), а также работу линии и её узлов в холостом режиме. Для этого все контролирующие датчики (температуры, уровня) должны выполнять дополнительную функцию предохранителей, не позволяя осуществлять запуск узлов линии без нагрузки и пуск дезинтеграторов и насосов при отсутствии жидкости в ёмкостях [206].

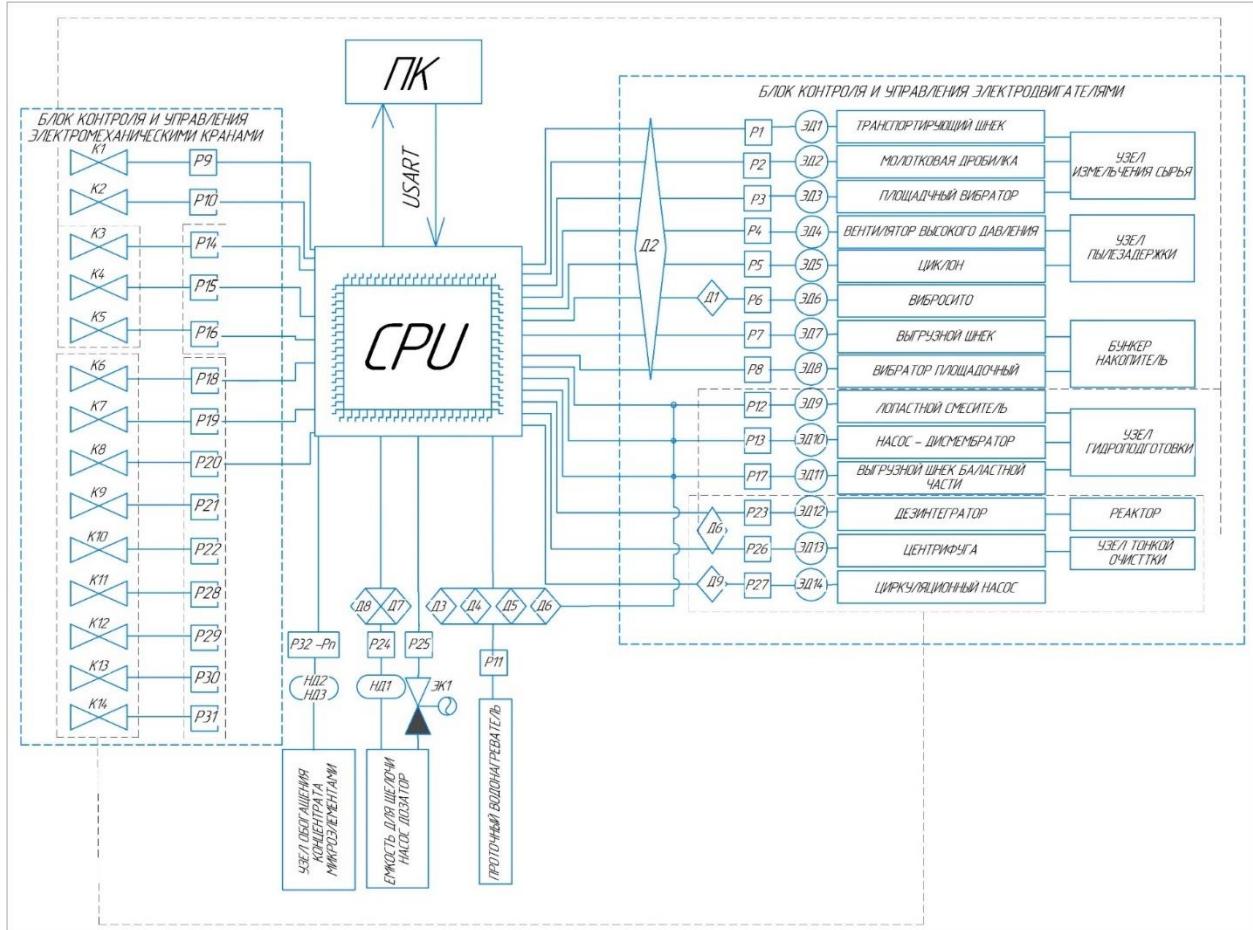
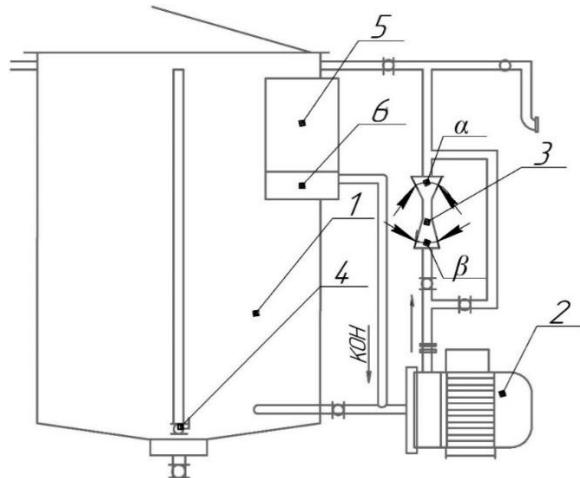


Рисунок 2.7 - Микроконтроллер и периферийные устройства системы автоматизации линии подготовки органоминеральных удобрений

Для более полного восприятия данных из приложения В предложена схема работы микроконтроллерного оборудования с управляемыми и управляющими элементами цифровизации и автоматизации, представленная на рисунке 2.7. На данной схеме представлены все элементы и узлы линии, управление которыми осуществляется с помощью элементов автоматизации, а головным (управляющим) устройством выступает микроконтроллерное оборудование.

Многоуровневый алгоритм работы системы автоматизации линии, учитывающий максимально возможное число узлов, подлежащих автоматизации, в основу которого были положены данные, приведенные в приложении В, представлен в приложении Г. Алгоритм учитывает виды сырья, возможность ввода необходимых параметров, временных периодов.

Система автоматизации, построенная на данном алгоритме, предусматривает минимальное участие оператора, который выполняет роль контролера, анализирующего процессы и при необходимости экстренно, останавливает или корректирует процесс подготовки органоминеральных удобрений с учетом сложившейся в реальном времени ситуации.



1 - реактор; 2 - дезинтегратор; 3 - кавитационная насадка; 4 – датчик рН;  $\alpha$  – угол сужения конфузора;  $\beta$  - угол расширения диффузора; 5 – бак для концентрированного раствора щёлочи; 6 – насос дозатор

Рисунок 2.8 - Схема расположения контура экстрагирования гуминовых веществ на линии подготовки органоминеральных удобрений

Одним из ключевых этапов, влияющих на качество получаемых органоминеральных удобрений, в частности на их характеристики связанные с уровнем рН, содержание гуминовых и фульвокислот, является процесс химической экстракции. Данный процесс в предложенной линии происходит в реакторе, представляющем цилиндрическую ёмкость с коническим дном. Согласно способу, в реактор подаётся предварительно очищенная от песка и других примесей суспензия торфа, биогумуса сапропеля или угля [288].

Для улучшения качественных характеристик получаемых органоминеральных удобрений предлагается новая методика, основанная на дифференцированном добавлении щёлочи в суспензию, состоящую из воды и исходного сырья. Этот процесс реализуется в реакторе, который оснащён

датчиком уровня pH, насосом-дозатором и ёмкостью для хранения щелочного раствора.

Процесс работает следующим образом: насос-дозатор вводит раствор щёлочи в суспензию, одновременно с этим осуществляются замеры pH раствора через определённые промежутки времени, которые равны полному обороту производимого объёма суспензии. Система автоматически сравнивает предыдущие и новые значения pH, если уровень pH изменился, процесс повторяется. Цикл добавления щёлочи завершается, когда значения pH остаются стабильными ( $pH_n = pH_{n+1}$ ). Это указывает на то, что активное образование солей гуминовых и фульвовых кислот завершилось [206, 207].

С целью получения органоминеральных удобрений высокого качества в технологический процесс интегрирована искусственная нейронная сеть, которая на основе имеющихся данных об исходном сырье определяет необходимые нормы внесения щёлочи и технологические параметры работы.

В процессе создания модели нейронной сети, которая будет определять рациональные параметры работы технологической линии по подготовке органоминеральных удобрений из различных видов органического сырья, необходимо определить несколько ключевых параметров: количество слоёв, количество нейронов в каждом слое, тип активации, оптимизатор и функцию потерь.

Для определения рациональной структуры нейронной сети для решения задачи по определению необходимых параметров работы линии подготовки органоминеральных удобрений, на основе имеющихся данных сформированных при помощи литературных источников и экспериментальных исследований, был использован метод автоматизированного поиска структуры нейронной сети (Neural Architecture Search (NAS)). Преимуществом данного метода является применение алгоритмов, позволяющих выбрать из множества возможных вариантов лучший. Для реализации данного метода была использована библиотека AutoKeras и сформирован программный код.

В результате реализации метода автоматизированного поиска структуры нейронной сети на основе используемых данных была определена следующая структура нейронной сети. Входные нейроны  $X_1 - X_n$ , один скрытый слой, состоящий из 32 нейронов, выходные нейроны  $Y_1 - Y_n$  (программный код представлен в приложении Д). В качестве функции активации в скрытом слое использовалась функция ReLU описываемая выражением (2.11) и линейная функция для выходного слоя [21, 207, 226].

$$f(x) = \max(0, x) \quad (2.11)$$

где  $x$  – входное значение нейрона.

В качестве оптимизатора для корректировки весовых коэффициентов модели с целью минимизации функции потерь использовался алгоритм стохастического градиентного спуска [21, 226].

$$w_{t+1} = w_t - \alpha_h \frac{dE}{dw_t} \quad (2.12)$$

где  $w_{t+1}$  – новый вес на шаге  $t+1$ ;

$w_t$  – текущий вес на шаге  $t$ ;

$\alpha_h$  – скорость обучения нейронной сети (шаг);

$\frac{dE}{dw_t}$  – градиент функции потерь по весам  $w_t$ .

В качестве функции потерь отражающей точность работы модели применялась среднеквадратичная ошибка [21, 226]:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{\text{эт}i} - y_{\text{пред}i})^2 \quad (2.13)$$

где  $y_{\text{эт}i}$  и  $y_{\text{пред}i}$  – эталонные и предсказанные значения нейронной сети, соответственно.

Согласно принципу работы, процесс обучения искусственной нейронной сети является поэтапным и занимает несколько эпох, во время которых модель многократно анализирует обучающий набор данных и улучшает свои параметры.

Для того чтобы успешно обучить нейронную сеть для определения рациональных параметров работы линии подготовки органоминеральных

удобрений, нужен первоначальный набор данных — обучающая выборка. В ней должны быть связаны входные параметры (свойства органического сырья) с выходными параметрами (качество и состав гуминовых удобрений). Во время обучения модель постепенно настраивает свои веса и параметры на основе пар входных данных и соответствующих им выходных результатов, чтобы улучшить способность делать точные прогнозы.

В основу обучающей выборки для нейронной сети легли данные из литературных источников, в которых описаны технологии производства органоминеральных удобрений из различных видов органического сырья с указанием параметров исходного сырья, количества используемых реагентов, температуры экстракции и т.д., а также данные, полученные в ходе экспериментальных исследований. При этом с целью улучшения сходимости процесса обучения, имеющиеся данные, были нормализованы. Фрагмента используемой базы данных представлен в приложении Е.

В качестве входных данных  $X_1 - X_n$  для нейронной сети могут быть использованы следующие параметры: используемое исходное сырьё, содержание в исходном сырье свободных гуминовых кислот; применяемый реагент, доля исходного сырья в первичной суспензии и др.

В качестве выходных данных  $Y_1 - Y_n$  нейронной сети могут являться следующие параметры: рациональное количество используемого реагента; время экстракции; температура процесса; содержание гуминовых кислот в конечном продукте.

На основе имеющегося объёма данных было принято решение использовать в качестве входных параметров: используемое исходное сырьё ( $X_1$ ), содержание в исходном сырье свободных гуминовых кислот ( $X_2$ ); доля исходного сырья в первичной суспензии ( $X_3$ ), применяемый реагент №1 ( $X_4$ ), применяемый реагент №2 ( $X_5$ ). В качестве выходных параметров использовались масса используемого реагента ( $Y_1$ ), содержание гуминовых кислот в конечном продукте( $Y_2$ ). Схема используемой нейронной сети представлен на рисунке 2.9.

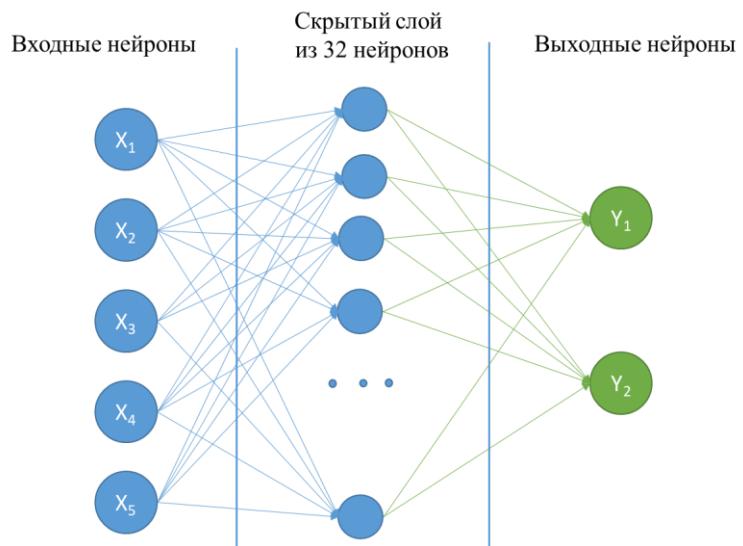


Рисунок 2.9 – Схема используемой нейронной сети

После проведения обучения нейронной сети на имеющейся базе данных был получен график изменения среднеквадратичной ошибки от количества эпох обучения (рисунок 2.10).

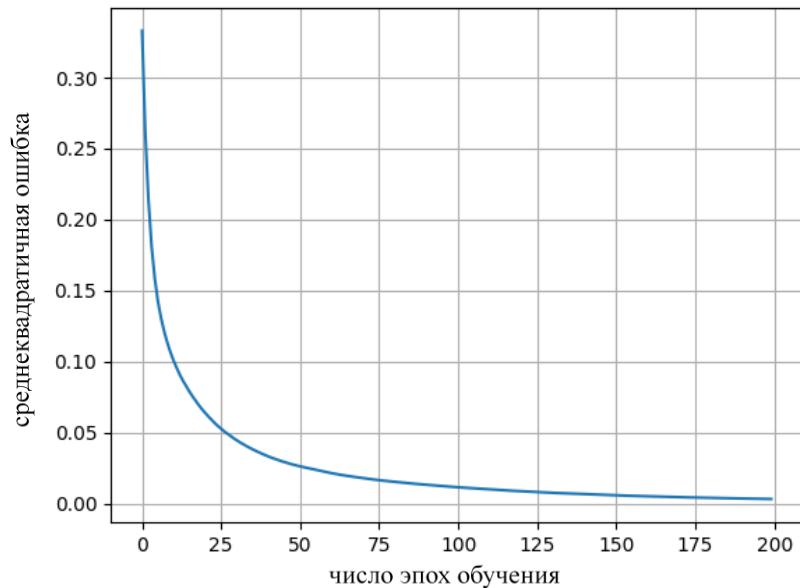


Рисунок 2.10 – График изменения среднеквадратичной ошибки от количества эпох обучения

Анализ графика показывает, что после прохождения 100 эпох обучения показатели среднеквадратичной ошибки нейронной сети находятся в районе

0,02, что говорит о высоком уровне достоверности предсказываемого результата от эталонных значений, применяемых в обучающей выборке.

Предложенная нейронная сеть является частью многоуровневого алгоритма работы системы автоматизации линии подготовки органоминеральных удобрений учитывающий максимально возможное число узлов, подлежащих автоматизации. И может быть полноценно использована для определения рациональных параметров работы линии подготовки органоминеральных удобрений.

## **2.4 Экспериментальное обоснование параметров технических средств подготовки органоминеральных удобрений**

### **2.4.1 Экспериментальные исследования влияния параметров и ступеней системы очистки на наличие балластных примесей в органоминеральных удобрениях**

В процессе подготовки органоминеральных удобрений одним из ключевых показателей качества получаемого конечного продукта является доля содержания в нём примесей в виде нерастворимых частиц. В связи с чем для повышения качества получаемых органоминеральных удобрений необходимо использовать систему очистки, которая будет эффективно удалять нежелательные компоненты.

Для определения рациональной компоновки и параметров системы очистки, обеспечивающей максимальное удаление балластных примесей, была проведена серия экспериментов, в ходе которых оценивалось качество очистки органоминеральных удобрений от используемых фильтрующих элементов. В качестве контрольного фильтрующего элемента использовались получившие наибольшее распространение в системах очистки органоминеральных удобрений кассетные фильтры. В процессе исследований

применялись кассетные фильтры с фильтрующим элементом, выполненным в виде металлической сетки с размерностью ячеек 70 мкм.

Для проведения эксперимента на линии подготовки органоминеральных удобрений была получена партия удобрений общим объёмом 200 литров (рисунок 2.11). В качестве исходного сырья использовался низинный торф со степенью разложения не менее 25 % и влажностью не более 30 %, при этом используемый торф предварительно подвергался просеиванию через вибросепаратор для очистки от балластных примесей размерностью более 4 мм. Для получения исходной суспензии применялось соотношение торфа к воде 1 к 5. Полученная водно-торфяная суспензия в реакторе подвергалась выщелачиванию с одновременным измельчением при помощи дезинтегратора в течении 30 минут.



Рисунок 2.11 – Процесс получения партии органоминеральных удобрений из торфа для исследования качества работы системы очистки

После завершения процесса выщелачивания, часть изготовленной партии в объёме 50 литров подвергалась процессу очистки при помощи кассетных фильтров, при этом в процессе очистки отбиралось по три образца объёмом 1 л для последующих исследований.

Далее из реактора была отобрана партия удобрений в объёме 90 литров для дальнейшей очистки от балластных примесей при помощи гидроциклона. В ходе исследования оценивалась эффективность и качество очистки

органоминеральных удобрений при помощи гидроциклона в том числе влияние диаметра песковой насадки на данные показатели. С этой целью была разработана и изготовлена конструкция гидроциклона по техническим параметрам, представленным в разделе 2.3.1 позволяющая использовать песковую насадки с различным диаметром, в рамках эксперимента применялись насадки с диаметром 8, 12 и 17 мм (рисунок 2.12).

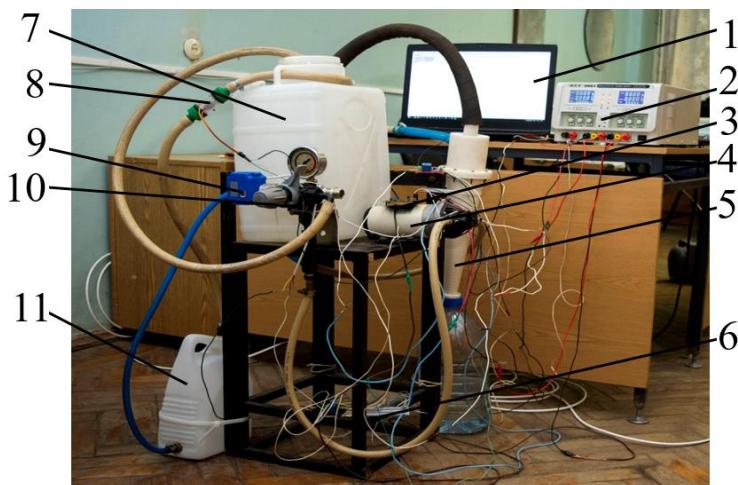


Рисунок 2.12 – общий вид циклона со сменными пусковыми насадками

Отобранная партия удобрений была разделена на три равные части для проведения испытаний каждой песковой насадки. Для исследования процесса очистки органоминеральных удобрений при помощи гидроциклона был разработан лабораторный стенд, представленный на рисунке 2.13. Основной задачей лабораторного стенда являлось моделирование и имитирование процессов, происходящих на технологическом оборудовании по подготовке органоминеральных удобрений, а также для имитации и проверки работы отдельных узлов, агрегатов и оборудования.

Лабораторный стенд использует вариант совместной работы микроконтроллеров, когда головная плата управляет периферийными. Лабораторный стенд помимо микроконтроллерного управляющего оборудования включает в себя исполнительные устройства: насосы, электромагнитные клапаны и датчики. В его состав входят следующие основные элементы: персональный компьютер, основная плата управления, платы контроля показания датчиков и таймеров, платы контроля и управления датчиками, лабораторный источник питания, емкости для удобрений (воды),

насос, электромеханический кран, емкость ресивер, гидроциклон, регулятор давления, корпус, шланги, датчика расхода жидкости, датчик уровня.



1 – персональный компьютер; 2 – лабораторный источник питания; 3 – основная плата управления; 4 – мембранный насос; 5 – гидроциклон; 6 – платы контроля показаний датчиков и таймеров; 7 – емкость для удобрений (воды); 8 – датчик расхода жидкости; 9 – электромеханический кран; 10 – регулятор давления с манометром; 11 – емкость ресивер

Рисунок 2.13 – Лабораторный стенд

В ходе проведения эксперимента на лабораторном стенде устанавливалось рабочее давление, соответствующее давлению, создаваемому на линии при проведении фильтрации, что составляло порядка 1,5 атм. Из каждого образца, прошедшего очистку с использованием гидроциклиона отбиралось по три образца органоминеральных удобрений объемом 1 литр. Так же в рамках данного опыта оценивалось количество суспензии, содержащей балластные частицы, вышедшей через пусковую насадку.

Оставшиеся в реакторе органоминеральные удобрения, не прошедшие очистку через систему кассетных фильтров, пускались в обход для оценки эффективности предлагаемой второй ступени очистки в виде аппарата для центрифugирования жидкости. С этой целью в конструкцию линии был интегрирован сепаратор марки А1-ОЦМ-10 (рисунок 2.14).

После проведения очистки с использованием метода центрифugирования из партии органоминеральных удобрений также было отобрано по 3 образца органоминеральных удобрений объемом в 1 литр.



Рисунок 2.14 – Система чистки с применением центрифугирования

В дальнейшем полученные образцы после каждой из исследуемых систем фильтрации подвергались методу ситового анализа в ходе которого отобранные образцы процеживались через сито с размерностью ячеек 70 мкм, оставшийся на ситах балластный остаток собирался и взвешивался при помощи весов марки МН-500.



Рисунок 2.15 – Образец сита в процессе оценки балластного остатка в образцах органоминеральных удобрений

Также отобранные образцы проходили микроскопический анализ, для этого использовался оптический микроскоп «Микромед С1 LED» (рисунок 2.16).



Рисунок 2.16 – Общий вид оптического микроскопа «Микромед С1 LED»

В ходе проведённой оценки образцов органоминеральных удобрений, отобранных после прохождения системы очистки, представляющей собой кассетные фильтры с размерностью ячеек 70 мкм было установлено, что среднее содержание балластной части в образцах составило порядка 13 % от общей массы процеживаемого раствора, при этом согласно данным микроскопического исследования размерность балластных частиц достигала 1000 мкм (рисунок 2.17) [288].

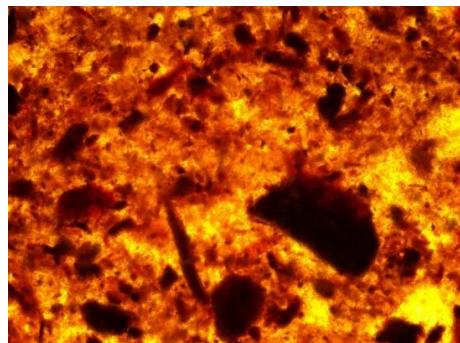


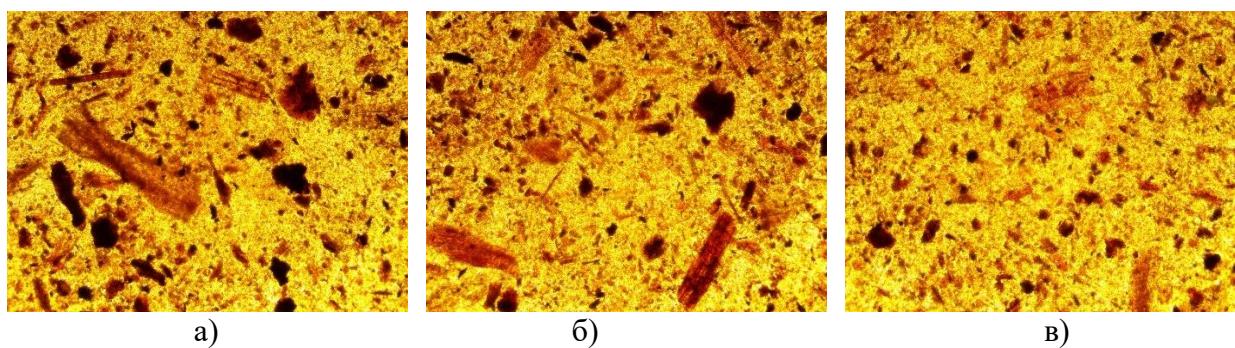
Рисунок 2.17 – Микроскопическое исследования образца, прошедшего очистку через кассетный фильтр с размерностью ячеек 70 мкм

Полученные результаты свидетельствуют о несовершенстве конструкции используемых кассетных фильтров. Несмотря на то, что размерность ячеек используемых фильтрующих элементов составляет 70 мкм, эффективность очистки оказывается низкой из-за неравномерности

геометрических размеров и форм частиц балластной части. Кроме того, в процессе работы происходит заполнение кассет балластом, и под давлением балластные частицы могут выдавливаться в очищенный раствор, снижая тем самым качество фильтрации.

В ходе проведения исследований по оценке качества очистки органоминеральных удобрений при помощи гидроциклона была проведена серия экспериментов, в которой рассматривалась эффективность работы системы в зависимости от используемой песковой насадки. Для этого для каждого из вариантов насадок производилась очистка ранее отобранной партии органоминеральных удобрений по 10 литров в трёхкратной повторности. Результаты исследований заносились в таблицу и анализировались.

Полученные образцы также подвергались микроскопическим исследованиям (рисунок 2.18).



а – диаметр песковой насадки 8 мм; б – диаметр песковой насадки 12 мм; в – диаметр песковой насадки 17 мм

Рисунок 2.18 – Микроскопическое исследования образцов прошедших очистку гидроциклоном с различным диаметром песковой насадки

На основе полученных данных в программе Microsoft Excel были построены графики изменения содержания балластной части в конечном продукте и объёма продукта, ушедшего в балласт в зависимости от диаметра песковой насадки (рисунок 2.19).

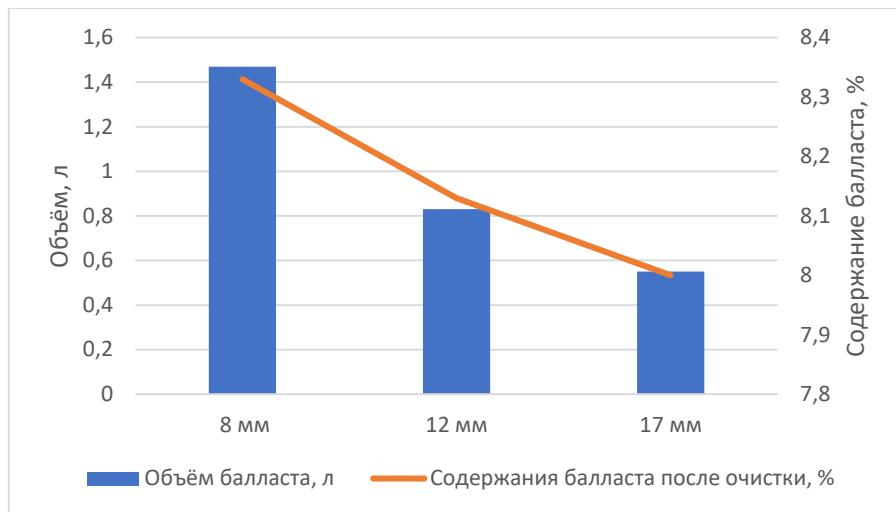


Рисунок 2.19 – Изменения содержания балластной части в конечном продукте и объема продукта, ушедшего в балласт в зависимости от диаметра песковой насадки

Анализ рисунка 2.19 показал, что с увеличением диаметра песковой насадки наблюдается снижение объема органоминеральных удобрений, поступивших в балласт, это связано с тем, что уменьшается интенсивность центробежных сил в гидроциклоне. В результате в балласт попадают только более крупные балластные частицы, в то время как мелкие частицы уносятся с основным потоком. В свою очередь при использовании песковой насадки с меньшим диаметром отсеиваются более мелкие частицы, в результате требуется больший объем жидкости для их отделения. Стоит отметить, что изменение содержания балластной части в конечном продукте при использовании разных песковых насадок в среднем изменяется от 8 до 8,3 %, а размерность балластных частиц в среднем составляет порядка 100 мкм. В результате наиболее предпочтительной конструкцией гидроци克лона будет являться модель с диаметром песковой насадки 17 мм, так как при незначительных различиях по основным показателям очистки она обладает меньшим расходом органоминеральных удобрений, поступающих в балласт.

В связи с вышеизложенным, можно сделать вывод, что использование гидроциклонов является предпочтительной системой очистки по сравнению с

кассетными фильтрами. Это обусловлено более высокой эффективностью и возможностью более тонкой настройки процесса сепарации балластных частиц. Кроме того, гидроциклоны обеспечивают возможность непрерывной работы, что повышает производительность системы очистки и упрощает процесс управления.

В завершении исследовалась эффективность очистки органоминеральных удобрений при помощи центробежного сепаратора марки А1-ОЦМ-10.

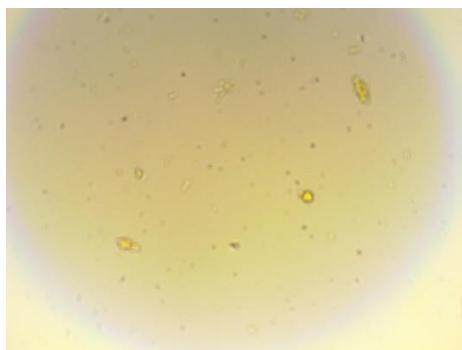


Рисунок 2.20 – Микроскопическое исследования образца прошедшего очистку сепаратором марки А1-ОЦМ-10

В ходе проведённой оценки образцов органоминеральных удобрений, отобранных после очистки сепаратором марки А1-ОЦМ-10 было выявлено, что содержание балластной части в продукте находилось в диапазоне от 1 до 4 %, а размер балластных частиц в основном составлял порядка 10 мкм с единичными включениями частиц большей дисперсности.

Полученные результаты оценки эффективности различных систем очистки органоминеральных удобрений позволили отметить преимущества и недостатки каждой из систем. При этом можно сделать вывод, что совместное использование гидроциклонов и сепаратора может обеспечить комплексную очистку органоминеральных удобрений, сочетая преимущества обеих систем. Гидроциклоны обеспечивают более тонкую настройку процесса сепарации балластных частиц и демонстрируют высокую эффективность при различных диаметрах песковой насадки. В результате они могут использоваться для

предварительной очистки раствора от крупных балластных частиц, после чего раствор может быть дополнительно очищен с помощью сепаратора для удаления мельчайших частиц. Такой подход позволит достичь высокой степени очистки и минимизировать содержание балластной части в конечном продукте.

#### **2.4.2 Экспериментальные исследования автоматизации линии подготовки органоминеральных удобрений**

Подготовка органоминеральных удобрений в условиях непрерывно развивающего сельского хозяйства становится всё более технологически сложным и требует высокой точности и эффективности. Применение автоматизации и цифровизации в этом процессе играет ключевую роль, позволяя адаптировать работу оборудования и повысить качество продукции.

Важными аспектами здесь являются точное дозирование компонентов, контроль температуры, мониторинг состояния оборудования, анализ данных, адаптация параметров процесса и т.д. Все эти факторы в совокупности направлены на повышение эффективности подготовки и получение органоминеральных удобрений высокого качества.

С целью апробации предлагаемых программных и технических решений был разработан лабораторный стенд (рисунок 2.13). В его состав вошло различное микроконтроллерное оборудование, а именно отладочные платы следующих производителей и марок: STM32F3Discovery, STM32 Nucleo-144 for STM32F767, Arduino Due на базе Cortex-M3.

Линейка STM32F3 — это 32-битные микроконтроллеры на основе ядра ARM CortexTM-M4 с поддержкой функций DSP и с модулем FPU для вычислений с плавающей точкой. Данные микроконтроллеры способны работать на частоте до 72 МГц. Рассматриваемые микроконтроллеры объединяют в себе высокопроизводительный процессор с обширным набором

цифровых интерфейсов, 12-битный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) с частотой выборок до 5MSPS, прецизионный 16-битный сигма-дельта АЦП, усилители с программируемым коэффициентом усиления, быстрые 50 нс компараторы. Данный набор модулей и периферии позволяет использовать эти микроконтроллеры в таких областях применения, как измерительное оборудование и системы, медицинские приборы, промышленные контроллеры, счетчики электроэнергии, измерение и обработка сигналов с различных датчиков.

В рамках реализации лабораторного стенда для изучения и тестирования технологических процессов подготовки органоминеральных удобрений, особое внимание заслуживает линейка высокопроизводительных микроконтроллеров STM32 Nucleo-144 - сверхпроизводительное семейство микроконтроллеров на базе ядра Cortex - M7 с рабочей частотой до 216 МГц и объемом Flash памяти до 2 Мбайт. Перечень периферии данного семейства: USB, Ethernet, CAN, HDMI, DFSDM, ЕАЕ-контроллер, графический ускоритель, контроллер внешней памяти FMC и другие.

NUCLEO-F722ZE - отладочная плата семейства STM32 NUCLEO-144 на основе 32-разрядного ARM Cortex-M7 микроконтроллера STM32F722ZE с адаптивным real-time ускорителем и кэшем L1. RISC ядро микроконтроллера работает на частотах до 216 МГц и поддерживает операции с плавающей точкой с возможностью обработки инструкций и данных с единичной точностью. Оно также реализует полный набор DSP инструкций. В микроконтроллере имеется блок защиты памяти (MPU), что повышает безопасность приложений. В структуре микроконтроллера - встроенная высокоскоростная flash память объемом 512 КБ, 256 КБ SRAM (включая 64 КБ TCM RAM для работы с критически важными данными в реальном масштабе времени), 16 КБ TCM RAM (для выполнения критически важных инструкций в режиме реального времени), 4 КБ резервной SRAM доступны для режимов наименьшей мощности. Широкий диапазон расширенных I/O и периферийных устройств подключены к двум шинам APB, двум шинам AHB,

32-разрядной матрице шины мульти-АНВ и многоуровневому AXI, поддерживающему доступ к внешней и внутренней памяти.

В микроконтроллере имеются три 12-разрядных АЦП, два цифроаналоговых преобразователя (ЦАП), маломощные часы реального времени (RTC), тринадцать 16-разрядных таймеров общего назначения, включая два ШИМ-таймера для управления двигателем, два 32-битных таймера общего назначения, генератор случайных чисел (TRNG). Продвинутая периферия включает два SDMMC интерфейса, интерфейс гибкого управления памятью (FMC), интерфейс Quad-SPI Flash памяти. Микроконтроллер способен работать в диапазоне температур от -40°C до +105 °C и напряжений питания от 1,7 В до 3,6 В.

В дополнение к линейке STM32, в лабораторном стенде также используется Arduino Due — первая плата Arduino на основе 32-битного микроконтроллера с ARM ядром на базе процессора Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. Данная плата обладает тактовой частотой 84 МГц и 32-битной архитектурой. Позволяет выполнять большинство операций над целыми числами в 4 байта за один такт. На плате предусмотрено 54 цифровых вход/выхода (из них 12 можно задействовать под выходы ШИМ), 12 аналоговых входов, 4 USART (аппаратных последовательных порта), связь по USB с поддержкой OTG, 2 цифроаналоговых преобразователя, 2 TWI, разъем питания, разъем SPI, разъем JTAG, кнопка сброса и кнопка стирания.

Преимуществом используемого микроконтроллерного оборудования является высокая документированность, большое количество периферийных устройств ввода/вывода, простота в эксплуатации, широкий набор перенастроек и встроенных функций.

В связи с тем, что используемое микроконтроллерное оборудование имеет архитектуру на одноядерных процессорах, процесс выполнения операций имеет определённую последовательность, заложенную в алгоритм работы. Лабораторная установка включает в себя не только управляющее микроконтроллерное оборудование, но и исполнительные устройства, в

частности мембранный насос марки AR 11.4 DFL, электромеханические шаровые краны SWX-15Q, датчик уровня pH марки P4PM, бесконтактный датчик уровня жидкости ХКС-Y26, датчик расхода жидкости YF-S201C. Для повышения многозадачности и снижения нагрузки на микроконтроллеры было решено использовать несколько микроконтроллеров и разделять между ними выполняемые операции. При этом как уже отмечалось разработанная лабораторная установка использует вариант совместной работы микроконтроллеров, когда головная плата управляет периферийными (рисунок 2.21).

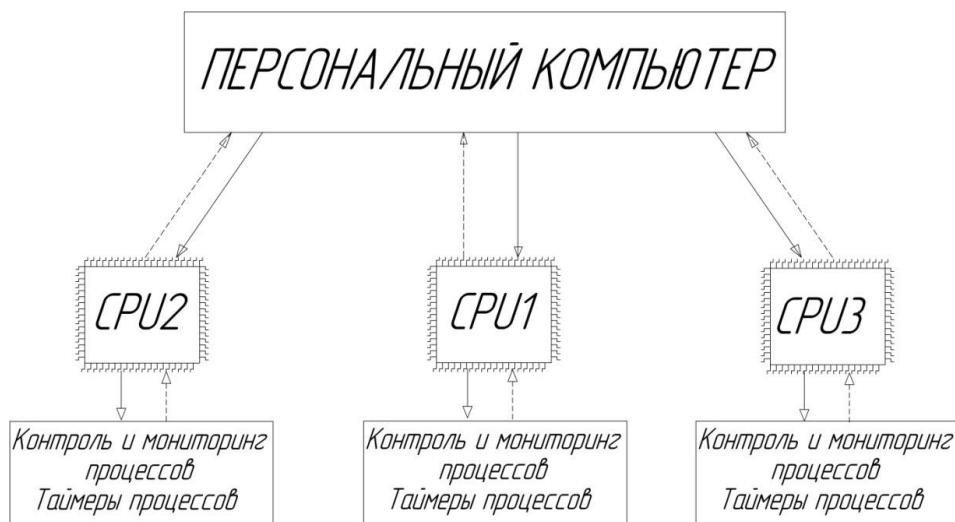


Рисунок 2.21 – схема совместной работы микроконтроллеров

На первом этапе экспериментальных исследований оценивалась корректность работы автоматизированной системы управления процессом подготовки органоминеральных удобрений. Для этого на персональный компьютер был установлен программный комплекс по управлению лабораторными средствами автоматизации [176].

В ходе проведения экспериментальных исследований в рамках первого этапа оценивалась отдельное функционирование основных элементов, имитирующих узлы линии и отвечающих за следующие операции: подача необходимого объёма воды; очистка органоминеральных удобрений; процесс выделения гуминовых кислот (изменение уровня pH).

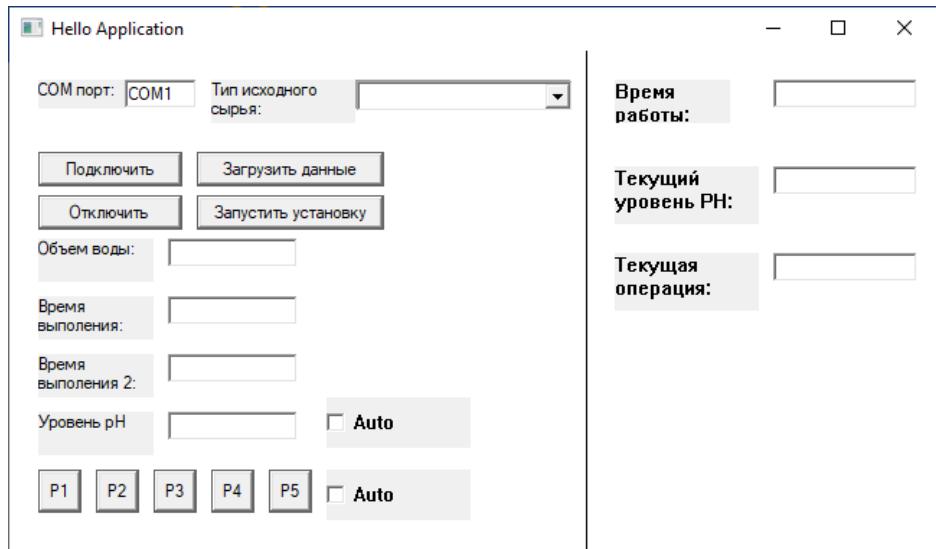


Рисунок 2.22 – Общий вид интерфейса используемого программного комплекса

Рассмотрим более подробно процесс проведения исследований для каждого из описанных процессов и рассмотрим полученные результаты.

В ходе определения корректности работы системы подачи воды при помощи установленного программного обеспечения задавался подаваемый объём жидкости от 1 до 5 литров. Далее запускался процесс выполнения операции. В результате оценивалось количество корректных срабатываний исполнительных механизмов (насос, электромеханический кран), а также отклонение от заданной нормы расхода (датчик расхода жидкости). Для каждого из вариантов нормы расходы исследования проводились в трёхкратной повторности. В качестве перекачиваемой жидкости использовалась вода. Оценка объёма перекаченной жидкости осуществлялась при помощи лабораторного мерного цилиндра объёмом 1000 мл. Полученные результаты заносились в таблицу, после чего анализировались при помощи программы Microsoft Excel.

На основе полученных результатов был построен график погрешности расхода жидкости в зависимости от перекаченного объёма (рисунок 2.23)

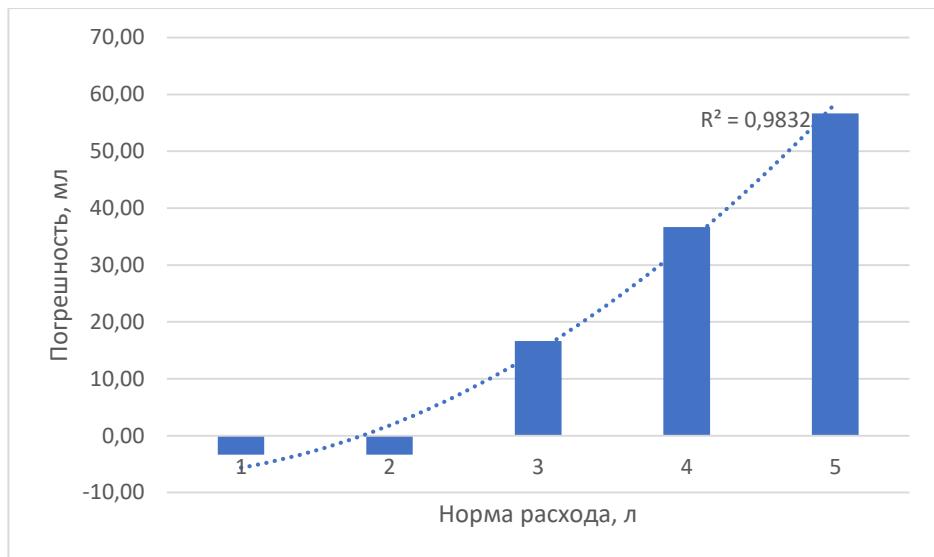


Рисунок 2.23 – Погрешности расхода жидкости в зависимости от перекаченного объёма

$$\Delta V_{ж} = 2,8571V_{ж}^2 - 1,1429V_{ж} - 7,3333 \quad (2.14)$$

где  $\Delta V_{ж}$  – средняя абсолютная погрешность перекаченного объема жидкости, мл;

$V_{ж}$  – перекаченный объем жидкости, л.

Полученные результаты показали, что средние значения погрешности возрастают с увеличением объема перекачиваемой жидкости при этом значения не превышали 2% и соответствуют заявленной точности используемого датчика. Коэффициент детерминации составил 0,98, что говорит об адекватности опытных данных уравнению регрессии (2.14). Рост погрешности в данном случае связан с принципом работы используемого датчика и обусловлен накоплением ошибки, что в дальнейшем может быть скорректировано программным кодом. Важно отметить, что в результате проведения эксперимента, составляющего 15 циклов включения и отключения исполнительных механизмов (насос и электромеханический кран), все механизмы отработали штатно, без возникновения неполадок.

Исследования процесса очистки органоминеральных удобрений от балластных остатков были описаны в разделе 2.4.1 где оценивалась эффективность работы гидроциклона. В рамках данного раздела оценивалась

корректность работы датчика уровня жидкости и исполнительных механизмов (насос и электромеханический кран). В ходе 9 циклов испытаний датчик уровня жидкости во всех случаях отработал корректно, в результате чего прекращалась подача питания на насос и осуществлялось перекрытие электромеханического крана.

Ещё одним важным элементом автоматизации линии является контроль уровня pH при подготовке органоминеральных удобрений. Согласно разработанному алгоритму управления данный показатель определяет продолжительность процесса извлечения солей гуминовых и фульвовых кислот на используемом оборудовании.

В ходе исследования оценивались следующие варианты работы системы: мониторинг уровня pH; отключение системы при достижении установленного значения; отключение системы при условии  $pH_n = pH_{n+1}$ . Предварительно перед запуском системы датчик был откалиброван в дистиллированной воде с pH 6.83, растворах с уровнем pH 4.01 и 9.18. В качестве контрольного прибора использовался pH метр pH – 150 МИ (рисунок 2.24).



Рисунок 2.24 – Общий вид pH метра pH – 150 МИ

В процессе исследования качества работы датчика уровня pH в режиме мониторинга схема эксперимента была следующая. Ёмкость для воды наполнялась 10 литрами водопроводной воды, после чего в установленном

программном комплексе осуществлялся выбор необходимого режима работы: открывались электромеханические краны по замкнутому циклу ёмкость для воды-насос-ёмкость для воды и запускался насос. Далее в ёмкость при помощи шприца добавлялось 8 раз по 5 мл 20% раствора KOH с интервалом в 1 минуту. Перед добавлением первой дозы раствора KOH и через 1 минуту после каждого добавления производилась фиксация значений уровня pH при помощи датчика и осуществлялся отбор пробы для измерения при помощи контрольного прибора. Эксперимент повторялся в трёхкратной повторности. Полученные результаты заносились в таблицу и обрабатывались при помощи Microsoft Excel.

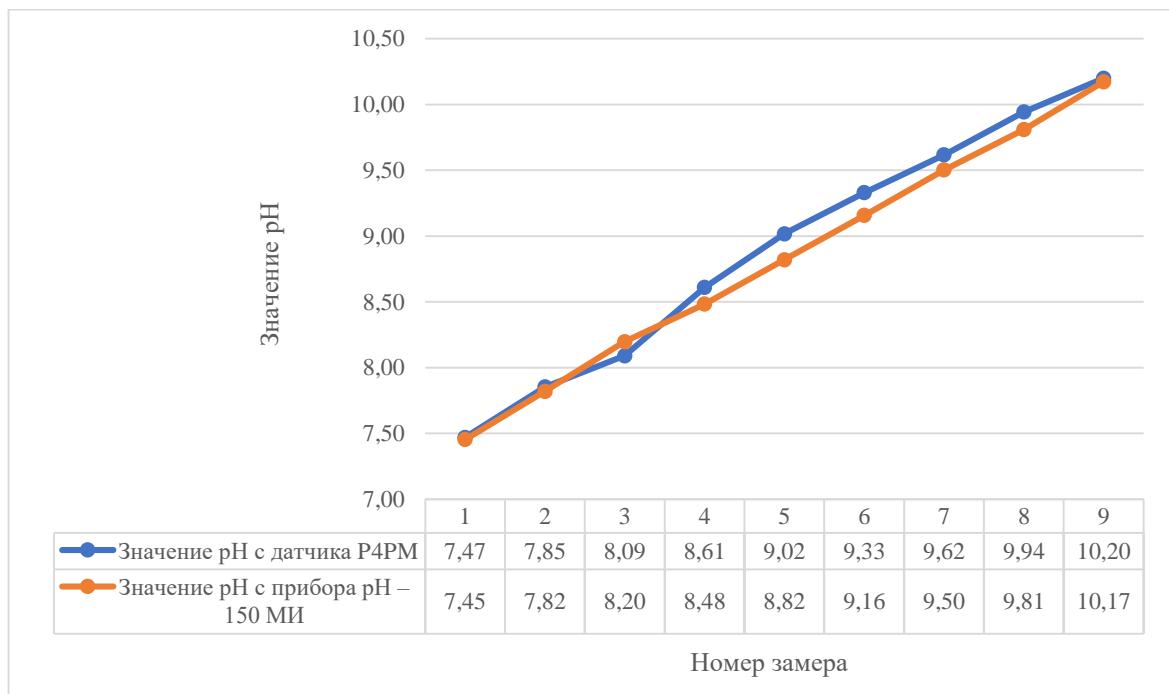


Рисунок 2.25 – График средних значений уровня pH с датчика P4PM и pH метра pH – 150 МИ

Анализ рисунка 2.25 показал, что значения уровня pH с датчика P4PM и pH метра pH – 150 МИ коррелируются между собой, коэффициент корреляции составил 0,97, при этом расхождение показателей не превышало 2,5 %. В результате можно говорить о корректной работе датчика уровня pH.

На следующем этапе оценивалась логика отключения перемешивания при помощи насоса по замкнутому циклу при достижении или превышении

установленного порогового значения. Схема проведения опыта была аналогична описанной выше с постепенным добавлением в 10 литров воды по 5 мл 20% раствора KOH с интервалом в 1 минуту. Порог отключения устанавливался на значении уровня pH 8,9 и 10. В рамках эксперимента при достижении порогового значения контролировалось отключение насоса и перекрытие электромеханических кранов. Для каждого из вариантов эксперимент повторялся в трёхкратной повторности. В ходе эксперимента при всех пороговых значениях система мониторинга и управления отработала штатно без выявления сбоев.

В заключении оценивалось отключение системы при условии  $pH_n=pH_{n+1}$ , в данном случае схема опыта была следующая: в воду общим объёмом 10 л добавлялось последовательно с интервалом в 1 минуту, 45 и 30 секунд (в зависимости от установленного значения времени ( $t_3$ ) 3 дозы по 5 мл 20% раствора KOH, после чего контролировалось время, через которое произойдёт отключение системы. Фиксация времени производилась при помощи приложения секундомер с момента введения последней дозы до момента отключения системы. Для каждого из временных промежутков эксперимент проводился в пятикратной повторности, полученные результаты фиксировались в таблице.

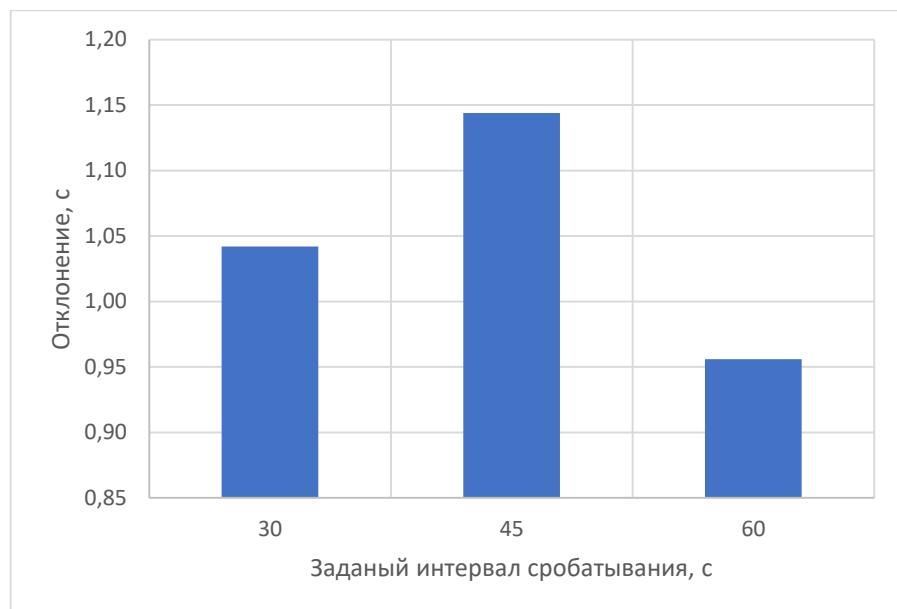


Рисунок 2.26 – Время срабатывания системы

Анализ рисунка 2.26 показал, что при условии  $pH_n = pH_{n+1}$  на данном объёме жидкости система отрабатывала корректно на всех заданных интервалах времени, при этом зафиксированное отклонение по времени от части может быть вызвано погрешностью в его фиксации. В связи с чем, данную логику управления можно считать рабочей.

Так как процесс подготовки органоминеральных удобрений во многом зависит от используемого сырья, его качественных характеристик, а также способа их производства. Для повышения эффективности процесса извлечения солей гуминовых и фульвовых кислот была разработана нейронная сеть, позволяющая на основе исходных данных определять рациональные параметры подготовки. В свою очередь с целью расширения сформированной на основе литературных источников базы данных (приложение Е) была произведена серия экспериментов, направленная на получение органоминеральных удобрений из торфа с различными характеристиками. Для этого на экспериментальной установке УФ-2 (рисунок 2.27) были получены опытные партии удобрений с добавлением различного количества щёлочи и различным временем экстракции.



1 – реактор; 2 – водонагреватель; 3 – привод лопастного смесителя; 4 – система

фильтрации; 5 – дезинтегратор; 6 – рама; 7 – площадка обслуживания

Рисунок 2.27 – общий вид экспериментальной установке УФ-2

Для получения органоминеральных удобрений использовался торф влажностью 22 % и содержанием свободных гуминовых кислот 14%. В

процессе проведения исследований реактор заполнялся водой и торфом из соотношения 5 к 1. Норма внесения щёлочи варьировалась от 10 до 50 грамм кристаллов KOH на 1 кг используемого сырья. После внесения необходимых компонентов с целью повышения эффективности процесса экстракции осуществлялся запуск лопастного смесителя и дезинтегратора, работающего по замкнутому контуру. Процесс экстрагирования для каждого из вариантов нормы внесения щелочи длился от 30 минут до 1,5 часов.

После изготовления из каждой партии удобрений отбирались образцы для проведения последующих исследований, в ходе которых оценивался уровень pH и содержание гуминовых и фульвовых кислот в полученных органоминеральных удобрениях. Определение уровня pH осуществлялось при помощи pH метра pH – 150 МИ. Содержание гуминовых и фульвовых кислот производилось спектрофотометрическим способом по методам Вельте и Лиштвана на приборе спектрофотометр UV300/2 (рисунок 2.28).



Рисунок 2.28 – Общий вид спектрофотометра UV300/2

Полученные результаты были обработаны и занесены в таблицу, после чего при помощи программы Statistica осуществлялся их анализ. На основе полученных данных был построен график содержания солей гуминовых и фульвовых кислот в органоминеральных удобрениях в зависимости от используемой нормы внесения щёлочи (KOH) и продолжительности экстракции (рисунок 2.29). Кроме того, полученные результаты были использованы в базе данных для обучения разработанной нейронной сети (приложение Е).

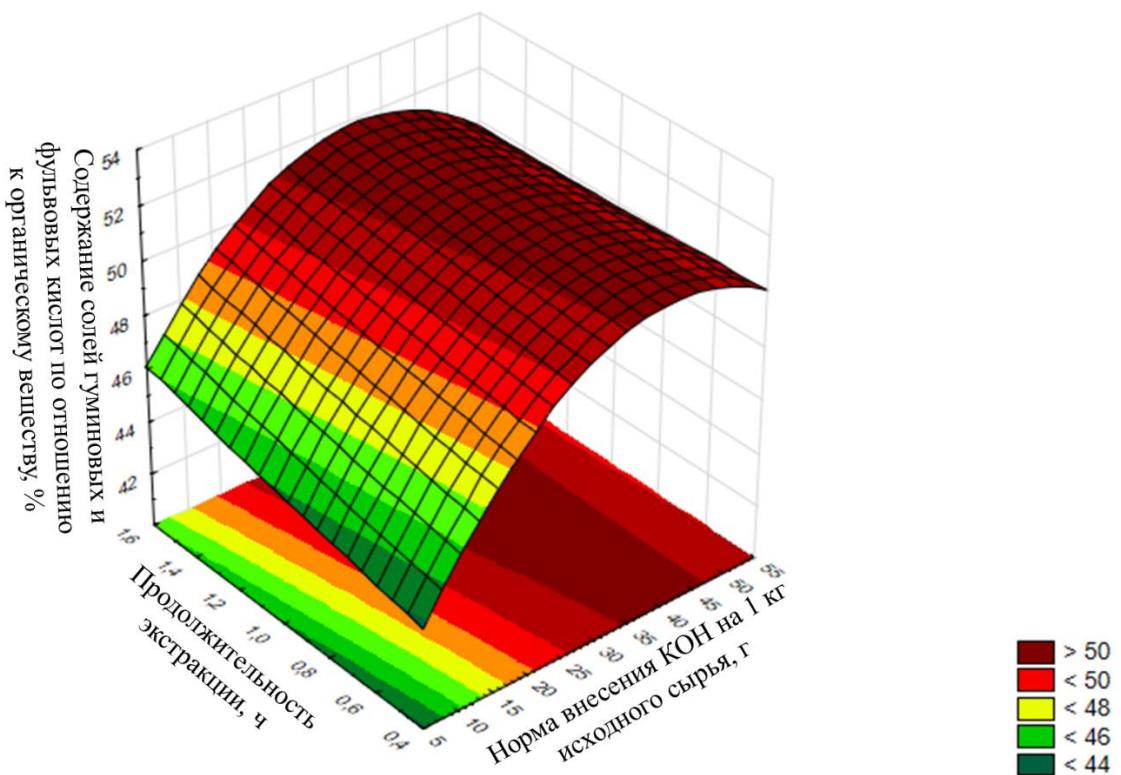


Рисунок 2.29 – Зависимость содержание солей гуминовых и фульвовых кислот в полученных органоминеральных удобрениях от нормы внесения щёлочи и продолжительности экстракции

На основе опытных данных было получено уравнение регрессии, содержания солей гуминовых и фульвовых кислот в органоминеральных удобрениях в зависимости от используемой нормы внесения щёлочи (КОН) и продолжительности экстракции:

$$N_{\text{гфк}} = 40,7267 + 0,4937 \cdot N_{\text{КОН}} + 1,94 \cdot t_{\text{экс}} - 0,0058 \cdot N_{\text{КОН}}^2 - (2.15)$$

$$- 0,044 \cdot N_{\text{КОН}} \cdot t_{\text{экс}} + 0,12 \cdot t_{\text{экс}}^2$$

где  $N_{\text{гфк}}$  – содержание солей гуминовых и фульвовых кислот в органоминеральных удобрениях по отношению к органическому веществу, %;

$N_{\text{КОН}}$  – норма внесения щёлочи (КОН) на 1 кг исходного сырья, г;

$t_{\text{экс}}$  – продолжительность экстракции, ч.

Коэффициентом детерминации для данного уравнения составил  $R^2=0,72$ , а коэффициентом регрессии  $R=0,85$ .

Анализ полученных результатов показал, что выход солей гуминовых и фульвовых кислот растёт с увеличением нормы внесения щёлочи и времени экстракции. При этом более значимым фактором, оказывающим влияние на экстракцию солей гуминовых и фульвовых кислот является именно норма внесения щёлочи. Высокие значения содержания солей гуминовых и фульвовых кислот в полученных органоминеральных удобрениях для используемого торфа достигались при норме внесения щёлочи 30 г на 1 кг исходного сырья и длительности экстракции до 1,5 часов и при норме внесения щёлочи 40 г на 1 кг исходного сырья и длительности экстракции от 0,5 часа.

#### **2.4.3   Производственные   исследования   линии   подготовки органоминеральных удобрений**

Производственные исследования технических решений по подготовке органоминеральных удобрений осуществлялись при модернизации линии на предприятии ООО «Гуматы» Курганская область, р.п. Каргаполье. В ходе производственных исследований для оценки эффективности предлагаемых технических решений была предварительно изготовлена партия органоминеральных удобрений на имеющемся оборудовании согласно технологии, применяемой на производстве. Полученные органоминеральные удобрения в последствии являлись контролем.

Согласно технологии, в качестве исходного сырья использовался торф с содержанием свободных гуминовых кислот 14 % от сухого вещества, прошедший предварительную подготовку. Реагентом для экстракции солей гуминовых кислот служил KOH с нормой внесения 8-15 г на 1 кг торфа. Очистка полученного органоминерального удобрения производилась при помощи кассетных фильтров.

В процессе производственных исследований, направленных на оценку эффективности работы предлагаемых технических решений, была

произведена модернизация линии, в ходе которой для повышения степени очистки органоминеральных удобрений в конструкцию был интегрирован сепаратор А1-ОЦМ-10.

Для оценки эффективности выделения солей гуминовых и фульвовых кислот на основе рекомендаций, предложенных нейронной сетью, была изготовлена партия органоминеральных удобрений. Для этого на входные нейроны обученной нейронной сети была подана информация об используемом исходном сырье – торф, содержании в нём свободных гуминовых кислот – 14%, массовое соотношение исходного сырья в первоначальной суспензии было принято 20 %, что соответствовало содержанию торфа в контрольном варианте, в качестве реагента был выбран KOH. В результате обработки входных данных нейронной сетью было предложено внесение щёлочи с нормой 32 г на 1 кг торфа, прогнозируемое значение содержания солей гуминовых и фульвовых кислот в конечном продукте составляло 30,78 г/л.

Температура суспензии и продолжительность экстракции на контрольном и опытном варианте были идентичными.

После производства удобрений, по параметрам, предложенным нейронной сетью, органоминеральные удобрения, прошедшие двуступенчатую систему очистку (в рамках производственных исследований представленной кассетными фильтрами с размерностью ячеек 70 мкм и сепаратором А1-ОЦМ-10), отбирались образцы для последующих исследований.

Полученные контрольные и опытные образцы подвергались исследованиям, направленным на оценку основных параметров отвечающих за качество органоминеральных удобрений: содержание балластного остатка в готовом продукте и содержание гуминовых и фульвовых кислот.

Содержание балластного остатка производилось ситовым методом в соответствии с описанием, представленным в разделе 2.4.1, а также

осуществлялось микроскопическое исследование отобранных образцов при помощи микроскопа «Микромед С1 LED» (рисунок 2.16).

Оценка содержания гуминовых и фульвовых кислот производилась спектрофотометрическим способом по методам Вельте и Лиштвана на приборе спектрофотометр UV300/2 (рисунок 2.28).

В ходе исследований было установлено, что использование двухступенчатой системы очистки в линии обеспечило получение органоминеральных удобрений с содержанием балластной части до 1% и размерностью основной массы частиц менее 10 мкм. В свою очередь контрольные образцы, полученные на первоначальной конфигурации линии с использованием в качестве финальной ступени очистки кассетные фильтры с размерностью фильтрующих элементов 70 мкм, содержали 13 % балластного остатка с размерностью частиц достигавших 1000 мкм, данный показатель как уже было отмечено ранее связан с несовершенством конструкции применяемых фильтров и неравномерностью геометрических размеров и форм частиц балласта (Приложение М).

Содержание гуминовых и фульвовых кислот в контрольном образце составило 21,72 г/л и 3,96 г/л соответственно; в образце, произведённом согласно предложенных нейронной сетью параметров показатели составили 24,78 г/л и 4,2 г/л. В результате использования технологических параметров, предложенных нейронной сетью, можно отметить суммарное увеличения солей гуминовых и фульвовых кислот на 12,85 % в конечном продукте, при этом выход гуминовых кислот увеличился на 14,08%, а фульвовых кислот на 6,06%. В свою очередь следует отметить, что суммарное содержание солей гуминовых и фульвовых кислот в полученных органоминеральных удобрениях отличалось от предсказанного нейронной сетью значения на 5,85%, что указывает на достаточно высокую точность модели. Несмотря на то, что имеющееся отклонение немного превышает доверительный диапазон в 5%, в дальнейшем данный параметр может быть улучшен в ходе корректировки модели и её переобучения в процессе накопления базы данных.

Таким образом, на основе полученных результатов, можно сделать вывод, что применение предлагаемого способа и линии подготовки органоинеральных удобрений позволяет получать безбалластные органоминеральные удобрения высокого качества.

## **Выводы по второй главе**

1. Для подготовки органоминеральных удобрений из органического сырья была разработана схема линии подготовки органоминеральных удобрений. Она включает в себя: измельчитель молоткового типа, шнековый транспортер, накопительный бункер для органического сырья, с установленными на нем вибросепаратором, шнековый транспортер, гидромеханический узел предварительной подготовки сырья, оборудованный проточным водонагревателем, лопастным смесителем и циркуляционным насосом, реактор, емкость для раствора щелочи, насос-дозатор, датчик уровня pH, дезинтегратор, кавитатор, батарею гидроциклонов, центрифугу, емкости для микроэлементов, насосы-дозаторы микроэлементов, накопительную ёмкость.

2. Теоретическими исследованиями установлено, что для полноценной очистки проходящей суспензии от балластных частиц диаметром более 100 мкм, диаметр гидроциклиона должен находиться в пределах от 0,06 до 0,09 м при питающем давлении от  $1,2 \cdot 10^5$  до  $2,0 \cdot 10^5$  Па. На основании полученных результатов математического анализа были выбраны параметры гидроциклиона, приведённые в ГОСТ 10718-81 и ТУ 48-1313-59-89: диаметр гидроциклиона ( $D_{цик}$ ) – 75 мм; диаметр питающего отверстия ( $d_{num}$ ) – 17 мм; диаметр сливного отверстия ( $d_{сл}$ ) – 22 мм; диаметр песковой насадки ( $d_{nec}$ ) может составлять 8; 12; 17 мм, что также соответствует полученным результатам.

3. С целью обеспечения требуемой производительности в качестве второй ступени очистки был выбран сепаратор А1-ОЦМ-10 отвечающий ГОСТ 18113-2013, ГОСТ 11117-85 и имеющий следующие параметры: производительность 10 м<sup>3</sup>/ч; Частота вращения барабана – 6500 об/мин; рабочее давление до 3 МПа; число тарелок в барабане – 53 шт; межтарелочное пространство 0,7 мм.

4. Предложена нейронная сеть, которая является частью многоуровневого алгоритма работы системы автоматизации линии подготовки органоминеральных удобрений, учитывающей максимально возможное число узлов, подлежащих автоматизации. Установлено, что после прохождения 100 эпох обучения показатели среднеквадратичной ошибки нейронной сети находятся в районе 0,02.

5. Изменение содержания балластной части в конечном продукте при использовании разных песковых насадок в среднем изменяется от 8 до 8,3 %, а размерность балластных частиц в среднем составляет порядка 100 мкм. В результате наиболее предпочтительной конструкцией гидроциклона будет являться модель с диаметром песковой насадки 17 мм, так как при незначительных различиях по основным показателям очистки она обладает меньшем расходом органоминеральных удобрений, поступающих в балласт.

6. В ходе проведённой оценки образцов органоминеральных удобрений, отобранных после очистки сепаратором марки А1-ОЦМ-10 было выявлено, что содержание балластной части в продукте находилось в диапазоне от 1 до 4 %, а размер балластных частиц в основном составлял порядка 10 мкм с единичными включениями частиц большей дисперсности.

7. Экспериментальными исследованиями установлено, что выход солей гуминовых и фульвовых кислот растёт с увеличением нормы внесения щёлочи и времени экстракции. При этом более значимым фактором, оказывающим влияние на экстракцию солей гуминовых и фульвовых кислот, является именно норма внесения щёлочи. Высокие значения содержания солей гуминовых и фульвовых кислот в полученных органоминеральных

удобрениях для используемого торфа достигались при норме внесения щёлочи 30 г на 1 кг исходного сырья и длительности экстракции до 1,5 часов и при норме внесения щёлочи 40 г на 1 кг исходного сырья и длительности экстракции от 0,5 часа.

8. Производственными исследованиями установлено, что использование двухступенчатой системы очистки в линии подготовки органоминеральных удобрений обеспечило получение органоминеральных удобрений с содержанием балластной части до 1% и размерностью частиц менее 10 мкм. В свою очередь контрольные образцы, полученные на первоначальной конфигурации линии с использованием в качестве финальной ступени очистки кассетные фильтры с размерностью фильтрующих элементов 70 мкм, содержали 13 % балластного остатка с размерностью частиц достигавших 1000 мкм.

9. Производственными исследованиями установлено, что содержание гуминовых и фульвовых кислот в контрольном образце по принятой на производстве технологии составило 21,72 г/л и 3,96 г/л соответственно, в образце, произведённом согласно предложенным нейронной сетью параметрам показатели составили 24,78 г/л и 4,2 г/л. В результате использования технологических параметров, предложенных нейронной сетью, можно отметить суммарное увеличения солей гуминовых и фульвовых кислот на 12,85 % в конечном продукте, при этом выход гуминовых кислот увеличился на 14,08%, а фульвовых кислот на 6,06%. В свою очередь следует отметить, что суммарное содержание солей гуминовых и фульвовых кислот в полученных органоминеральных удобрениях отличалось от предсказанного нейронной сетью значения на 5,85%, что указывает на достаточно высокую точность модели. Несмотря на то, что имеющееся отклонение немного превышает доверительный диапазон в 5%, в дальнейшем данный параметр может быть улучшен в ходе корректировки модели и её переобучения в процессе накопления базы данных.

### **3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРЕДПОСАДОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

#### **3.1 Теоретические предпосылки к совершенствованию локально-ленточного внесения удобрений**

Картофель является одной из самых ценных культур в мире, занимая четвёртое место среди продовольственных культур с объёмом урожая составляющим около 400 миллионов тонн в год [252]. Он обладает высоким содержанием углеводов, белков, витаминов и минералов, в связи с чем получил распространение более чем в 100 странах мира и является продуктом питания более чем для миллиарда человек [258].

Картофель — это однолетняя двудольная травянистая клубневая культура, для которой предпочтителен умеренный климат с большим количеством солнечного света, умеренными дневными температурами и прохладными ночами [241]. При этом его возделывание требует повышенных затрат питательных элементов из-за более высокой выработки сухого вещества на единицу площади и времени по сравнению с другими полевыми культурами. Однако в связи с тем, что растения картофеля обладают достаточно мелкой и разреженной корневой системой, а элементы питания в доступной для растений форме, как правило, в недостаточном количестве представлены в почвах, то как следствие потребности растения в них не могут быть удовлетворены в полной мере. При этом культура хорошо отзывается на внесение элементов питания в виде минеральных удобрений.

Процесс развития растений картофеля условно можно разделить на следующие этапы: на первом этапе происходит развитие растения после посадки и до появления всходов; на втором этапе наблюдается активный рост растения, на верхушках столонов за 10-14 дней до начала фазы цветения могут

начать набухать клубни; на третьем этапе происходит активное линейное увеличение массы и объёма клубней, при условии наличия оптимальных условий; на четвертом этапе происходит увядание зелёной массы растения по мере созревания клубней.

Для оптимального роста и развития растениям необходимы как оптимальные климатические условия (температура окружающей среды, влажность и т.д), так и наличие элементов питания в доступных формах. При этом важно учитывать, что потребность в тех или иных элементах питания у растений в процессе их развития различна на разных этапах развития. Кроме того, при внесении элементов питания необходимо также учитывать особенности возделываемого сорта, а также почвенного плодородия участка, на котором планируется возделывание культуры. В результате можно говорить о том, что под планируемый урожай картофеля необходимое количество вносимых удобрений должно определяться исходным почвенным плодородием и потенциальной потерей питательных веществ и потенциала роста сорта [245].

Рассматривая корневую систему картофеля её принято характеризовать как неглубокую и обладающую плохой способностью к извлечению влаги и минеральных элементов питания из почвы [59]. Структура корневой системы картофеля представлена на рисунке 3.1. Она обладает неглубоким укоренением и включает в себя придаточные корни и столонные корни. Предполагается, что придаточные корни отвечают за поглощение влаги из почвы, а столонные корни участвуют в процессе поглощения питательных веществ и способствуют формированию клубней [293].

Развитие корневой системы растений картофеля зависит от ряда факторов, среди которых можно выделить: абиотические (температура окружающей среды, количество осадков, засолённость почвы и т.д.); антропогенные (загрязнение почвы тяжёлыми металлами, сбалансированность внесения элементов питания и др.); генетические особенности сорта [262].

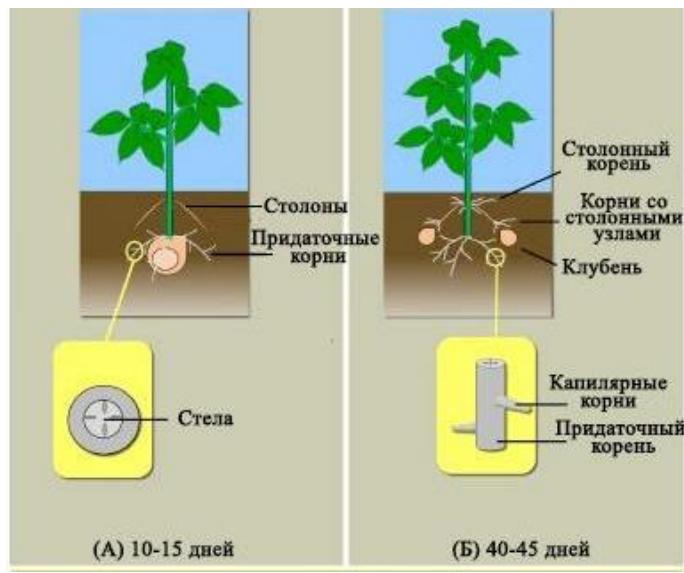


Рисунок 3.1 – Структура корневой системы картофеля [261]

На основе имеющихся данных можно говорить о том, что часть корневой системы картофеля, отвечающей за усвоение элементов питания, находится в пределах клубневого гнезда. В свою очередь его размеры определяются генетическими особенностями сорта. На основе имеющихся данных были построены графики характеризующие размеры клубневого гнезда в зависимости от сорта картофеля (рисунок 3.2 и рисунок 3.3) [4, 5, 6, 7, 8, 9, 224, 225].

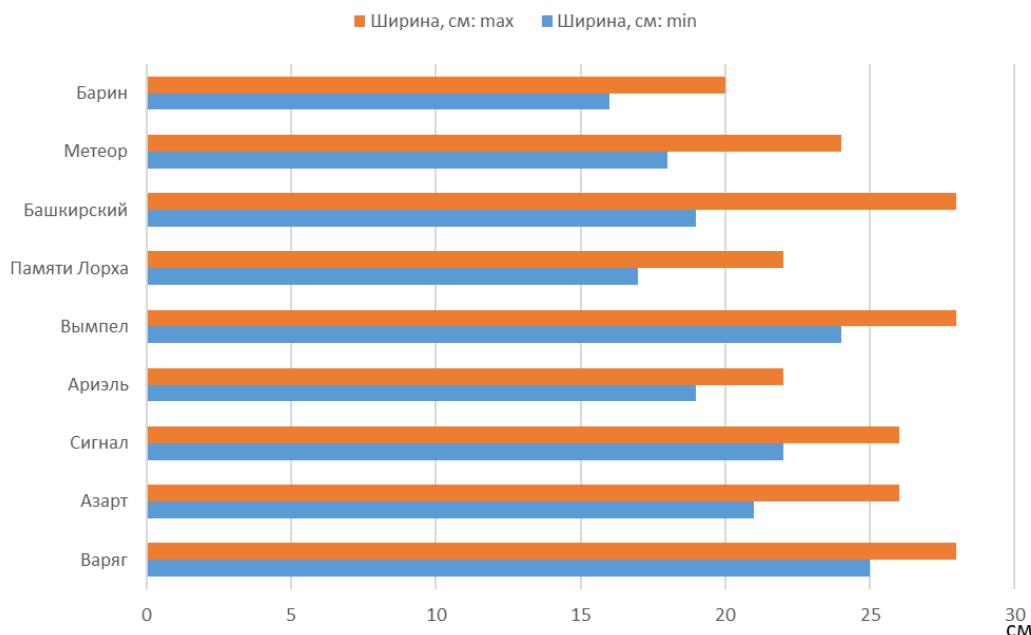


Рисунок 3.2 – График изменения ширины клубневого гнезда в зависимости от сорта картофеля

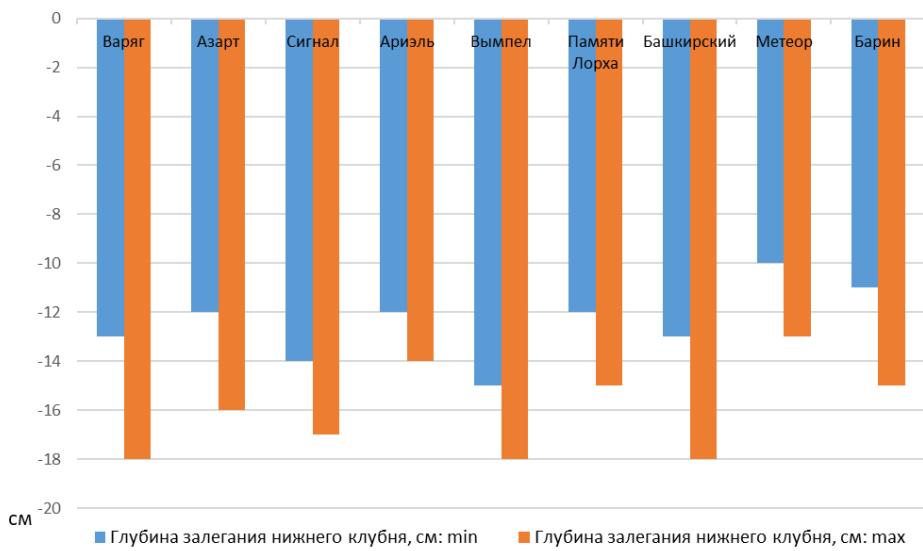


Рисунок 3.3 – График изменения глубины залегания нижнего клубня в зависимости от сорта картофеля

Анализируя полученные графики, можно заметить, что в зависимости от сорта картофеля размеры клубневого гнезда варьируются по ширине в диапазоне от 16 до 28 см, по глубине от 10 до 18 см, что не превышает глубину пахотного слоя. При этом следует учитывать, что глубина залегания верхнего клубня составляет не менее 2 см [79]. При росте и развитии растений постепенное распространение корневой системы будет обеспечивать постоянное снабжение питательными веществами в случае их нахождении в пределах корнеобитаемого слоя. Таким образом имеющиеся данные позволяют рекомендовать внесение минеральных удобрений равномерно в зоне расположения клубневого гнезда. Рациональная зона внесения удобрений должна представлять собой эллипс с шириной 16 см - 28 см и высотой 10 см и 18 см в зависимости от возделываемого сорта.

На первом этапе развития растения картофеля получают все необходимые элементы питания для роста и развития из материнского клубня (семян), при этом скорость появления всходов зависит в существенной степени от температуры почвы. При наличии благоприятных условий всходы появляются в течении 21 дня после посадки, к этому моменту первые корни достигают длины 10-15 см. На данном этапе происходит основной рост и

развитие корневой системы растения. Несмотря на то, что образование столонов может происходить на протяжении большей части вегетационного периода, большинство столонов для завязывания клубней образуются в начале развития растения. В связи с чем внесение элементов питания в начале сезона способствует активному развитию здоровой корневой системы и регулирует процесс прироста зеленой массы на первом и втором этапах развития.

На третьем этапе развития происходит активное увеличение массы клубней, до момента прекращения вегетации растения, вызванного старением или климатическими условиями. Стоит отметить, что наличие элементов питания в доступных формах в начале вегетационного периода оказывает гораздо более эффективное влияние на образование клубней у индетерминантных сортов картофеля, в сравнении с детерминантными [268].

На каждом этапе развития растения нуждаются в определённых элементах питания. При этом как недостаток, так и избыток элементов питания способен оказывать негативное влияние на растение и приводить к угнетению развития, сокращению урожайности и качества получаемого урожая. Картофель в процессе своего развития нуждается в различных элементах питания таких как: азот, фосфор, калий, марганец, кальций, сера и др. Рассмотрим более подробно потребность растений картофеля в том или ином элементе питания.

Азот является одним из наиболее важных элементов питания для развития растений картофеля. Данный элемент питания отвечает за многие физиологические функции в клетках растения, так азот является компонентом различных аминокислот, белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла и т.д. [234, 236]. Внесение азота в качестве удобрений способствует повышению рентабельности производства, так как в почве как правило он в значительной степени связан с органическими веществами и не всегда доступен для усвоения.

Так при оптимальном азотном питании растения картофеля характеризуются интенсивным ростом, повышенным индексом площади

листьев. В первые 4–5 недель роста с точки зрения образования клубней картофель не нуждается в большом количестве азота. На ранних этапах развития азот способствует росту и развитию стеблей, и из-за этого сухого вещества для клубней становится меньше. Но на более позднем этапе развития клубни могут получить пользу от увеличения надземной массы растения.

Однако в случае недостатка или избытка данного элемента в процессе развития растения будут возникать различные негативные процессы.

В случае недостатка азота у растений картофеля будут отмечаться такие симптомы, как изменение окраски листовой пластины. На ранних стадиях азотного голодания края листьев будут приобретать бледно-зеленую окраску, которая при остром дефиците переходит в бледно-желтую. При этом данные симптомы начинают проявляться на нижних листьях с последующим распространением на всё растение и опаданием нижних листьев, в результате чего у растения снижается фотосинтетическая активность и как следствие урожайность.

Избыток азота при питании картофеля способен задерживать образование клубней и их созревание, при этом будет наблюдаться активный рост зелёной массы растения. Кроме того, наличие избыточного количества азота на ранних стадиях роста может задержать переход от накопления азота в побегах к его переносу в клубни. При внесении азота в больших количествах при интенсивном орошении посадок картофеля, несмотря на увеличение размеров клубней, может наблюдаться возникновении полых и коричневых сердцевин в них [238, 275].

Важно отметить, что из-за морфологических особенностей, в частности строения корневой системы, картофеля в большинстве случаев не способен усваивать азот из более глубоких слоёв почвы, кроме того при поверхностном внесении могут происходить его потери за счёт улетучивания в виде аммиака, а также в результате денитрификации с образованием закиси азота [239, 294].

В связи с чем актуальным является внутрипочвенное внесение азота, что в определённой степени позволяет избежать потерь данного элемента питания

из-за вымывания или испарения, а также обеспечивает более равномерное распределение удобрения по площади, способствуя повышению эффективности от его внесения. Однако, чтобы определить оптимальные дозы и сроки внесения азотных удобрений под картофель, необходимо учитывать множество факторов, таких как тип почвы, климатические условия, сорт картофеля и т. д.

В процессе выращивания картофеля необходимо внесение в относительно больших объемах, в сравнении с другими растениями, фосфорных удобрений. Сам по себе фосфор участвует в широком спектре процессов, протекающих в растении, в частности способствует формированию корневой системы, тем самым оказывая непосредственное влияние на урожайность. Фосфор участвует в передаче клеточной энергии в результате дефосфорилирования аденоцинтрифосфата (АТФ) в аденоциндинифосфат (АДФ). При этом фосфор является неотъемлемой частью нуклеиновых кислот в виде звеньев в молекулах дезоксирибонуклеиновой кислоты и рибонуклеиновой кислоты, многих коферментов и фосфолипидов в биомембранах [265, 272, 280].

На ранних стадиях развития растений картофеля, фосфор способствует протеканию процессов, направленных на завязывание клубней картофеля [255, 280]. В ряде исследований отмечается влияние данного элемента питания на количество и размер клубней, в частности при высоких дозах внесения сокращается урожайность клубней высокого размера, которая компенсируется общей урожайностью клубней меньшего размера [260, 280].

Следует отметить, что фосфор является плохо растворимым элементом, в результате чего достаточно неподвижен в почве. Кроме того, в ряде исследований отмечается, что существенное влияние на растворимость фосфора оказывает уровень pH, оптимальные значения которого находятся в диапазоне от 6,0 до 7,5, что также необходимо учитывать при определении дозировок внесения [255, 280].

В результате наиболее оправданным с экономической точки зрения, является локально-ленточное внесение фосфорных удобрений, так как при данном способе внесения удобрения размещаются в непосредственной близости к корневой системе. В результате благодаря тому, что рост корней будет направлен к месту расположения элементов питания, будет наблюдаться наилучшее его поглощение [254, 280]. В свою очередь при разбросном способе внесения необходимы более высокие нормы фосфорных удобрений, что в конечном итоге может приводить к их вымыванию дождовыми водами [280].

Растениям картофеля для здорового их развития в достаточно больших объемах требуется калий, нормы внесения которого могут быть сопоставимы с азотом и даже превышать его [289]. Калийное питание оказывает непосредственное влияние на качество клубней, где отмечается максимальная концентрация его в растении.

В процессе развития растения калий, являясь положительно заряженным активным ионом, отвечает за такие функции как: осуществление контроля активности ферментов; катион-анионного гомеостаза и поляризации мембран, способствуя усвоению воды клетками, регулировки их тургора и движения устьиц [232, 265, 283].

Калий принимает непосредственное участие в процессах фотосинтеза растения, участвуя в распределении фотосинтезирующих веществ по флоэме. Так, в ряде исследований было показано, что дефицит калия приводил к существенному снижению скорости усвоения углекислого газа растениями [262]. Кроме того, при дефиците калия может наблюдаться снижение индекса площади листьев, за счёт уменьшения размеров и количества листьев, а также накопления в них сахарозы [259, 264]. Признаки недостатка калия в растениях проявляются в виде хлороза листьев по краям листа или в виде точек, в начале симптомы проявляются на старых листьях [300].

Стоит отметить, что растениям картофеля калий, также, как и азот необходим на ранних стадиях их развития (30-40 дней от появления всходов), что объясняется ролью данного элемента в развитии зелёной массы растений

и участии его в процессах фотосинтеза. Кроме того, несмотря на то, что калий влияет непосредственно на процесс формирования и набухания клубней, его потребление в процессе их созревания сокращается практически до нулевых значений [256, 263].

Как правило всю норму калийных удобрения, принято вносить за один приём, перед посадкой, так как разделение процесса внесения на протяжении сезона не показывает значительного положительного эффекта на урожайность клубней картофеля [266, 286, 295]. При этом имеются различные точки зрения к способу внесения и виду вносимых калийных удобрений.

Dua V. K. отмечает, что сульфат калия оказывает больший положительный эффект на качество клубней, в частности на содержание сухого вещества, аскорбиновой кислоты и сахара, однако из-за его высокой стоимости предпочтение среди аграриев отделяется хлориду калия. Внесение же калийных удобрений в борозды является более экономичным в сравнении с разбросным методом [247].

В связи с вышеизложенным можно отметить, что локально-ленточное внесения калийных удобрений является перспективным способом их применения. Так, в частности, при грамотном подходе данный метод позволяет сократить общий объём используемых удобрений, при достижении высоких показателей урожайности и качества картофеля. При этом важно учитывать потребность культуры в данном элементе питания, химический состав используемых удобрений, почвенные условия возделываемого поля, в частности его структурный состав, показатели по калию, кислотность и т.д.

Растениям картофеля для их полноценного развития кроме основных элементов питания (азот, фосфор, калий) необходимы и такие элементы как кальций, магний, сера, относящиеся к вторичным элементам питания. Данные элементы питания также оказывают непосредственное влияние на степень развития растений картофеля, объём и качество получаемого урожая. А их избыток или дефицит может приводить к нежелательным последствиям для роста и развития растений.

При дисбалансе питательных веществ могут наблюдаться как внешние, так и внутренние повреждения клубней, к такого рода проявлениям могут относиться: неправильная форма клубней, появление коричневой или полой сердцевины и т.д., например, при несбалансированном азотном питании может наблюдаться накопление химических веществ, которые при последующей термической обработки будут образовывать канцерогены, такие как акриламид, особенно данные процессы наблюдаются при дефиците калия. В результате чем выше дисбаланс между данными элементами, тем выше вероятность последующего формирования канцерогенов в готовой продукции [246, 275]. Кроме того, при избытке азота и дефиците бора могут наблюдаться трещины роста [275]. Дисбаланс между азотом и кальцием способен приводить к появление полой сердцевины [240, 275].

Недавние исследования показывают, что внутрипочвенное внесение удобрений может стимулировать рост корней в почве и повышать эффективность использования питательных веществ растениями. Глубокое размещение удобрений (до 20 см) привело к увеличению длины корней и снижению веса корней в пользу увеличения урожая клубней, важно отметить, что данный эффект несёт относительно ограниченный характер. Однако в засушливые годы внесение удобрений на глубину до 20 см ниже семенного картофеля позволило повысить эффективность внесения удобрений, которая была неэффективной при поверхностном внесении удобрений. В свою очередь авторы исследования отмечают, что глубокое размещение удобрений может иметь некоторые преимущества, но также сопровождается определёнными дополнительным затратами. Стоит отметить, что в результатах исследования имеются данные о том, что эффективность использования питательных веществ на участках с глубиной внесения до 10 см была сопоставима или даже немного превосходила эффективность на участках с внесением удобрений на глубину 20 см [277]. Таким образом, можно сделать вывод, что при внесении удобрений показатель их эффективности будет выше при глубине их заделки в почву, находящейся в интервале до 10 см ниже клубня семенного картофеля,

с учетом возможной вертикальной миграции питательных элементов по профилю пахотного слоя.

Кроме источников минерального питания растения картофеля имеют неплохую отзывчивость на внесение препаратов на основе гуминовых кислот. Имеются данные, что внесение гуминовых препаратов способствует активному росту и развитию растений картофеля, а также оказывают положительный эффект на качественные показатели [212, 244]. В частности, в исследовании Л.В. Тиранова проведённом на сортах картофеля Лига, Ручеек и Аврора было отмечено увеличение урожайности в среднем на 15 – 20% в сравнении с контролем, а также увеличение уровня крахмала на 0,2-0,9% и товарности на 2-7% [215]. В исследованиях А.В. Бутова также отмечается положительный эффект от использования гуминовых препаратов, так крахмалистость увеличилась в сравнении с контролем на 2,1 процентных пункта, при увеличении урожайности в среднем на 14-15% [28].

Использование гуматов способствует лучшему развитию корневой системы, кроме того, увеличивается эффективность поглощения питательных элементов из почвенного раствора. При обработки гуминовыми препаратами минеральных удобрений повышается доступность последних, так в исследования Перминовой И.В., Безугловой О.С. и др. отмечается тот факт, что гуминовые вещества обладают высокой реакционной способностью, они вступают в ионные, донорно-акцепторные и гидрофобные взаимодействия. Взаимодействия с почвенными минералами гуминовые вещества осуществляют путём образования различных органоминеральных производных [147, 156].

Для повышения эффективности минеральных удобрений возможно осуществление их обработки гуматами. Так, данные обработки можно осуществлять, например, предварительно с использованием тукосмесительных установок. С этой целью разработан способ гуматизации минеральных удобрений заключающейся в обработке комплексных минеральных удобрений раствором гуминовых препаратов, в следующих

соотношениях: минеральные удобрения – 97,96%, жидкие гуминовые препараты с содержанием действующего вещества более 5% – 1,96%, полиэтиленгликоль 0,08% или минеральные удобрения – 98,04%, вода – 1,76%, гуминовы препарат с содержанием действующего вещества 80-90% - 0,12%, полиэтиленгликоль 0,08%. Использование данного метода обработки минеральных удобрений позволило повысить воздушно-сухую массу растений в фазу кущения и колошения, продуктивную кустистость и урожайность ячменя ярового. В частности, использование минеральных удобрений обеспечило повышение урожайности в среднем по сравнению с контролем на 1,7 ц/га, а внесение удобрений, обработанных гуминовым препаратом, – 4,7 ц/га [139].

Внутрипочвенное внесение гуматов позволяет обеспечивать ряд положительных эффектов для почвы и растений. Использование данного метода внесения позволяет доставить из непосредственно в корнеобитаемую зону, тем самым способствуя стимуляции ферментативных процессов, развитию естественной микрофлоры растений и почвы, повышению эффективности усвоения минеральных удобрений [216]. При этом внутрипочвенное внесение гуматов может производиться как до посадки картофеля, так и одновременно с ней.

Анализ проведённых исследований показал, что для полноценного развития растений картофеля необходимо, чтобы элементы питания находились в доступной для растений форме в корнеобитаемом слое почвы. «В связи с чем актуальным является совместное локально-ленточное внесение органоминеральных и минеральных удобрений. Данные подход может быть реализован, за счёт аэрозольного распыления гуматов на минеральные удобрения в процессе их внесения» [85, 148]. Совместное локально-ленточное внесение предотвращает миграцию питательных веществ во внешнюю среду, с другой стороны, обеспечивает их переход в доступные для растений формы непосредственно в корнеобитаемом слое почвы. Кроме того, снижается вероятность слёживания и как следствие предотвращает возможные сбои при

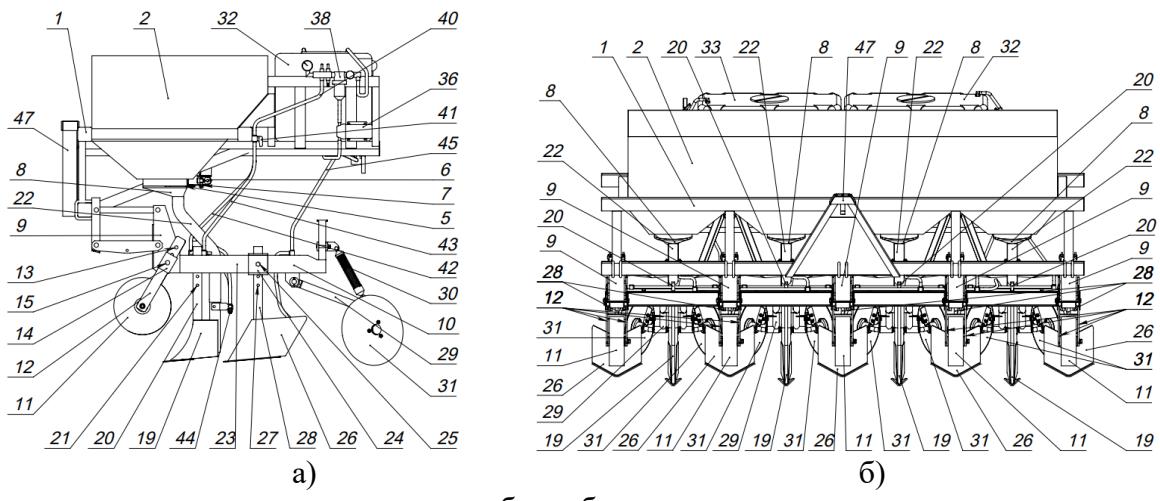
выполнении технологического процесса. При внесении минеральных удобрений средний расход гуминовых препаратов составляет от 0,5 до 2 % по весу.

### **3.2 Конструктивно-технологическая схема гребнеобразующего культиватора-подкормщика**

Для сокращения затрат, связанных с необходимостью проведения различных обработок посадок картофеля и сокращения парка техники необходимого для этих целей, был разработан гребнеобразующий культиватор-подкормщик, конструкция которого позволяет выполнять различные технологические операции по обработке почвы совместно с внесением удобрений и средств защиты растений [62].

Разработанный гребнеобразующий культиватор-подкормщик содержит раму 1, с установленным на ней бункером 2 для твердых минеральных удобрений, имеющим в нижней части туковысевающие аппараты 3 с отверстиями 4, снабженные шиберными заслонками 5, соединёнными с актуатором 6, через общую рейку 7, актуатор в свою очередь соединён с бортовым компьютером. Нижняя часть туковысевающих аппаратов 3 имеет возможность крепления конусных распределителей 8 (под один или два тукопровода). На раме 1 шарнирно закреплена навеска 9, состоящая из рамы 10 с закреплёнными на ней опорными колёсами 11, при этом для возможности их регулировки по высоте кронштейны крепления 12 имеют отверстия 13, а на раме 10 навески 9 имеются проушины 14 с фиксирующим болтом 15. Рама 10 имеет на передней поперечной балке 16 проушины 17 с фиксирующим болтом 18, предназначенные для крепления и регулировки по высоте подкормочных сошников 19, которые имеют на стойке 20 крепления отверстия 21. К подкормочным сошникам 19 от конусных распределителей 8 подходят тукопроводы 22. Также рама 10 имеет на продольных балках 23 проушины 24

с фиксирующими болтами 25, предназначенные для крепления и регулировки по высоте окучивающих лап 26, которые в свою очередь имеют отверстия 27, расположенные на стойках 28 крепления. В задней части рамы 10 через систему тяг 29 и амортизатор 30 установлены загортачи-гребнеобразователи 31. Для внесения жидких удобрений и средств защиты растений на раме 1 установлены ёмкости 32 и 33, соединённые между собой в нижней части трубопроводом 34 через кран 35. Ёмкости 32 и 33 оборудованы насосами 36 и 37 и регуляторами давления 38 и 39, которые также подключены к бортовому компьютеру. От регулятора давления 38 проложен трубопровод 40 к переключающему тройнику 41, от которого проложены трубопроводы 42 и 43 к форсункам 44 установленным на подкормочных сошниках 19. В свою очередь от регулятора давления 39 проложен трубопровод 45 к форсункам 46 установленным в задней части окучивающих лап 26. Для крепления к трактору рама 1 оборудована креплением 47, выполненным по типу треугольник [62, 138].



а – вид сбоку; б – вид спереди  
Рисунок 3.4 – Схема компоновки гребнеобразующего культиватора-подкормщика для проведения предпосадочной обработки почвы

При предпосадочной обработке почвы и внесении основной дозы удобрений. Перед началом работы производится настройка оборудования. В бортовой компьютер загружается карта заданий, на навеске на необходимой высоте выставляются опорные колеса, после чего согласно рисунку 1

устанавливаются на необходимой высоте основные рабочие органы. На передней поперечной балке устанавливаются четыре подкормочных сошника, которые в свою очередь соединяются с системой тукопроводов и трубопроводом, при этом переключающий тройник выставляется в соответствующее положение. На грядилях на необходимой высоте при помощи фиксирующих болтов фиксируются окучивающие лапы, а в задней части рамы навески через систему тяг и амортизатор на необходимой высоте устанавливаются загортачи-гребнеобразователи. После чего производится загрузка бункера твердыми минеральными удобрениями, а емкости заправляются жидкими гуматами или биопрепаратами, при этом кран переводится в положение открыто, соединя емкости [62, 138].

После проведения подготовительных операций гребнеобразующий культиватор-подкормщик в сцепке с трактором выезжает в поле и приступает к работе согласно загруженной карте заданий. При движении агрегата подкормочные сошники открывают борозды, в которые поступают удобрения. Для этого согласно карте заданий с бортового компьютера поступает сигнал на актуатор, который через общую рейку приводит в движение шиберные заслонки, тем самым открывая или закрывая их на необходимую величину, регулируя норму внесения твердых минеральных удобрений, которые поступают в борозды через конусные распределители и тукопроводы, одновременно с этим с бортового компьютера подаётся сигнал на насос и регулятор давления, после получения сигнала насос начинает подачу жидких гуматов к регулятору давления, который в свою очередь согласно полученному сигналу выставляет необходимое рабочее давление и норму внесения, после чего жидкие гуматы или бактериальные биопрепараты поступают по трубопроводу к переключающему тройнику и затем через подающий трубопровод поступают к форсункам, где происходит их распыление в образовавшиеся борозды. Далее окучивающие лапы производят подрезание и подъем почвенного пласта с заделыванием удобрений и окончательное формирование гряды [62, 138].

При междурядной обработке с подкормкой и внесением средств защиты растений. Перед началом работы производится настройка оборудования. В бортовой компьютер загружается карта заданий, на навеске на необходимой высоте выставляют опорные колеса, после чего согласно рисунку 2 устанавливают по ширине согласно схемы основные рабочие органы. На передней поперечной балке устанавливаются восемь подкормочных сошников, которые в свою очередь соединяются с системой тукопроводов и трубопроводом, при этом переключающий тройник выставляется в соответствующее положение. На грядилах на необходимой высоте при помощи фиксирующих болтов фиксируются окучивающие лапы. После чего производится загрузка бункера твердыми минеральными удобрениями, одна из емкостей заправляется жидкими гуматами или бактериальными биопрепаратами, а вторая емкость заправляется гербицидами, при этом кран между ёмкостями переводится в положение закрыто [62, 138].

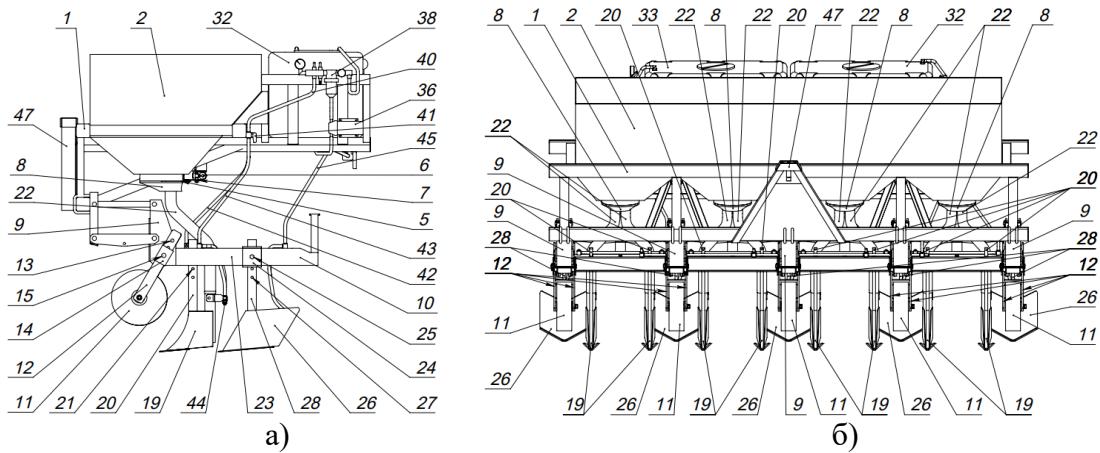


Рисунок 3.5 – Схема компоновки гребнеобразующего культиватора-подкормщика для проведения междурядной обработки почвы

После проведения подготовительных операций гребнеобразующий культиватор-подкормщик в сцепке с трактором выезжает в поле и приступает к работе согласно загруженной карте заданий. При движении агрегата подкормочные сошники с двух сторон гребня образуют борозды, в которые поступают удобрения. Для этого согласно карте заданий с бортового

компьютера поступает сигнал на актуатор, который через общую рейку приводит в движение шиберные заслонки, тем самым открывая или закрывая их на необходимую величину, регулируя норму внесения твердых минеральных удобрений, которые поступают в образованные борозды через конусные распределители и тукопроводы, одновременно с этим с бортового компьютера подаётся сигнал на первый насос и регулятор давления, после получения сигнала насос начинает подачу жидких гуматов или бактериальных биопрепаратов к регулятору давления, который в свою очередь согласно полученного сигнала выставляет необходимое рабочее давление и норму внесения, после чего жидкие гуматы или биопрепараты поступают по трубопроводу к переключающему тройнику и затем по трубопроводу поступают к форсункам, где происходит их распыление в образовавшиеся борозды. Далее окучивающие лапы производят подрезание и подъем почвенного пласта, формируя гряды. При этом с бортового компьютера подаётся сигнал на второй насос и регулятор давления, после получения сигнала насос начинает подачу жидких гербицидов к регулятору, давления который, в свою очередь, согласно полученному сигналу выставляет необходимое рабочее давление и дозу внесения, после чего жидкие гербициды форсунками распределяются на поверхность межурядий [62, 138].

При данной обработке возможно внесение отдельно как твердых минеральных удобрений, так и жидких минеральных или органических удобрений, при одновременном внесении средств защиты растений [62, 138].

Использование предлагаемого гребнеобразующего культиватора-подкормщика позволит повысить экономическую эффективность возделывания картофеля, за счёт дифференциированного внесения твердых минеральных и жидких удобрений во время проведения предпосадочной обработки почвы. Применение гребнеобразующего культиватора-подкормщика для ухода за растениями сделает возможным одновременно проводить операции по окучиванию и подкормке, обработке растений защитно-стимулирующими препаратами и гербицидами. Что позволит

значительно сократить парк техники необходимой для возделывания картофеля, а также количество технологических проходов сельскохозяйственной техники, тем самым снижая нагрузку на почву и сокращая расход горюче-смазочных материалов [62].

### **3.3 Теоретическое обоснование параметров гребнеобразующего культиватора-подкормщика для совместного локально-ленточного внесения органоминеральных и минеральных удобрений**

#### **3.3.1 Обоснование конструкции шнекового дозирующего устройства**

Для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений согласно картам заданий, с высокой точностью их дозирования было разработано дозирующее устройство (рисунок 3.6).

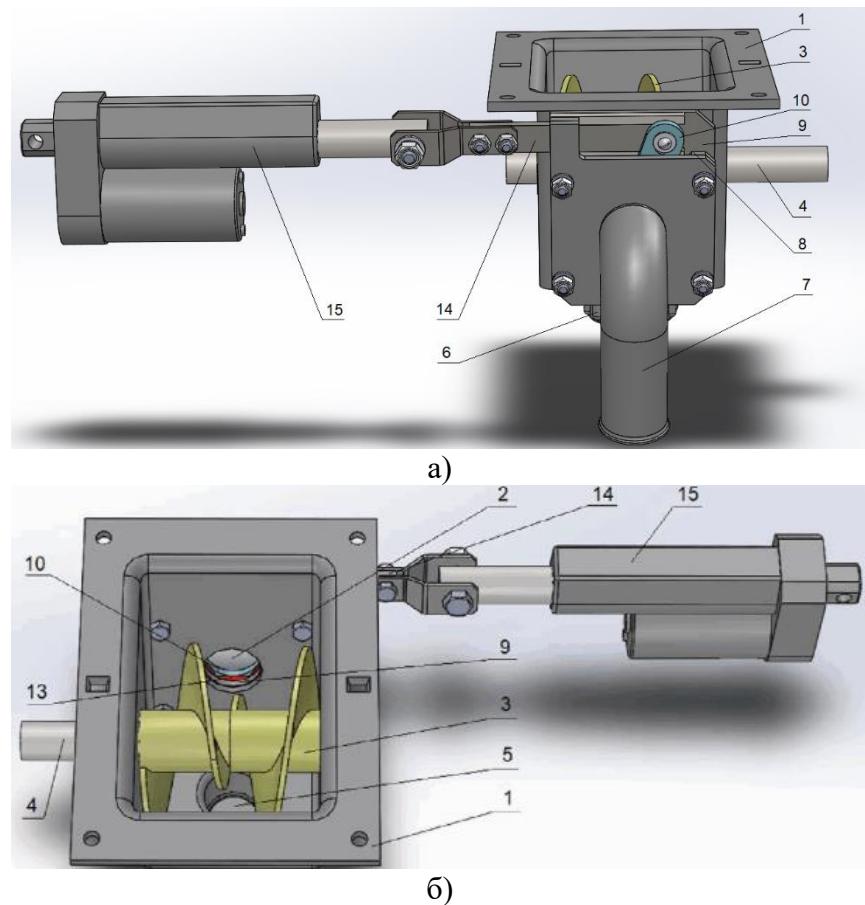
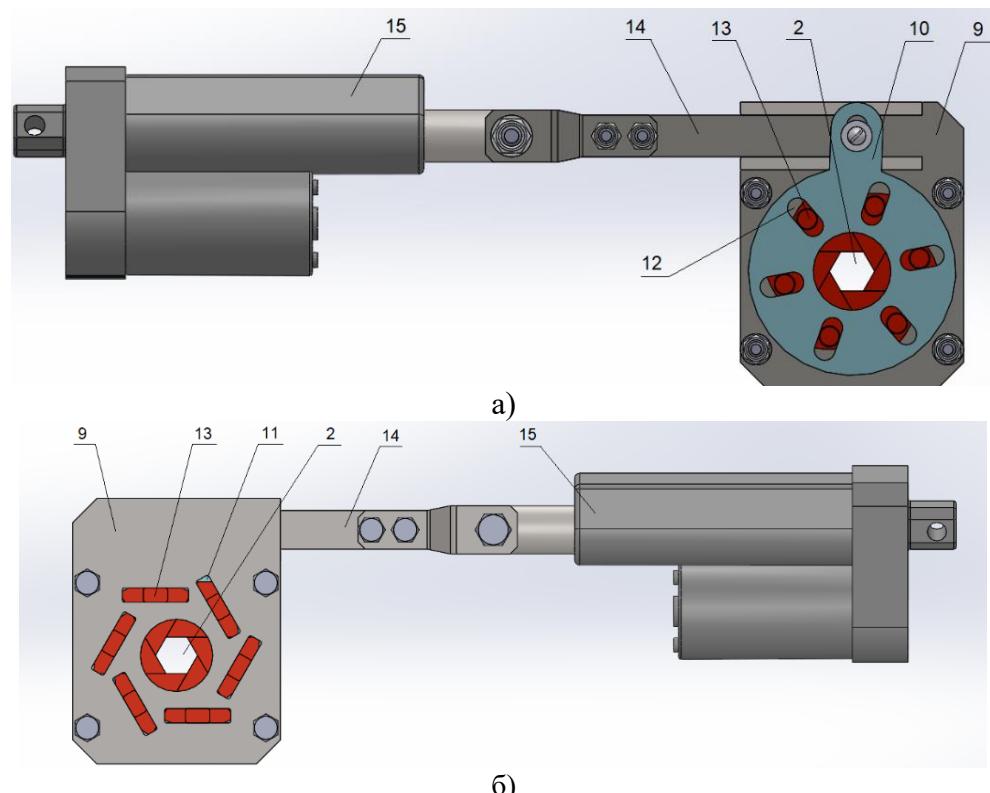


Рисунок 3.6 – Общий вид дозирующего устройства

Предлагаемое дозирующее устройство состоит из корпуса 1 с выгрузным отверстием 2, составного шнека 3 со встречно направленными витками, сходящимися напротив выгрузного отверстия 2, установленного на валу 4, который подключен к электроприводу (на рисунке не показан). Корпус 1 содержит разгрузочную горловину 5 с установленной на ней крышкой 6. Корпус 1 соединён с выгрузным патрубком 7 и системой дозирования 8 (рисунок 3.7) [140, 169].

Система дозирования 8 включает боковую стенку 9 корпуса 1 и водило 10, выполненные с направляющими пазами 11 и 12, соответственно, и заслонки 13, установленные с возможностью перемещения в пазах 11 и 12. Водило 10 соединено через тягу 14 с актуатором 15 [140, 169].



а – вид со стороны выгрузного патрубка; б – вид со стороны выгрузного отверстия.

Рисунок 3.7 – Система дозирования

Работает предлагаемое дозирующее устройство следующим образом. С блока управления согласно карте заданий, подаётся сигнал на электропривод (на рисунках не показан) который устанавливает скорость вращения составного шнека 3, также подаётся сигнал на актуатор 15, который

перемещает тягу 14, тем самым вращая водило 10, в результате чего смещаются заслонки 13 в пазах 12 и направляющих пазах 11. Смещающиеся заслонки 13 изменяют сечение выгрузного отверстия 2. В процессе вращения составного шнека 3 твердые минеральные удобрения проталкиваются через выгрузное отверстие 2 проходя через систему дозирования 8 поступают в выгрузной патрубок 7 из которого происходит их выгрузка [85, 140, 148, 169].

Регулировка нормы внесения твердых минеральных удобрений может осуществляться как при помощи изменения частоты вращения составного шнека 3, так и при помощи системы дозирования 8, изменяющей проходное сечение выгрузного отверстия 2. Более точная регулировка нормы внесения будет достигаться за счёт одновременной работы системы дозирования 8 и составного шнека 3, так как вращающийся составной шнек создаёт направленный поток гранул минеральных удобрений, которые стремятся пройти через заданное сечение выгрузного отверстия 2 [85, 140, 148, 169].

Движение гранул в шнековом дозирующем устройстве происходит в результате их взаимодействия с корпусом дозирующего устройства и витками составного шнека. Рассмотрим силовое взаимодействие гранулы минерального удобрения находящейся в дозирующем аппарате (рисунок 3.8). Сделаем следующие допущения: так как шнек вращается с постоянной скоростью, то можем рассмотреть равновесие данной системы; размер гранулы минеральных удобрений мал, в связи с чем пренебрежём её размерами и будем считать её материальной точкой.

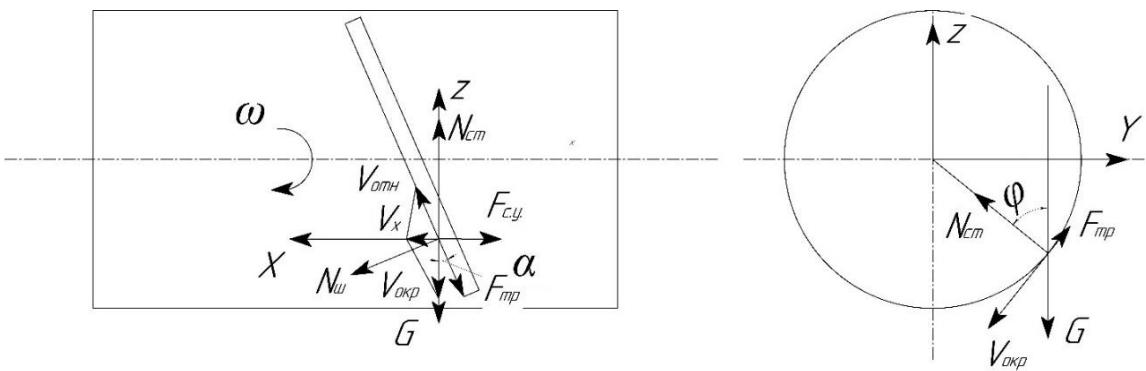


Рисунок 3.8 – Расчёчная схема к определению силового взаимодействия гранулы минеральных удобрений и шнекового дозирующего устройства

Рассмотрим равновесие гранулы минеральных удобрений в поперечном сечении шнекового дозирующего устройства.

$$\sum F_z = 0 ; N_{ct} \cos\varphi + F_{tp1} \sin\varphi - G = 0 \quad (3.1)$$

$$F_{tp1} = N_{ct} f_{tp1}$$

где  $N_{ct}$  – нормальная реакции стенки корпуса, шнекового дозирующего устройству, Н.

$F_{mp1}$  – сила трения гранулы минеральных удобрений о стенку шнекового дозирующего устройства, Н;

$G$  – сила тяжести, действующая на гранулу минеральных удобрений, Н;

$f_{tp1}$  – коэффициент трения гранулы минеральных удобрений о стенку шнекового дозирующего устройства;

$\varphi$  – текущий угол положения витка составного шнека ( $\varphi=\omega t$ ), град.

Найдем из выражения (3.1) величину нормальной реакции стенки шнекового дозирующего устройства:

$$N_{ct} = \frac{G}{\cos\varphi + f_{tp1} \sin\varphi} \quad (3.2)$$

Рассмотрим взаимодействие гранулы минеральных удобрений с витком составного шнека

$$\begin{cases} \sum F_z = 0 ; N_{ct} - F_{tp2} \cos\alpha - G - N_{sh} \sin\alpha = 0 \\ \sum F_x = 0 ; N_{sh} \cos\alpha - F_{tp2} \sin\alpha - F_{c.y.} = 0 \\ F_{tp2} = N_{sh} f_{tp2} \end{cases} \quad (3.3)$$

где  $F_{c.y.}$  – сила сопротивления между гранулами минеральных удобрений при движении, Н;

$F_{mp2}$  – сила трения гранулы минеральных удобрений о виток составного шнека, Н;

$N_{sh}$  – нормальная реакции витка шнека, Н.

$f_{tp2}$  – коэффициент трения гранулы минеральных удобрений о виток шнека;

$\alpha$  – угол подъёма винтовой линии шнека, град.

Определим величину нормальной реакции витка шнека из первого уравнения системы (3.3):

$$N_{ш} = \frac{N_{ct} - G}{\sin\alpha + f_{tp2}\cos\alpha} \quad (3.4)$$

Также из второго уравнения системы (3.3) определим величину силы сопротивления между гранулами минеральных удобрений при движении

$$F_{c.y.} = N_{ш} \cos\alpha - N_{ш} f_{tp2} \sin\alpha \quad (3.5)$$

Подставив в выражения 3.4 и 3.5 выражение 3.2 получим:

$$N_{ш} = \frac{\frac{G}{\cos(\omega t) + f_{tp1}\sin(\omega t)} - G}{\sin\alpha + f_{tp2}\cos\alpha} \quad (3.6)$$

С учётом значений реакции шнека величина силы сопротивления между гранулами минеральных удобрений при движении определяется следующим выражением:

$$F_{c.y.} = \frac{\frac{G}{\cos(\omega t) + f_{tp1}\sin(\omega t)} - G}{\sin\alpha + f_{tp2}\cos\alpha} \cdot (\cos\alpha - f_{tp2}\sin\alpha) \quad (3.7)$$

Используя выражение (3.7) в программе Mathcad построим график изменения силы сопротивления между гранулами минеральных удобрений при движении в шнеке дозирующего устройства. Примем следующие исходные данные для расчёта: сила тяжести  $G=0,000981$  Н; угол подъёма винтовой линии шнека  $\alpha=0,1745$  рад; коэффициент трения гранулы между витками шнека и между стенками корпуса дозирующего устройства  $f_{tp1}=f_{tp2}=0,55$ ; угловая скорость вращения шнека  $\omega=3,14$  рад/с.

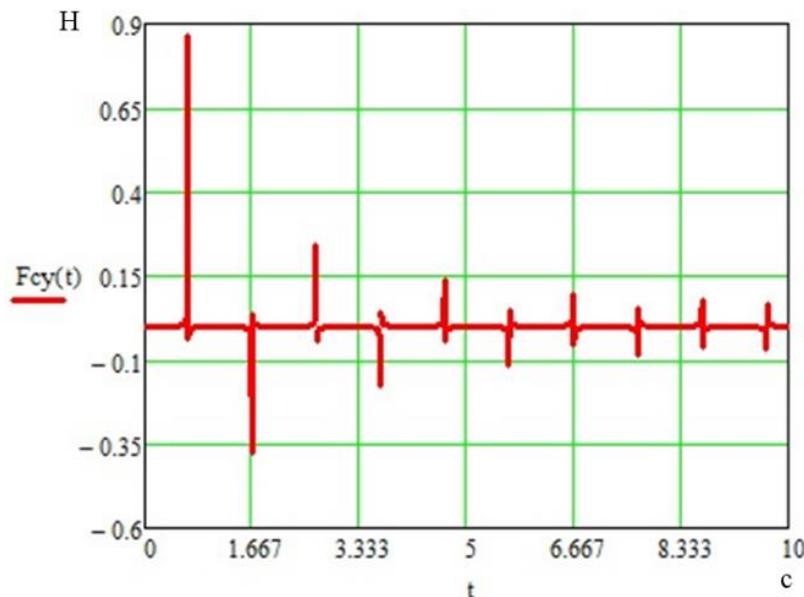


Рисунок 3.9 - График изменения силы сопротивления между гранулами минеральных удобрений при движении в шнеке дозирующего устройства

Анализ графика показал, что сила сопротивления определяется взаимодействием веса гранулы и нормальной реакцией витка шнека. С увеличением времени нахождения гранул в шнеке создаётся сила подпора гранул, которая уменьшает величину силы сопротивления между гранулами минеральных удобрений при движении в шнеке дозирующего устройства.

Производительность дозирующего устройства будет определяться такими параметрами как проходное сечение выгрузного отверстия и производительность составного шнека. Для определения производительности составного шнека рассмотрим процесс движения гранулы минеральных удобрений вдоль стенок корпуса дозирующего устройства. Рассмотрим одну часть составного шнека, имеющего одностороннюю навивку. Вектор скорости гранулы минеральных удобрений будет представлять собой сумму векторов скорости её движения относительно корпуса дозирующего устройства и скорости движения относительно составного шнека.

При этом производительность витка шнека можно определить по формуле:

$$Q_b = 3600 V_x \cdot A \cdot \gamma_{уд} \quad (3.8)$$

где  $Q_b$  – производительность витка шнека, кг/ч;

$V_x$  – проекция скорости гранулы минеральных удобрений на ось  $X$ , м/с;

$A$  – площадь поперечного сечения камеры дозирующего устройства, м<sup>2</sup>;

$\gamma_{уд}$  – объёмная масса удобрений, кг/м<sup>3</sup>.

Проекция скорости гранулы минеральных удобрений будет определяться следующим выражением [217]:

$$V_x = \pi \cdot D_{ср.ду} \cdot \omega \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot (1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \quad (3.9)$$

где  $D_{ср.ду}$  – средний диаметр шнека дозирующего устройства, м;

$\omega$  – угловая скорость шнека, рад/с;

$\alpha$  – угол подъёма винтовой линии шнека, град;

Площадь поперечного сечения межвиткового пространства шнека дозирующего устройства определяется выражением:

$$A = \frac{b \cdot h}{\sin \alpha} \quad (3.10)$$

где  $b$  – расстояние между витками шнека, м;

$h$  – высота витков шнека, м.

В свою очередь средний диаметр шнека дозирующего устройства можно выразить в виде следующего выражения:

$$D_{\text{ср.ду}} = 2h \quad (3.11)$$

Подставим выражения (3.09), (3.10) и (3.11) в выражение (3.08) получим:

$$Q_B = 7200 \cdot \pi \cdot h^2 \cdot \omega \cdot \cos \alpha \cdot (1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot b \cdot \gamma_{\text{уд}} \quad (3.12)$$

На основе полученного выражения в программе Mathcad построим график изменения производительности витка шнека в зависимости от изменения его частоты. Примем следующие исходные данные для расчёта: объёмная масса удобрений  $\gamma_{\text{уд}}=800 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; угол подъёма винтовой линии шнека  $\alpha=0,1745$  рад; угол между направлением движения гранул минеральных удобрений и плоскостью боковой поверхности витков шнека  $\varphi = 1,4$  рад; расстояние между витками шнека  $b = 0,07$  м; высота витков шнека варьировалась от 0,05 до 0,09 м.

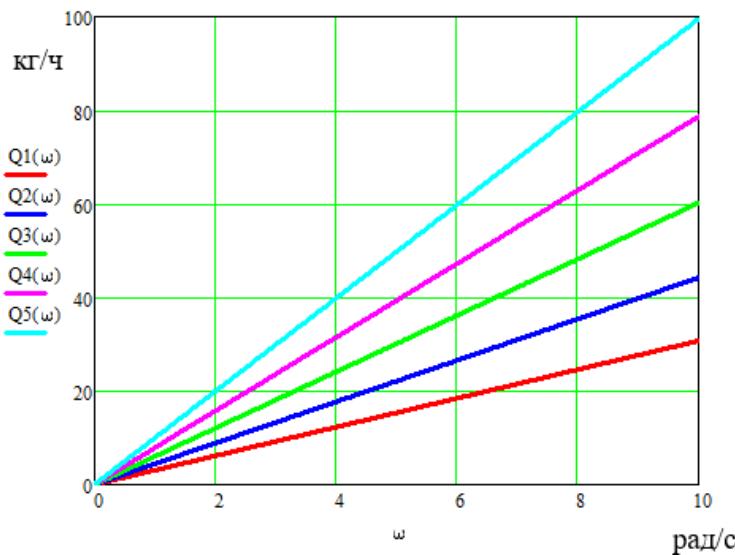


Рисунок 3.10 – Производительность витка шнека дозирующего устройства

Анализ графика показывает, что наибольшее влияние на производительность витка шнека оказывает диаметр шнека и угловая скорость. Исходя из конструктивных соображений рациональными

параметрами витка шнека являются диаметр шнека 0,14 м и диапазон угловых скоростей от 4 до 8 рад/с.

Учитывая, что шнек дозирующего устройства имеет двустороннюю навивку со встречно направленными витками, то производительность составного шнека будет определяться формулой:

$$Q_{ш} = Q_{в1} + Q_{в2} \quad (3.13)$$

где  $Q_{в1}$  и  $Q_{в2}$  – производительность левого и правого витков шнека соответственно, кг/ч.

Шнеки создают необходимый подпор удобрений перед выгрузным окном с изменяемым поперечным сечением. Поперечное сечение регулируется с использованием шиберной заслонки диафрагменного типа.

Производительность дозирующего устройства будет определяться с одной стороны производительностью двух встречных витков составного шнека, а с другой стороны выгрузного регулируемого окна (Рисунок 3.11).

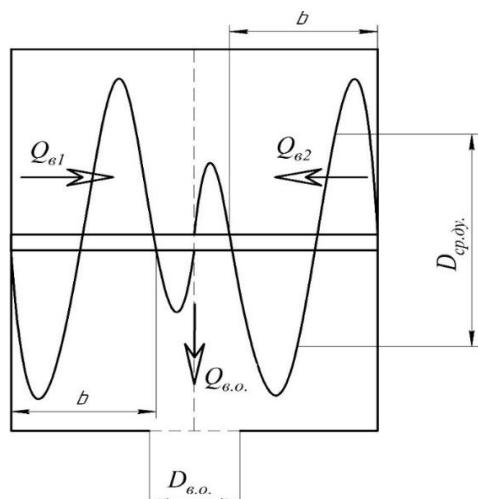


Рисунок 3.11 – Расчётная схема к определению материального баланса удобрений в дозирующем устройстве

Так как выпуск удобрений из дозирующего устройства зависит от подпора удобрений и работы силы тяжести, то производительность выгрузного окна можно представить в виде:

$$Q_{в.о.} = \mu \cdot \gamma_{уд} \cdot \frac{\pi \cdot D_{в.о.}^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{уд}} \quad (3.14)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода, зависящий от формы отверстия;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

$H_{\text{уд}}$  - приведённый напор удобрений, м;

$D_{\text{в.о.}}$  – диаметр выгрузного окна, м;

$$H_{\text{уд}} = H + \frac{P_{\text{уд}}}{\gamma_{\text{уд}} \cdot g} \quad (3.15)$$

где  $H$  – геометрический напор над центром тяжести отверстия, м;

$P_{\text{уд}}$  – подпор удобрений внутри корпуса дозирующего устройства, Па;

Таким образом производительность выгрузного отверстия дозирующего устройства должна удовлетворять условию:

$$Q_{\text{ш}} \geq Q_{\text{д.у.}} \quad (3.16)$$

Рассмотрим взаимосвязь между параметрами элементов дозирующего устройства с учётом выражений (3.12), (3.14):

$$D_{\text{в.о.}} = \sqrt{\frac{8 \cdot h^2 \cdot \omega \cdot \cos \alpha \cdot (1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot b}{\mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(H + \frac{P_{\text{уд}}}{\gamma_{\text{уд}} \cdot g}\right)}}} \quad (3.17)$$

На основе полученного выражения в программе Mathcad построим график изменения диаметра выходного отверстия в зависимости от частоты вращения составного шнека и коэффициента расхода, зависящего от формы отверстия (рисунок 3.12). Исходные условия для расчёта принимали как для графика описывающего производительность витка шнека дозирующего устройства (рисунок 3.10).

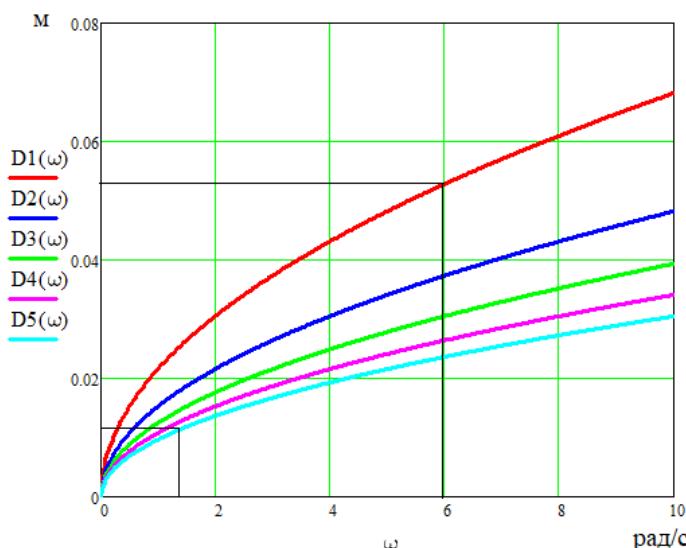


Рисунок 3.12 – График изменения диаметра выходного отверстия в зависимости от частоты вращения составного шнека и коэффициента расхода

Анализ графика 3.12 показывает, что с увеличением частоты вращения форма выгрузного отверстия оказывает существенное влияние на его диаметр. Также установлено, что при угловой скорости шнека от 1,5 до 6 рад/с диаметра выгрузного отверстия находится в диапазоне от 0,012 до 0,055 м. При выгрузном отверстии, выполненном в форме шестиугольника и угловой скорости шнека 6 рад/с, необходимый размер отверстия будет составлять 0,03м.

### **3.3.2 Моделирование процесса дозирования твердых минеральных удобрений в шнековом дозирующем устройстве**

Для уточнения режимов работы разработанного дозирующего устройства в программе 3ds Max были построены его 3d модели. У которых изменялась площадь сечения выгрузного отверстия в диапазонах от 78,5 до 706,5  $\text{мм}^2$ . Затем полученные модели загружались в программу RealFlow 10, где моделировались процессы движения гранул твердых минеральных удобрений [169].

Для этого для каждой модели использовалось 50000 гранул каждая из которых имела диаметр 3 мм. Коэффициент трения между гранулами (внутреннего трения) выбирался 0,45 коэффициент трения между гранулами и поверхностями дозирующего устройства (внешнего трения) составлял 0,55.

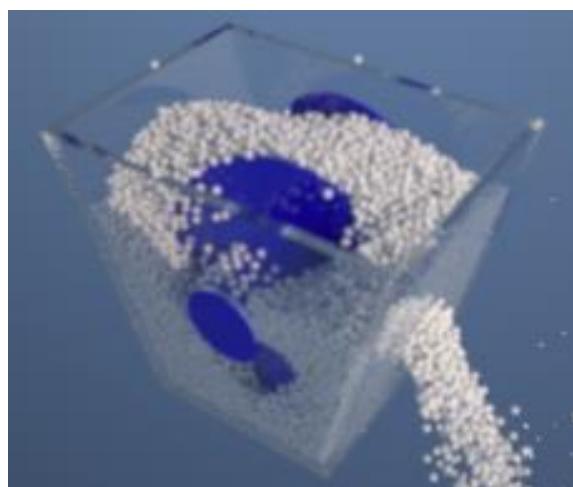


Рисунок 3.13 – Смоделированный процесс дозирования гранул ТМУ

В процессе исследований в каждой из моделей изменялась скорость вращения шнека в диапазоне от 0 до 90 об/мин. В ходе расчётов оценивалась производительность дозирующего устройства по количеству гранул, вышедших из выгрузного отверстия за 1 секунду [169].

На основе результатов проведенных программно-математических вычислений был построен график зависимости производительности дозирующего устройства от изменения площади выгрузного отверстия и скорости вращения шнека [169].

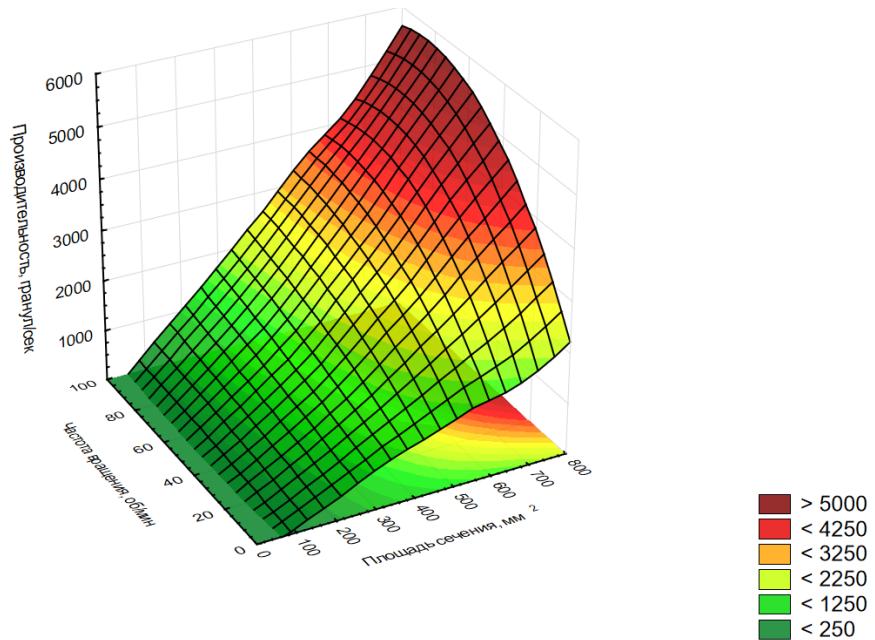


Рисунок 3.14 – График производительности дозирующего устройства

Анализ графика показывает, что изменение проходного сечения способствует практически линейному изменению производительности предлагаемого дозирующего устройства, при этом данная зависимость сохраняется на всех скоростях вращения шнека. Стоит отметить, что изменение частоты вращения шнека в диапазоне от 15 до 60 об/мин способствует росту производительности дозирующего устройства при проходном сечении от 78,5 до 400  $\text{мм}^2$  линейном диапазоне, а при проходных сечениях более 400  $\text{мм}^2$  приобретает квадратичную зависимость. Также стоит

обратить внимание, что при изменении частоты вращения шнека более 60 об/мин рост производительности не наблюдается [169].

Также была исследована равномерность высева на разных режимах работы дозирующего устройства. На основе полученных данных была построена графическая зависимость, показывающая равномерность высева гранул в зависимости от частоты вращения шнека и площади выгрузного отверстия [169].

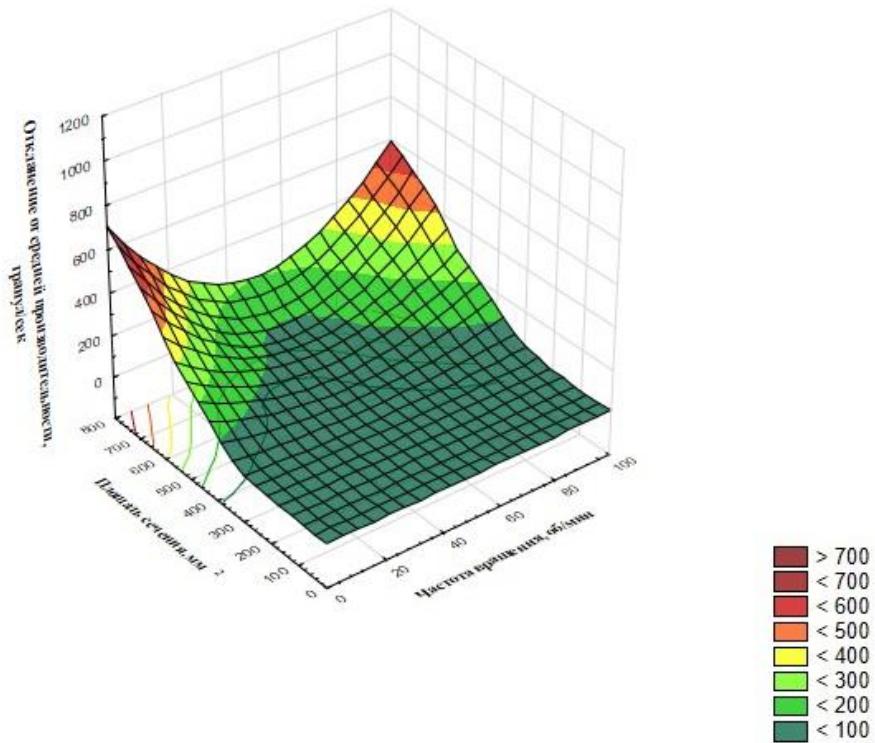


Рисунок 3.15 – График равномерности высева на разных режимах дозирования

Анализ графика показал, что наибольшую значимость на равномерность высева оказывает диаметр проходного сечения выгрузного отверстия в сравнении с частотой вращения составного шнека. Площадь выгрузного окна следует назначать в диапазоне от 100  $\text{мм}^2$  до 600  $\text{мм}^2$ , частота вращения составного шнека имеет зону рациональных значений минимума в диапазоне от 40 до 70 об/мин, где наблюдается высокая равномерность высева гранул минеральных удобрений [169].

Таким образом, проведённые теоретические исследования позволяют говорить о том, что использование разработанного дозирующего устройства позволит добиться более точной дозы внесения минеральных удобрений, за счёт одновременной регулировки системы дозирования (площади выгрузного окна) и составного шнека. Вращение составного шнека создаёт направленный поток гранул минеральных удобрений, которые проходят через заданное сечение выгрузного отверстия. На основе результатов компьютерного моделирования по параметрам производительности и равномерности подачи гранул минеральных удобрений рациональными параметры дозирующего устройства будут находиться в диапазонах: частота вращения составного шнека от 40 до 50 об/мин; площадь выгрузного окна от 200 до 500 мм<sup>2</sup>.

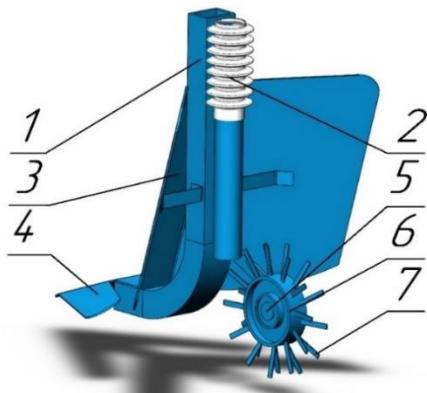
### **3.3.3 Обоснование конструктивных параметров сошника для распределения удобрений в гребне**

При локально-ленточном внесении минеральных удобрений важно учитывать степень распределения удобрений по объёму гребня. От равномерности распределения удобрений, а также глубины их заделки во многом будет зависеть то, на сколько своевременно элементы питания будут поступать к корневой системе картофеля. В связи с чем необходимо уделять особое внимание органам распределения удобрений.

С целью повышения качества распределения удобрений в гребне при локально-ленточном внесении, для предлагаемого гребнеобразующего культиватора-подкормщика был разработан подкормочный сошник для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений (рисунок 3.16).

Подкормочный сошник для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений представляет собой культиваторную лапу с отвалами, установленную на стойке с закреплённым тукопроводом,

в свою очередь под тукопроводом расположен рассеиватель, состоящий из свободно вращающегося обода с разнонаправленными зубьями [146].



1 – стойка; 2 – тукопровод; 3 – отвалы; 4 – культиваторная лапа; 5 – рассеиватель; 6 – вращающийся обод; 7 – зубья

Рисунок 3.16 – Общий вид подкормочного сошника для подпочвенного разбросного внесения твердых минеральных удобрений

В процессе заглубления сошника образуется борозда, в которую через тукопровод подаются удобрения, взаимодействуя с зубьями свободно вращающегося рассеивателя. [146].

Рассмотрим процесс распределения гранул минеральных удобрений в результате взаимодействия их с рассеивателем. Для этого рассмотрим процесс движения рассеивателя (рисунок 3.17).

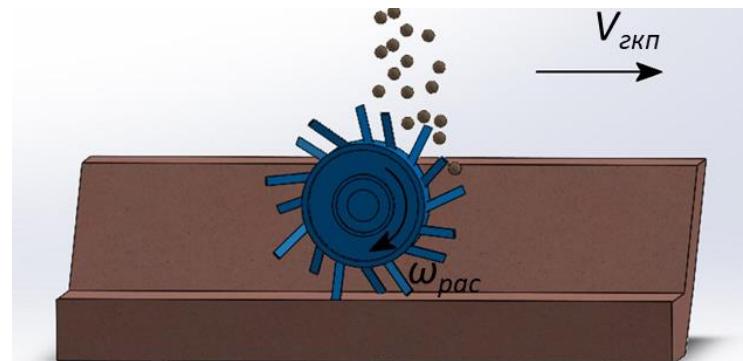


Рисунок 3.17 – Расчетная схема к определению скорости разнонаправленных зубьев

«Окружная скорость рассеивателя будет определяться скоростью движения гребнеобразующего культиватора-подкормщика с учётом заглубления зубьев:

$$V_{\text{pac}} = \frac{V_{\text{гкп}} \cdot r_3}{r_{\text{cp}}} \quad (3.18)$$

где  $V_{\text{pac}}$  – окружная скорость рассеивателя, м/с;

$V_{\text{гкп}}$  – рабочая скорость гребнеобразующего культиватора-подкормщика, м/с;

$r_{\text{cp}}$  – средний радиус заглубленного рассеивателя с разнонаправленными зубьями, м;

$r_3$  – радиус окружности по вершинам разнонаправленных зубьев, м» [85, 148].

«Кроме того, при взаимодействии гранул с рассеивателем, в начальный момент времени на процесс их распределения будет влиять скорость самих гран, которая будет определяться высотой их падения:

$$V_{\text{гр}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{гр}}} \quad (3.19)$$

где  $V_{\text{гр}}$  – скорость свободного падения гранул минеральных в тукопроводе, м/с;

$h_{\text{гр}}$  – высота падения гранул, м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>» [85, 148].

Рассмотрим процесс ударного воздействия разнонаправленных зубьев рассеивателя на минеральные удобрения (рисунок 3.18).

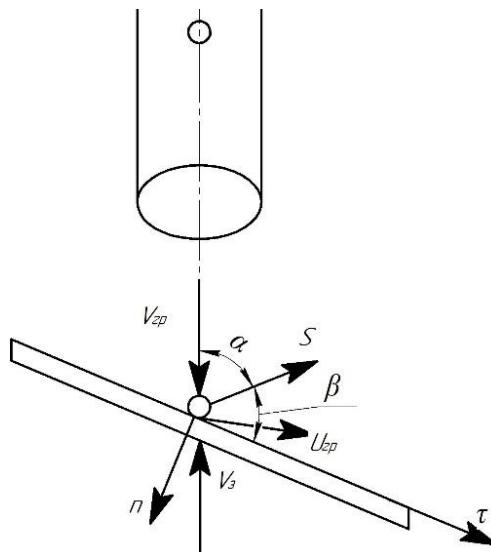


Рисунок 3.18 – Схема к определению ударного взаимодействия гранул с разнонаправленными зубьями

«Скорость в момент удара будет определяться как сумма скоростей гранулы и зуба рассеивателя

$$V_1 = V_{\text{гр}} + V_3 \quad (3.20)$$

где  $V_1$  – скорость гранулы минеральных удобрений в момент соударения с зубом рассеивателя, м/с;

$V_3$  – скорость зуба ( $V_3 \approx V_{pac}$ ), м/с» [85, 148].

«Определим проекции скорости на естественные оси координат  $n$  и  $\tau$ .

$$\begin{cases} V_{1n} = V_1 \cdot \cos \alpha \\ V_{1\tau} = V_1 \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (3.21)$$

При взаимодействии гранулы удобрений с разнонаправленным зубом возникает ударный импульс, который при отсутствии силы трения будет направлен перпендикулярно плоскости зуба.

$$m_{\text{гр}} \cdot U_1 - m_{\text{гр}} \cdot V_1 = S \quad (3.22)$$

где  $U_1$  – скорость гранулы минерального удобрения в конце удара, м/с;

$m_{\text{гр}}$  – масса гранулы минерального удобрения, кг;

$S$  – ударный импульс, кг\*м/с» [85, 148].

«Проекция уравнения (3.22) на ось  $\tau$  будет иметь вид:

$$m_{\text{гр}} \cdot U_{1\tau} - m_{\text{гр}} \cdot V_{1\tau} = 0 \quad (3.23)$$

Отсюда получим:

$$U_{1\tau} = V_{1\tau} \quad (3.24)$$

С учетом выражения (3.22) уравнение (3.24) примет вид:

$$U_{1\tau} = V_1 \cdot \sin \alpha \quad (3.25)$$

В свою очередь процесс удара можно разделить на 2 этапа, на первом этапе происходит деформирование гранулы, после чего на втором этапе происходит её частичное восстановление, в связи с чем соотношение ударных импульсов этих этапов будет характеризоваться коэффициентом восстановления

$$U_1 = -k \cdot V_1 \quad (3.26)$$

где  $k$  – коэффициент восстановления гранулы минеральных удобрений.

Таким образом проекция уравнения импульса на нормаль с учётом выражения (3.21) примет вид:

$$U_{1n} = -k \cdot V_1 \cdot \cos \alpha \quad (3.27)$$

Угол отражения  $\beta$  будет определяться следующим выражением:

$$\tan \beta = \frac{|U_{1n}|}{|V_{1\tau}|} \quad (3.28)$$

Учитывая выражение (3.25) и (3.27) получим:

$$\tan \beta = \frac{\tan \alpha_c}{k} \quad (3.29)$$

где  $\alpha_c$  – угол соударения гранулы с разнонаправленным зубом» [85, 148].

После отскока гранул минеральных удобрений от зуба рассеивателя полное значение скорости будет определяться уравнением:

$$U_1 = \frac{U_{1n}}{\cos \beta} \quad (3.30)$$

Подставив значение выражения (3.27), получим:

$$U_1 = - \frac{k \cdot V_1 \cdot \cos \alpha_c}{\cos \beta} \quad (3.31)$$

Для определения траектории полёта гранулы минерального удобрения и расстояния, на котором она приземлится после отскока, воспользуемся величиной её скорости.

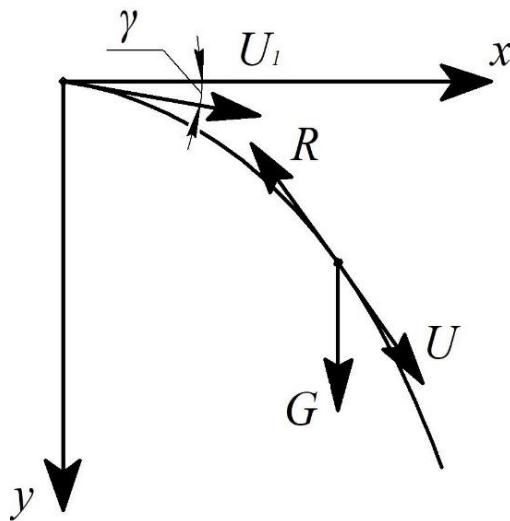


Рисунок 3.19 – Схема для определения траектории полёта гранулы после соударения с зубом рассеивателя

Значение угла отскока  $\gamma$  в начальный момент времени определим из выражения:

$$\gamma = 90^\circ - (\alpha_c + \beta) \quad (3.32)$$

Траектория полёта гранулы минерального удобрения определяется абсолютной скоростью в момент её отскока от зуба рассеивателя, а также высоты расположения рассеивателя над поверхностью земли.

«Так как после соударения гранула движется в свободном полете, приложим к ней силу тяжести  $G$  и силу сопротивления  $R$ , тогда основной закон движения запишется в виде

$$m_{\text{гр}} \cdot a_{\text{гр}} = G - R \quad (3.33)$$

где  $a_{\text{гр}}$  – ускорение гранулы, м/с;

$G$  – сила тяжести гранулы ( $G = m_{\text{гр}} \cdot g$ ), Н;

$R$  – сила сопротивления, Н» [85, 148];

Силу сопротивления можно определить, как:

$$R = c_1 \cdot u + c_2 \cdot u^2 \quad (3.34)$$

где  $c_1$  – коэффициент линейной составляющей скорости, Н·м/с;

$c_2$  – коэффициент квадратичной составляющей скорости, Н·м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>.

Спроецировав уравнение (3.33) на оси координат (рисунок 3.19), запишем уравнение движения:

$$\begin{cases} \frac{du_x}{dt} = -\frac{c_1 + c_2 \sqrt{(u_x^2 + u_y^2)}}{m_{\text{гр}}} u_x \\ \frac{du_y}{dt} = -g - \frac{c_1 + c_2 \sqrt{(u_x^2 + u_y^2)}}{m_{\text{гр}}} u_y \end{cases} \quad (3.35)$$

Приведём выражение (3.35) от абсолютных значений к относительным величинам, для этого введём следующие переменные:

$$X = \frac{x}{l_x}; Y = \frac{y}{l_y}; \tau = \frac{t}{t_0}; U_x = \frac{u_x}{U_1}; U_y = \frac{u_y}{U_1}$$

где  $X, Y$  – безразмерное расстояние по осям;

$\tau$  – безразмерное время;

$U_x, U_y$  – безразмерная скорость;

$x$  – координата гранулы в процессе движения по оси ох, м;

$y$  – координата гранулы в процессе движения по оси оу, м;

$l_x$  – расстояние пройденное гранулой вдоль оси ох при отсутствии сопротивления, м;

$l_y$  – расстояние пройденное гранулой вдоль оси оу при отсутствии сопротивления, м;

$u_x$  – проекция скорости гранулы на ось ох, м/с;

$u_y$  – проекция скорости гранулы на ось оу, м/с;

$U_1$  – начальная скорость гранулы, м/с;

$t$  – время движения гранулы, с;

$t_0$  – время движения гранулы при отсутствии сопротивления, с;

$$t_0 = \frac{U_1 \sin \gamma}{g} \quad (3.36)$$

Таким образом можем записать изменение скорости по осям в следующем виде:

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{d(U_1 U_x)}{d(t_0 \tau)} = \frac{U_1}{t_0} \cdot \frac{dU_x}{d\tau}$$

$$\frac{du_y}{dt} = \frac{d(U_1 U_y)}{d(t_0 \tau)} = \frac{U_1}{t_0} \cdot \frac{dU_y}{d\tau}$$

Подставим результат в выражение (3.35) получим:

$$\begin{cases} \frac{U_1}{t_0} \cdot \frac{dU_x}{d\tau} = - \frac{c_1 + c_2 \sqrt{(U_1^2 U_x^2 + U_1^2 U_y^2)}}{m_{rp}} U_1 U_x \\ \frac{U_1}{t_0} \cdot \frac{dU_y}{d\tau} = -g - \frac{c_1 + c_2 \sqrt{(U_1^2 U_x^2 + U_1^2 U_y^2)}}{m_{rp}} U_1 U_y \end{cases} \quad (3.37)$$

Преобразовав уравнения системы, имеем

$$\begin{cases} \frac{dU_x}{d\tau} = - \frac{t_0}{U_1} \cdot \frac{c_1 + c_2 \sqrt{(U_1^2 U_x^2 + U_1^2 U_y^2)}}{m_{rp}} U_1 U_x \\ \frac{dU_y}{d\tau} = - \frac{t_0 \cdot g}{U_1} - \frac{t_0}{U_1} \cdot \frac{c_1 + c_2 \sqrt{(U_1^2 U_x^2 + U_1^2 U_y^2)}}{m_{rp}} U_1 U_y \end{cases} \quad (3.38)$$

Подставив в выражение (3.38) значение выражения (3.36) получим:

$$\begin{cases} \frac{dU_x}{d\tau} = -\frac{c_1 \cdot U_1 \cdot \sin \gamma \cdot U_x + c_2 \cdot U_1^2 \cdot \sin \gamma \cdot U_x \cdot \sqrt{U_x^2 + U_y^2}}{m_{rp}g} \\ \frac{dU_y}{d\tau} = -\sin \gamma - \frac{c_1 \cdot U_1 \cdot \sin \gamma \cdot U_y + c_2 \cdot U_1^2 \cdot \sin \gamma \cdot U_y \cdot \sqrt{U_x^2 + U_y^2}}{m_{rp}g} \end{cases} \quad (3.39)$$

С целью упрощения расчётов произведём замену переменных, для этого зададим следующие безразмерные переменные:

$$a = \frac{c_1 \cdot U_1}{m_{rp}g} \quad (3.40)$$

$$b = \frac{c_2 \cdot U_1^2}{m_{rp}g} \quad (3.41)$$

Подставим полученные переменные в систему уравнений (3.39)

$$\begin{cases} \frac{dU_x}{d\tau} = -a \cdot \sin \gamma \cdot U_x - b \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{U_x^2 + U_y^2} \cdot U_x \\ \frac{dU_y}{d\tau} = -\sin \gamma - a \cdot \sin \gamma \cdot U_y - b \cdot \sin \gamma \cdot \sqrt{U_x^2 + U_y^2} \cdot U_y \end{cases} \quad (3.42)$$

В связи с тем, что после соударения скорость перемещения гранулы минеральных удобрений не высока, то сопротивлением воздуха пропорциональным квадратичной составляющей скорости можно пренебречь. То есть постоянная значение переменной  $b=0$ , в результате выражение (3.42) примет вид:

$$\begin{cases} \frac{dU_x}{d\tau} = -a \cdot \sin \gamma \cdot U_x \\ \frac{dU_y}{d\tau} = -\sin \gamma - a \cdot \sin \gamma \cdot U_y \end{cases} \quad (3.43)$$

Проинтегрировав первое уравнение системы (3.43), получим:

$$\ln|U_x| = -a \cdot \sin \gamma \cdot \tau + C_1 \quad (3.44)$$

Подставив начальные условия  $\tau=0$ ,  $U_{x0}=\cos \gamma$  характеризующие гранулу минеральных удобрений в момент соударения с зубом рассеивателя, в уравнение (3.44) найдем постоянную интегрирования:

$$C_1 = \ln \cos \gamma \quad (3.45)$$

Проинтегрировав первое уравнение системы (3.43), получим:

$$U_y = C_2 e^{-a \cdot \sin \gamma \cdot \tau} - \frac{1}{a} \quad (3.46)$$

Подставив начальные условия  $\tau=0$ ,  $U_y=0$  характеризующие гранулу минеральных удобрений в момент соударения с зубом рассеивателя, в уравнение (3.46) найдем постоянную интегрирования:

$$C_2 = \sin \gamma + \frac{1}{a} \quad (3.47)$$

Подставив значения постоянных интегрирования в выражения (3.44) и (3.46), имеем:

$$\begin{cases} U_x = \cos \gamma \cdot e^{-a \cdot \sin \gamma \cdot \tau} \\ U_y = \sin \gamma \left( 1 + \frac{1}{a \cdot \sin \gamma} \right) \cdot e^{-a \cdot \sin \gamma \cdot \tau} - \frac{1}{a} \end{cases} \quad (3.48)$$

Исходя из того, что значение скорости является изменением координаты по времени, то систему уравнение (3.48) можем записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{dX}{d\tau} = \cos \gamma \cdot e^{-a \cdot \sin \gamma \cdot \tau} \\ \frac{dY}{d\tau} = \sin \gamma \left( 1 + \frac{1}{a \cdot \sin \gamma} \right) \cdot e^{-a \cdot \sin \gamma \cdot \tau} - \frac{1}{a} \end{cases} \quad (3.49)$$

Проинтегрировав первое уравнение системы (3.49), получим:

$$X = -\frac{\cos \gamma}{a \cdot \sin \gamma} \cdot e^{-a \cdot \sin \gamma \cdot \tau} + C_3 \quad (3.50)$$

Подставив начальные условия  $\tau=0$ ,  $X_0=0$ , в уравнение (3.50) найдем постоянную интегрирования:

$$C_3 = \frac{\cos \gamma}{a \cdot \sin \gamma} \quad (3.51)$$

Проинтегрировав второе уравнение системы (3.49), получим:

$$Y = -\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a^2 \cdot \sin \gamma}\right) \cdot e^{-a \cdot \sin \gamma \cdot \tau} - \frac{1}{a} \tau + C_4 \quad (3.52)$$

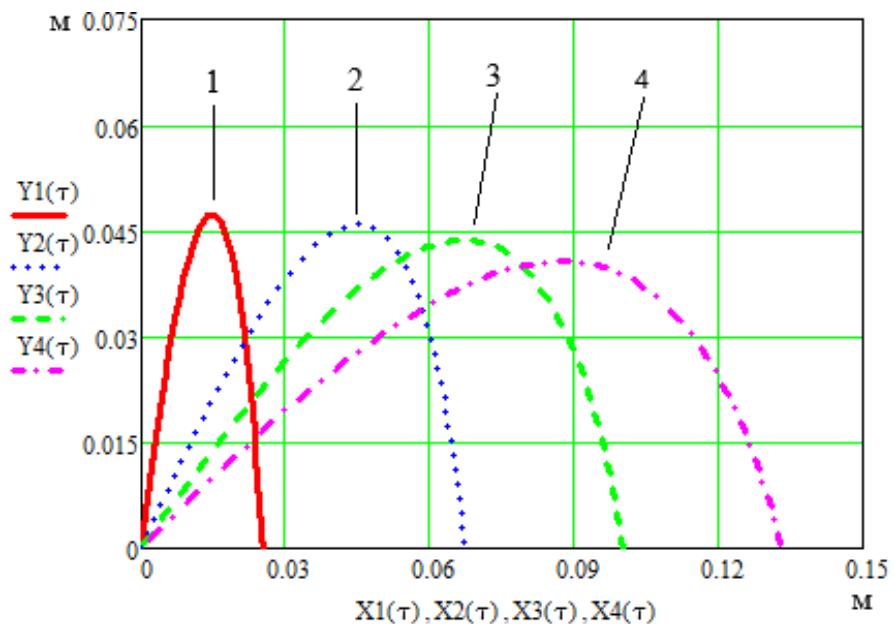
Подставив начальные условия  $\tau=0$ ,  $Y_0=0$ , в уравнение (3.52) найдем постоянную интегрирования:

$$C_4 = \frac{1}{a} + \frac{1}{a^2 \cdot \sin \gamma} \quad (3.53)$$

Подставив значения постоянных интегрирования в выражения (3.50) и (3.52), имеем:

$$\begin{cases} X = \frac{\cos \gamma}{a \cdot \sin \gamma} \left( 1 - e^{-a \cdot \sin \gamma \cdot \tau} \right) \\ Y = \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{a^2 \cdot \sin \gamma} \right) \cdot \left( 1 - e^{-a \cdot \sin \gamma \cdot \tau} \right) - \frac{1}{a} \tau \end{cases} \quad (3.54)$$

На основе системы уравнений (3.54) в программе MathCad построим траектории движения гранул минеральных удобрений после отскока от зуба рассеивателя в зависимости от изменения угла наклона (рисунок 3.20).



1 – угол наклона зуба  $2^\circ$ ; 2 – угол наклона зуба  $4^\circ$ ; 3 – угол наклона зуба  $6^\circ$ ; 4 – угол наклона зуба  $8^\circ$ ;

Рисунок 3.20 – График траектории движения гранул минеральных удобрений после отскока от зуба рассеивателя

Анализ траекторий движения гранул минеральных удобрений после отскока от зуба рассеивателя показывает влияние угла наклона зуба на расстояние отскока. С увеличением угла наклона от  $2^\circ$  до  $8^\circ$  расстояние отскока изменяется в диапазоне от 0,029 до 0,13 м. Значение угла наклона зуба рассеивателя выбирали исходя из ширины расположения клубневого гнезда картофеля значения, которого варьируются от 0,2 до 0,28 м в зависимости от возделываемого сорта. Таким образом, рациональные значения угла наклона зуба рассеивателя находятся в диапазоне от  $5^\circ$  до  $7^\circ$ .

При движении гребнеобразующего культиватора-подкормщика на него будут действовать возмущающие силы, вызывающие смещение культиваторных лап по ширине. Рассмотрим процесс движения культиваторной лапы в почве, для этого изобразим расчётную схему (рисунок 3.21).

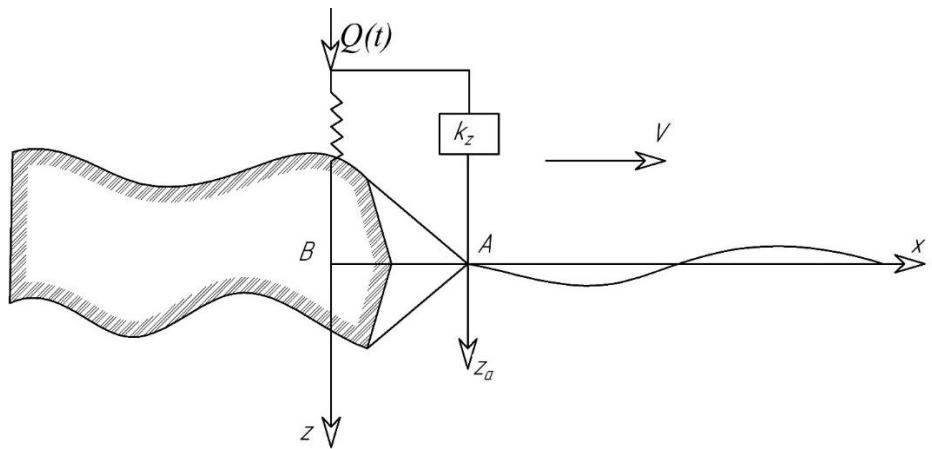


Рисунок 3.21 – Расчётная схема бокового смещения культиваторных лап

Крепление культиваторных лап к раме гребнеобразующего культиватора-подкормщика осуществляется через стойки, имеющие определённую жёсткость, которая имитируется пружиной, кроме того, присутствует вязкая реакция почвы, характеризуемая коэффициентом вязкости  $k_z$ . Причём возмущающее воздействие на лапу с одной стороны будет компенсироваться вязким сопротивлением другой стороны лапы.

$$z_A(t) = k_z z(t) \quad (3.55)$$

где  $z(t)$  смещение материальной точки по оси  $z$ ;

$k_z$  – коэффициент вязкости;

В процессе движения сошника, действующие на него возмущающие силы, будут вызывать его смещение по оси  $Z$ . При этом смещение сошника будет начинаться с его вершины в точке  $A$  и передаваться в место его крепления, то есть к раме гребнеобразующего культиватора-подкормщика точке  $B$ . Запишем уравнение характеризующее смещение культиваторной лапы в месте его крепления к раме:

$$z_B(t) = z_A(t - \tau) \quad (3.56)$$

где  $z_B(t)$  смещение культиваторной лапы в месте крепления с культиватором;

$\tau$  время запаздывания, с;

Время запаздывания не изменяется, так как скорость движения гребнеобразующего культиватора-подкормщика и место установки лапы на его раме можно считать постоянными:

$$\tau = \frac{l}{V} = \text{const} \quad (3.57)$$

где  $V$  – скорость движения гребнеобразующего культиватора-подкормщика, м/с;

$l$  – расстояние между вершиной культиваторной лапы и местом её крепления к раме гребнеобразующего культиватора-подкормщика в горизонтальной проекции, м.

Поперечное смещение лапы будет определяться скоростью гребнеобразующего культиватора-подкормщика с учётом вязкого сопротивления

$$F_B = b_{cp} \dot{z}(t) \quad (3.58)$$

где  $b_{cp}$  – коэффициент сопротивления среды, Н/м/с;

$\dot{z}(t)$  – поперечная скорость культиваторной лапы при движении гребнеобразующего культиватора-подкормщика, м/с.

Восстановливающее усилие культиваторной лапы характеризуется упругостью её стойки и величиной смещения

$$F_{\text{вост}} = c_{ct.} (z - z_B) \quad (3.59)$$

где  $c_{ct.}$  – коэффициент упругости стойки культиваторной лапы, Н/м;

$z, z_B$  – соответственно поперечное смещение культиваторной лапы и её места крепления с учётом запаздывания, м.

Используя основной закон динамики, можно записать дифференциальное уравнение в проекции на ось  $z$ :

$$m \ddot{z} = -F_{\text{вост}} - F_B + Q(t) \quad (3.60)$$

где  $F_{\text{вост}}$  – восстановливающее усилие, Н;

$F_B$  – усилие вязкого сопротивления, Н;

$Q(t)$  – возмущающая сила, Н.

Подставив в уравнение (3.60) значения восстанавливающего усилия и усилие вязкого сопротивления получим:

$$m\ddot{z} + b_{cp}\dot{z}(t) + c_{ct}(z(t) - k_z z(t - \tau)) = Q(t) \quad (3.61)$$

Запишем выражение (3.61) в виде характеристического уравнения обозначив:

$$\ddot{z}(t) + 2n\dot{z}(t) + \lambda^2(z(t) - k_z z(t - \tau)) = q(t) \quad (3.62)$$

где  $n=b_{cp}/2m$  коэффициент затухания;

$\lambda = \sqrt{c_{ct}/m}$  – частота круговых колебаний;

$q(t)=Q(t)/m$  – возмущающая функция.

Рассмотрев характер колебания культиваторной лапы с учётом запаздывания, начального смещения лапы, начальной поперечной скорости  $z_B = z_B(t)$ ,  $u_0 = u_0(t)$  при  $-\tau \leq t < 0$ ,  $u_0(t) = 0$  при  $-\tau \leq t < 0$ , уравнение (3.42) можно записать в виде:

$$\ddot{z}(t) + 2n\dot{z}(t) + \lambda^2 z(t) = \lambda^2 k_z z(t - \tau) \quad (3.63)$$

Приняв начальную функцию равную нулю  $u_0(t) = 0$  на отрезке времени  $-\tau \leq t < 0$  получим

$$z(t - \tau)|_{0 \leq t < \tau} = u_0(t)|_{-\tau \leq t < 0} = 0 \quad (3.64)$$

Тогда выражение (3.60) будет выглядеть следующим образом:

$$\ddot{z}(t) + 2n\dot{z}(t) + \lambda^2 z(t) = 0 \quad (3.65)$$

Решив характеристическое уравнение  $i^2 + 2ni + \lambda^2 = 0$  имеем следующие корни:

$$i_{1,2} = -n \pm \sqrt{n^2 - \lambda^2} \quad (3.66)$$

Тогда общее решение дифференциального уравнение (3.65) можно записать в виде:

$$z_1(t) = A_1 e^{i_1 t} + B_1 e^{i_2 t} \quad (3.67)$$

Продифференцировав выражение (3.67) получим выражение для определения поперечной скорости культиваторной лапы гребнеобразующего культиватора-подкормщика

$$\dot{z}_1(t) = A_1 b_1 e^{i_1 t} + B_1 b_2 e^{i_2 t} \quad (3.68)$$

Определим постоянные интегрирования подставив начальные условия:

$$\begin{cases} A_1 + B_1 = z_0 \\ A_1 i_1 + B_1 i_2 = V_0 \end{cases} \quad (3.69)$$

Окончательно имеем значение постоянных коэффициентов интегрирования:

$$\begin{cases} A_1 = \frac{z_0 i_2 - V_0}{i_2 - i_1} \\ B_1 = -\frac{z_0 i_1 - V_0}{i_2 - i_1} \end{cases} \quad (3.70)$$

Тогда общее решение дифференциального уравнения можно записать в виде:

$$z_1 = \frac{z_0 i_2 - V_0}{i_2 - i_1} e^{i_1 \tau} - \frac{z_0 i_1 - V_0}{i_2 - i_1} e^{i_2 \tau} \quad (3.71)$$

Скорость поперечного перемещения культиваторной лапы гребнеобразующего культиватора-подкормщика будет определяться как:

$$V_1 = \frac{z_0 i_2 - V_0}{i_2 - i_1} i_1 e^{i_1 \tau} - \frac{z_0 i_1 - V_0}{i_2 - i_1} i_2 e^{i_2 \tau} \quad (3.72)$$

При перемещении гребнеобразующего культиватора-подкормщика культиваторные лапы оказывают воздействие на его раму вызывая поперечное смещение культиватора относительно трактора. Дальнейшее движение культиваторной лапы в этом случае будет происходить с некоторым смещением относительно первоначальной траектории, то есть осуществляется некоторое запаздывание копирования траектории трактора. В этом случае закон движения определится следующим уравнением:

$$z(t - \tau)|_{\tau \leq t < 2\tau} = z(t)|_{0 \leq t < \tau} \quad (3.73)$$

С учетом уравнения (3.65) и (3.73) запишем уравнение (3.67) в следующем виде:

$$\ddot{z}(t) + 2n\dot{z}(t) + \lambda^2 z(t) = A'_1 e^{i_1(t-\tau)} + B'_1 e^{i_2(t-\tau)} \quad (3.74)$$

Коэффициенты интегрирования можно записать в виде:

$$\begin{cases} A'_1 = \lambda^2 k_z A_1 \\ B'_1 = \lambda^2 k_z B_1 \end{cases} \quad (3.75)$$

Таким образом в процессе движения гребнеобразующего культиватора-подкормщика на культиваторную лапу будут воздействовать как вынужденные, так и свободные поперечные колебания:

$$z = z_{\text{св}} + z_{\text{вын}} \quad (3.76)$$

где  $z_{\text{св}}$  – свободные поперечные колебания стойки культиваторной лапы, м;

$z_{\text{вын}}$  – вынужденные поперечные колебания стойки культиваторной лапы, м;

Свободные поперечные колебания стойки культиваторной лапы будут происходить согласно уравнению (3.54), влияние вынужденных колебаний будем искать в виде экспоненциальной зависимости с учётом запаздывания поперечного отклонения культиваторной лапы от траектории. Тогда постоянные коэффициенты уравнения будут иметь вид:

$$\begin{cases} A_2 = \frac{\lambda^2 k_z}{2(i_1+n)} A_1 \\ B_2 = \frac{\lambda^2 k_z}{2(i_2+n)} B_1 \end{cases} \quad (3.77)$$

Общее решение дифференциального уравнения с учётом возмущающей силы запишется в следующем виде:

$$z_2(t) = (A_3 + A_2(t - \tau))e^{i_1(t-\tau)} + (B_3 + B_2(t - \tau))e^{i_2(t-\tau)} \quad (3.78)$$

Изменение скорости поперечного движения культиваторной лапы будет выглядеть следующим образом:

$$V_2(t) = (A_2 + A_3 i_1 + A_2 i_1(t - \tau))e^{i_1(t-\tau)} + (B_2 + B_3 i_2 + B_2 i_2(t - \tau))e^{i_2(t-\tau)} \quad (3.79)$$

Для нахождения произвольных интегрирования уравнения (3.79) будем определять с учётом непрерывности движения, то есть уравнения (3.71) и (3.78) в момент времени  $\tau$  будут равны, аналогично можно поступить с уравнения поперечной скорости (3.72) и (3.79). Тогда можно записать:

$$\begin{cases} A_3 + B_3 = R_2 = z_1 \\ i_1 A_3 + i_2 B_3 = P_2 = z_1 - \dot{A}_2 - B_2 \end{cases} \quad (3.80)$$

Преобразуем уравнение (3.80) в виде:

$$\begin{cases} R_2 = A_1 e^{i_1 \tau} + B_1 e^{i_1 \tau} \\ P_2 = i_1 A_1 e^{i_1 \tau} + i_2 B_1 e^{i_2 \tau} - A_2 - B_2 \end{cases} \quad (3.81)$$

Окончательно произвольные интегрирования выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} A_3 = \frac{R_2 i_2 - P_2}{i_2 - i_1} \\ B_3 = -\frac{R_2 i_1 - P_2}{i_2 - i_1} \end{cases} \quad (3.82)$$

Тогда при непрерывном движении гребнеобразующего культиватора-подкормщика общее решение дифференциального уравнения поперечного смещения культиваторной лапы запишем в виде:

$$z_2 = (A_3 + A_2 \tau) e^{i_1 \tau} + (B_3 + B_2 \tau) e^{i_2 \tau} \quad (3.83)$$

Скорость поперечного смещения культиваторной лапы будет определяться как:

$$V_2 = (i_1 A_3 + (1 + i_1 \tau) A_2) e^{i_1 \tau} + (i_2 B_3 + (1 + i_2 \tau) B_2) e^{i_2 \tau} \quad (3.84)$$

Зная уравнение смещения культиваторной лапы на основе выражения (3.83) был построен график стабилизации хода культиваторной лапы гребнеобразующего культиватора-подкормщика при поперечных смещениях (рисунок 3.22).

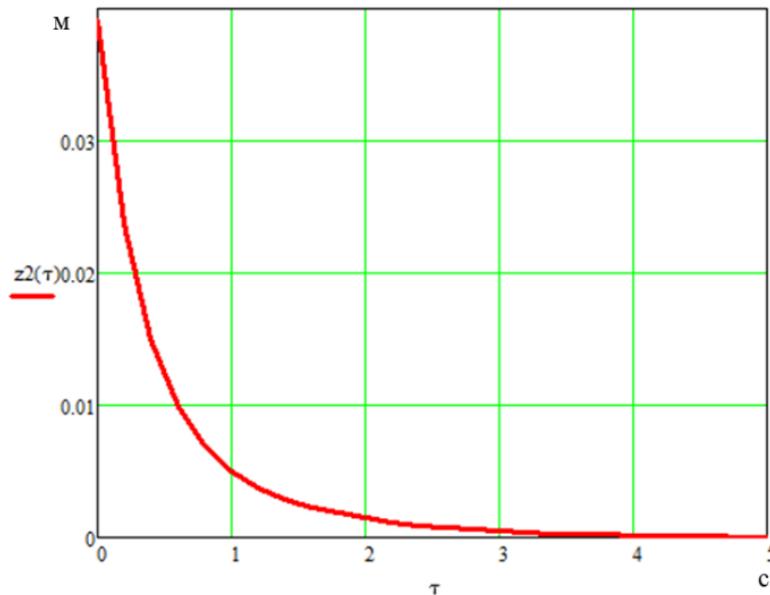


Рисунок 3.22 – график стабилизации хода культиваторной лапы гребнеобразующего культиватора-подкормщика при поперечных смещениях

Анализ графика показал, что стабилизация культиваторной лапы происходит в диапазоне времени от 0,3 до 0,5 с, максимальное отклонение от центра рядка по агротехническим требованиям составляет  $\pm 0,02$  м. Следует отметить, что поперечное смещение не сопровождается смещением в отрицательную зону из-за значительного усилия вязкого сопротивления. Моделирование процесса взаимодействия культиваторных лап гребнеобразующего культиватора-подкормщика с возмущающими силами, создаваемыми почвенными комками, позволило установить, что рациональное количество обрабатываемых гребней должно быть не менее четырёх. Важно отметить, что с увеличением жёсткости стойки культиваторной лапы, время стабилизации существенно уменьшается, при этом стоит учитывать возможность смещения гребнеобразующего культиватора-подкормщика в следствии недостаточного суммарного сопротивления, имеющихся культиваторных лап.

### **3.4 Экспериментальное обоснование параметров гребнеобразующего культиватора-подкормщика для локально-ленточного внесения удобрений**

#### **3.4.1 Экспериментальные исследования шнекового дозирующего устройства**

С целью уточнения параметров и режимов работы разработанного дозирующего устройства для дифференцированного локально-ленточного внесения минеральных удобрений, был разработан и изготовлен лабораторный стенд (рисунок 3.23).



1 – бункер для минеральных удобрений; 2 – станина; 3 – актуатор марки ЛАЗ-24-28-25-200ДХ; 4 – мотор-редуктор NMRV 063-10-90-1,1-B3-FB; 5 – блок управления; 6 – ноутбук; 7 – лабораторный источник питания W.E.P. 3005D-11; 8 – частотный преобразователь ВЕСПЕР EI – 8001-002Н; 9 – тахометр UT372; 10 – лабораторные весы МН-500; 11 – камеры Nikon D5200; 12 – вводной автомат

Рисунок 3.23 – Общий вид лабораторного стенда

Разработанный лабораторный стенд представляет собой бункер, установленный на станине, с отверстиями для крепления исследуемого дозирующего устройства. Для проведения лабораторных исследований разработанное дозирующее устройство закреплялось в нижней части бункера, кроме того на станине закреплялись исполнительные механизмы дозирующего устройства в виде актуатора марки ЛАЗ-24-28-25-200ДХ, мотор-редуктора NMRV 063-10-90-1,1-B3-FB и блока управления выполненного на базе контроллера Arduino DUE Для передачи команд на блок управления лабораторный стенд был оборудован ноутбуком с разработанным программным обеспечением для регулировки нормы внесения минеральных удобрений. Питание органов управления разработанного дозирующего устройства осуществлялось при помощи лабораторного источника W.E.P. 3005D-11. Регулировка частоты вращения электропривода осуществлялась при помощи частотного преобразователя ВЕСПЕР EI – 8001-002Н, при этом, контроль частоты вращения шнека осуществлялся при помощи измерителя числа оборотов UT372. Для контроля нормы внесения минеральных

удобрений под выгрузной горловиной были установлены весы марки МН-500 с пределом измерения до 500 г и точностью до 0,01 г, фиксация показаний которых осуществлялась при помощи камеры Nikon D5200.



Рисунок 3.24 – Процесс определения гранулометрического состава удобрений

В ходе экспериментальных исследований в качестве объекта исследования использовались минеральные удобрения диаммофос. Для определения фракционного состава, которых применяли методику, предусмотренную ГОСТ 21560.1-82 «Удобрения минеральные. Метод определения гранулометрического состава» [48]. В результате фракционный состав применяемых удобрений составил: 3% гранулы размером менее 1 мм, 87% гранулы от 2 до 5 мм и 10 % более 6 мм.

После определения фракционного состава используемых минеральных удобрений отбиралась порция массой 5 кг, которая загружалась в бункер. Затем проводилась серия опытов, в которой оценивалась производительность дозирующего устройства в зависимости от изменения проходного сечения выгрузного окна, а также частоты вращения составного шнека со встречно направленными витками. Для этого с ноутбука, используя разработанную программу управления системой дозирования твёрдых минеральных удобрений [178] регулировалась степень открытия выгрузного окна, а также частота вращения электропривода шнека.

В ходе эксперимента в бункер загружалась порция удобрений массой 5 кг, после чего запускался мотор-редуктор, на котором выставлялось необходимое число оборотов, значение которого изменялось в диапазоне от 0 до 70 об/мин. Далее с ноутбука при помощи программы управления системой дозирования твердых минеральных удобрений регулировалась степень открытия выгрузного окна, площадь сечения которого изменялась в диапазоне от 150 до 600.  $\text{мм}^2$ . Подача минеральных удобрений оценивалась при помощи весов МН-500 и камеры Nikon D5200 с помощью которой производилась фиксация изменения показателей.

В результате были получены видеофрагменты, при помощи которых оценивалась масса удобрений, поданных через выгрузное отверстие за 1 секунду. Полученные значения заносились в таблицу, после чего при помощи программы Statistica осуществлялся их анализ. На основе полученных данных был построен график изменения подачи дозирующего устройства от площади проходного сечения и частоты вращения шнека разработанного дозирующего устройства (рисунок 3.25)

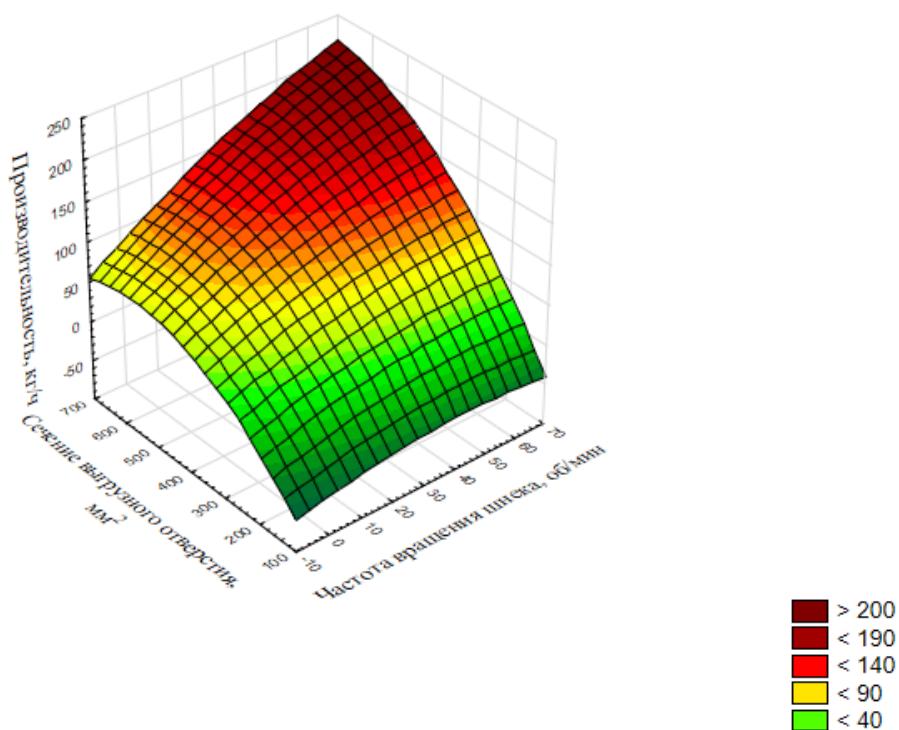


Рисунок 3.25 – Зависимость подачи шнекового дозирующего устройства от частоты вращения шнека и сечения выгрузного отверстия

На основании опытных данных было получено уравнение регрессии, описывающее изменения подачи дозирующего устройства от площади проходного сечения и частоты вращения шнека разработанного дозирующего устройства:

$$\begin{aligned}\Pi_r = & -117,0187 + 0,5236 \cdot n_{ш} + 0,7037 \cdot F_{пот} - 0,009 \cdot n_{ш}^2 + \\ & + 0,003 \cdot n_{ш} \cdot F_{пот} - 0,0006 \cdot F_{пот}^2\end{aligned}\quad (3.85)$$

где  $\Pi_r$  – подача дозирующего устройства, кг/ч;

$F_{пот}$  – площадь проходного сечения потока удобрений,  $мм^2$ ;

$n_{ш}$  – частота вращения шнека, об/мин.

Адекватность уравнения регрессии опытным данным подтверждена коэффициентом детерминации  $R^2=0,93427438$ , а также коэффициентом регрессии  $R = 0,9665787$ . Наиболее значимым фактором является площадь проходного сечения потока удобрений дозирующего устройства.

Анализ графика поверхности описывающей изменение подачи дозирующего устройства от площади проходного сечения и частоты вращения шнека показал, что при увеличении проходного сечения выгрузного отверстия подача дозирующего устройства существенно возрастает, при незначительной частоте вращения шнека подача дозирующего устройства замедляется при площади проходного сечения потока удобрений около  $500\text{ mm}^2$ . Наилучшая равномерность подачи удобрений наблюдается при частоте вращения шнека 50 об/мин и площади проходного сечения  $350\text{ mm}^2$ , что соответствует подаче дозирующего устройства 163,51 кг/ч.

### **3.4.2 Экспериментальные исследования сошника и системы дозирования для оценки распределения удобрений по площади**

Для оценки качества работы сошника и системы дозирования, была проведена серия экспериментов. В ходе которых оценивалось, насколько равномерно распределяются минеральные удобрения по площади.

Предварительно была выбрана и подготовлена площадка. В качестве места эксперимента был выбран просторный ангар с ровным покрытием, на котором расстилали бумажное полотно с клейкой основой. Полотно располагалось под разработанным сошником для для подпочвенно-разбросного внесения твёрдых минеральных удобрений (рисунок 3.26).



Рисунок 3.26 – Общий вид культиватора подкормщика-гребнеобразователя при исследовании равномерности распределения удобрений по площади

Поскольку равномерность внесения минеральных удобрений должна соблюдаться при различных нормах их внесения, большое значение имеют в том числе и режимы работы дозирующего устройства. В связи с этим экспериментальные исследования проводились по следующей методике.

На трактор Class Axion 850 с помощью трёхточечной навески прикрепляли культиватор-подкормщик. Трактор подъезжал к началу отрезка из заранее подготовленной бумаги.

Механизатор устанавливал культиватор-подкормщик на нужную высоту так, чтобы зубья рассеивателя начинали двигаться от соприкосновения с поверхностью, а окучивающие лапы оставались над землёй. Затем в бункер для минеральных удобрений засыпали порцию удобрений. После этого трактор начинал движение со скоростью 8 км/ч.

С помощью программы управления системой дозирования твёрдых минеральных удобрений на смартфоне выбирали необходимую норму внесения удобрений [178].

На первом этапе исследовали, какое влияние конструкция рассеивателя оказывает на равномерность распределения удобрений по специально подготовленной поверхности. С этой целью было изготовлено 9 экспериментальных образцов зубчатых рассеивателей (рисунок 3.27). Образцы отличались между собой углами наклона зубьев от 3 до 9 градусов и размерами, которые варьировались таким образом, чтобы высота зубьев над поверхностью земли в момент соударения с гранулами находилась в диапазоне от 100 до 200 мм. При проведении исследований на данном варианте опыта производительность дозирующего устройства составляла 163,5 кг/ч.

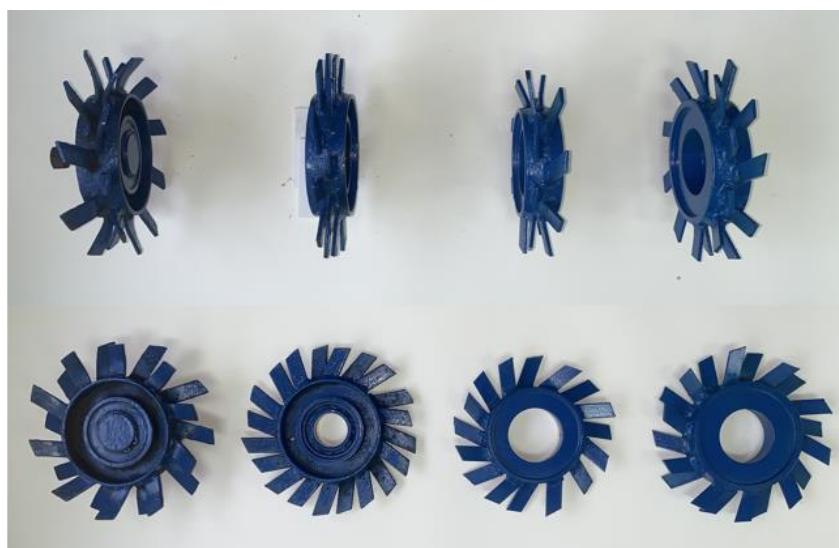


Рисунок 3.27 – Образцы зубчатых рассеивателей

Для каждого из вариантов зубчатых колёс трактор в сцепке с гребнеобразующим культиватором-подкормщиком проезжал по 5 метров. Затем осуществлялась оценка степени распределения удобрений по клейкой поверхности листа. Для этого на лист с удобрениями в случайном порядке накладывалась масштабная рамка размером 300x300 мм (рисунок 3.28).



Рисунок 3.28 – Общий вид рамки с распределенными минеральными удобрениями

После чего осуществлялась фотофиксация рамки с удобрениями, при этом для размещения рамки на каждом из вариантов опыта выбиралось по 5 рандомизированных участков, на которых производилась оценка равномерности распределения. Для этого на каждом снимке оценивалось количество гранул, приходящихся на один элементарный участок площадью 150 см<sup>2</sup>. После чего вычислялось среднее значение гранул удобрений на площади:

$$N_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{\text{эл}} i}{n_{\text{эл}}} \quad (3.86)$$

где  $N_{cp}$  – среднее число гранул удобрений на оцениваемом участке, шт;

$N_{\text{эл}} i$  – среднее число гранул удобрений на  $i$ -м элементарном участке, шт;

$n_{\text{эл}}$  – число элементарных участков.

Затем осуществлялся расчёт стандартного отклонения количества гранул минеральных удобрений на оцениваемом участке:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_{\text{эл}}^2 i}{n_{\text{эл}} - 1}} \quad (3.87)$$

где  $\Delta N_{\text{эл}}^2 i$  – отклонение количества гранул удобрений на  $i$ -м элементарном участке от среднего значения, шт.

После чего определялась неравномерность распределения удобрений  $H_y$ , %, по следующей формуле:

$$H_y = \frac{\sigma}{N_{cp}} \cdot 100 \quad (3.88)$$

Полученные результаты заносились в таблицу и обрабатывались с использованием программы Statistica.

Затем по результатам анализа определялась рациональная конструкция рассеивателя. После чего производились исследования его работы на различных режимах работы дозирующего устройства. В рамках эксперимента были выбраны три режима работы дозирующего устройства, минимальная, максимальная и случайная промежуточная производительность. В ходе исследований также оценивалась равномерность распределения гранул минеральных удобрений, по вышеописанной методике. Полученные результаты заносились в таблицу для последующего анализа.

Для упрощения подсчёта гранул минеральных удобрений, расположенных на поверхности листа, ограниченной масштабными рамками, использовалась программа по определению равномерного распределения минеральных удобрений и их гранулометрического состава [177]. Для этого полученные изображения загружались в компьютер и при помощи данной программы оценивалось количество гранул по ширине и по длине, а также неравномерность их распределения.

На основе полученных значений в результате обработки изображений рамок с гранулами минеральных удобрений в программе Statistica было получено уравнение регрессии характеризующее неравномерность распределения:

$$H_p = 1,0141 - 0,1121 \cdot \alpha_3 - 0,0081 \cdot h_3 + 0,0052 \cdot \alpha^2 + 0,0003 \cdot \alpha_3 \cdot h_3 + 2,118 \cdot 10^{-5} \cdot h_3^2 \quad (3.89)$$

где  $H_p$  – неравномерность распределения, %;

$\alpha_3$  – угол наклона зуба, град;

$h_3$  – высота зуба над поверхностью, мм.

Адекватность данной математической модели данным подтверждена коэффициентом детерминации  $R^2=0,72121644$ , а также коэффициентом регрессии  $R = 0,84924463$ . На основе полученной модели построен график

зависимости неравномерности распределения гранул от изменения угла наклона зубьев и высоты их расположения над землей (рисунок 3.29)

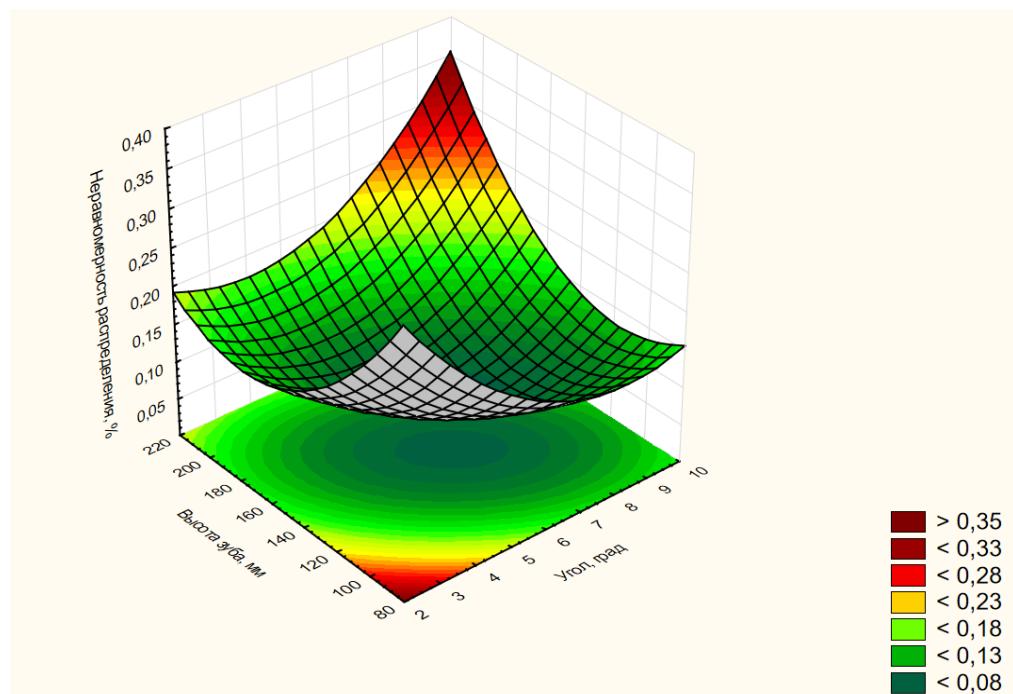


Рисунок 3.29 – График зависимости неравномерности распределения гранул по поверхности от угла установки и высоты зуба

Анализируя зависимость, установлено, что диапазонами параметров рассеивателя является угол наклона зубьев  $5^0 \dots 8^0$ , высота расположения зубьев рассеивателя над дном борозды 120 ... 160 мм. Используя полученные аналитические зависимости получены рациональные значения параметров – угол наклона зубьев  $6^0$ , диаметр рассеивателя 150 мм, что соответствует наименьшей неравномерности распределения гранул минеральных удобрений по поверхности.

Далее осуществлялась оценка эффективности совместной работы выбранной конструкции рассеивателя и дозирующего устройства при различной производительности последнего. На основе полученных данных были построены графики, показывающие как гранулы минеральных удобрений распределялись по ширине и по длине участка внесения (рисунки 3.30 и 3.31).

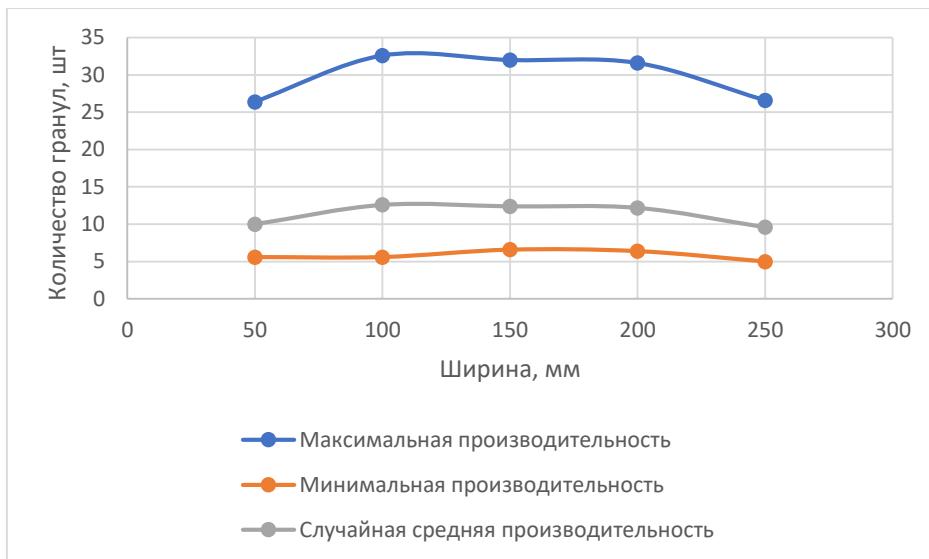


Рисунок 3.30 – График распределения минеральных удобрений по ширине

Анализ графика показывает, что основной объём удобрений в процессе совместной работы рассеивателя и дозирующего устройства распределяется на участке, расположеннном в диапазоне от 100 до 200 мм, отклонение по количеству гранул на данном участке для каждой производительности находится в районе 3%. На участках 50 и 250 мм число гранул снижается примерно на 20% в сравнении с основной зоной распределения, а равномерность распределения между данными участками в среднем также составляет 3%.

Оценка полученных экспериментальных данных на воспроизводимость результатов производилась при помощи критерия Кохрена. Для этого в каждой серии опытов определялась дисперсия, после чего по следующей формуле рассчитывался критерий:

$$k_{kp} = \frac{D_{imax}}{\sum_i^m D_i} \quad (3.90)$$

где  $D_{imax}$  – наибольшее значение дисперсий из числа рассматриваемых параллельных серий n;

$D_i$  – сумма дисперсий n серий.

Значения критерия Кохрена сравнивались с табличными данными. Для проведённой серии опытов расчётные значения критерия были следующими:

для максимальной производительности дозирующего устройства — 0,29; для минимальной производительности дозирующего устройства — 0,36; для случайной промежуточной производительности дозирующего устройства — 0,31. Табличное значение для данной серии опытов составляет 0,74. Поскольку расчётные значения меньше табличных данных, измерения в эксперименте считаются воспроизводимыми и достоверными.

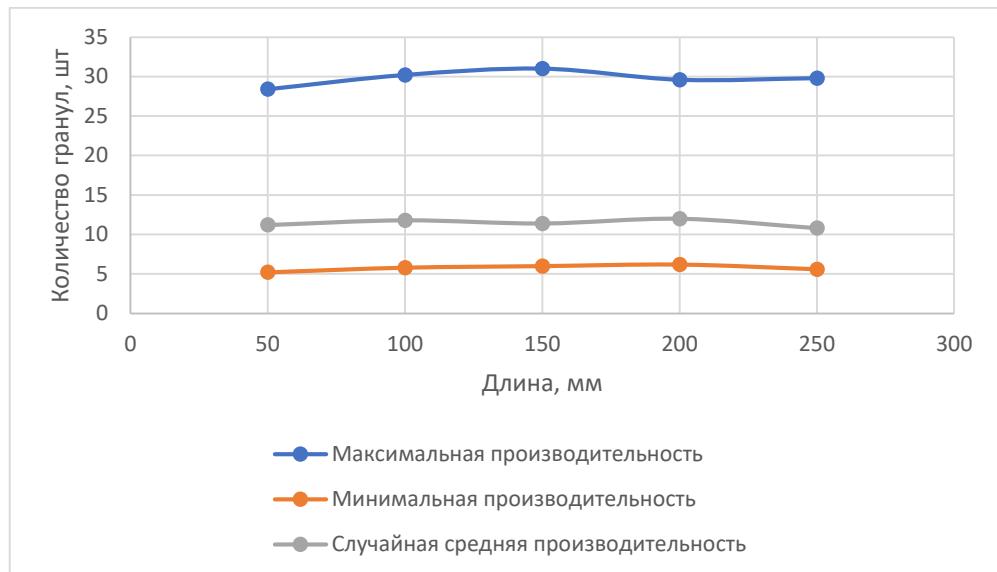


Рисунок 3.31 – График распределения минеральных удобрений по протяжённости

Для проведённой серии опытов, определяющих распределение минеральных удобрений по протяжённости, расчётные значения критерия были следующими: для максимальной производительности дозирующего устройства — 0,13; для минимальной производительности дозирующего устройства — 0,3; для случайной промежуточной производительности дозирующего устройства — 0,11. Табличное значение для данной серии опытов составляет 0,74. Поскольку расчётные значения меньше табличных данных, измерения в эксперименте считаются воспроизводимыми и достоверными.

Анализ графика показывает, что на элементарном участке протяжённостью 250 мм распределение гранул минеральных удобрений

происходит с высокой степенью равномерности. Изменение количества гранул на различных производительностях находилось в районе 10%. Важно учитывать, что на данный показатель оказывает влияние также постоянство скорости движения машинотракторного агрегата.

Проведённые исследования показывают, что использование сошника для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений позволяет равномерно распределять их по площади.

### **3.4.3 Экспериментальные исследования сошника для оценки распределения удобрений в гребне**

Равномерность распределения гранул твёрдых минеральных удобрений по объёму гребня является важным фактором при дифференциированном локально-ленточном внесении. Чтобы оценить равномерность распределения, были проведены экспериментальные исследования. Для этого был изготовлен пробоотборник в виде куба с размером сторон 400 мм. На одной из его сторон через каждые 50 мм сделаны просечки для установки шиберных заслонок (рисунок 3.32).



Рисунок 3.32 – Ящик пробоотборник

В процессе исследований при помощи гребнеобразующего культиватора-подкормщика осуществлялось внутрипочвенное внесение цветных пластиковых гранул размером от 3,5 до 5 мм имитирующих гранулы

минеральных удобрений. В процессе внесения устанавливалась максимальная производительность дозирующего устройства. После загрузки пластиковых гранул в бункер для минеральных удобрений, осуществлялась обработка участка поля протяжённость 100 м при помощи гребнеобразующего культиватора-подкормщика.

После осуществления обработки отведённого участка поля с внесением пластиковых гранул осуществлялся отбор проб почвы из сформированных гребней, для этого на гребне выделялся участок длиной 400 мм куда устанавливался пробоотборник в форме куба. В процессе эксперимента осуществлялась оценка распределения гранул по высоте и ширине гребня. При оценке распределения гранул по ширине гребня пробоотборник устанавливался горизонтально в гребень так, чтобы просечки для установки шиберных заслонок находились параллельно гребню. При оценке распределения гранул по высоте гребня пробоотборник устанавливался вертикально в гребень так, чтобы просечки для установки шиберных заслонок находились с боку от гребня, при этом пробоотборник устанавливался на глубину, соответствующую глубине обработки гребнеобразующего культиватора-подкормщика. После установки пробоотборника в каждую из просечек устанавливались шиберные заслонки, тем самым отсекая пробы почвы.

Отбор проб осуществлялся из трёх случайных участков гребня для каждого из вариантов. Далее осуществлялся подсчёт гранул в каждой из ячеек пробоотборника, отделённой шиберной заслонкой, объём которых составлял 0,008 м<sup>3</sup>. Полученные результаты заносились в таблицу для последующего анализа. Оценка достоверности полученных результатов осуществлялась при помощи критерия Кохрена.

На основе полученных данных в программе Statistica было получено уравнение регрессии характеризующее распределение гранул по ширине гребня:

$$V_{ш} = -5,62 + 0,2826 \cdot V_{р1} - 0,0008 \cdot V_2^2 \quad (3.91)$$

где  $V_{ш}$  – ширина распределения удобрений, мм;

$V_{гр1}$  – количество гранул минеральных удобрений, шт.

Адекватность данной математической модели подтверждена коэффициентом детерминации  $R^2=0,80$ , а также коэффициентом регрессии  $R=0,89$ . в связи с чем регрессионная модель в достаточной степени объясняет полученные опытные данные. Анализ значимости коэффициентов регрессионной модели показал, что коэффициенты  $b_1$  и  $b_2$ , являются наиболее значимыми, при переменной обозначающей количество гранул высеваемых удобрений. Для серии опытов, определяющих распределение минеральных удобрений по ширине гребня, расчётное значение критерия Кохрена составляло 0,27, в свою очередь табличное значение для данной серии опытов составляет 0,74. Так как расчётные значения получились меньше табличных данных, то измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми и достоверными. На основе полученной модели построен график распределения гранул удобрений по ширине гребня (рисунок 3.33).

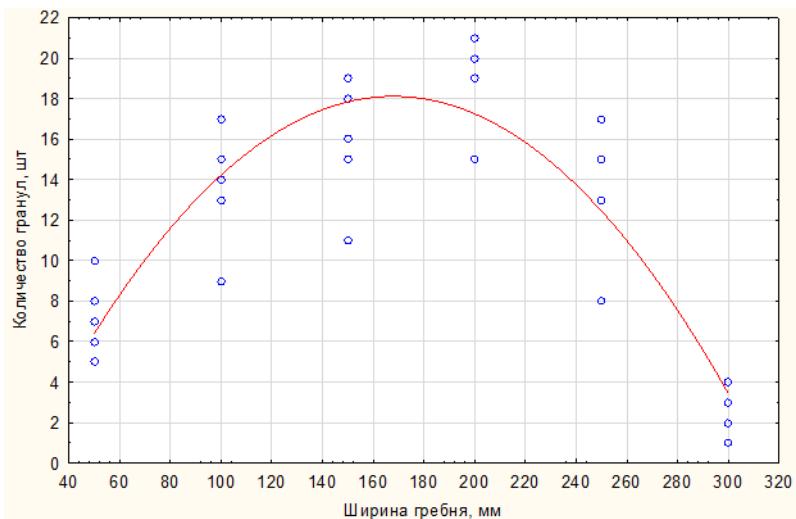


Рисунок 3.33 – Распределения гранул удобрений по ширине гребня

Анализ рисунка 3.33 позволяет сделать вывод, что большая часть минеральных удобрений сосредоточена в центре гребня. Благодаря рассеивателю с разнонаправленными зубьями гранулы распределяются по ширине гребня. Следует отметить, что положение трубопровода относительно

рассеивателя влияет на характер распределения гранул минеральных удобрений.

Также на основании опытных данных было получено уравнение регрессии описывающее распределение гранул по глубине:

$$V_{\text{гл}} = 3,0667 + 0,0369 \cdot V_{\text{гр2}} + 0,0002 \cdot V_3^2 \quad (3.92)$$

где  $V_{\text{гр2}}$  – количество гранул минеральных удобрений, шт.

$V_{\text{гл}}$  – глубина распределения гранул удобрений, мм;

Адекватность данной математической модели подтверждена коэффициентом детерминации  $R^2=0,94$ , а также коэффициентом регрессии  $R=0,97$ . в связи с чем регрессионная модель в достаточной степени объясняет полученные опытные данные. Анализ значимости коэффициентов регрессионной модели показал, что коэффициент  $b_2$  является наиболее значимыми, при переменной обозначающей количество гранул высеванных удобрений. Для серии опытов определяющей распределение минеральных удобрений по глубине гребня расчётное значение критерия Кохрена составляло 0,26, в свою очередь табличное значение для данной серии опытов составляет 0,74. Так как расчётные значения получились меньше табличных данных, то измерения в эксперименте следует считать воспроизводимыми и достоверными.

На основе полученной модели построен график распределения гранул удобрений по глубине гребня (рисунок 3.34).

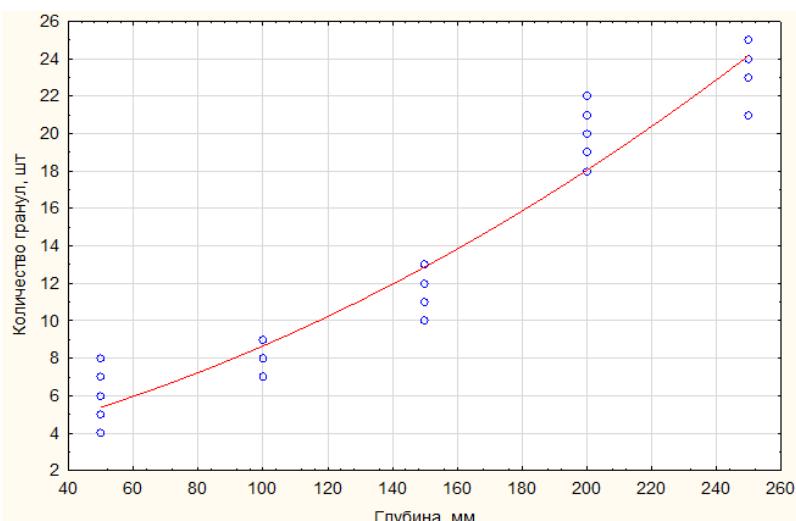


Рисунок 3.34 – Распределения гранул удобрений по глубине гребня

Анализ рисунка 3.34 позволяет сделать вывод, что большая часть минеральных удобрений сосредоточена в нижней части гребня на глубине примерно от 150 до 250 мм. Благодаря рассеивателю с разнонаправленными зубьями гранулы распределяются по глубине гребня за счёт вращения рассеивателя и заглубления зубьев в почву в разных направлениях. Это обеспечивает более равномерное распределение удобрений по всей глубине обрабатываемой зоны.

### **3.5 Полевые исследования совместного локально-ленточного внесения стимуляторов роста, органоминеральных и минеральных удобрений**

Картофель, как и другие сельскохозяйственные культуры, нуждается в получении элементов питания для хорошего роста и развития растения и как следствие получения высоких урожаев. В свою очередь стоит отметить, что в зависимости от культуры, технологии её возделывания, климатических условий, сортовых особенностей, коэффициент использования элементов питания из удобрений может варьироваться от 15 до 60 %. Например, азотные удобрения за счёт жизнедеятельности денитрифицирующих микроорганизмов частично превращаются в газообразные соединения и улетучиваются в атмосферу. Кроме того, часть удобрений попадает в грунтовые подпочвенные воды, загрязняя их, а другая часть остаётся в почве и может быть использована последующими культурами, выращиваемыми на данных почвах [174, 281]. В связи с чем использование удобрений без учёта потребностей культуры и почвенного плодородия может привести к негативным последствиям для окружающей среды и здоровья человека. Поэтому важно соблюдать рекомендации по внесению удобрений и следить за их рациональным использованием.

На усвоение растениями питательных веществ из почвы, а также вносимых минеральных и органических удобрений влияет здоровая

микрофлора почвы. В последнее время из-за нарушения севооборота, интенсивного земледелия и увеличения загрязнения наблюдается снижение плодородия почв. Однако использование биологически модифицированных минеральных удобрений может снизить экологическую нагрузку на почву, повысить эффективность усвоения питательных веществ растениями и раскрыть потенциал сельскохозяйственных культур в определённых почвенно-климатических условиях [57, 221].

Биологическая модификация минеральных удобрений предполагает добавление к гранулированным или жидким минеральным удобрениям биологических препаратов. Эти препараты могут выполнять различные функции: повышать фунгицидную и бактерицидную активность, стимулировать рост и развитие растений, снижать стрессовые факторы для них, фиксировать молекулярный азот и т. д. Биологически модифицировать минеральные удобрения можно в стационарных условиях, обрабатывая их на специализированных установках. Также это можно сделать при изготовлении тукосмесей на тукосмесительных линиях и заводах или непосредственно в процессе внесения удобрений.

Разработанный гребнеобразующий культиватор-подкормщик позволяет производить одновременное локально-ленточное внесение твердых минеральных удобрений и жидких биопрепаратов. В связи с чем для определения эффективности одновременного внесения минеральных удобрений и биопрепаратов был проведён полевой опыт, в ходе которого оценивалась эффективность внесения минеральных удобрений.

Полевые исследования проводились в ООО "Авангард" на участке поля площадью 55 га. Агротехника под картофель включала в себя основную обработку (внесение минеральных удобрений  $N_{10}P_{26}K_{26}$  с нормой расхода 500 кг/га (для всех вариантов опыта) и вспашка на глубину 22 см) и весеннюю обработку (культивация, фрезерование фрезой Lemken Zirkon 6000 на глубину 18 – 20 см, нарезка гребней и внесение удобрений разработанным гребнеобразующим культиватором-подкормщиком на всех вариантах опыта за

исключением контроля), одно окучивание на всех вариантах в течение вегетационного периода.

Посадка картофеля осуществлялась при помощи картофелесажалки СК-4 с одновременной обработкой клубней препаратором Престиж. В качестве семенного материала использовался картофель сорта Лилли. Масса семенных клубней 50–80 г. Срок посадки 15–20 мая. Норма посадки картофеля 55 тыс. клубней на гектар.

В ходе эксперимента вносились минеральные удобрения  $N_{10}P_{26}K_{26}$  по следующей схеме: 1. Сплошное внесение  $N_{10}P_{26}K_{26}$  при помощи разбрасывателя центробежного типа марки Amazone ZG-TS 8200 с последующей заделкой в норме 500 кг/га. (контроль); 2. Локально-ленточное внесение  $N_{10}P_{26}K_{26}$  с нормой 300 кг/га (Опыт 1); 3. Локально-ленточное внесение  $N_{10}P_{26}K_{26}$  с нормой 100 кг/га (Опыт 2); 4. Локально-ленточное внесение  $N_{10}P_{26}K_{26}$  с нормой 200 кг/га (Опыт 3); 5. Локально-ленточное внесение  $N_{10}P_{26}K_{26}$  с нормой 200 кг/га+ Бисолбисан (Опыт 4); 6. Локально-ленточное внесение  $N_{10}P_{26}K_{26}$  с нормой 200 кг/га+ Бисолбисам + гумат калия (Опыт 5).

Локально-ленточное внесение удобрений осуществлялось с одновременным формированием гребня при помощи разработанного гребнеобразующего культиватора-подкормщика, после внесения удобрений при помощи картофелесажалки КС-4 производилась посадка семенного материала (рисунок 3.35).



Рисунок 3.35 – Локально-ленточное внесение минеральных удобрений и биопрепаратов с последующей посадкой картофеля

В течение вегетационного периода осуществляли фенологические наблюдения, определяли динамику формирования всходов, высоту растений, количество стеблей. Так же в ходе опыта оценивалась биологическая урожайность картофеля, для этого на каждом из вариантов опыта выкапывалось по 5 кустов в трёхкратной повторности, при этом с каждого куста собирались, подсчитывались и взвешивались все клубни. После чего оценивалась фракционный состав, для этого каждый клубень картофеля пропускали через квадратный калибр. Полученные данные заносились в таблицу для последующей обработки.

Уборка урожая осуществлялась 30 сентября 2021 года. В ходе проведённых исследований полученные результаты обрабатывались в программе Excel. На основе полученных данных были построены графические зависимости, отражающие влияние способа внесения минеральных удобрений на массу клубня и биологическую урожайность (рисунок 3.36) и влияние способа внесения минеральных удобрений на количество клубней и их размер (рисунок 3.37).



Рисунок 3.36 – Влияние способа внесения минеральных удобрений на массу клубня и биологическую урожайность

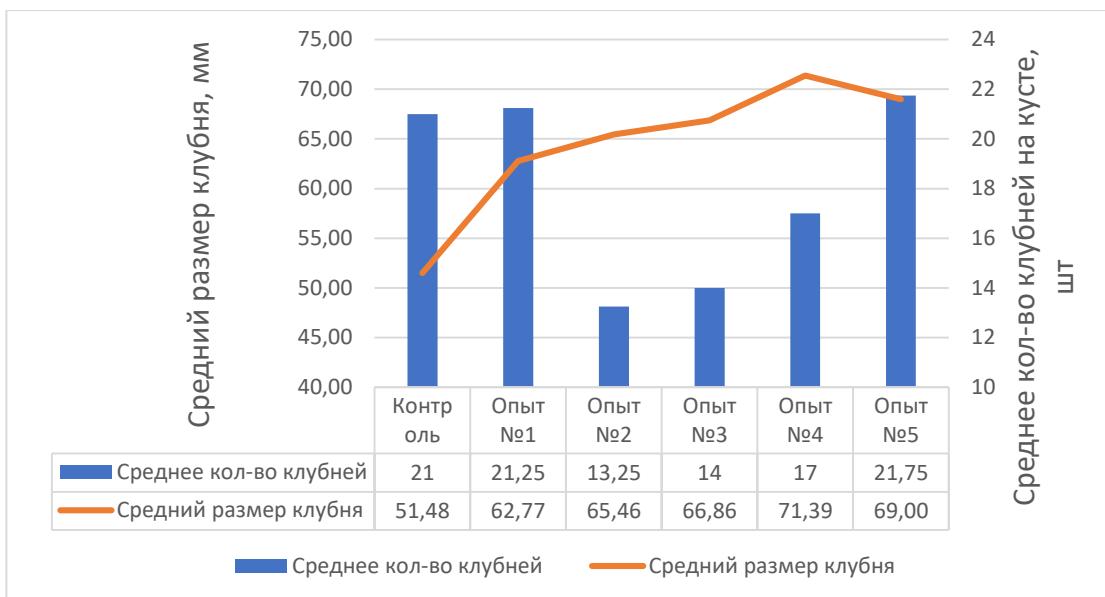


Рисунок 3.37 – Влияние способа внесения минеральных удобрений на количество клубней и их размер

Анализ полученных данных показывает, что локально-ленточное внесение минеральных удобрений с нормой расхода в 300 кг/га (опыт №1), позволило повысить биологическую урожайность картофеля на 10 % по сравнению с контролем. При этом незначительное увеличение урожайности на 4,6 % наблюдалось на опыте № 4, что вероятнее всего обусловлено меньшей нормой внесения минеральных удобрений 200 кг/га, однако одновременное внесение препарата БисолБисан на данном варианте позволило получить наибольшую среднюю массу клубня 124,89 гр. и их средний размер 71,39 мм, увеличение по сравнению с контролем на 33,26 % и 38,7% соответственно. Увеличение данных параметров связано с механизмом действия данного препарата, который оказывает многостороннее воздействие на растительный организм, благодаря широкому спектру продуцируемых метаболитов различного физиологического действия. Дополнительный эффект обусловлен высоким содержанием доступного кремния. Кремний способствует лучшему обмену в тканях растений азота и фосфора, выполняет важную роль в формировании устойчивости к различным стрессам, в том числе биотическим.

Наилучший эффект был получен на варианте опыта №5, совместное внесение минеральных удобрений с нормой расхода 200 кг/га с микробиологическим препаратом Бисолбисан и гуматом калия позволило получить биологическую урожайность 337,28 ц/га, что на 28,5% выше по сравнению с контролем, данный эффект был достигнут в результате увеличения средней массы и размера клубня, на 24,1 % и 34% соответственно, при том же среднем количестве клубней на кусте.

Таким образом можно сделать вывод, что совместное внесение микробиологических препаратов с гуминовыми препаратами позволяет получать большую биологическую урожайность картофеля при внесении меньшего объём минеральных удобрений локально-ленточным способом.

### **3.6 Производственные испытания гребнеобразующего культиватора-подкормщика**

В ООО «Авангард» Рязанского района были проведены производственные испытания гребнеобразующего культиватора-подкормщика на участке площадью 145 гектар. В ходе исследований оценивалась эффективность применения гребнеобразующего культиватора-подкормщика в сравнении со стандартной технологией возделывания картофеля, применяемой в хозяйстве. Исследования производились на картофеле сорта Манифест.

Схема опыта заключалась в локально-ленточном внесении минеральных удобрений с использованием гребнеобразующего культиватора-подкормщика (опыт №1), локально-ленточном внесении минеральных удобрений (калий-хлор) совместно с гуматом калия (опыт № 2), в качестве контроля была принята технология, применяемая в хозяйстве с внесением минеральных удобрений сплошным способом с последующей заделкой [142].



Рисунок 3.38 – Локально-ленточное внесение твердых минеральных удобрений и гумата калия при помощи гребнеобразующего культиватора-подкормщика

Перечень агротехнологических операций характерных для каждого из вариантов опыта представлен в приложении Ж.

Для снижения рисков потери урожай в результате распространения вредителей и возникновения заболеваний растений картофеля, все варианты опыта обрабатывались средствами защиты растений. Внесение которых производилось с использованием самоходного опрыскивателя Challenger RoGator 1100. Схема проведения обработок представлена в приложении Ж.

Для оценки состояния растений на каждом из вариантов опыта на различных этапах развития в процессе вегетационного периода проводились фенологические наблюдения, в ходе которых оценивалась динамика формирования всходов, измерялась высота растений и количество стеблей. Для осуществления наблюдений случайным образом были определены 5 участков в которых последовательно измерялось по 5 растений. Полученные данные заносились в таблицу, после чего при помощи программы Excel были построены графические зависимости, представленные на рисунке 3.39.

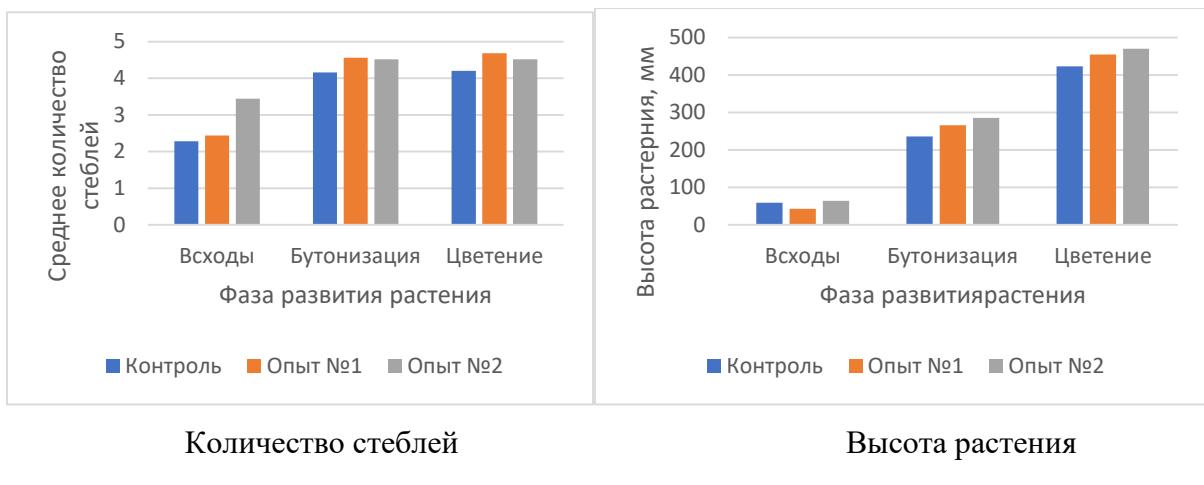


Рисунок 3.39 – Фенологические показатели растений

Исследование полученных данных показало, что оба опытных варианты привели к увеличению зелёной массы по сравнению с контрольным образцом, что свидетельствует о высокой эффективности применяемых агротехнологий. В опыте №1, характеризующемся локально-ленточным внесением удобрений, несмотря на снижение начальной активности всходов, к моменту начала цветения наблюдалось увеличение средней высоты растений картофеля на 7,5% по сравнению с контрольным образцом. Наилучшие результаты были достигнуты в опыте №2, в котором применялся комплексный способ локально-ленточного внесения твёрдых минеральных удобрений в сочетании с гуматом калия. Данная методика позволила достичь увеличения средней высоты растений картофеля на 14% по сравнению с контрольным образцом. Данный результат свидетельствует о синергетическом эффекте от совместного внесения минеральных удобрений и гуминовых препаратов, что подтверждается показателями продуктивности растений [142].

Перед началом уборки на каждом из вариантов опыта выкапывалось по 5 кустов на трёх различных участках. После чего клубни с каждого куста упаковывались в отдельные промаркованные пакеты, предварительно осуществлялся подсчёт количества клубней. В последствии собранные клубни доставлялись в лабораторию, где производилось определение их размерно-весовых характеристик. Для этого при помощи весов МН-500 с точностью до

0,1 г определяли массу каждого клубня, а также при помощи штангенциркуля определяли длину, ширину и толщину, при этом для определения среднего диаметра клубня пользовались следующей формулой:

$$d_{\text{к.ср.}} = \sqrt[3]{l_{\text{k}} \cdot b_{\text{k}} \cdot c_{\text{k}}} \quad (3.93)$$

где  $d_{\text{k.ср.}}$  – средний диаметр клубня, мм;

$l_{\text{k}}$  – длина клубня, мм;

$b_{\text{k}}$  – ширина клубня, мм;

$c_{\text{k}}$  – толщина клубня, мм.



Рисунок 3.40 – Определение размерно-весовых характеристик клубней картофеля

Уборка урожая осуществлялась при помощи трактора Claas Axion 940 в сцепке с картофелеуборочным комбайном GRIMME SE 150-60



Рисунок 3.41 – Общий вид уборочного агрегата: трактор CLAAS Axion 940 и картофелеуборочный комбайн GRIMME SE 150-60

Учёт урожайности осуществлялся методом сплошной уборки на основании показателей весовой хозяйствования. Полученные данные заносились в таблицу, после чего производился их анализ при помощи программы Excel.

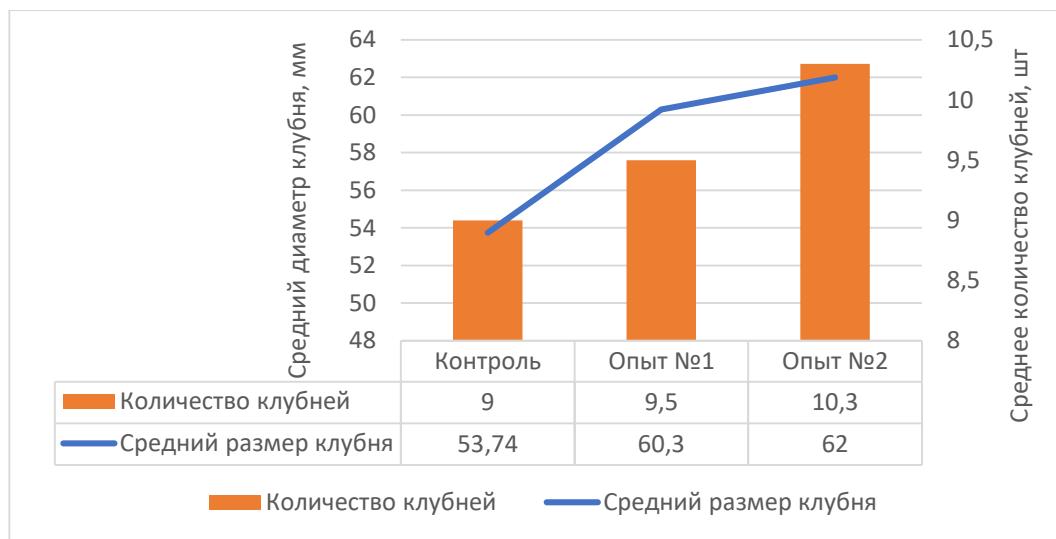


Рисунок 3.42 – Влияние способа внесения минеральных удобрений на количество клубней и их размер

Анализ полученных данных показал, что при использовании способа локально-ленточного внесения минеральных удобрений и гумата калия (опыт №2) наблюдалось увеличение среднего размера клубней по сравнению с контролем на 15,4%, при увеличении среднего числа клубней на 14,4% [142].

Определение урожайности картофеля определялось на основе данных поступающих с бортового компьютера комбайна. На основе полученных данных был построен график "Влияние способа внесения минеральных удобрений на массу клубня и биологическую урожайность".

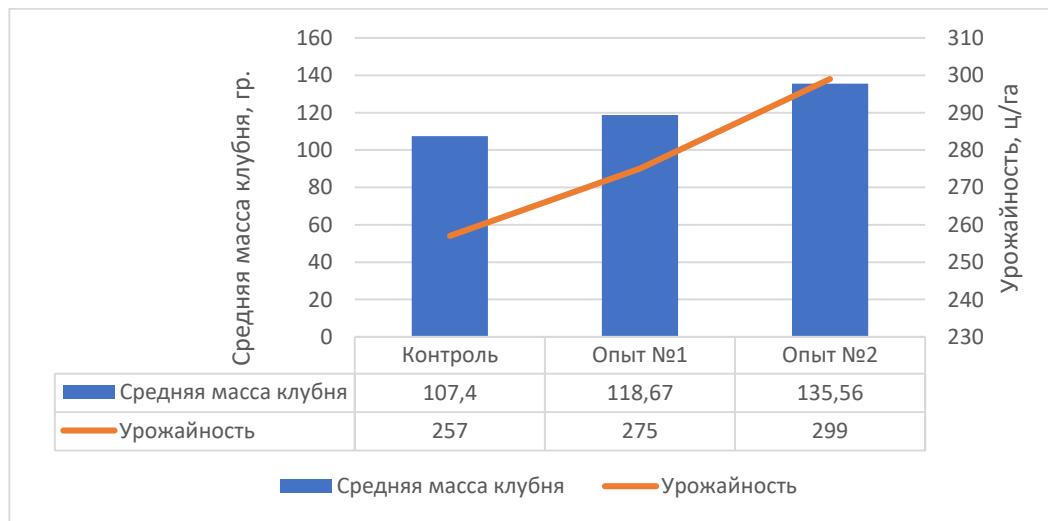


Рисунок 3.43 – Влияние способа внесения минеральных удобрений на массу клубня и биологическую урожайность

Анализ графика показывает, что внесение твёрдых минеральных удобрений локально-ленточным способом (опыт №1) позволило повысить урожайность на 7% по сравнению с контролем при увеличении средней массы клубней на 10,5 %, в свою очередь использование способа совместного локально-ленточного внесения твердых минеральных удобрений и гумата калия (опыт №2) позволило повысить урожайность на 16,3 % с увеличением средней массы клубней на 26,2 % [142].

## **Выводы по третьей главе**

1. Анализ проведённых исследований показал, что для полноценного развития растений картофеля необходимо, чтобы элементы питания находились в доступной для растений форме в корнеобитаемом слое почвы. В связи с чем актуальным является совместное локально-ленточное внесение минеральных удобрений и гуматов. При внесении минеральных удобрений средний расход гуминовых препаратов составляет от 0,5 до 2 % по весу.

2. Теоретическими исследованиями установлено, что при дозировании удобрений наибольшее влияние на производительность витка шнека оказывает диаметр шнека и угловая скорость. Исходя из конструктивных соображений рациональными параметрами витка шнека являются диаметр шнека 0,14 м и диапазон угловых скоростей от 4 до 8 рад/с. Согласно конструкции дозирующее устройство оборудовано регулируемым выгрузным отверстием, выполненном в форме шестиугольника, при угловой скорости шнека 6 рад/с, необходимый размер отверстия должен составлять 0,03м для обеспечения заданной производительности.

3. В ходе компьютерного моделирования установлено, что изменение проходного сечения способствует практически линейному изменению производительности предлагаемого дозирующего устройства, при этом данная зависимость сохраняется на всех скоростях вращения шнека. Стоит

отметить, что изменение частоты вращения шнека в диапазоне от 15 до 60 об/мин способствует росту по линейной зависимости производительности дозирующего устройства при проходном сечении от 78,5 до 400  $\text{мм}^2$ , а при проходных сечениях более 400  $\text{мм}^2$  приобретает квадратичную зависимость.

4. Экспериментальными исследованиями установлено, что наибольшую значимость на равномерность высева оказывает диаметр проходного сечения выгрузного отверстия в сравнении с частотой вращения составного шнека. Площадь выгрузного окна следует назначать в диапазоне от 100  $\text{мм}^2$  до 600  $\text{мм}^2$ , частота вращения составного шнека имеет зону рациональных значений минимума в диапазоне от 40 до 70 об/мин, где наблюдается высокая равномерность высева гранул минеральных удобрений.

5. Теоретическими исследованиями установлено, что траектории движения гранул минеральных удобрений после отскока от зуба рассеивателя показывает влияние угла наклона зуба на расстояние отскока. Рациональные значения угла наклона зуба рассеивателя находятся в диапазоне от 5° до 7°. Экспериментальными исследованиями уточнены рациональные параметры рассеивателя – угол наклона зубьев 6°, диаметр рассеивателя 150 мм, что соответствует наименьшей неравномерности распределения гранул минеральных удобрений по поверхности.

6. Моделирование процесса взаимодействия культиваторных лап гребнеобразующего культиватора-подкормщика с возмущающими силами, создаваемыми почвенными комками, позволило установить, что рациональное количество обрабатываемых гребней должно быть не менее четырёх. Важно отметить, что с увеличением жёсткости стойки культиваторной лапы, время стабилизации существенно уменьшается, при этом стоит учитывать возможность смещения гребнеобразующего культиватора-подкормщика в следствии недостаточного суммарного сопротивления, имеющихся культиваторных лап. Стабилизация культиваторной лапы происходит в диапазоне времени от 0,3 до 0,5 с, максимальное отклонение от центра рядка по агротехническим требованиям составляет  $\pm 0,02$  м.

7. Экспериментальными исследованиями установлено, что наилучшая равномерность подачи удобрений наблюдается при частоте вращения шнека 50 об/мин и площади проходного сечения 350 мм<sup>2</sup>, что соответствует подаче дозирующего устройства 163,51 кг/ч.

8. Экспериментальные исследования показали, что большая часть минеральных удобрений сосредоточена в центре гребня в нижней его части на глубине примерно от 150 до 250 мм. Использование рассеивателя с разнонаправленными зубьями способствует дополнительному распределению гранул по ширине и глубине гребня за счёт его вращения и заглубления зубьев в почву.

9. Совместное внесение минеральных удобрений с нормой расхода 200 кг/га с микробиологическим препаратом Бисолбисан и гуматом калия локально-ленточным способом обеспечило наилучший эффект. В результате биологическая урожайность составила 337,28 ц/га, что на 28,5% выше по сравнение с контролем, данный эффект был достигнут за счёт увеличения средней массы и размера клубня, на 24,1 % и 34% соответственно, при том же среднем количестве клубней на кусте.

10. Производственными исследованиями установлено, что использование способа совместного локально-ленточного внесения твердых минеральных удобрений и гумата калия позволило повысить урожайность на 16,3 % с увеличением средней массы клубней на 26,2 %.

## **4. ТЕОРЕТИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ КАРТОФЕЛЯ**

### **4.1 Теоретические предпосылки совместного внесения органоминеральных удобрений во время пестицидной обработки**

Растения картофеля подвержены воздействию различных негативных факторов, вызываемых болезнями и вредителями. Для сокращения рисков связанных с распространением таких вредителей как колорадский жук, проволочник и др., растения в период вегетации обрабатываются инсектицидами, действие которых направлено на предотвращение появлению или уничтожение уже имеющихся насекомых. Кроме того, специфические для картофеля заболевания такие как фитофтороз, альтернариоз и др., приводят к снижению получаемого урожай и ухудшению его качества. Использование фунгицидов в период вегетации позволяет защитить растения от развития и распространения заболеваний различной этиологии.

Важно отметить, что использование пестицидов несмотря на оказываемый положительный эффект, также может вызывать негативные последствия, связанные с обменом веществ защищаемого растения. Как правило больший стресс растения получают после обработки посадок гербицидами, в то время как фунгициды и инсектициды оказывают меньший негативный эффект на защищаемое растение.

В свою очередь для повышения экономической эффективности, а также сокращения экологической нагрузки на окружающую среду и снижения химического стресса для защищаемых растений принято осуществлять вегетационные обработки с использованием баковых смесей, сочетающих в себе различные средства защиты растений и стимуляторов роста. Применение интегрированной системы защиты растений позволяет оптимизировать процесс обработки культур и повысить его эффективность. Комбинированное

использование различных методов и подходов в этой системе не только уменьшает количество необходимых обработок, но и усиливает кумулятивный эффект взаимодействия средств защиты, расширяя спектр их действия. Это также способствует снижению вероятности возникновения резистентности у вредителей и сорных растений к определённым препаратам.

Однако даже при использовании интегрированной системы защиты растений и применении баковых смесей, важно учитывать потребности самого растения. Картофель, как и другие культуры, нуждается не только в защите от болезней и вредителей, но и в полноценном питании для роста и развития. Важную роль в этом играют микроэлементы.

Растениям картофеля для оптимального их развития кроме основных и вторичных элементов питания необходимы в том числе и микроэлементы, такие как цинк, медь, бор, железо, молибден, хлор, никель, марганец. Несмотря на то, что растениям они требуются в гораздо меньших объёмах, каждый из них отвечает за определённые метаболические процессы, влияющие на качество получаемого урожая.

Использование микроэлементов в качестве стимулирующей подкормки может быть связано с рядом трудностей, в частности, как было отмечено выше усвоение некоторых микроэлементов, таких как железо и марганец, может зависеть от уровня pH почвы. Это означает, что для оптимального поглощения этих элементов растениями картофеля может потребоваться корректировка кислотности почвы, что может быть дополнительным шагом в процессе ухода за культурой. Кроме того, препараты микроэлементов могут быть представлены в разных формах, включая хелатные соединения. В связи с чем необходимо строго соблюдать нормы внесения различных препаратов в противном случае передозировка может привести к ухудшению качества урожая, накоплению вредных веществ в клубнях и другим негативным последствиям. В свою очередь определить, какие именно микроэлементы нужны растениям и в каком количестве, бывает непросто. Это требует проведения анализа почвы и оценки состояния растений.

Таким образом, для обеспечения здоровья и продуктивности растений картофеля необходимо вносить не только микроэлементы, но и использовать стимуляторы роста. Эти препараты активизируют обменные процессы в растениях, способствуя их развитию и повышению устойчивости к болезням и вредителям. Они также помогают ускорить восстановление после стрессовых ситуаций, таких как обработка пестицидами или неблагоприятные погодные условия.

Имеются данные о том, что активное распространение получают в качестве биоудобрений и биостимуляторов различные растительные экстракты. В частности, внекорневое внесение экстрактов из бурых водорослей, листьев алоэ вера, луковиц чеснока и листьев моринги способно оказывать положительное влияние на параметры роста и урожайности картофеля [229, 274].

В исследовании отмечается, что увеличение вегетативного роста, концентрации хлорофилла в листьях и параметров урожайности можно связать с присутствием в экстрактах бурых водорослей и листьев моринге минералов, таких как Mg и N, а также K и Zn, которые улучшают фотосинтез и перемещение углеводов, увеличивают биомассу растений и способствуют повышению урожайности [274].

Растительные экстракты также обладают биостимулирующим эффектом благодаря наличию биологически активных соединений, включая фитогормоны, аскорбиновую кислоту, полисахариды, бетаины и фенольные соединения. Эти вещества могут индуцировать рост клеток и их деление, тем самым улучшая вегетативный рост, биомассу растений и показатели урожайности [274].

Несмотря на имеющиеся данные о положительном влиянии растительных экстрактов на рост и урожайность сельскохозяйственных культур, их эффективность и безопасность могут потребовать дополнительных исследований. Кроме того, получение растительных

экстрактов может быть более затратно в сравнении с другими аналогичными стимуляторами роста.

Гуминовые удобрения играют важную роль в защите растений и улучшении почвы. Многочисленные исследования отечественных и зарубежных учёных подтверждают их защитные свойства, включая защиту от фитотоксического действия гербицидов и адсорбционные свойства по отношению к вредным примесям и пестицидам в почве. Это делает гуминовые удобрения ценным инструментом в сельском хозяйстве [18, 223, 257].

Добавление гуминовых препаратов в баковые смеси позволяет решить сразу несколько задач. Они усиливают действие средств защиты растений, снижают стрессовую нагрузку на культурные растения и увеличивают скорость разложения ядов в клетках самих растений. Таким образом, использование гуматов способствует более эффективному использованию пестицидов и снижению их негативного воздействия на окружающую среду [257].

Кроме того, гуминовые препараты являются стимуляторами роста, что помогает растениям нивелировать последствия химического стресса. Это значительно сокращает время и силу негативного воздействия стресса на растение и позволяет ему продолжить нормальную вегетацию [26]. Благодаря этому свойству гуматы становятся незаменимым помощником для фермеров и садоводов, стремящихся получить высокий урожай без вреда для окружающей среды.

Гуминовые удобрения представляют собой перспективное направление в сельском хозяйстве. Их внесение позволяет не только улучшить качество почвы и защитить растения от вредных воздействий, но и способствовать устойчивому развитию сельскохозяйственных угодий. Исследования в этой области продолжают развиваться, открывая новые возможности для использования гуматов в аграрной практике.

В результате при составлении баковых смесей необходимо учитывать различные принципы действия тех или иных препаратов. Так наличие в

баковых смесях микроэлементов помогает растениям стать более устойчивыми к болезням и вредителям, а гуминовые препараты способны усиливать этот эффект. Также внесение микроэлементов обеспечивает повышение содержания питательных веществ в клубнях и оказывает влияние на их вкусовые качества, а также помогает увеличить количество крупных и средних клубней и повысить уровень аскорбиновой кислоты в них. Гуминовые препараты, в свою очередь, могут способствовать увеличению скорости разложения ядов в клетках растений и снижению стрессовой нагрузки на культурные растения. Гуминовые удобрения могут проявлять защитные свойства и адсорбционные свойства по отношению к вредным примесям и пестицидам в почве. Их добавление в баковые смеси позволяет улучшить усвоение микроэлементов растениями. Таким образом составление сложных баковых смесей с добавлением в них гуминовых препаратов может повысить эффективность выращивания картофеля и других культур, обеспечивая им необходимые питательные вещества и защиту от негативных факторов.

Важным фактором, влияющим на эффективность действия препаратов, является своевременная и качественная обработка растений. Известно, что растения обладают рядом уникальных свойств и механизмов, которые позволяют им осуществлять фотосинтез и поглощать необходимые вещества из окружающей среды.

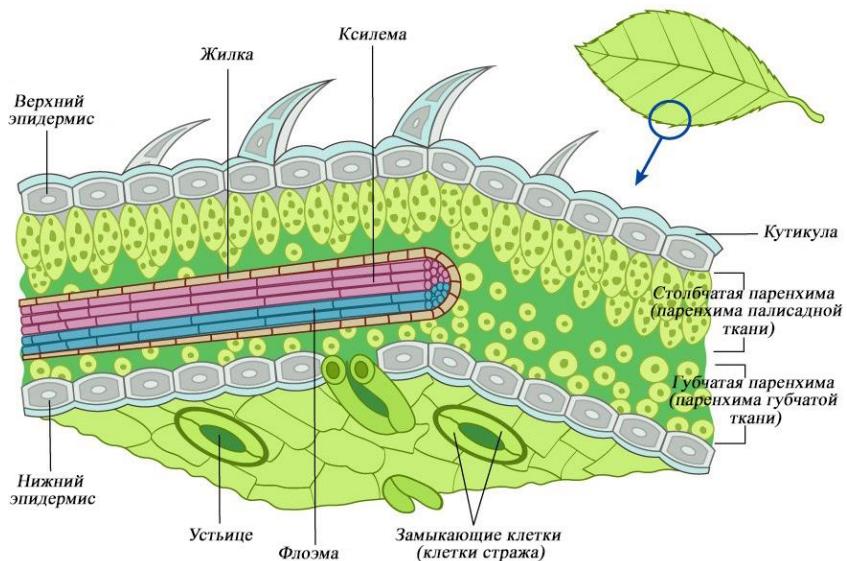


Рисунок 4.1 – Строение листьев картофеля

Растения имеют специальные органы, такие как листья, стебли и корни, каждый из которых выполняет свою функцию в процессе жизнедеятельности. Помимо поглощения воды и минеральных веществ из почвы, корни растений также обеспечивают их механическую поддержку и участвуют в хранении питательных веществ.

В свою очередь листья, помимо осуществления фотосинтеза, также играют ключевую роль в газообмене и транспирации — процессе, при котором растение поглощает воду через корни и затем испаряет её через листья. Это помогает растению охлаждаться и поддерживать водный баланс, а также способствует перемещению растворённых питательных веществ по всему растению. Кроме того, листья способны поглощать углекислый газ и кислород из воздуха, что также важно для процессов жизнедеятельности растения. Они могут поглощать и другие вещества, например, некоторые элементы питания в виде ионов из атмосферы (например, азот) или абсорбировать воду с растворёнными в ней питательными веществами через кутикулу — восковой слой на поверхности листа [237].

Стоит отметить, что в ранних исследованиях было принято считать, что гидрофобность кутикулы, поверхностное натяжение воды и геометрия устьиц мешают проникновению капель воды в устьица без давления или снижения поверхностного натяжения, достигаемого путём добавления в раствор поверхностно-активных веществ [276]. В свою очередь исследования последних лет с использование современных методов визуализации с помощью конфокальной лазерной сканирующей микроскопии показывают, что устьица способны поглощать воду, питательные вещества, ионные флуоресцентные красители и другие растворённые вещества без использования поверхностно-активных веществ [237].

У растений картофеля, как и у основной части двудольных растений основная часть устьиц находится на нижней поверхности листьев. Данный показатель способен оказывать непосредственное влияние на поглощение растворов. В исследованиях отмечается, что у подобных растений

абаксиальное (нижняя поверхность листьев) поглощение сильнее, чем адаксиальное (верхняя поверхность листьев) [237].

Кроме того, обработка нижней поверхности листьев картофеля более эффективно по сравнению с верхней, особенно при обработке против личинок младших возрастов колорадского жука и других вредителей. Эффективность подобной обработки связано с тем, что именно на нижней стороне листа вредители чаще всего находятся и питаются. Обработка этой поверхности позволяет достичь более высокой концентрации препарата на насекомых, увеличивая вероятность их контакта с активным веществом и повышая эффективность борьбы с вредителями [233, 296].

Таким образом, обработка нижней поверхностей листьев может быть эффективным способом борьбы с вредителями и болезнями, а также способствовать поступлению питательных веществ, необходимых для роста и развития растений.

Следует отметить, что при разработке опрыскивателя необходимо также учитывать строение растения, размеры и форму кроны. Это поможет эффективно обрабатывать нужные участки возделываемой культуры для достижения максимального эффекта. В частности, размерами и формой кроны определяют площадь поверхности, которую необходимо обработать, кроме того, необходимо также учитывать и высоту растений, и их расположение относительно земли.

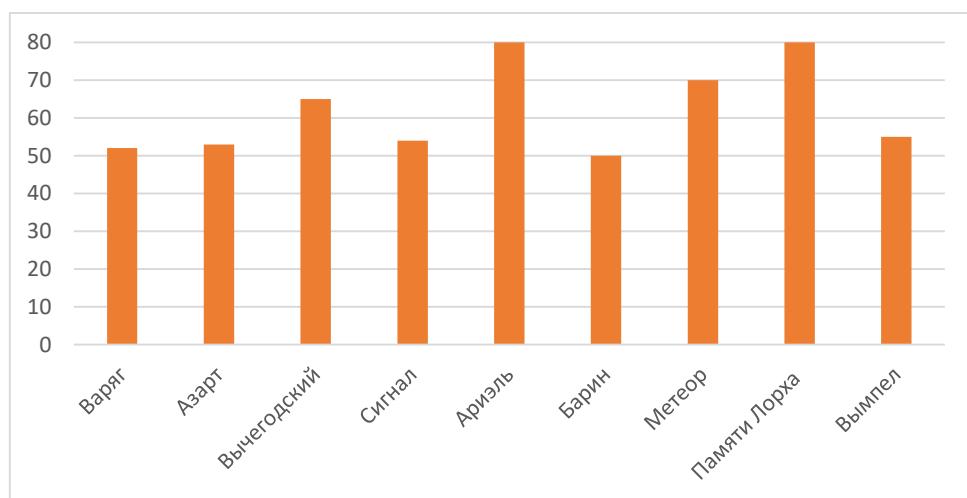


Рисунок 4.2 – Средняя максимальная высота растений картофеля по сортам

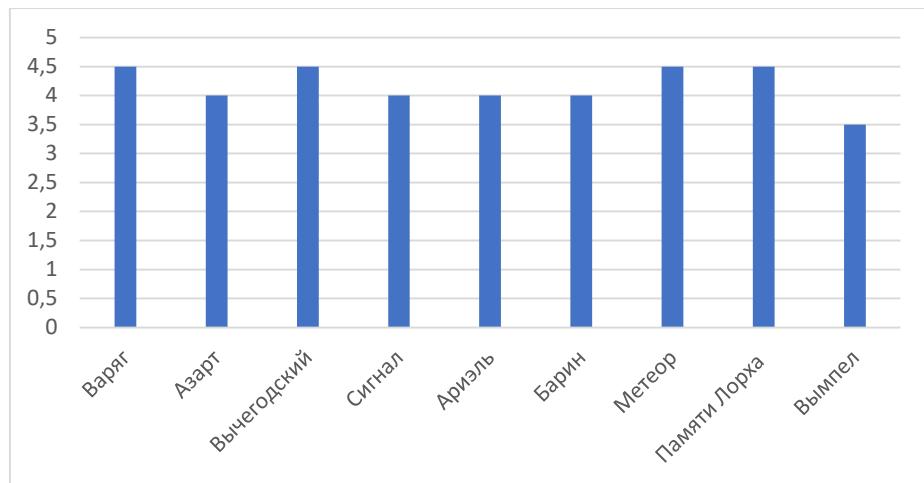


Рисунок 4.3 – Среднее число стеблей растений картофеля по сортам

Имеющиеся данные показывают, что растения картофеля обладают хорошо развитой надземной частью. Высота растений может варьировать в достаточно широких пределах, при этом для сортов, возделываемых на территории Российской Федерации характерным, являются растения с высотой стебли 40-80 см, и количество стеблей от 4-8 шт, при этом параметры растений могут варьироваться в определённых пределах в зависимости от особенностей выращивания каждого конкретного сорта [4, 5, 6, 7, 8, 9, 224, 225]. Как правило представленные растения промежуточного типа, прямостоячее или полупрямостоячее.

На основе имеющихся данных можно говорить о том, что разработка специализированного аэрозольного опрыскивателя позволит повысить эффективность обработки растений, учитывая их уникальные свойства и механизмы, а также обеспечить их качественную защиту от вредителей, за счёт целенаправленного воздействия на необходимые участки растений.

## **4.2 Конструктивно-технологическая схема аэрозольного опрыскивателя пропашных культур**

Обеспечение качественной обработки сельскохозяйственных культур средствами защиты растений при их минимальном расходе, является одной из

ключевых задач, на решение которых направлена концепция интегрированной защиты растений. Целью данной концепции является сохранение урожая при поддержании экологического равновесия на сельскохозяйственных угодьях.

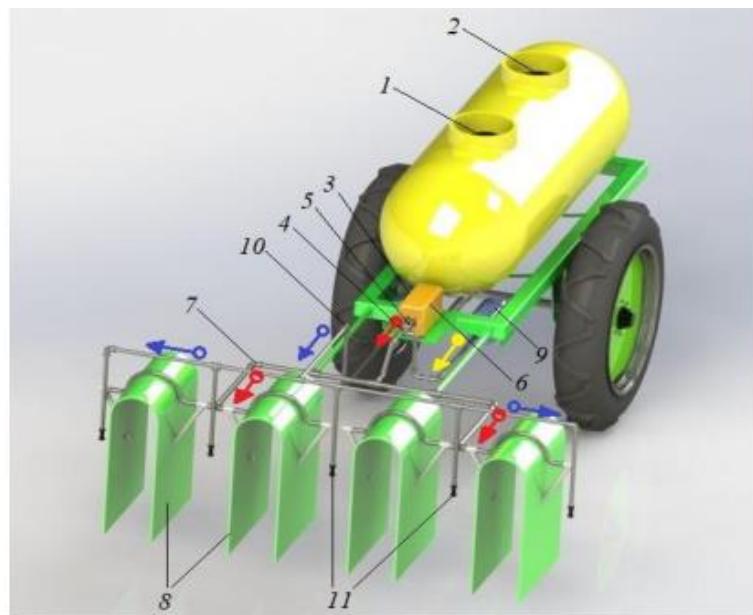
Одним из наиболее перспективных методов защиты растений отвечающим концепции интегрированной защиты растений, является аэрозольная обработка растений. Благодаря тому, что аэрозоль представляет собой мелкодисперсную систему, состоящую из взвешенных в газообразной среде твёрдых или жидких частиц. Аэрозольная обработка растений позволяет препарату проникать в труднодоступные места, что увеличивает эффективность его применения. Это особенно важно при работе с вредителями и болезнями, которые скрываются в листве, на стеблях или в почве [58, 270].

Аэрозольная обработка способна обеспечивать равномерное распределение активного вещества по всей площади обработки, что позволяет сократить риски возникновения устойчивых к препаратам популяций вредителей и болезней. Кроме того, использование аэрозоля позволяет уменьшить количество препарата, необходимого для достижения желаемого эффекта, что делает метод более экономичным и экологически безопасным.

Однако стоит отметить, что успешная аэрозольная обработка требует тщательного планирования и подготовки. Необходимо учитывать погодные условия и время суток, чтобы обеспечить максимальную эффективность обработки. Важно обращать внимание на направление и скорость ветра во время обработки, чтобы минимизировать снос препаратов на соседние территории. Это поможет избежать нежелательного воздействия на другие растения и животных, которые не подлежат обработке.

В результате аэрозольный способ обработки растений уменьшает расход ядохимикатов в десятки раз, увеличивает производительность и повышает качество обработки по сравнению с опрыскиванием. Однако у этого метода есть недостатки: трудность управления процессом и вероятность сноса тумана ветром или восходящими потоками воздуха.

С целью решения поставленных задач в области повышения эффективности обработки растений картофеля защитно-стимулирующими препаратами была разработана конструкция аэрозольного пропашного опрыскивателя и способ аэрозольной обработки представленная на рисунке 4.4. Предлагаемый способ обработки растений в рядках производится аэрозолем препаратов, создаваемым генератором горячего тумана, а для снижения химического стресса растений в баковую смесь для обработки пропашных культур совместно со средствами защиты растений добавляется раствор солей гуминовых кислот.



● – баковая смесь; ● – раствор гербицидов; ● – аэрозоль (туман)

1 - резервуар рабочего раствора; 2 - резервуар для раствора гербицидов; 3 - насос; 4 - эжектор; 5 - жаровая труба; 6 - парогенератор; 7 - система трубопроводов; 8 – тоннельные укрытия; 9 - насос системы ультрамалообъемного опрыскивания; 10 – система трубопроводов; 11- форсунки

Рисунок 4.4 – Схема осуществления аэрозольной обработки пропашных культур аэрозольным опрыскивателем пропашных культур

Аэрозольный опрыскиватель пропашных культур состоит из резервуаров для рабочего раствора и раствора гербицидов, выполненных в едином корпусе, в данной конструкции предусмотрена возможность их объединения в единый резервуар повышенной ёмкости. Так же в конструкции имеются система подачи средств защиты растений, включающая в себя насосы

дозаторы для подачи рабочего раствора и раствора гербицидов, форсунки, генератор горячего тумана с жаровой трубой и эжектором. Элементы системы подачи средств защиты растений соединены между собой и с резервуарами по средствам системы трубопроводов. Для защиты от сноса аэрозоля в конструкции опрыскивателя реализованы тоннельные укрытия, установленные на цельнометаллическом каркасе [137].

Процесс аэрозольной обработки растений картофеля средствами защиты растений и гуминовыми препаратами аэрозольным опрыскивателем пропашных культур заключается в том, что в баковую смесь добавляют средства защиты растений и раствор солей гумата калия, затем баковую смесь распыляют под тоннельными укрытиями в виде аэрозоля (тумана) над рядками растений с одновременной обработкой междурядий гербицидным раствором.

Создание аэрозоля защитно-стимулирующих препаратов осуществляется при помощи генератора горячего тумана и способствует лучшей равномерности обработки растений, так как образуемый аэрозоль (туман) будет заполнять основной объём пространства, образованного тоннельными укрытиями и тем самым покрывать растение со всех сторон. Кроме того, использование тоннельных укрытий позволит уменьшить снос препарата ветром или восходящими потоками воздуха. Использование аэрозоля, создаваемого генератором горячего тумана, для обработки растений также способно увеличить степень усвоения препарата. При этом одновременно с обработкой культурных растений в рядках, осуществляется обработка междурядий от сорной растительности с использованием системы ультрамалообъёмного опрыскивания [141, 205].

Использование предлагаемого аэрозольного опрыскивателя пропашных культур позволит обеспечить равномерное распределение активного вещества по всей площади обработки обрабатываемых растений, тем самым сократить вероятность возникновения устойчивых к препаратам популяций вредителей и болезней, минимизировать риски загрязнения окружающей среды в результате сноса средств защиты растений ветром.

### 4.3 Теоретическое обоснование параметров аэрозольного опрыскивателя для совместного внесения органоминеральных удобрений во время пестицидной обработки

В процессе работы аэрозольного опрыскивателя важным показателем будет являться концентрация капель защитно-стимулирующих препаратов в общем объеме аэрозоля, а также их дисперсность.

Для определения основных параметров и режимов работы аэрозольного опрыскивателя рассмотрим более подробно процесс его работы. В результате детонации топливовоздушной смеси в камере сгорания происходит образование направленного газового потока высокой температуры, проходящего по жаровой трубе к соплу. Одновременно с этим в жаровую трубу через эжектор происходит подача рабочего раствора, поток которого при выходе из эжектора разрушается на капли. Затем часть образовавшихся капель разрушается под воздействием направленного газового потока, после чего происходит испарение капель за счет действия высокой температуры газа. В результате возникающего эффекта конденсации связанного с расширением газа и его соприкосновением с относительно холодным окружающим воздухом, происходит образование капель, которые формируют облако тумана.

Рассмотрим более подробно процесс разрушения струи рабочего раствора, выходящей через эжектор и формирование облака аэрозоля.

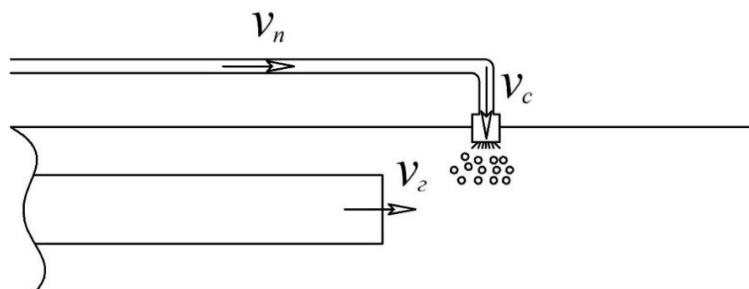


Рисунок 4.5 – Схема получения аэрозоля

Уравнение непрерывности потока будет иметь следующий вид:

$$S_{\pi} \cdot v_{\pi} = S_c \cdot v_c \quad (4.1)$$

где  $S_n$  – площадь поперечного сечения подающего трубопровода,  $\text{м}^2$ ;

$S_c$  – площадь поперечного сечения на выходе из эжектора,  $\text{м}^2$ ;

$v_n$  – скорость рабочего раствора в подающем трубопроводе,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$v_c$  – скорость рабочего раствора на выходе из эжектора,  $\text{м}/\text{с}$ .

Эффективность распыления рабочего раствора в жаровую трубу генератора горячего тумана зависит от таких показателей, как давление жидкости, диаметр сопла эжектора и вязкость жидкости. Таким образом, для описания процесса распыления можно воспользоваться уравнением Бернулли, которое связывает скорость движения жидкости с её давлением и высотой.

$$P_n + \rho_p g h_n + \rho_p \frac{v_n^2}{2} = P_c + \rho_p g h_c + \rho_p \frac{v_c^2}{2} \quad (4.2)$$

где  $P_n$  – давление рабочей жидкости в подающем трубопроводе, Па;

$P_c$  – давление на выходе из эжектора, Па;

$\rho_p$  – плотность рабочей жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$h_n, h_c$  – высота подающего трубопровода и эжектора над землей, м.

Так как высота расположения подающего трубопровода и эжектора относительно земли одинакова, а давление рабочей жидкости в подающем трубопроводе постоянно, то уравнение (4.2) можно записать как:

$$P_n + \rho_p \frac{v_n^2}{2} = P_c + \rho_p \frac{v_c^2}{2} \quad (4.3)$$

Выразим из уравнения (4.1) скорость рабочего раствора в подающем трубопроводе и подставив в выражение (4.3) получим

$$P_n + \rho_p \frac{S_c^2 v_c^2}{S_n^2 2} = P_c + \rho_p \frac{v_c^2}{2} \quad (4.4)$$

Из выражения (4.4) выразим величину скорость рабочего раствора на выходе из эжектора

$$v_c = \sqrt{\frac{2(P_n - P_c)}{\rho_p \left(1 - \frac{S_c^2}{S_n^2}\right)}} \quad (4.5)$$

Допустим, что в процессе прохождения потока рабочей жидкости через эжектор образуются капли одинакового диаметра, тогда их размер можем определить по следующей формуле:

$$D_k = \frac{V_p}{v_c \pi \left( \frac{Q_p}{\rho_p} \right)^{1/3}} \quad (4.6)$$

где  $V_p$  – объёмный расход рабочего раствора,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Объёмный расход рабочего раствора будет зависеть от площадь поперечного сечения и скорости рабочего раствора на выходе из эжектора и описываться следующим выражением:

$$V_p = S_c v_c \quad (4.7)$$

Подставив в выражение (4.6) значения выражений (4.5) и (4.7) получим:

$$D_k = \frac{S_c v_c}{\sqrt{\frac{2(P_{\Pi} - P_c)}{\rho_p \left( 1 - \frac{S_c^2}{S_{\Pi}^2} \right)} \pi \left( \frac{S_c v_c}{\rho_p} \right)^{1/3}}} \quad (4.8)$$

Для определения диаметра капель рабочего раствора на выходе из эжектора на основе выражения (4.8) в программе MathCad был построен график зависимости размера капель рабочего раствора от давления жидкости в подающем трубопроводе исходя из следующих условий: площадь поперечного сечения эжектора  $7,069 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ; площадь поперечного сечения подающего трубопровода  $1,257 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ ; давление на выходе из эжектора  $0,1 \text{ МПа}$ ; плотность рабочей жидкости  $1050 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; скорость рабочего раствора на выходе из эжектора  $5 \text{ м}/\text{с}$ .

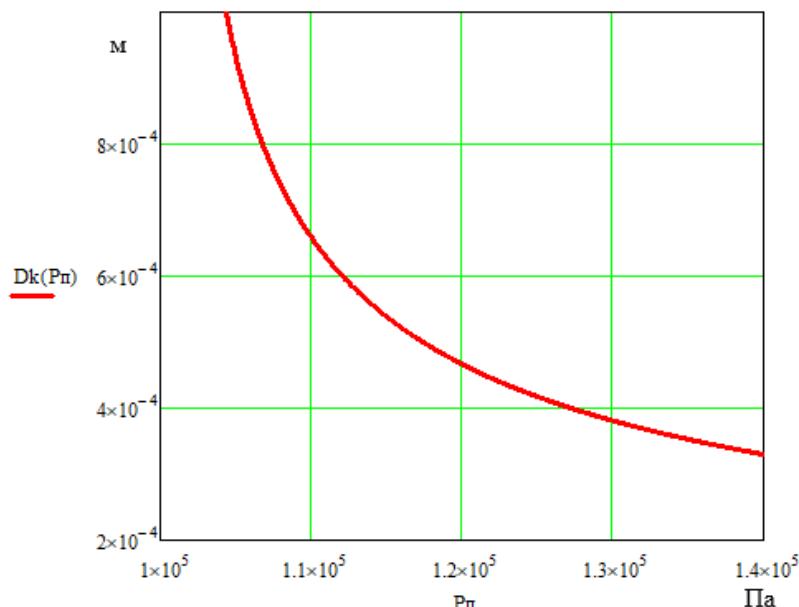


Рисунок 4.6 – График зависимости диаметра капель рабочего раствора от давления жидкости в подающем трубопроводе

Анализ рисунка 4.6 показал, что при избыточном давлении в трубопроводе более  $1,15 \cdot 10^5$  Па размер капель рабочего раствора на выходе из эжектора составляет около 500 мкм. Так как в процессе работы генератора горячего тумана подача рабочего раствора осуществляется в разогретый газовый поток, имеющий скорость  $v_g$  и плотность  $\rho_g$ , то образовавшиеся капли в результате распыления через эжектор будут подвергаться разрушающему воздействию направленного газового потока. Рассмотрим процесс разрушения на примере одной из капель.

Разрушение капли можно представить, как изменение её радиуса во времени в результате воздействия на неё аэродинамической силы, вызванной направленным газовым потоком и силы поверхностного натяжения. Соотношение между инерционными и капиллярными силами (силами поверхностного натяжения) описывается числом Вебера:

$$We = \frac{\rho_g v_g^2 D_k}{\sigma_k} \quad (4.9)$$

где  $\rho_g$  – плотность газового потока, кг/м<sup>3</sup>;

$\sigma_k$  – коэффициент поверхностного натяжения рабочего раствора, Н/м;

$v_g$  – скорость газового потока, м/с.

Так как в процессе работы генератора горячего тумана происходит периодическое сгорание смеси и в результате чего образуются волны газового потока, что приводит к образованию значительных скоростей газового потока. Рассчитаем число Вебера в программе MathCad для следующих условий: исходя из состава выхлопных газов примем плотность газового потока 1,3 кг/м<sup>3</sup>; средний размер капель примем 0,5 мм; коэффициент поверхностного натяжения рабочего раствора гуматов 0,07 Н/м.

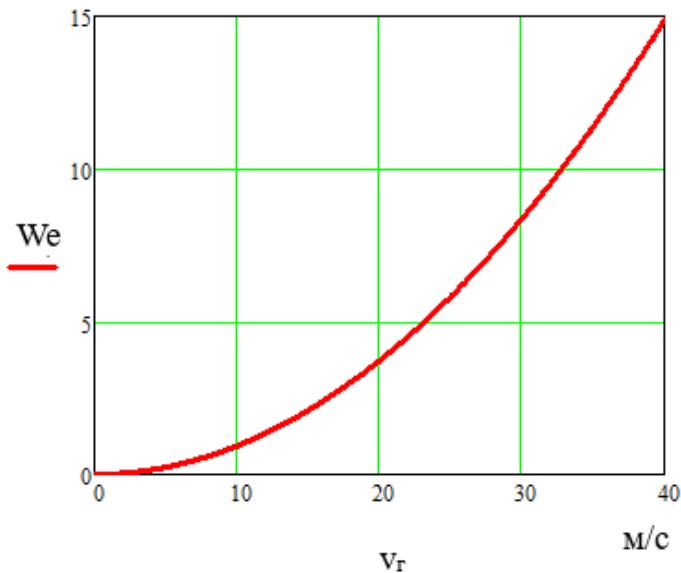


Рисунок 4.7 – график зависимости числа Вебера от скорости газового потока в области расположения эжектора в жаровой трубе генератора горячего тумана

Анализ рисунка 4.7 показал, что число Вебера при скорости газового потока более 40 м/с превышает критическое значение 8–12, тем самым показывая начало разрушения капель. По данным работы Гельфанд Б.Е. и Губина С.А. критические значения числа Вебера ведущие к разрушению капель составляют более 5. При этом исходные капли разрушаются на несколько равных капель меньшего диаметра [286]. В свою очередь, уменьшение размера капель способствует лучшей теплопередачи от топочных газов к рабочему раствору тем самым повышая эффективности испарения. В результате повышаются такие показатели как энергоэффективность генератора горячего тумана и дисперсность капель получаемого аэрозоля.

Рассмотрим процесс теплопередачи от газового потока к каплям рабочего раствора. Запишем уравнение теплопередачи:

$$Q_{\text{г-к}} = k_{\text{г-к}} \cdot S_k \cdot (T_g - T_k) \quad (4.10)$$

где  $Q_{\text{г-к}}$  – тепловой поток, передаваемый от газового потока к капле, Вт;  $k_{\text{г-к}}$  – коэффициент теплообмена, Вт/м<sup>2</sup> град;  $S_k$  – площадь поверхности капли ( $S_k = \pi \cdot D_k^2$ ), м<sup>2</sup>;

$T_g$ ,  $T_k$  – температура газового потока и капли соответственно, град.

Для испарения капли некоторого объёма необходимое тепло переданное от газового потока можно определить как:

$$Q_{\text{исп.к.}} = m_k \cdot L_k \quad (4.11)$$

где  $Q_{\text{исп.к.}}$  – тепло для испарения капли рабочего раствора, кДж;

$m_k$  – массы капли рабочего раствора  $m_k = \frac{\pi \cdot D_k^3 \cdot \rho_p}{6}$ , кг;

$L_k$  – теплота парообразования рабочего раствора, кДж/кг.

В процессе работы генератора горячего тумана происходит постоянный процесс теплопередачи, который обеспечивает равномерный нагрев рабочей среды и эффективное испарение жидкости. В результате время, затрачиваемое на испарение капель рабочего раствора, можно определить, как соотношение:

$$t_{\text{исп.к.}} = \frac{Q_{\text{исп.к.}}}{Q_{g-k}} = \frac{D_k \cdot \rho_p \cdot L_k}{6 \cdot k_{g-k} \cdot (T_g - T_k)} \quad (4.12)$$

На основе выражения (4.12) была рассчитана зависимость времени испарения от размера капель рабочего раствора (рисунок 4.8). В программе MathCad были заданы следующие начальные условия: плотность рабочей жидкости 1050 кг/м<sup>3</sup>; теплота парообразования рабочего раствора 2257 кДж/кг; коэффициент теплообмена газового потока 200 Вт/м<sup>2</sup>К; температура газового потока 513 К; температура капли рабочего раствора 295 К.

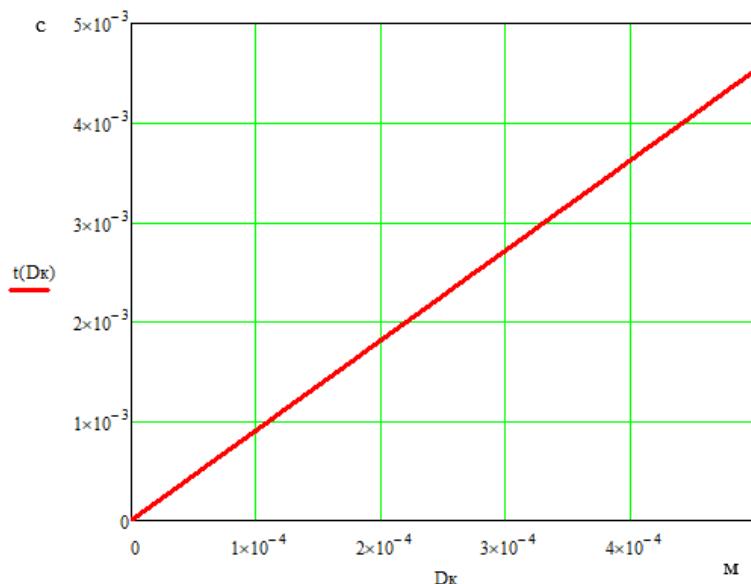


Рисунок 4.8 – Зависимость времени испарения от размера капель рабочего раствора

Анализ рисунка 4.8 показал, что при максимальном размере капель порядка 500 мкм время, затрачиваемое на их испарение, находится в пределах 4-5 мс, однако в процессе воздействия газового потока происходит распыление капель на несколько частей одинакового размера. В результате время, затрачиваемое на испарение, снижается прямо пропорционально размеру капель, так при диаметре капель в 100 мкм необходимое время испарения составит около 1 мс.

Исходя из параметров куста картофеля на момент проведения обработок защитно-стимулирующими препаратами в период его вегетации размеры тоннельного укрытия определяются следующим образом:

$$\begin{cases} b_t = (b_k + \Delta_k) < b_m \\ h_t = (h_k + \Delta_k) \\ V_t = \left( \frac{\pi b_t^2}{8} + b_t(h_t - b_t) \right) l_t \end{cases} \quad (4.13)$$

где  $b_t$  – ширина тоннельного укрытия, м;

$b_k$  – ширина куста в период обработки, м;

$\Delta_k$  – защитная зона куста, м;

$h_t$  – высота тоннельного укрытия, м;

$h_k$  – высота куста в период обработки, м;

$l_t$  – длина тоннельного укрытия, м;

$V_t$  – объём тоннельного укрытия, м<sup>3</sup>.

Длина тоннельного укрытия определяется временем обработки, необходимым для осаждения капель защитно-стимулирующих препаратов на растения, с учётом скорости движения агрегата по полю:

$$l_t = v_{\text{агр}} t_{\text{обр}} \quad (4.14)$$

где  $v_{\text{агр}}$  – скорость движения агрегата, м/с;

$t_{\text{обр}}$  – время обработки одного куста, с.

В свою очередь производительность генератора горячего тумана аэрозольного опрыскивателя пропашных культур определится

$$Q_{\text{ГГТ}} = \frac{V_t}{l_t} v_{\text{агр}} \quad (4.15)$$

где  $Q_{\text{гт}} - \text{производительность генератора горячего тумана, м}^3/\text{с}.$

С другой стороны, производительность генератора горячего тумана определяется мощностью испарителя (рисунок 4.9)

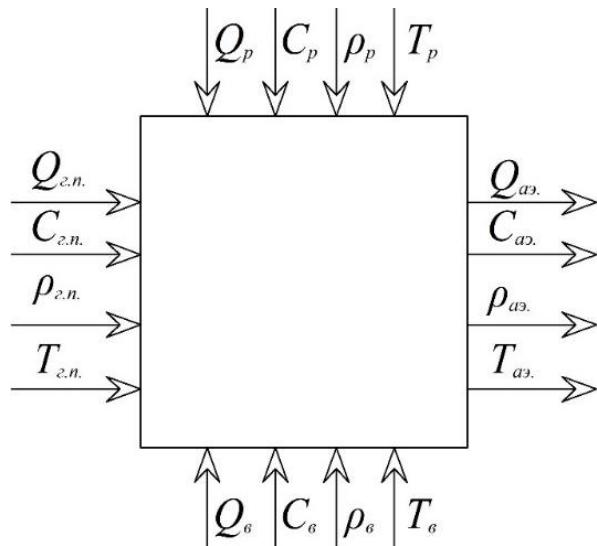


Рисунок 4.9 – Детерминированная модель формирования аэрозоля защитно-стимулирующих препаратов

Используя детерминированную модель формирования аэрозоля защитно-стимулирующих препаратов (рисунок 4.9), запишем уравнение баланса:

$$Q_{\text{г.п.}} \cdot C_{\text{г.п.}} \cdot \rho_{\text{г.п.}} \cdot (T_{\text{г.п.1}} - T_{\text{г.п.2}}) + Q_{\text{в.}} \cdot C_{\text{в.}} \cdot \rho_{\text{в.}} \cdot (T_{\text{в.1}} - T_{\text{в.2}}) + Q_{\text{п.}} \cdot C_{\text{п.}} \cdot \rho_{\text{п.}} \cdot (T_{\text{п.1}} - T_{\text{п.2}}) = Q_{\text{аэ.}} \cdot C_{\text{аэ.}} \cdot \rho_{\text{аэ.}} \cdot T_{\text{аэ.}} \quad (4.16)$$

В процессе работы генератора горячего тумана происходит сгорание топлива с образованием газового потока топочных газов, также в жаровую трубу поступает атмосферный воздух и рабочий раствор в виде капель. Соотношение и температуры входящих компонентов будут определять конечные параметры формируемого аэрозоля защитно-стимулирующих препаратов.

Рассмотрим параметры исходных компонентов, участвующих в процессе формирования аэрозоля защитно-стимулирующих препаратов.

Объёмный расход топочных газов при сжигании бензина можно определить, используя следующее выражение:

$$V_{\text{г.п.}} = \frac{M_{\text{г.п.}}}{\rho_{\text{г.п.}}} \quad (4.17)$$

где  $M_{\text{г.п.}}$  – массовый расход топочных газов, кг/с;

$V_{\text{г.п.}}$  – объёмный расход топочных газов, м<sup>3</sup>/с;

$\rho_{\text{г.п.}}$  – плотность топочных газов, кг/м<sup>3</sup>

Объёмный расход топочных газов можно определить исходя из теплоты сгорания установленного объёма топлива, по следующему выражению:

$$V_{\text{г.п.}} = \frac{Q_{\text{т}}}{\rho_{\text{г.п.}} C_{\text{г.п.}} \Delta T_{\text{г.п.}}} \quad (4.18)$$

где  $Q_{\text{т}}$  – теплота сгорания топлива, кДж/ч;

$C_{\text{г.п.}}$  – удельная теплоёмкость топочных газов, кДж/(кг·К);

$\Delta T_{\text{г.п.}}$  – температура нагрева топочных газов, К.

В процессе сгорания топлива и возникающем при этом высоком давлении образуется горячий газовый поток, поступающий в сопло. В результате движения газового потока происходит интенсивное затягивание воздуха через входное отверстие. В результате объёмный расход воздуха будет определяться как:

$$V_{\text{в}} = \frac{M_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} \quad (4.19)$$

где  $M_{\text{в}}$  – массовый расход воздуха, кг/с;

$V_{\text{в}}$  – объёмный расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Объёмный расход рабочего раствора определяется согласно формуле (4.7) при этом доля жидкой фазы рабочего раствора в аэрозоле определится выражением:

$$\varepsilon_{\text{р}} = \frac{V_{\text{р}}}{V_{\text{г.п.}} + V_{\text{в}} + V_{\text{р}}} \quad (4.20)$$

При этом объёмный расход генерируемого аэрозоля будет равен:

$$V_{\text{аэ}} = V_{\text{р}} + V_{\text{г.п.}} + V_{\text{в}} \quad (4.21)$$

Плотность аэрозоля защитно-стимулирующих препаратов определится выражением:

$$\rho_{aэ} = \rho_p \frac{V_p}{V_{г.п.} + V_B + V_p} + \rho_{г.п.} \frac{V_{г.п.}}{V_{г.п.} + V_B + V_p} + \rho_B \frac{V_B}{V_{г.п.} + V_B + V_p} \quad (4.22)$$

Температура формируемого аэрозоля после выхода из жаровой трубы определится выражением:

$$T_{aэ} = \frac{V_{г.п.} C_{г.п.} T_{г.п.} + V_B C_B T_B + V_p C_p T_p}{V_{aэ} C_{aэ}} \quad (4.23)$$

где  $C_{г.п.}$ ,  $C_B$ ,  $C_p$ ,  $C_{aэ}$  – удельные теплоёмкости соответственно газового потока топочных газов, воздуха, рабочего раствора и формируемого аэрозоля, кДж/(кг·К);

$T_{г.п.}$ ,  $T_B$ ,  $T_p$ ,  $T_{aэ}$  – температуры соответственно газового потока топочных газов, воздуха, рабочего раствора и формируемого аэрозоля, К.

Удельная теплоёмкость формируемого аэрозоля после выхода из жаровой трубы определится выражением:

$$C_{aэ} = \frac{V_{г.п.} C_{г.п.} + V_B C_B + V_p C_p}{V_{г.п.} + V_B + V_p} \quad (4.24)$$

Зная объём тоннельного укрытия и объёмный расход формируемого аэрозоля, можем определить время, затрачиваемое на заполнение укрытия и тем самым время, затрачиваемое на обработку растения, находящегося в нём по следующему выражению:

$$t_T = \frac{V_T}{V_{aэ}} \quad (4.25)$$

где  $t_T$  – время заполнения тоннельного укрытия формируемым аэрозолем, с.

В свою очередь качество обработки растения картофеля будет определяться средней скоростью движения агрегата:

$$v_{агр}^{cp} = \frac{l_T}{t_T} \quad (4.26)$$

Используя выражения (4.25) и (4.26) в программе MathCad были построены графики изменения времени, затрачиваемого на заполнение тоннельного укрытия аэрозолем исходя из параметров укрытия ( $t_1(V_a)$  для объёма тоннельного укрытия  $0,05 \text{ м}^3$ ;  $t_2(V_a) = 0,1 \text{ м}^3$ ;  $t_3(V_a) = 0,15 \text{ м}^3$ ;  $t_4(V_a) = 0,2 \text{ м}^3$ ;  $t_5(V_a) = 0,25 \text{ м}^3$ ) и средней скорости движения агрегата, на основе которых в последующем была разработана номограмма (рисунок 4.10) для выбора параметров скорости и производительности агрегата.

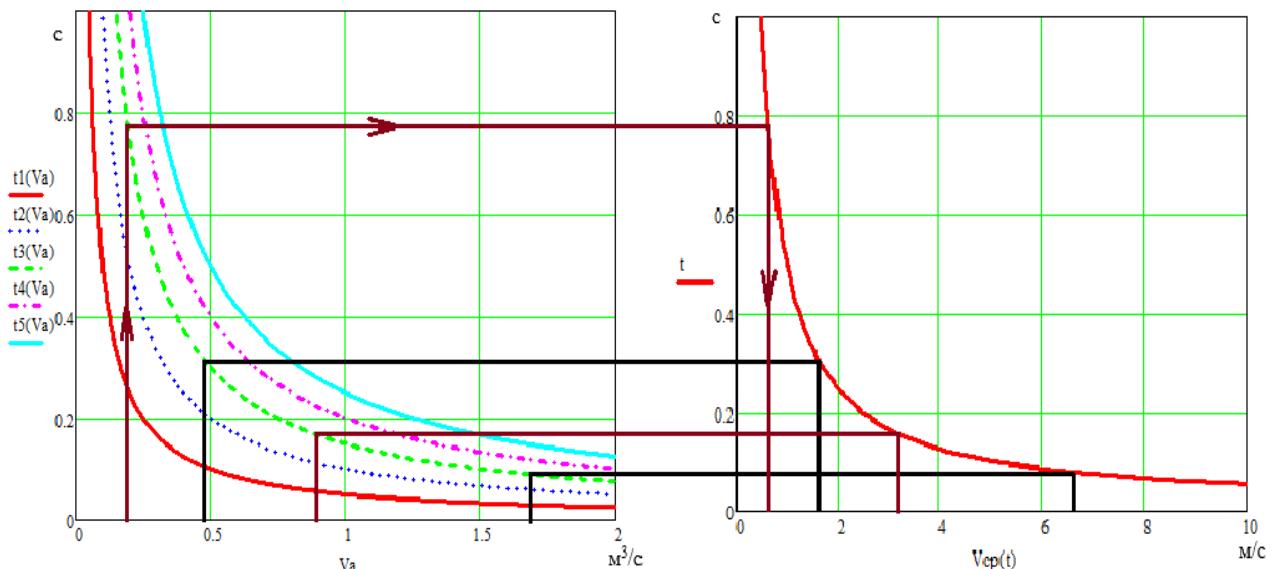


Рисунок 4.10 – Номограмма для выбора средней скорость движения агрегата в зависимости от объёмного расхода генерируемого аэрозоля и геометрических параметров тоннельного укрытия

Задавшись геометрическими параметрами тоннельного укрытия (ширина, длина, объём) и выбрав генератор горячего тумана с необходимым объёмным расходом аэрозоля, определяем время обработки растения (движемся по стрелочке). Затем исходя из полученного времени обработки определяем рациональную скорость движения агрегата. Так, например, для генератора с объёмной производительностью по аэрозолю в диапазоне от 0,2  $\text{м}^3/\text{с}$  до 0,8  $\text{м}^3/\text{с}$  рациональная скорость движения агрегата находится в диапазоне от 0,6  $\text{м}/\text{с}$  до 3,2  $\text{м}/\text{с}$ , в случае выбора генератора с производительностью по аэрозолю в диапазоне от 0,48  $\text{м}^3/\text{с}$  до 1,75  $\text{м}^3/\text{с}$  рациональная скорость движения агрегата находится в диапазоне от 1,8  $\text{м}/\text{с}$  до 6,5  $\text{м}/\text{с}$ .

На основе полученных результатов для разработанного аэрозольного опрыскивателя пропашных культур были выбраны 2 генератора горячего тумана марки BF – 150 со объёмной производительностью по аэрозолю от 0,8  $\text{м}^3/\text{с}$  до 1,6  $\text{м}^3/\text{с}$ . При этом так как каждый генератор горячего тумана обрабатывал растения в двух тоннельных укрытиях, рациональная скорость движения агрегата находилась в диапазоне от 1,5  $\text{м}/\text{с}$  до 3,5  $\text{м}/\text{с}$ .

## **4.4 Экспериментальное обоснование параметров аэрозольного опрыскивателя для совместного внесения органоминеральных удобрений во время пестицидной обработки**

### **4.4.1 Экспериментальные исследования оценки распределения аэрозоля рабочего раствора в тоннельном укрытии аэрозольного опрыскивателя**

С целью апробации способа аэрозольной обработки пропашных культур и конструкции аэрозольного опрыскивателя, была разработана лабораторная установка представляющая собой тоннельное укрытие с размещенными в нём тепловыми метками представленная на рисунке 4.11

Используемые тепловые метки размещались в тоннельном укрытии особым образом и имели высокую тепловую инерционность. Метки закреплялись через каждые 50 мм на нитях, которые обладали малой теплопроводностью, тем самым образуя гирлянду. Полученные гирлянды подвешивались через 50 мм внутри тоннельного укрытия, тем самым создавая координатное пространство для диагностирования температуры в различных точках тоннельного укрытия.



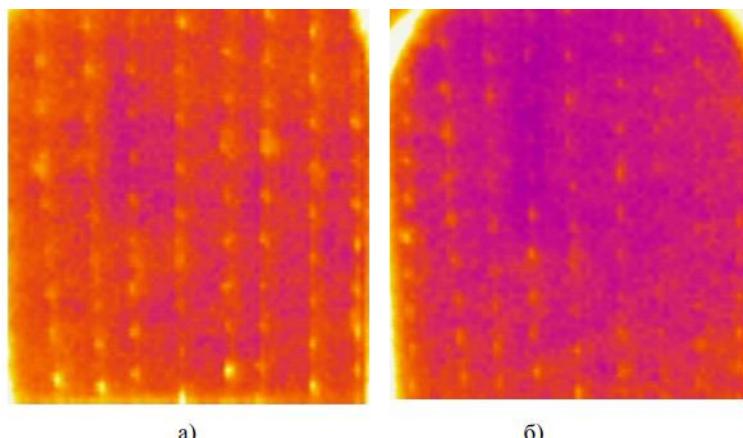
1 – макет тоннельного укрытия; 2 – гирлянда тепловых маяков; 3 – генератор горячего тумана

Рисунок 4.11 - Общий вид лабораторной установки для аэрозольной обработки пропашных культур

Для изготовления тепловых меток использовался свинец толщиной 1,50 мм, размер каждого маяка составлял 2 x 5 мм. Это позволяло эффективно использовать их для определения температурных характеристик внутри установки. Подача аэрозоля осуществлялась при помощи генератора горячего тумана марки BF-150. Определение температуры маяков осуществлялось при помощи тепловизора марки RGK TL-80, характеристики данного тепловизора представлены в приложении И.

После установки гирлянд с тепловыми метками в тоннельном укрытии, производилась подача аэрозоля при помощи генератора горячего тумана. Пространство внутри тоннельного укрытия нагревалось при помощи горячего тумана в течение некоторого времени. После чего осуществлялась тепловизионная съёмка тепловых меток, расположенных во внутреннем пространстве тоннельного укрытия. Топография теплового поля фиксировалась на различных участках (рисунок 4.12).

В процессе проведения экспериментальных исследований температура атмосферного воздуха составляла 10 °C, а его влажность — 80 %. Скорость воздушного потока не превышала 5 м/с.



а - распределение температурных маяков в центральной части тоннельного укрытия; б - по краям тоннельного укрытия

Рисунок 4.12 - Распределение температурного поля внутри тоннельного укрытия

Проведённые экспериментальные исследования показали, что использование генератора горячего тумана для обработки растений в

тоннельных укрытиях может быть эффективным и равномерным способом распределения аэрозоля защитно-стимулирующих препаратов.

В ходе эксперимента было установлено, что температура тепловых маяков увеличивается на 5 °С за 5 секунд работы генератора. Это говорит о том, что горячий туман быстро нагревает пространство внутри тоннельного укрытия. Также было отмечено, что равномерность распределения горячего тумана по ширине укрытия составляет от 96% до 99%, что свидетельствует о высокой эффективности работы генератора. Полученные результаты позволяют предположить, что обработка растений в таких условиях будет осуществляться равномерно и эффективно.

Проведённые экспериментальные исследования показали перспективность использования генератора горячего тумана для обработки растений в тоннельных укрытиях. Этот метод позволяет равномерно распределять аэрозоль защитно-стимулирующих препаратов, что способствует более эффективной обработке растений.

#### **4.4.2 Экспериментальные исследования дисперсности и равномерности распределения аэрозоля при обработке картофеля**

Одним из ключевых факторов, оказывающих непосредственное влияние на эффективность обработки растений, является дисперсность получаемого аэрозоля, а также степень покрытия обрабатываемых растений. В связи с этим для определения данных параметров была произведена серия лабораторных экспериментов.

В ходе лабораторных экспериментов в макет тоннельного укрытия лабораторной установки для аэрозольной обработки пропашных культур устанавливался лабораторный штатив с закреплёнными на лапках по два предметных стекла, таким образом, чтобы нижняя поверхность одного плотно прилегала к верхней поверхности другого, тем самым имитировалась нижняя и верхняя поверхность листа растения картофеля (рисунок 4.13).

При оценке размерности капель получаемого аэрозоля использовался метод определения размера капель горячего тумана по солевому остатку, для этого применялся 20% раствор NaCl [61]. Выбор данной концентрации был обусловлен коэффициентом поверхностного натяжения и невозможностью образования насыщенного раствора. Продолжительность воздействия горячего тумана на предметные стёкла, соответствовала времени прохождения тоннельного укрытия над растением.



1 – макет тоннельного укрытия; 2 – лабораторный штатив; 3 – генератор горячего тумана  
Рисунок 4.13 - Общий вид расположения лабораторного штатива в  
тоннельном укрытии

Обработанные горячим туманом 20% раствора NaCl стёкла исследовались методом микроскопии с использованием микроскопа марки «Микромед С1 LED» (рисунок 2.16). В ходе исследования осуществлялось фотографирование изображения кристаллов соли для последующего анализа.

Для определения размера капель аэрозоля, полученных в результате испарения воды, использовали метод, основанный на принципе сохранения массы. При использовании данного метода, было использовано следующее условие: масса хлорида натрия (NaCl) в капле исходного раствора должна быть равна массе этого вещества в частице после полного испарения.

$$m_{NaCl} = C_{NaCl} \cdot \rho_{p.NaCl} \cdot V_{k.p.} = \rho_{NaCl} \cdot V_{NaCl} \quad (4.27)$$

где  $m_{NaCl}$  – масса NaCl в капле раствора, кг;

$C_{NaCl}$  – относительная массовая концентрация NaCl в растворе;

$\rho_{p.NaCl}$  – плотность раствора NaCl, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{NaCl}$  – плотность примесей NaCl в растворе, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{k.p.}$  – объём капли раствора, м<sup>3</sup>;

$V_{NaCl}$  – объём примесей NaCl в капли раствора м<sup>3</sup>.

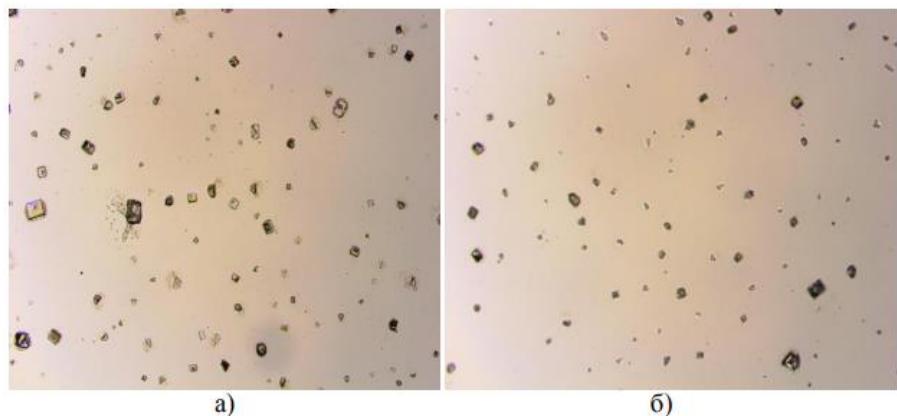
Чтобы определить размер капель, которые образовались в результате работы генератора горячего тумана и осели на поверхность стёкл, нужно выразить объём через диаметр конечной сферической частицы, которая остаётся после того, как вода из начальной капли испарится. Обозначим диаметр этой конечной частицы как  $D_{NaCl}$ , а диаметр исходной капли — как  $D_{k.p.}$ .

$$D_{k.p.} = \frac{D_{NaCl}}{k_{k.p.}} \quad (4.28)$$

где  $k_{k.p.}$  – коэффициент изменения размера капли раствора после испарения воды,

$$k_{k.p.} = \sqrt[3]{\frac{C_{NaCl} \rho_{p.NaCl}}{\rho_{NaCl}}} \quad (4.29)$$

Основная часть исследуемых кристаллов имела форму отличную от сферической, а также ряд образцов представлял собой агломерации из мелких кристаллов (рисунок 4.14).



а – имитация верхней поверхности листа; б – имитация нижней поверхности листа  
Рисунок 4.14 – Примеры снимков с микроскопа предметных стекл

Таким образом из-за сложной формы и структуры частиц для определения размеров капель аэрозоля применили результаты

статистического анализа. Чтобы определить параметры каждого кристалла соли, использовали приведённый диаметр.

$$D_{NaCl} = 2 \sqrt{\frac{S_{kp.}}{\pi}} \quad (4.30)$$

где  $S_{kp.}$  – площадь кристалла соли,  $\text{м}^2$ .

Для осуществления анализа полученных снимков кристаллов соли была разработана программа на языке программирования C/C++ в программной среде Visual Studio 2019 Community с использование библиотеки OpenCV 4.1.2. Для определения искомых объектов (кристаллов соли) в программе был применён алгоритмом Кэнни, основанный на выделении границ в выявления изменений цветов, передаваемых в виде математической матрицы. Для определения ориентации и размера кристаллов, а также для выявления их геометрических характеристик в программе использовалось преобразование Хафа.

В результате лабораторных экспериментов было установлено, что кристаллы соли равномерно распределяются по обрабатываемой поверхности. Коэффициент вариации составил 8,2%, средний размер кристаллов — 4,8 мкм, а средний диаметр капель горячего тумана — около 17 мкм. Капли на предметных стёклах, воспроизводящих нижнюю поверхность листьев, были в среднем на 15-20 % мельче, чем капли на стёклах, отображающих верхнюю сторону. Это различие зависело от яруса, на котором они располагались.

Полученные данные свидетельствуют о том, что благодаря размеру частиц аэрозоля (менее 50 мкм) он имеет высокую способность проникать внутрь растений через устьица (средний размер которых у картофеля составляет 60 мкм), повышая эффективность обработки. Кроме того, возникающие турбулентные струи при аэрозольной обработке позволяют доставлять мелкие частицы препарата в труднодоступные места на растениях, снижая потери от сноса ветром.

#### **4.4.3 Сравнительные исследования равномерности распределения рабочего раствора при обработке растений картофеля штанговым опрыскивателем и аэрозольным генератором с тоннельным укрытием**

В настоящее время обработка посадок картофеля и других пропашных культур защитно-стимулирующими препаратами осуществляется как правило с использованием штанговых опрыскивателей. Особенностью данных опрыскивателей является то, что опрыскивание осуществляется сверху. Это может привести к неравномерному распределению препарата на растениях и снижению эффективности обработки.

Кроме того, при обработке сверху часть препарата может не достичь цели и остаться на верхних частях растений, не попав на нижние поверхности листьев. А именно на нижней стороне листа зачастую находятся вредители и возбудители болезней, которые могут нанести серьёзный урон урожаю. Чтобы обеспечить качественную обработку и максимальную защиту растений, необходимо более тщательное нанесение препарата.

Также при использовании штанговых опрыскивателей существует риск сноса препарата ветром. Это не только снижает эффективность обработки, но и создаёт дополнительную экологическую нагрузку. Химические вещества могут попасть на соседние поля или в водоёмы, что негативно скажется на окружающей среде. Поэтому важно выбирать методы и оборудование для обработки растений, которые минимизируют риски сноса препаратов и обеспечивают точное их нанесение.

Для осуществления сравнительной оценки качества обработки растений картофеля с использованием штангового опрыскивателя и разработанного аэрозольного опрыскивателя пропашных культур. С этой целью была проведена серия экспериментов.

Экспериментальные исследования осуществлялись в соответствии со стандартными методами исследований согласно ГОСТ Р 53053-2008 «Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний» [49].

С целью имитации растений картофеля было изготовлено три искусственных куста, выполненных из вязальной проволоки с листьями, выполненными из синтетических материалов, число которых варьировалось от 50-60 шт., с площадью от 30 до 70 см<sup>2</sup>. Кусты крепились на деревянном основании с шагом 25 см, что соответствует среднему шагу посадки.

Густоту покрытия растений аэрозолем определяли при помощи дисков фильтровальной бумаги диаметром 55 мм. Для этого растения условно разделялись на три яруса (верхний, средний и нижний), после чего на каждом из ярусов по окружности в трех местах с шагом в 120<sup>0</sup> размещалось по два диска и закреплялись при помощи скрепок, соответственно с нижней и верхней поверхности листьев (рисунок 4.15). В качестве рабочего раствора использовался двухпроцентный раствор пищевого красителя.



Рисунок 4.15 – Имитация растений картофеля с закреплёнными дисками фильтровальной бумаги

В ходе исследований в качестве контроля использовался штанговый опрыскиватель ОП – 1000/18. Для этого его предварительно заправляли рабочим раствором и выставляли на необходимую высоту, соответствующую высоте обработки растений картофеля, после чего осуществляли запуск опрыскивателя. Имитацию растений картофеля прокатывали между двумя соседними форсунками, для обеспечения качественного перекрытия и соблюдения параметров опрыскивания, со скоростью приближенной к скорости работы опрыскивателя от 8 до 12 км/ч.

Для оценки эффективности обработки растений при помощи аэрозольного генератора использовался макет тоннельного укрытия и генератор горячего тумана марки BF-150, заполненный рабочим раствором пищевого красителя. Имитацию растений картофеля устанавливали за пределами тоннельного укрытия, после чего производили запуск генератора горячего тумана на требуемый режим работы. Далее осуществляли прокат макета растений через тоннельное укрытие со скоростью от 8 до 12.



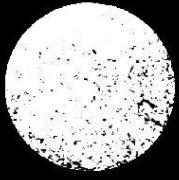
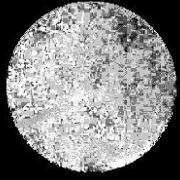
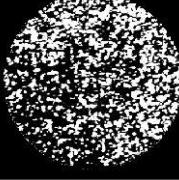
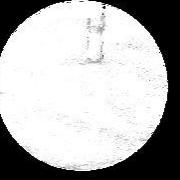
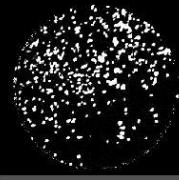
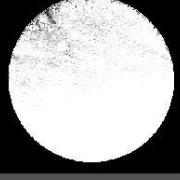
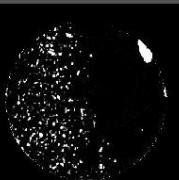
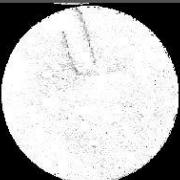
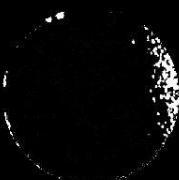
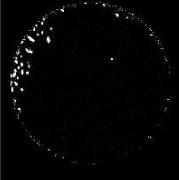
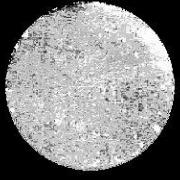
Рисунок 4.16 – Общий вид расположения имитации растений картофеля при обработке штанговый опрыскиватель ОП – 1000/18 и генератором горячего тумана марки BF-150 с макетом тоннельного укрытия

После обработки растений рабочим раствором фильтровальным дискам давали подсохнуть, после чего осуществлялся их сбор и размещение по промаркованным конвертам в соответствии с их расположением на кустах, имитирующих растения картофеля. Затем полученные диски подвергались оцифровки при помощи сканера Epson Perfection V33, с разрешением  $4800 \times 9600$  точек на дюйм.

Полученные изображения подвергались анализу, в ходе которого проводилась оценка степени их обработки рабочим раствором. Для этого в программе Adobe Photoshop при помощи инструмента «Выделение объектов» определялась площадь анализируемой поверхности в пикселях (pix). После чего для каждого из образцов использовался инструмент «Выделение —

Цветовой диапазон». В рабочем окне вкладки «Цветовой диапазон» выделялся цветовой диапазон обработанных областей. Показатели разброса составляли 30, а цветовой диапазон — 100 %. После выбора необходимых настроек происходило автоматическое выделение обработанных областей фильтровальных дисков. В результате были получены изображение представленные в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Примеры изображений фильтровальных дисков после обработки в программе Adobe Photoshop

Расположение диска	Опрыскиватель ОП – 1000/18	Аэрозольный опрыскиватель пропашных культур
Верхняя поверхность листьев		
Вершина растения		
Середина растения		
Низ растения		
Нижняя поверхность листьев		
Вершина растения		
Середина растения		
Низ растения		

Затем, используя инструмент «Гистограмма», определялось количество пикселей, входящих в выделенную область. Доля поверхности фильтровальных дисков, обработанных рабочим раствором, оценивалась с использованием следующего выражения:

$$\Delta_{\text{обр.}i} = \frac{S_{\text{обр.}i}}{S_{\Phi.\text{д.}}} \quad (4.31)$$

где  $\Delta_{\text{обр.}i}$  – доля  $i$ -го фильтровального диска, обработанная рабочим раствором;  $S_{\text{обр.}i}$  – площадь поверхности  $i$ -го фильтровального диска обработанная рабочим раствором,  $\text{pix}$ ;  $S_{\Phi.\text{д.}}$  – общая площадь фильтровального диска,  $\text{pix}$ .

Полученные значение для каждого из образцов заносились в таблицу и обрабатывались с использованием программы Excel. На основе полученных данных были построены диаграммы, отражающие степень обработки поверхности фильтровальных дисков на различных ярусах куста в зависимости от их расположения (верхняя (рисунки 4.17 и 4.18) или нижняя (рисунки 4.19 и 4.20) поверхность листьев).

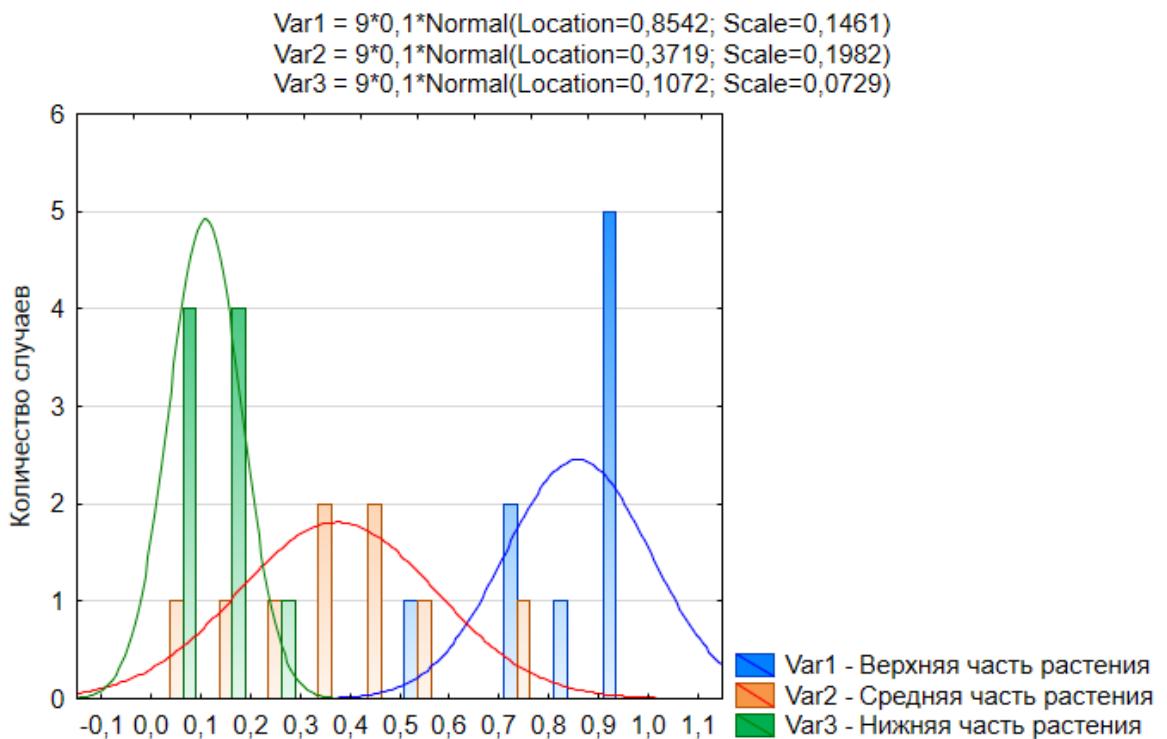


Рисунок 4.17 – Эффективность обработки верхней поверхности листьев при помощи штангового опрыскивателя ОП – 1000/18

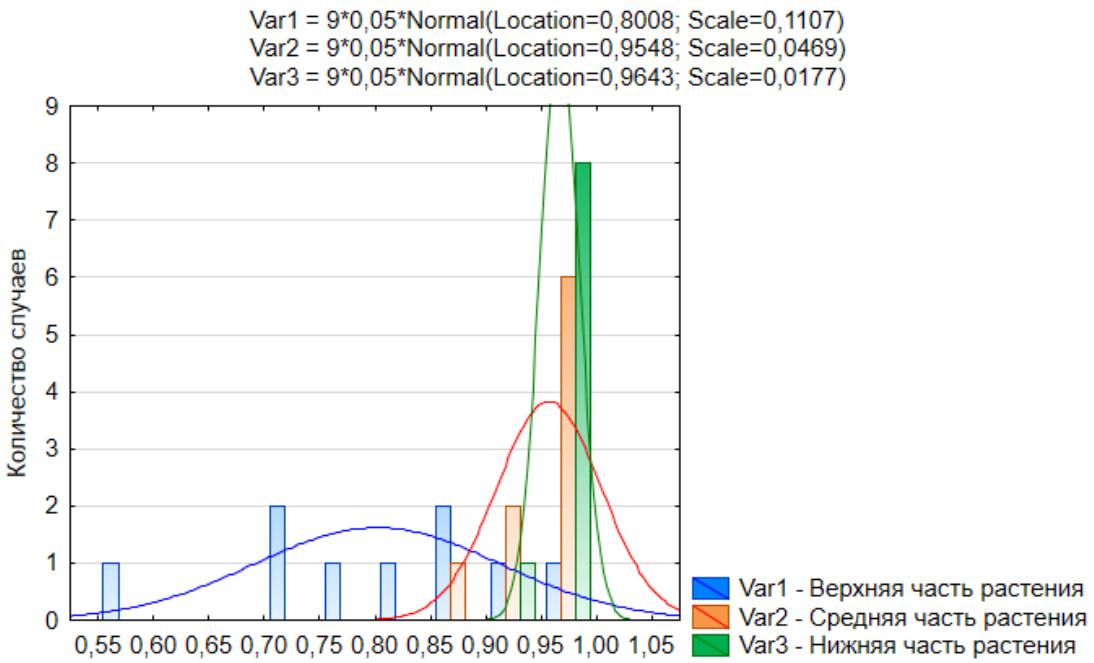


Рисунок 4.18 – Эффективность обработки верхней поверхности листьев при помощи генератором горячего тумана BF-150 с тоннельным укрытием

Анализ изображений фильтровальных дисков и диаграмм эффективности обработки верхней поверхности листьев показал, что при использовании штангового опрыскивателя ОП – 1000/18 все фильтровальные диски, расположенные на верхней поверхности листьев, были обработаны рабочим раствором, при этом доля обработки фильтровальных дисков, расположенных в верхней части растения значительно (более чем в 2,5 раза) превышала данный показатель в сравнении с фильтровальными дисками, расположенными в средней и нижней части растения. В свою очередь анализ изображений и диаграмм фильтровальные диски, полученных после обработки генератором горячего тумана марки BF-150 с тоннельным укрытием, показал высокую эффективность обработки растения. Так несмотря на то, что поверхности фильтровальных дисков, расположенных в верхней части растения, имеет меньшую степень обработки и на 9,7 % ниже аналогичного показателя для штангового опрыскивателя, при этом в средней и нижней части данный показатель увеличивается более чем на 20 % к образцам, расположенным в верхней части растения, при этом более чем в 3

раза выше результатов аналогичных образцов, полученных в результате обработки штанговым опрыскивателем.

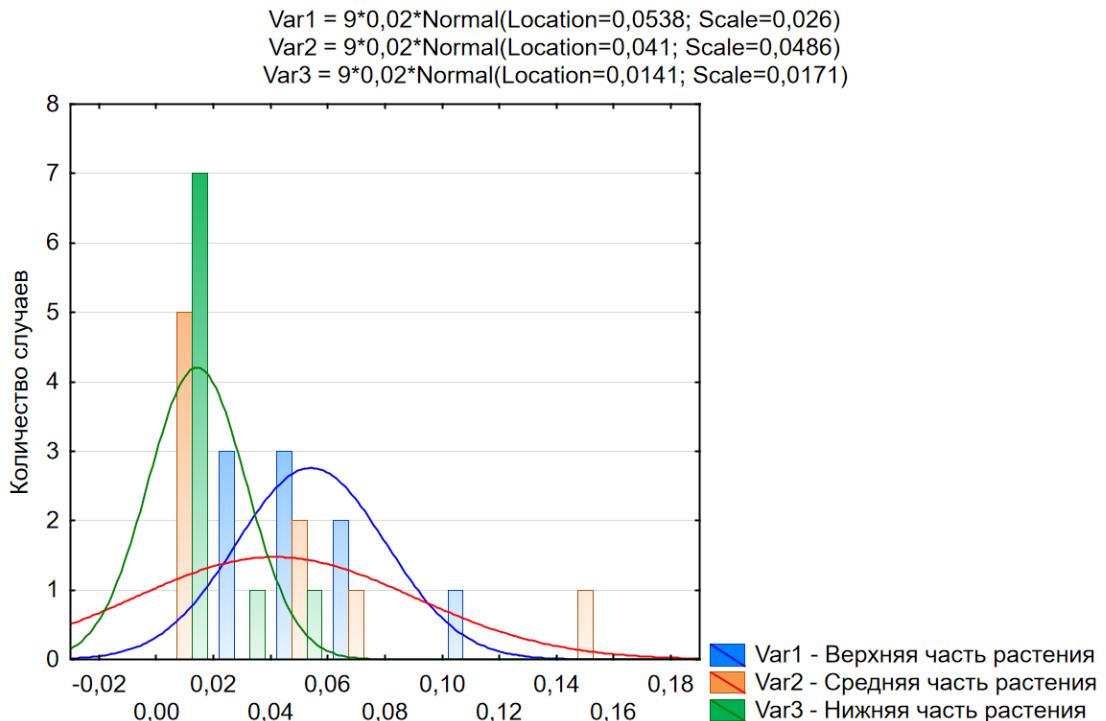


Рисунок 4.19 – Эффективность обработки нижней поверхности листьев при помощи штангового опрыскивателя ОП – 1000/18

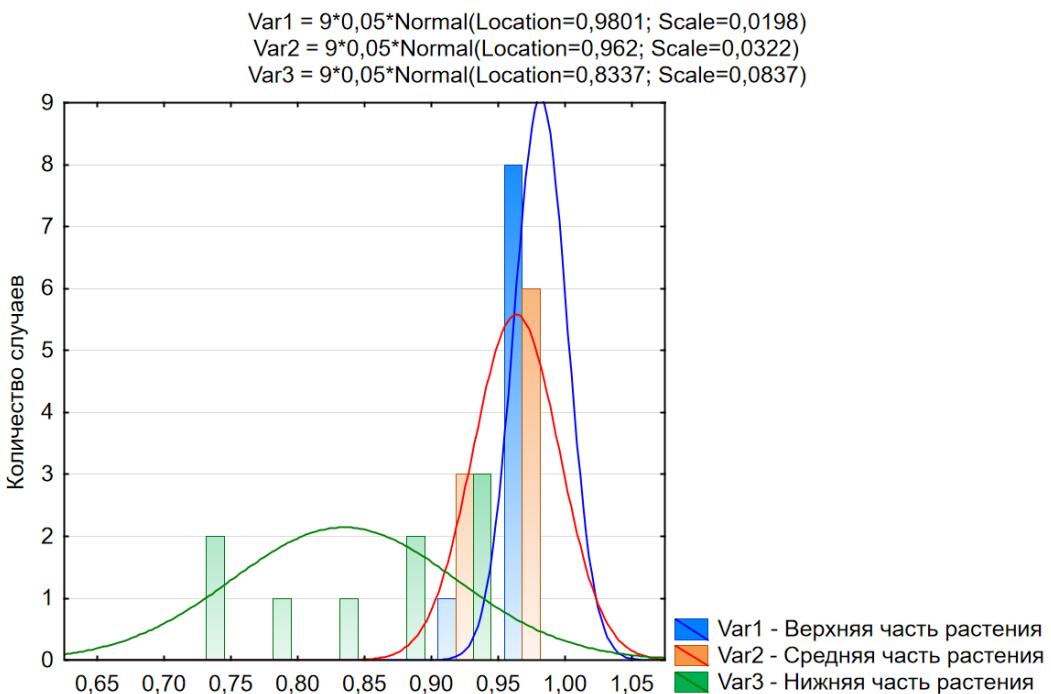


Рисунок 4.20 – Эффективность обработки нижней поверхности листьев при помощи генератором горячего тумана BF-150 с тоннельным укрытием

Анализ изображений фильтровальных дисков и диаграмм "Эффективность обработки нижней поверхности листьев" показал высокую равномерность распределения рабочего раствора при обработке генератором горячего тумана марки BF-150 с макетом тоннельного укрытия, средняя доля обработанной поверхности составила 0,92, в то время как при использовании штангового опрыскивателя ОП – 1000/18 данный показатель составил 0,04, при этом были обработаны только края фильтровальных дисков.

Стоит отметить, что высокая эффективность обработки поверхности листьев с использованием генератора горячего тумана марки BF-150 с макетом тоннельного укрытия связана с дисперсностью формируемого аэрозоля и принципом его образования. Кроме того, благодаря тому, что сопло, через которое поступает аэрозоль рабочего раствора в тоннельное укрытие находится в его нижней половине, на уровне средней части растения. При данном расположении можно отметить, что формируемый аэрозоль рабочего раствора при выходе из сопла, распределяясь по тоннельному укрытию капли меньшего размера, увлекается потоком разогретого воздуха вверх, часть из которых оседает на нижней поверхности листьев, что отмечается показателем доли обработки на фильтровальных дисках, расположенных в верхней и нижней части растения. В свою очередь капли, не осевшие на нижней поверхности листьев, объединяются в структуры более крупного размера, а также капли, изначально имеющие более крупный размер оседают на верхнюю поверхность листьев, что также характеризуется распределение доли обработанной поверхности фильтровальных дисков в зависимости от места их расположения.

На основе полученных результатов можно говорить о том, что разработанный аэрозольный опрыскиватель пропашных культур направлен на повышение качества обработки растений и сокращение экологической нагрузки на окружающую среду. Кроме того, благодаря более равномерному и точному нанесению препарата, возможно снижение нормы его внесения. Это позволяет сократить расходы на приобретение средств защиты растений и

уменьшить риск негативного воздействия химических веществ на окружающую среду, а также способствует получению экологически чистого урожая.

#### **4.5 Производственные исследования совместного внесения органоминеральных удобрений и пестицидов в период вегетации картофеля**

Проведения производственных исследований аэрозольного опрыскивателя для обработки картофеля было направлено на: изучение влияния аэрозольной обработки защитно-стимулирующими препаратами на растения картофеля; изучение влияния аэрозольной обработки растений защитно-стимулирующими препаратами на биологическую урожайность картофеля сорта Сантэ; комплексную оценку эффективности внесения защитно-стимулирующих препаратов при опрыскивании и обработке аэрозолем.

Для этого разработанный аэрозольный опрыскиватель пропашных культур при помощи трёхточечной навески крепился на трактор МТЗ-82 в сцепке, с которым производилась обработка опытного участка (рисунок 4.21).



Рисунок 4.21 – Обработка посадок картофеля аэрозольным опрыскивателем пропашных культур

Исследования проводились на посадках картофеля сорта Сантэ. Представляет собой среднеспелый голландский сорт столового назначения с высокой урожайностью. Пригоден к механической уборке и обработке. Имеет хороший и отличный вкус. Подходит для жарки. Требует большой ширины междурядий. Адаптирован для климатических условий средней полосы и юга России. Период созревания 85-90 дней. Содержание крахмала 15-16%. Средняя масса клубней 90-120 грамм. Количество клубней на кусте до 20. Урожайность до 570 ц/га. Лежкость (способность к хранению) 92%. Цвет кожуры желтый, цвет мякоти светло-желтый. Устойчивость к заболеваниям: подвержен фитофторозу по ботве (клубни устойчивы), восприимчив к парше обыкновенной.

Предшественником для картофеля являлась озимая пшеница. Уход за посадками картофеля на хозяйственном варианте общепринятый для зоны возделывания. Посадка осуществлялась 25.05.2022 г. сажалкой СН-4Б. Рыхление междурядий и окучивание производилось согласно технологической карте.

Краткая характеристика зоны проведения испытания:

Климат умеренно-континентальный с типичным для континентального климата режимом осадков. Среднее годовое количество атмосферных осадков 500 - 575 мм с колебаниями по годам от 170 до 850 мм. Две трети осадков выпадает в виде дождя.

Продолжительность теплого периода в среднем 210-218 дней (от начала апреля до начала ноября) с колебаниями 170-240 дней. Продолжительность безморозного периода в среднем 135-140 дней с колебаниями 90-195 дней.

Средняя месячная температура воздуха самого тёплого месяца года – июля 18,5 – 19,8  $^{\circ}\text{C}$ ; самого холодного месяца года января -10,5 – -11,5  $^{\circ}\text{C}$ . Годовая амплитуда составляет 30 градусов, первая половина зимы (ноябрь-декабрь) часто теплее второй, может сопровождаться осадками в виде дождя.

Агрохимическая характеристика участка почвы на котором производились производственные испытания: почва темно-серая лесная

тяжелосуглинистая, содержание общего гумуса в слое 0-30 см (по Тюрину) – 5,12%; рН сол. вытяжки 4,8; общий азот 0,23 %; подвижного фосфора – 228 мг/кг; подвижного калия – 160 мг/кг; серы – 4,4 мг/кг; обменного магния – 2,59 ммоль/100г.

Схема проведения производственных испытаний включала в себя следующие варианты обработок: 1. Контроль без обработки; 2. Технология, используемая в хозяйстве; 3. Аэрозольная обработка с дозой внесения препаратов 0,5 от технологии, используемой в хозяйстве (Вариант №1); 4. Аэрозольная обработка с дозой внесения препаратов 0,25 от технологии, используемой в хозяйстве (Вариант №2); 5. Аэрозольная обработка с дозой внесения препаратов 0,5 от технологии, используемой в хозяйстве + гумат калия в концентрации 0,005% (Вариант №1+Гумат); 6. Аэрозольная обработка с дозой внесения препаратов 0,25 от технологии, используемой в хозяйстве + гумат калия в концентрации 0,005% (Вариант №2+Гумат).

В хозяйственном варианте опыта проводились обработки по вегетации при помощи штангового опрыскивателя ОП – 1000/18 следующими препаратами: гербицидами Эскудо с дозой внесения 25 г/га и Лазурит Супер – 0,5 л/га; инсектицидами Борей с дозой внесения 0,1 л/га; фунгицидами Максим с дозой внесения 0,4 л/т, Браво – 2,5 л/га, Танос – 0,6 кг/га и Метаксил – 2,5 кг/га.

При проведении производственных испытаний на посадках картофеля не вносились минеральные или органические удобрения.

Полевые деляночные исследования изучаемого агрохимиката на продуктивность и качество картофеля осуществляли в полном соответствии со стандартными методами, изложенными в следующих изданиях «Методика исследований по культуре картофеля», М., 1967; «Методика физиологобиохимических исследований по культуре картофеля», М., 1989; «Методика исследований по защите картофеля от болезней. Вредителей, сорняков и иммунитету», М., 1995.

В ходе учёта колорадского жука оценивалось количество имаго и личинок, для этого просматривалось по 10 растений в каждой из повторностей производственного опыта.

Для учёта заражённых растений картофеля фитофторозом и альтернериозом, на каждом опытном участке просматривалось по 30 растений, после чего вычислялся процент поражённых растений и степень поражения растений. Степень поражения определяется по иллюстрационной шкале (рисунок 4.22).

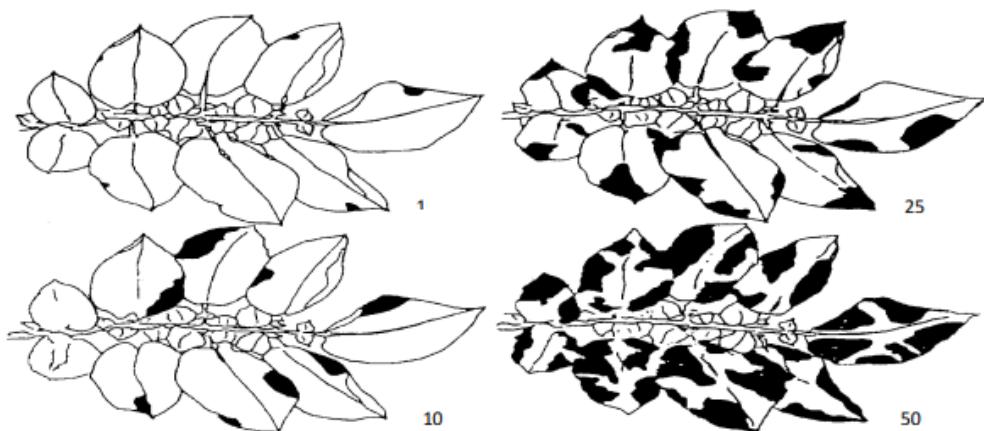


Рисунок 4.22 – Шкала для оценки степени поражения ботвы фитофторозом (в процентах) (Метод.указания по регистр. исп. фунгицидов, 2009).

Фенологические наблюдения за наступлением фаз развития и роста растений картофеля (по методике НИИКХ, 1967 г.). Отмечали наступление следующих фаз развития растений: всходы, бутонизация, цветение и отмирание ботвы.

Учет и структуру урожая клубней картофеля проводили с каждой делянки, взвешивая фракции отдельно: мелкая фракция – клубни по поперечному диаметру меньше 35 мм; семенная от 35 до 50 мм по поперечному диаметру, 50-60 и более – продовольственные клубни.

Одним из важнейших показателей, влияющих на рост, развитие и последующую урожайность картофеля, являются метеорологические условия, при которых возделывалась культура. В связи с чем при проведении производственных испытаний вёлся дневник метеорологических наблюдений.

Май месяц вегетационного периода 2022 года достаточно влажный и прохладный, среднемесячная температура воздуха и количество выпавших осадков составили 14,0 °С и 49,6 мм. В июне отмечалась теплая погода с дефицитом осадков (осадков в этот момент выпало 40,7 мм, что на 14,4 мм меньше среднемноголетних значений, температура выше среднемноголетней на 4,5 °С). Июль характеризовался жаркой и сухой погодой (температура превышала среднемноголетнюю на 4,9 °С, дефицит осадков составил – 49 мм). В августе наблюдалась также жаркая и сухая погода. Температура выше среднемноголетней на 8,4 °С, дефицит осадков составил – 42,2 мм.

В ходе проведения фенологических наблюдений за посадками картофеля сорта Санте отмечались наступления основных фаз развития культуры (всходы, бутонизация, цветение и отмирание ботвы).

Таблица 4.2 – Фенологические наблюдения за картофелем сорта Сантэ.

Дата посадки	Дата наступления фаз развития растений								Дата уборки	
	всходы		бутонизация		цветение		отмирание ботвы			
	начало	полные	начало	полнная	начало	полное	начало	полное		
25.05.	12.06.	18.06.	28.06.	9.07.	18.07.	24.07.	29.08.	нет	20.09.	

Проведенные фенологические исследования показали, что наблюдалось увеличение продолжительности сроков цветения растений от характерных данному сорту [173, 180, 199]. Увеличение данного периода в большей степени связано с увеличением среднемесячной температуры и дефицитом осадков, отмеченным в июле месяце.

В процессе производственных испытаний оценивалась степень заражения растений вредителями и поражения ботвы и листьев наиболее распространёнными заболеваниями в данном регионе возделывания. Полученные результаты обрабатывались и заносились в таблицу.

Для определения биологической эффективности от внесения используемых препаратов в зависимости от способа обработки посадок картофеля. Оценивалось на сколь процентов снижается распространение или развитие болезни по сравнению с контролем (без обработки). Для этого пользовались формулой Аббота:

$$\mathcal{E} = \frac{K-O}{K} \cdot 100 \quad (4.32)$$

где Э - биологическая эффективность,

К - развитие (пораженность) болезни в контроле (без обработки)

О - развитие (пораженность) болезни в испытуемом варианте после обработки.

Таблица 4.3 – Повреждаемость вредителями и поражаемость болезнями картофеля.

Варианты опыта	Гибель насекомых, % к контролю		Фитофтороз листьев			
	учет 2.07.22	Учет 9.07.22	учет 2.08.22		учет 12.08.22	
			развитие болезни, %	биолг. эффект., %	развитие болезни, %	биологич. эффект., %
Контроль	(42)*	(44)*	2.5	-	2.0	-
Хоз. вариант	личинок не было	личинок не было	0.1	96,0	0.2	90,0
Вариант №1	личинок не было	личинок не было	0.1	96,0	0.2	90,0
Вариант №2	личинок не было	личинок не было	0.1	96,0	0.2	90,0
Вариант №1+Гумат	личинок не было	личинок не было	0.1	96,0	0.2	90,0
Вариант №2+Гумат	личинок не было	личинок не было	0.1	96,0	0.2	90,0

\* на контроле - количество имаго, личинок всех возрастов в день учета, экз./раст.

Анализ полученных данных, собранных в результате оценки поражения растений вредителями и болезнями, показал следующее. Эффективность использования инсектицидов при аэрозольной обработке с нормами расхода 0,5 и 0,25 от доз, используемых на хозяйственном варианте, соответствовала эффективности обработки при использовании штангового опрыскивателя с рекомендованными дозами обработки. Стоит отметить, что наличие имаго и личинки всех возрастов наблюдались только на контроле без обработок.

Оценка биологической эффективности от использования фунгицидов также позволяет говорить о высоком качестве аэрозольной обработки пропашных культур, так данный показатель по фитофторозу для всех вариантов опыта составлял 96 и 90 % в зависимости от периода наблюдения,

при этом стоит отметить, что если на контроле без обработки развитие болезни доходило до 2,5 %, то на всех вариантах опыта с пониженными дозами внесения данный показатель не превышал 0,2 % и соответствовал значению на хозяйственном варианте. Несмотря на снижение дозы вносимых препаратов наблюдается сохранение их эффективности, что в первую очередь связано со следующими преимуществами аэрозольной обработки: аэрозоль получаемый при помощи генератора горячего тумана содержит в себе капли меньшего диаметра в сравнении с применяемыми штанговыми опрыскивателями; получаемое облако аэрозоля более равномерно покрывает поверхность листьев; обрабатываемое растение окутывается аэрозолем со всех сторон, включая трудно доступные места (нижняя поверхность листьев, пазухи листьев, молодые побеги и т.д.) [82, 208]

На заключительном этапе оценивалась урожайность картофеля, полученная на каждом из вариантов опыта. Полученные результаты представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Урожайность картофеля сорта Сантэ

Варианты	Валовый урожай, т/га	прибавка урожая к контролю		Товарность, %
		т/га	%	
Контроль	12,7	-	-	37,59
Хоз. вариант	14,0	1,3	10,2	36,92
Вариант №1	15,3	2,6	20,5	31,85
Вариант №2	22,2	9,5	74,8	25,23
Вариант №1+Гумат	22,1	9,4	74,0	23,89
Вариант №2+Гумат	24,5	11,8	92,9	27,85

HCP<sub>05</sub> 0,87

Анализ полученных данных подтверждает, что использование пестицидов при возделывании картофеля способствует увеличению его урожайности, при этом аэрозольная обработка со сниженными дозами препаратов позволяет добиться большей прибавки урожая. Полученный положительный эффект можно связать с тем, что в результате снижения дозы используемых препаратов при сохранении их биологической эффективности снижается абиотический стресс для растений.

Кроме того, оценивалась также и структура полученного урожая, для этого клубни картофеля разделялись на фракции по значению поперечного диаметра, после чего каждая из полученных фракций взвешивалась.

Таблица 4.5 – Структура урожая картофеля сорта Сантэ.

Варианты	Масса клубней (кг) с 1 м <sup>2</sup>				Фракционный состав по массе, %			
	Всего	>60 мм	30-60 мм	<30 мм	Всего	>60 мм	30-60 мм	<30 мм
Контроль	1,277	0,480	0,332	0,465	100,00	37,59	26,00	36,41
Хоз. вариант	1,395	0,515	0,230	0,650	100,00	36,92	16,49	46,59
Вариант №1	1,529	0,487	0,432	0,610	100,00	31,85	28,25	39,90
Вариант №2	2,22	0,560	0,670	0,990	100,00	25,23	30,18	44,59
Вариант №1+Гумат	2,21	0,528	0,867	0,815	100	23,89	39,23	36,88
Вариант №2+Гумат	2,445	0,681	0,712	1,062	100	27,85	29,12	43,44

Анализ полученных данных по фракционному составу показал, что аэрозольная обработка растений пестицидами в сниженных дозах, способствует увеличению урожайности в сравнении с технологией, используемой в хозяйстве с применением штангового опрыскивателя, однако несмотря на данный положительный эффект наблюдается сокращение доли продуктивного картофеля в общем объеме полученного урожая. При этом на варианте опыта №2, где доза препаратов составляла 0,25 от применяемой в хозяйственном варианте, наблюдалась прибавка продовольственного картофеля в сравнении с хозяйственным вариантом на 8,7 %.

Необходимо также отметить тот факт, что на вариантах опыта, где использовался гумат калия наблюдалась как существенная прибавка в урожае, так и по фракционному составу. При сравнении вариантов опыта №1 и опыта №1+гумат, а также опыта №2 и опыт №2+Гумат можно обратить внимание, что при добавлении в баковую смесь гумата калия в концентрации 0,005% по основному веществу, наблюдалось увеличение урожайности на 44,5% и 10,1% соответственно, а прибавка по продовольственному картофелю составляла 31,8 % и 21,8% по массе.

Полученный положительный эффект можно обосновать тем, что совместное использование гуминовых препаратов с пестицидами

способствует снижению абиотического стресса, кроме того, гуматы сами по себе способствуют росту и развитию растений, увеличивают содержание хлорофилла и тем самым стимулирует процесс фотосинтеза в листьях растений, повышают активность ферментов, стимулируют процессы дыхания, синтеза белков и углеводов [53, 94].

Стоит также обратить внимание на то, что прибавка урожая была достигнута за счёт увеличения мелких фракций картофеля, что может быть связано с нехваткой элементов питания в почве для формирования клубней больших размеров, так как на всех вариантах опыта не вносились минеральные удобрения. Для определения качественных показателей картофеля, для каждого из вариантов опыта отбирались объединённые пробы массой 3 кг, которые передавались в испытательную лабораторию станции агрохимической службы "Подвязье", где производилась оценка по доле сухого вещества в соответствии с ГОСТ 31640-2012 и легкогидролизуемым углеводам (крахмалу) в соответствии с ГОСТ 26176-2019. Полученные результаты были занесены в таблицу.

Таблица 4.6 – Показатели содержания сухого вещества и крахмала в образцах картофеля

Варианты	Наименование анализируемого показателя			
	Сухое вещество, % ГОСТ 31640-2012	Погрешность измерений	Легкогидролизуемые углеводы (крахмал), %, ГОСТ 26176-2019 (в пересчёте на сухое вещество)	Погрешность измерений
Контроль	18,9	± 1,49	10,72	± 1,99
Хоз. вариант	24,4	± 1,67	10,20	± 1,92
Вариант №1	24,9	± 1,68	14,77	± 2,61
Вариант №2	23,3	± 1,64	15,33	± 2,69
Вариант №1+Гумат	26,8	± 1,73	16,42	± 2,85
Вариант №2+Гумат	24,8	± 1,68	18,78	± 3,21

На вариантах опыта с аэрозольной обработкой в представленных образцах наблюдалось увеличение показателей по содержанию крахмала в сравнении с хозяйственным вариантом и контролем, при этом в образцах

обработка которых осуществлялась с добавлением гумата калия данный показатель варьировался от 16,4 до 18,78%.

На основе полученных результатов исследований можно говорить о том, что развитие аэрозольных опрыскивателей с купольной системой защиты от сноса становится всё более актуальным в связи с растущими требованиями к экологической безопасности и эффективности использования средств защиты растений.

Купольная система защиты позволяет создать вокруг обрабатываемой зоны своеобразный купол, который предотвращает снос аэрозоля ветром или восходящими потоками воздуха. Это обеспечивает более точное и целенаправленное распределение активного вещества на растения, что особенно важно при работе с вредителями и болезнями, которые скрываются в листве, на стеблях или в почве.

Кроме того, такая система может способствовать уменьшению количества используемого препарата за счёт более эффективного его применения, а также снижению риска возникновения устойчивых к препаратам популяций вредителей и болезней.

## **Выводы по четвертой главе**

1. Аэрозольный опрыскиватель пропашных культур включает в себя систему подачи средств защиты растений, насосы дозаторы для подачи рабочего раствора и раствора гербицидов, форсунки, генератор горячего тумана с жаровой трубой и эжектором. Для защиты от сноса аэрозоля в конструкции опрыскивателя реализованы тоннельные укрытия, установленные на цельнометаллическом каркасе.

2. В ходе теоретических исследований установлено, что при избыточном давлении в трубопроводе более  $1,15 \cdot 10^5$  Па размер капель рабочего раствора на выходе из эжектора составляет около 500 мкм, при этом время

затрачиваемое на их испарение, находится в пределах 4-5 мс, однако в процессе воздействия газового потока происходит распыление капель на несколько частей одинакового размера. В результате время, затрачиваемое на испарение, снижается прямо пропорционально размеру капель, так при диаметре капель в 100 мкм необходимое время испарения составит около 1 мс.

3. Задавшись геометрическими параметрами тоннельного укрытия (ширина, длина, объём) и выбрав генератор горячего тумана с необходимым объёмным расходом аэрозоля, определяем время обработки растения, что позволяет определить рациональную скорость движения агрегата. На основе полученных результатов для разработанного аэрозольного опрыскивателя пропашных культур было выбрано 2 генератора горячего тумана марки BF – 150 с объёмной производительностью по аэрозолю от 0,8 м<sup>3</sup>/с до 1,6 м<sup>3</sup>/с. При этом так как каждый генератор горячего тумана обрабатывал растения в двух тоннельных укрытиях, рациональная скорость движения агрегата находилась в диапазоне от 1,5 м/с до 3,5 м/с.

4. В ходе экспериментальных исследований было установлено, что температура тепловых маяков увеличивается на 5 °С за 5 секунд работы генератора. Это говорит о том, что горячий туман быстро нагревает пространство внутри тоннельного укрытия. Также было отмечено, что равномерность распределения горячего тумана по ширине укрытия составляет от 96% до 99%, что свидетельствует о высокой эффективности работы генератора.

5. В ходе проведения сравнительных исследований эффективности распределения рабочего раствора по листовой поверхности растений различными типами опрыскивателей на основе анализа изображений обработанных фильтровальных дисков установлено, что обработка нижней поверхности листьев имеет высокую равномерность распределения рабочего раствора при обработке генератором горячего тумана марки BF-150 с макетом тоннельного укрытия, средняя доля обработанной поверхности составила 0,92, в то время как при использовании штангового опрыскивателя ОП – 1000/18

данный показатель составил 0,04, при этом были обработаны только края фильтровальных дисков.

6. Оценка биологической эффективности от использования фунгицидов также позволяет говорить о высоком качестве аэрозольной обработки пропашных культур, так данный показатель по фитофторозу для всех вариантов опыта составлял 96 и 90 % в зависимости от периода наблюдения, при этом стоит отметить, что если на контроле без обработки развитие болезни доходило до 2,5 %, то на всех вариантах опыта с пониженными дозами внесения данный показатель не превышал 0,2 % и соответствовал значению на хозяйственном варианте. Несмотря на снижение дозы вносимых препаратов наблюдается сохранение их эффективности, что в первую очередь связано со следующими преимуществами аэрозольной обработки: аэрозоль получаемый при помощи генератора горячего тумана содержит в себе капли меньшего диаметра в сравнении с применяемыми штанговыми опрыскивателями; получаемое облако аэрозоля более равномерно покрывает поверхность листьев; обрабатываемое растение окутывается аэрозолем со всех сторон, включая трудно доступные места (нижняя поверхность листьев, пазухи листьев, молодые побеги и т.д.)

7. Анализ урожая картофеля показал, что обработка органоминеральными удобрениями (гуматом калия) в концентрации 0,005% по основному веществу и пестицидами с нормой внесения препаратов 0,5 и 0,25 от дозы, применяемой в хозяйстве, способствовала увеличению урожайности на 57,8% и 75% соответственно, при прибавке по продовольственному картофелю на 2,1 % и 32% по массе

## **5. РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ**

Экономическая эффективность является одним из ключевых показателей, характеризующих целесообразность и успешность внедрения инновационных технических решений в производство. В свою очередь, наиболее значимым аспектом экономической эффективности считается период окупаемости с учётом дисконтирования, который позволяет оценить, насколько быстро инвестиционные затраты будут компенсированы за счёт получаемых доходов.

Одним из подходов к определению данного показателя, является метод чистой приведённой стоимости (NPV). Этот метод позволяет оценить общую стоимость проекта с учётом временной стоимости денег. Чистая приведённая стоимость рассчитывается как разница между текущей стоимостью будущих денежных потоков от проекта и первоначальными инвестициями. Если NPV больше нуля, то проект считается экономически эффективным [37, 194].

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{b(t)}{(1+r_{disc})^t} - C \quad (5.1)$$

где  $b(t)$  – прирост доходов от внедрения автоматизированной машины на  $t$ -м шаге расчётного периода, руб;

$C$  – первоначальные инвестиционные затраты, руб;

$r_{disc}$  – ставка дисконтирования;

$t$  – номер шага расчётного периода, лет.

Так как у разработанных технических решений, направленных на подготовку и внесение органоминеральных удобрений при возделывании картофеля, имеются аналоги, то в процессе оценки экономической эффективности будем сравнивать затраты на эксплуатацию и производительность обоих вариантов. Для упрощения оценки чистой

приведённой стоимости в качестве первоначальных инвестиционных затрат будем рассматривать разницу в стоимости внедрения аналога и автоматизированной машины. Таким образом, можем записать:

$$C = C_{\text{рmp}} - C_{\text{an}} \quad (5.2)$$

где  $C_{\text{an}}$ ,  $C_{\text{рmp}}$  – инвестиционные затраты на внедрение аналога и разработанного технического решения соответственно, руб.

Для определения прироста доходов от внедрения разработанного технического решения необходимо произвести оценку финансовых показателей в результате их внедрения и использования аналогов. Так как в процессе разработки технологического оборудования и технических решений для подготовки и внесения органоминеральных удобрений при возделывании картофеля основные задачи, на решение которых направлены предлагаемые решения является повышение качества продукции, снижение трудозатрат и повышение производительности, то оценка финансовых показателей должна учитывать эти факторы.

В связи с чем одним из ключевых показателей в процессе оценки экономической эффективности являются эксплуатационные затраты, которые можно определить по следующей формуле:

$$Z_3 = Z_{o.m.} + A_o + Z_{mo} + Z_{\vartheta_H} + Z_{\vartheta_K} + Z_{\Pi} \quad (5.3)$$

где  $Z_{o.m.}$  – затраты на оплату труда работников, руб;

$A_o$  – амортизационные отчисления, руб;

$Z_{mo}$  – затраты на техническое обслуживание, руб;

$Z_{\vartheta_H}$  – затраты на электроэнергию или ГСМ, руб;

$Z_{\vartheta_K}$  – экономические потери в результате выхода из строя машины, руб;

$Z_{\Pi}$  – затраты на сырьё, препараты и удобрения, руб.

Затраты на оплату труда работников с учётом необходимых отчислений определяли по следующей формуле [37, 89, 227]:

$$Z_{o.t} = \sum_{i=1}^{N_p} Z_{ti} \cdot \chi_{ci} \cdot k_d \cdot k_{hz} \quad (5.4)$$

где  $N_p$  – численность работников задействованных на обслуживании оборудования (техники), чел.;

$Z_{ti}$  – затраты рабочего времени i-го работника, ч.;

$U_{ci}$  – часовая тарифная ставка i-го работника, руб/ч.;

$k_\partial$  – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда;

$k_{hz}$  – коэффициент, учитывающий начисления на заработную плату.

Затраты рабочего времени во многом определяются объёмом работ, которые необходимо выполнить за год. При этом необходимо учитывать производительность оборудования и коэффициент его технической надёжности. В связи с этим можно определить годовую загрузку используемой машины по следующей формуле [37, 89]:

$$t_r = \frac{A_r}{\Pi_q \cdot k_r} \quad (5.5)$$

где  $A_r$  – годовой объём работы, т (га);

$\Pi_q$  – часовая производительность машины, т/ч. (га/ч.)

$k_r$  – коэффициент технической готовности.

$$k_r = \frac{t_p}{t_p + t_{pr,sum}} \quad (5.6)$$

где  $t_p$  – безотказное время работы в течении года, ч;

$t_{pr,sum}$  – ожидаемое суммарное времяостоя, ч.

$$t_{pr,sum} = n_{ot} \cdot t_n = \lambda \cdot t_p \cdot t_n \quad (5.7)$$

где  $n_{ot}$  – ожидаемое количество отказов за год, шт;

$t_n$  – среднее времястоя при одном отказе, ч;

$\lambda$  – интенсивность отказов, 1/ч

Амортизационные отчисления можно определить, как:

$$A_0 = C \frac{a}{100} \quad (5.8)$$

где а – годовая норма амортизационных отчислений, %.

Затраты на техническое обслуживание

$$Z_{to} = C \frac{k_p}{100} \quad (5.9)$$

где  $k_p$  – отчисления на техническое обслуживание и ремонт, %.

Затраты на электроэнергию или ГСМ

$$Z_{\text{ЭН}} = Q_{\text{ЭН}} \cdot \Pi_{\text{ЭН}} \quad (5.10)$$

где  $Q_{\text{ЭН}}$  – объём потребляемой электроэнергии или ГСМ, кВт·ч (л/ч);  
 $\Pi_{\text{ЭН}}$  – стоимость 1 кВт электроэнергии (1 литра топлива), руб/кВт (руб/л).  
Затраты на сырьё, препараты и удобрения

$$Z_{\text{П}} = H_{\text{Ра}} \cdot A_{\text{Г}} \cdot \Pi_{\text{П}} \quad (5.11)$$

где  $H_{\text{Ра}}$  – норма внесения удобрений/препараторов за сезон на 1 гектар, кг;  
 $\Pi_{\text{П}}$  – стоимость 1 кг удобрений/препараторов, руб.

В свою очередь прирост доходов от внедрения предлагаемых технических решений будет складываться из следующих показателей

$$b(t) = b_{\text{при}} + b_{\text{к}} + b_3 \quad (5.12)$$

где  $b_{\text{при}}$  – дополнительный доход от прибавки полученной продукции, руб;

$b_{\text{к}}$  – дополнительный доход от повышения качества полученной продукции, руб;

$b_3$  – дополнительный доход от изменения затрат на производство продукции, руб.

Дополнительный доход от прибавки полученной продукции определяли по формуле:

$$b_{\text{при}} = (\Pi_{\text{пр}} - Z_{\text{ЭН}}) \cdot (Y_{\text{тр}} - Y_{\text{ан}}) \quad (5.13)$$

где  $\Pi_{\text{пр}}$  – цена реализации 1 т полученной продукции, руб;

$Y_{\text{тр}}$  – продукция, полученная в результате использования предлагаемых технических решений, т;

$Y_{\text{ан}}$  – продукция, полученная в результате использования аналога, т;

Дополнительный доход от повышения качества полученной продукции

$$b_{\text{к}} = (\Pi_{\text{уп.ав.}} - \Pi_{\text{уп}}) \cdot Y_{\text{ав}} \quad (5.14)$$

где  $\Pi_{\text{пр.тр}}$  – цена реализации 1 т полученной продукции с использованием предлагаемых технических решений, руб.

Дополнительный доход от изменения затрат

$$b_3 = (Z_{\text{Э.ав.}} - Z_{\text{Э.ан.}}) \cdot Y_{\text{ав}} \quad (5.15)$$

где  $Z_{\text{Э.ав.}}$  – затраты на использование предлагаемых технических решений, руб.

$Z_{\text{з.ан}}$  – затраты на использование аналога, руб.

Для оценки частичной приведенной стоимости машин учитывался коэффициент дисконтирования. При его определении учитывали прогнозируемые показатели ключевой ставки ЦБ РФ, уровня инфляции и специфических рисков предприятий АПК, в частности риски сезонности, риски технологической отсталости и риски урожайности [37, 220]. Основные полученные результаты представлены для каждой машины в таблицах 5.1 – 5.3.

Для оценки экономической эффективности технических решений, направленных на повышение качества органоминеральных удобрений в качестве аналога, была взята линия, используемая на предприятии ООО «Гуматы» Курганская область, р.п. Каргаполье, при этом стоимость линии была актуализирована с учётом инфляции. Оценка производилась с учётом заявленной номинальной производительности линии в 2000 литров в смену при 8-часовом рабочем дне и односменном режиме работы. Разница первоначальных инвестиционных затрат составила 1248 тыс.руб.

Таблица 5.1\* – Показатели экономической эффективности от внедрения линии подготовки органоминеральных удобрений

Период, лет	0	1	2	3	4
Разница первоначальных инвестиционных затрат ( $C$ ), тыс. руб.	1248	-	-	-	-
Эксплуатационные затраты ( $Z_3$ ), тыс. руб.	-	1450,14	1450,14	1450,14	1450,14
Прирост доходов ( $b(t)$ ), тыс. руб.	-	661,9	661,9	661,9	661,9
Ставка дисконтирования ( $r$ )	-	0,28	0,21	0,21	0,17
Чистая приведённая стоимость (NPV)	-	-730,89	-278,8	94,83	448,05

\*На основе прогнозируемых данных ЦБ РФ

Полученные результаты свидетельствуют о том, что с учётом ставки дисконтирования окупаемость предлагаемых технических решений при заявленных объёмах производства произойдёт на третий год эксплуатации оборудования. При этом дополнительная прибыль, полученная к окончанию третьего года, составит 94,83 тыс. руб. Стоит отметить, что в случае увеличения объёмов производства за счёт увеличения продолжительности

смен или увеличения их числа срок окупаемости сократиться пропорционально объёмам производства.

Для оценки экономической эффективности внедрения гребнеобразующего культиватора-подкормщика в качестве аналога было принято решения взять широко используемые распределители минеральных удобрений и произвести оценку с учётом данных, полученных в результате производственных исследований. В результате разница первоначальных инвестиционных затрат составила 1500 тыс. руб. В ходе экономического анализа рассматривался экономический эффект от возделывания 100 га.

Таблица 5.2\* - Показатели экономической эффективности от внедрения гребнеобразующего культиватора-подкормщика для внутрипочвенного внесения минеральных удобрений

Период, лет	0	1	2	3	4
Разница первоначальных инвестиционных затрат ( $C$ ), тыс. руб.	1500	-	-	-	-
Эксплуатационные затраты ( $Z_3$ ), тыс. руб.	-	3308,52	3308,52	3308,52	3308,52
Прирост доходов ( $b(t)$ ), тыс. руб.	-	9001,8	9001,8	9001,8	9001,8
Ставка дисконтирования ( $r$ )	-	0,28	0,21	0,21	0,17
Чистая приведённая стоимость (NPV)	-	5532,66	11681,01	16762,29	21566,1

\*На основе прогнозируемых данных ЦБ РФ

Анализ полученных результатов показал, что внедрение предлагаемого культиватора подкормщика способствует приросту доходов за счёт получения прибавки в урожае, а также за счёт сокращения затрат, связанных с уменьшением объёмов вносимых удобрений. В результате чего уже на первый год эксплуатации наблюдается положительное значение чистой приведённой стоимости в 5532,66 тыс. рублей, что говорит о том, что происходит окупаемость первоначальных инвестиционных затрат и предприятие получит дополнительную прибыль.

Для оценки экономического эффекта от внедрения аэрозольного опрыскивателя пропашных культур в качестве аналога был принят штанговый опрыскиватель ОП 1000/18 применяемый в производственных исследованиях. При этом следует отметить, что в связи с тем, что ширина захвата штангового

опрыскивателя в 6 раз больше чем ширина захвата исследуемого аэрозольного опрыскивателя, то в результате расчётов было увеличено число требуемых аэрозольных опрыскивателей в 6 раз для выполнения заданного объёма операций. Таким образом разница первоначальных инвестиционных затрат составила 1410 тыс. рублей. Так же в ходе расчётов было принято решение оценить экономический эффект от использования схемы обработки, описанной в производственном исследовании, где оценивалась эффективность от совместного внесения пестицидов с дозой внесения препаратов 0,5 от производственного варианта и гумата калия, данный вариант являлся вторым по эффективности. Кроме того, в процессе проведения расчётов учитывалась прибавка урожая по товарному картофелю.

**Таблица 5.3\* – Показатели экономической эффективности от внедрения аэрозольного опрыскивателя пропашных культур**

Период, лет	0	1	2	3	4
Разница первоначальных инвестиционных затрат ( $C$ ), тыс. руб.	1410	-	-	-	-
Эксплуатационные затраты ( $Z_3$ ), тыс. руб.	-	2083,34	2083,34	2083,34	2083,34
Прирост доходов ( $b(t)$ ), тыс. руб.	-	1505,3	1505,3	1505,3	1505,3
Ставка дисконтирования ( $r$ )	-	0,28	0,21	0,21	0,17
Чистая приведённая стоимость (NPV)	-	-233,98	794,16	1643,86	2447,16

\*На основе прогнозируемых данных ЦБ РФ

В результате внедрения аэрозольных опрыскивателей пропашных культур при условии проведения аэрозольных обработок согласно производственным исследованиям на площади в 100 га. Положительное значение чистой приведённой стоимости в 794,16 тыс. рублей достигается на второй год эксплуатации, что является сроком их окупаемости и ведёт к получению дополнительного дохода, который достигается, в первую очередь, за счёт сокращения затрат на приобретение пестицидов, а также дополнительной прибавки урожая.

Анализ полученных результатов показывает, что несмотря на высокие экономические риски разработанные технические решения обладают высоким потенциалом экономической эффективности при их внедрении в

производство. Необходимо отметить, что в случае снижения уровня экономического риска, а также в случае смягчения денежно-кредитной политики центрального банка и снижения уровня инфляции период окупаемости дополнительных первоначальных инвестиций может существенно сократиться, что сделает вложения более привлекательными.

## **Выводы по пятой главе**

1. Оценка экономической эффективности линии подготовки органоминеральных удобрений показала, что с учётом ставки дисконтирования окупаемость предлагаемых технических решений при заявленных объёмах производства произойдёт на третий год эксплуатации оборудования. При этом дополнительная прибыль, полученная к окончанию третьего года, составит 94,83 тыс. руб

2. Оценка экономической эффективности внедрения предлагаемого гребнеобразующего культиватора-подкормщика способствует приросту доходов за счёт получения прибавки в урожае, а также за счёт сокращения затрат связанных с уменьшением объёмов вносимых удобрений. В результате чего уже на первый год эксплуатации наблюдается положительное значение чистой приведённой стоимости в 5532,66 тыс. рублей.

3. Оценка экономической эффективности внедрения аэрозольных опрыскивателей пропашных культур при условии проведения аэрозольных обработок согласно производственным исследованиям на площади в 100 га. Положительное значение чистой приведённой стоимости в 794,16 тыс. рублей достигается на второй год эксплуатации, что является сроком их окупаемости и ведёт к получению дополнительного дохода, который достигается в первую очередь за счёт сокращения затрат на приобретение пестицидов, а также дополнительной прибавки урожая.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. В процессе подготовки органоминеральных удобрений необходимо обеспечивать соответствие требуемым показателям качества на каждом этапе. Разработку культиваторов-подкормщиков для возделывания картофеля следует проводить на основе совместного внесения различных видов удобрений. Разработку аэрозольного опрыскивателя картофеля следует проводить на основе равномерного покрытия растений со всех сторон, уменьшения сноса аэрозоля, при возможности совместного использования органоминеральных удобрений и пестицидов.

2.1 Предложены способ и линия подготовки органоминеральных удобрений из органического сырья (патент №2727193), которая обеспечивает эффективный выход гуминовых кислот и улучшение дисперсности, а также позволяет осуществлять внесение органоминеральных удобрений современными и перспективными машинами. В ходе проведённых теоретических и экспериментальных исследований установлено, что использование двухступенчатой системы очистки, состоящей из гидроциклиона, имеющего следующие характеристики: диаметр 75 мм; диаметр питающего отверстия – 17 мм; диаметр сливного отверстия – 22 мм; диаметр песковой насадки 17 мм и сепаратора А1-ОЦМ-10, обеспечивает получение органоминеральных удобрений с содержанием балластной части до 1% и размерностью частиц менее 10 мкм.

2.2 Использование в многоуровневом алгоритме работы системы автоматизации технических средств подготовки органоминеральных удобрений искусственной нейронной сети, состоящей из пяти входных нейронов, одного скрытого слоя и двух выходных нейронов способствовало суммарному увеличению солей гуминовых и фульвовых кислот на 12,85 % в конечном продукте, при увеличении выхода солей гуминовых кислот на

14,08%, а солей фульвовых кислот на 6,06%, по отношению к технологии, принятой на производстве.

3.1. В ходе исследований предложен гребнеобразующий культиватор-подкормщик (патент РФ № 2762212), который позволяет осуществлять основное совместное внутрипочвенное внесение органоминеральных и минеральных удобрений с одновременным формированием гребней и дифференциацией нормы внесения согласно картам заданий. Использование в конструкции гребнеобразующего культиватора-подкормщика шнекового дозирующего устройства (патент РФ № 2780210), позволяет осуществлять точную регулировку необходимой нормы внесения. В ходе комплексного анализа результатов проведённых исследований установлена высокая сходимость теоретических и экспериментальных данных, достигающая 95%. Разработанная имитационная модель подтвердила свою адекватность, точно прогнозируя линейный характер изменения производительности в диапазоне сечения выгрузного окна 100-400  $\text{мм}^2$  и переход к квадратичной зависимости при увеличении сечения до 600  $\text{мм}^2$ . Кроме того, в перекрывающемся диапазоне частоты вращения шнека 40-60 об/мин наблюдалась полная согласованность результатов, что позволяет рекомендовать модель для оптимизации параметров дозирующего устройства с целью достижения максимальной равномерности распределения удобрений.

3.2. Использование сошика, оборудованного рассеивателем с разнонаправленными зубьями (патенты РФ №2804071 и №213790), способствует распределению гранул минеральных удобрений по ширине и глубине гребня за счёт его вращения с заглублением зубьев в почву, установлено, что наибольшая равномерность достигается при следующих параметрах: угол наклона зубьев 60 и диаметр рассеивателя 150 мм.

3.3. Способ возделывания картофеля (патент РФ 2814712) с использованием гребнеобразующего культиватора-подкормщика обеспечивает повышение урожайности при снижении расхода удобрений. Совместное локально-ленточное внесение рабочего раствора

органоминеральных удобрений (гумата калия) концентрацией 0,08% с нормой расхода 250 л/га и твердых минеральных удобрений (KCl) с нормой 250 кг/га способствовало увеличению урожайности на 16,3 % в сравнении со сплошным внесением минеральных удобрений (KCl) с нормой 460 кг/га, и увеличению урожайность на 8,7 % в сравнении с локально-ленточным внесением минеральных удобрений (KCl) с нормой 250 кг/га.

4.1. Предложен аэрозольный опрыскиватель пропашных культур (патент РФ №2727637), позволяющий осуществлять совместное внесения аэрозоля органоминеральных удобрений и пестицидов. Установлено, что для эффективного покрытия поверхности растений аэрозолем при использовании двух генераторов горячего тумана марки BF – 150 с объёмной производительностью по аэрозолю от 0,8 м<sup>3</sup>/с до 1,6 м<sup>3</sup>/с, для полноценного заполнения четырёх тоннельных укрытий рациональная скорость движения агрегата должна находиться в диапазоне от 1,5 м/с до 3,5 м/с.

4.2. Сравнительными исследованиями установлено, что использование генератора горячего тумана с тоннельными укрытиями обеспечивает равномерность распределения горячего тумана по ширине укрытия от 96% до 99%, что в конечном итоге обеспечивает высокую равномерность распределения аэрозоля по поверхности растения. В частности, доля обработанной нижней поверхности листьев составила 0,92 от общей площади, в то время как при обработке штанговым опрыскивателем ОП – 1000/18 данный показатель составил 0,04.

4.3. Способ совместной аэрозольной обработки пестицидами и гуматами картофеля (патент РФ №2810531), способствует повышению урожайности, при обработке органоминеральными удобрениями (гуматом калия) в концентрации 0,005% по основному веществу и пестицидами с нормой внесения препаратов 0,5 и 0,25 от дозы, применяемой в хозяйстве, что содействует увеличению урожайности на 57,8% и 75% соответственно.

5. Проведённая технико-экономическая оценка по экономическому критерию чистой приведённой стоимости показала, что несмотря на высокие

экономические риски разработанные технические решения обладают достаточным потенциалом экономической эффективности при их внедрении в производство. Окупаемость предлагаемого способа и технических средств для подготовки органоминеральных удобрений произойдёт на третий год эксплуатации оборудования, при этом дополнительная прибыль, полученная к окончанию третьего года, составит 94,83 тыс. руб. Внедрение предлагаемого гребнеобразующего культиватора-подкормщика на объёме работы 100 га приведёт к получению значения чистой приведённой стоимости в 5532,66 тыс. руб. на первый год эксплуатации. Окупаемость аэрозольных опрыскивателей пропашных культур при обработке площади в 100 га произойдёт на второй год эксплуатации, а значение чистой приведённой стоимости составит 794,16 тыс. рублей.

### **Рекомендации производству**

Для подготовки органоминеральных удобрений высокого качества рекомендуется внедрение системы двухступенчатой системы очистки и использование современных интеллектуальных технологий на основе искусственных нейронных сетей, предназначенных для оптимизации параметров. Для повышения экономической эффективности производства за счёт повышения урожайности картофеля, рекомендуется совместное локально-ленточное внесение органоминеральных и минеральных удобрений с использование культиваторов-подкормщиков, а также использованием аэрозольных опрыскивателей для совместной аэрозольной обработки органоминеральными удобрениями и пестицидами.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Совершенствование модели искусственной нейронной сети для повышения эффективности подготовки органоминеральных удобрений. Увеличение уровня автоматизации и роботизации технических средств для совместного внесения органоминеральных удобрений с пестицидами и минеральными удобрениями для повышения их производительности и эффективности. Дальнейшие исследования в данной области позволят

повысить экономическую эффективность от внедрения предлагаемых технических решений, а также обеспечить снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду.

## **Список используемой литературы**

1. Авторское свидетельство № 210190 (СССР), «Способ улучшения удобрительных свойств торфа» / Л. А. Юткин, Л. И. Гольцова - Заявление № 949723/30-15 от 18.01.65, Опубликовано в Бюллетене изобретений, 1983 год, № 2. 71.
2. Авторское свидетельство № 275028 (СССР), «Способ подготовки торфа для микробиологической, бродильной и комбикормовой промышленности» / Л. А. Юткин, Л. И. Гольцова - Заявление № 1259290/28-13 от 16.07.68, Опубликовано в Бюллетене изобретений, 1983 год, № 18.
3. Авторское свидетельство № 354683 (СССР), «Способ получения удобренной почвы» / Л. А. Юткин, Л. И. Гольцова - Заявление № 946809 /30-15 от 07.06.63, Опубликовано в Бюллетене изобретений, 1983 год, № 20. 70.
4. Агротехнологический паспорт сорта картофеля Барин / А. Э. Шабанов, А. И. Киселев, С. Н. Зебрин, А. А. Мелешин // Картофелеводство : материалы международной научно-практической конференции, Москва, 29–30 июня 2017 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха", 2017. – С. 185-191. – EDN YTDFRV.
5. Агротехнологический паспорт сорта картофеля Башкирский Центрального региона Российской Федерации / А. Э. Шабанов, А. И. Киселев, Е. А. Симаков, И. С. Марданшин // Агро-инновации. – 2019. – № 2(2). – С. 4-9. – DOI 10.35244/22-01. – EDN TNWGMO.
6. Агротехнологический паспорт сорта картофеля Варяг / А. Э. Шабанов, А. И. Киселев, А. А. Мелешин, О. В. Мелешина // Картофель и овощи. – 2018. – № 9. – С. 26-28. – DOI 10.25630/PAV.2018.9.18329. – EDN YLHTRJ.
7. Агротехнологический паспорт сорта картофеля Вымпел / А. И. Киселев, А. Э. Шабанов, Е. А. Симаков, А. В. Митюшкин // Картофелеводство:

Материалы научно-практической конференции "Современное состояние и перспективы развития селекции и семеноводства картофеля"

8. Агротехнологический паспорт сорта картофеля Метеор / А. С. Коровин, А. Э. Шабанов, А. И. Киселев, С. Н. Зебрин // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития : Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященная 100-летию академика Д.К. Беляева, Иваново, 02 марта 2017 года. Том 1. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. акад. Д.К. Беляева, 2017. – С. 110-114. – EDN ZEDPYN.

9. Агротехнологический паспорт сорта картофеля Памяти Лорха / А. Э. Шабанов, А. И. Киселев, С. Н. Зебрин [и др.] // Аспирант. – 2017. – № 3(29). – С. 109-113. – EDN ZCPRRD.

10. Анализ и тенденции развития сельского хозяйства в условиях цифровизации / А. К. Субаева, М. Н. Калимуллин, М. М. Низамутдинов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 1(65). – С. 135-141. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-135-141. – EDN AEOBKR.

11. Анализ конструктивных свойств чизельных культиваторов / Л. М. Нургалиев, А. С. Ибраев, Б. Т. Алибаев, Е. С. Шамина // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2, № 4. – С. 242.

12. Анализ применения различных видов гуматов и способов их использования при возделывании картофеля / М. Ю. Костенко, И. Н. Горячкина, В. С. Тетерин, Н. Н. Гапеева, Н. Н. Новиков, С. В. Митрофанов // Вестник РГАТУ. - 2018. - №3 (39). - С. 88-92.

13. Анализ способов обработки растений в период вегетации горячим туманом биопрепаратов / А. И. Ликучев, О. А. Тетерина, В. С. Тетерин, М. Ю. Костенко // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии : Материалы I Национальной научно-практической

конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова, Рязань, 23 ноября 2021 года. Том Часть I. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2021. – С. 149-154.

14. Анализ технологий обработки биопрепаратами для стимуляции и защиты растений / М. Ю. Костенко, И. Н. Горячкина, О. А. Тетерина [и др.] // Техническое обеспечение сельского хозяйства. – 2020. – № 1(2). – С. 122-127.

15. Аналитическое обоснование технологического процесса работы машины для удаления зараженных растений картофеля и овощных культур / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, А. Г. Пономарев, Н. В. Сазонов // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 5. – С. 130-136. – DOI 10.28983/asj.y2024i5pp130-136.

16. Андреев А. В. Ультразвуковая технология получения гуматов // Горный информационно-аналитический бюллетень, «Горная книга»: М. - 2016. -Т.38. - С. 53-56. 52.

17. Андреев К.П. Совершенствование центробежных разбрасывателей для поверхностного внесения минеральных удобрений / Андреев К.П., Макаров В.А., Шемякин А.В., Костенко М.Ю. // Вестн. Рязанского гос. агротехнологического ун-та им. П.А. Костычева. 2017. № 1. С. 54-59.

18. Антонова О.И., Зубченко Е.Б., Скокова О.В. Эффективность использования гуматов при загрязнении почв тяжелыми металлами // Вестник АГАУ. - Барнаул, 2003. - № 2.- С. 21-26.

19. Атлас болезней, вредителей, сорняков картофеля и мероприятия по борьбе с ними / В. Н. Зейрук, С. В. Жевора, С. В. Васильева [и др.]. – Москва: Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр «Наука», 2020. – 322 с. – ISBN 978-5-901282-27-4

20. Банный В.А., Игнатенко В.А., Азаренок А.С., Евтухова Л.А. Современные материалы и способы защиты биологических объектов от

воздействия электромагнитных полей и излучений. Проблемы здоровья и экологии. 2018; (2): 4–10. <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2018-15-2-1>

21. Барский, А. Б. Искусственный интеллект и логические нейронные сети : Учебное пособие / А. Б. Барский. – Санкт-Петербург : Общество с ограниченной ответственностью "Издательский центр "Интермедиа", 2019. – 360 с. – ISBN 978-5-4383-0155-4.

22. Башаров М.М., Сергеева О.А. Устройство и расчет гидроциклонов Учебное пособие / Под ред. А.Г. Лаптева. - Казань: Вестфалика, 2012.

23. Безуглова О. С., Полиенко Е. А., Горовцов А. В., Лыхман В. А., Павлов П. Д., Влияние на почвенное плодородие гуминовых удобрений и препаратов // «Живые и биокосные системы». - 2016 - № 18;

24. Белякова Н. А., Поликарпова Ю. Б. Скрининг энтомофагов для защиты семенного картофеля от тлей-переносчиков вирусов в современных теплицах //Вестник защиты растений. – 2016. – Т. 90. – №. 4. – С. 44-50.

25. Богданчиков, И. Ю. Результаты применения гуминового препарата Экорост для утилизации соломы в качестве удобрения / И. Ю. Богданчиков // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2023. – № 1(17). – С. 40-45.

26. Борисенко В.В., Хусид С.Б., Лысенко Ю.А. Биологическая активность гуминового комплекса различного происхождения и его влияние на рост и развитие растений // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского аграрного университета. - 2015. - №110 (06).

27. Борисёнок О.И., Балыш А.И. ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ШИРОКОРЯДНЫХ ПОСАДКАХ. Картофелеводство. 2016;24(1):202-209.

28. Бутов, А.В. Регуляторы роста на картофеле / А.В. Бутов, С.О. Адоньев // Картофель и овощи. – 2015. – №5. – С. 29–30

29. Бушмелев В. А., Вольман Н. С., Кокушкин О. А. Процессы и аппараты целлюлозно-бумажного производства//М.: Лесная промышленность. – 1969.
30. Васильев А.А. Картофель : монография / под ред. Н.В. Глаз. – Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2021. – 219 с
31. Васильев, А. А. Формирование урожая картофеля в зависимости от срока и глубины посадки / А. А. Васильев, А. К. Горбунов. – Челябинск: Челябинский государственный университет, 2022. – 99 с. – ISBN 978-5-7271-1789-7.
32. Влияние аэрозольной обработки гуминовыми препаратами на посевные качества семян зерновых культур / О. А. Тетерина, В. С. Тетерин, С. В. Митрофанов [и др.] // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 2. – С. 254-267. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202002.254-267.
33. Влияние листовых подкормок гуминовыми удобрениями на урожайность и качество орошаемого картофеля в Саратовском Заволжье / В. В. Проńко, К. В. Корсаков, Н. В. Верховцева, Н. А. Проńко // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 6. – С. 58-63. – DOI 10.28983/asj.y2023i6pp58-63.
34. Влияние органоминерального удобрения Эпин Плюс на урожайность картофеля в почвенно-климатических условиях Московской области / С. В. Васильева, В. Н. Зейрук, Г. Л. Белов, В. В. Дроздов // Агрохимический вестник. – 2025. – № 5. – С. 22-27. – DOI 10.24412/1029-2551-2025-5-005. – EDN JSMYPM.
35. Влияние технологий возделывания сельскохозяйственных культур на агрофизические факторы плодородия в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края / И. А. Вольтерс, О. И. Власова, В. М. Передериева, Л. В. Трубачева // Вестник АПК Верхневолжья. – 2022. – № 4(60). – С. 12-20. – DOI 10.35694/YARCX.2022.60.4.002.
36. Влияние технологических приемов на урожайность картофеля / П. И. Гаджиев, А. П. Башкиров, Г. Г. Рамазанова [и др.] // Наука в центральной России. – 2022. – № 3(57). – С. 41-47. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-3-41-47.

37. Водянников, В.Т. Экономическая оценка инвестиционных проектов в сельском хозяйстве: учебник/В.Т. Водянников; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва : РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2023. - 242 с.

38. Вятчина О.Ф., Жданова Г.О., Стом Д.И. Некоторые эффекты гуминовых веществ на микроорганизмы. // Тр. 4 Всероссийской конф. - Гуминовые вещества в биосфере, Москва 19-21 декабря, 2007. - С. 405-411.

39. Гаджиев, П. И. Разработка ресурсосберегающей технологии и технических средств для возделывания картофеля / П. И. Гаджиев, Г. Г. Рамазанова, И. П. Гаджиев // Наука в центральной России. – 2024. – № 1(67). – С. 110-117. – DOI 10.35887/2305-2538-2024-1-110-117.

40. Гаджиев, П. И. Способ возделывания картофеля на тяжелых и каменистых почвах / П. И. Гаджиев, Г. Г. Рамазанова, И. П. Гаджиев // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 2(320). – С. 16-18. – DOI 10.33267/2072-9642-2024-2-16-18.

41. Гаджиев, П. И. Эффективная технология для возделывания и уборки картофеля / П. И. Гаджиев, Г. Г. Рамазанова, И. П. Гаджиев // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 294-300.

42. Гайбарян М.А., Смышляев Э.И. Альтернатива известковым удобрениям / Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства: сб. науч. тр. / ГНУ ВНИМС. - Рязань: ГНУ ВНИМС, 2010. - С. 146-154.

43. Гайбарян, М. А. Новые технические решения в технологической линии для производства гуминовых удобрений / М. А. Гайбарян, О. В. Ушаков,

В. М. Соколин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 6. – С. 42-45.

44. Гарьянова, Е. Д. Технология возделывания раннего картофеля под укрытиями / Е. Д. Гарьянова, Н. А. Петрова // Орошаемое земледелие – селекция и технологии возделывания сельскохозяйственных культур : Сборник научных трудов. – Астрахань : Индивидуальный предприниматель Сорокин Роман Васильевич (Издатель: Сорокин Роман Васильевич), 2014. – С. 76-78.

45. Гаспарян И.Н., Левшин А.Г., Ивашова О.Н., Бутузов А.Е., Дыйканова М.Е. Органическая технология возделывания экологически чистого картофеля раннего // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019 № 6(94). С. 14-18. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-6-14-18.

46. Гельфанд Б. Е. и др. Особенности разрушения жидких капель при высоком давлении газа //Прикладная механика и техническая физика. – 1975. – Т. 16. – №. 4. – С. 61-66.

47. Горячкина И. Н. Анализ технических средств для внесения биологических удобрений и биопрепараторов / И. Н. Горячкина, М. Ю. Костенко, Г. К. Ремболович [и др.] // Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса : Материалы 70-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 23 мая 2019 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. – С. 124-128.

48. ГОСТ 21560.1-82 Удобрения минеральные метод определения гранулометрического состава - Москва, 1983. - 17 с.

49. ГОСТ Р 53053-2008 Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний – Москва, 2020. – 40 с.

50. Гуминовое удобрение из торфа Гумостим - свидетельство о государственной регистрации гуминового удобрения из торфа Гумостим № 2167 от 03.03.2011, / Л. В. Касимова. - С. 1-3.

51. Денисюк Е. А., Митрофанов Р. А., Носова И. А. Особенности электрогидравлической обработки торфа // Вестник НГИЭИ. - 2013. - № 6 (25). - С. 36-46.
52. Денисюк, Е. А. Технологии получения гуминовых веществ / Е. А. Денисюк, Р. А. Митрофанов, И. А. Кузнецова // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 2(33). – С. 66-80.
53. Ермаков Е.И., Попов А.И. Некорневая обработка растений гуминовыми веществами, как экологически гармоничная корректировка продуктивности и устойчивости агроэкосистем // Вестн. Рос. акад. с.-х. наук. - 2003. - №4. - С. 7-11.
54. Ефанов М.В., Латкин А.А., Черненко П.П., Галочкин А.И. Получение оксигуминовых препаратов из торфа кавитационным методом // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – №2. – С. 39.
55. Жеребцов, Б. В. Анализ и выбор эффективного способа для выращивания меристемных растений картофеля (*SolanumTuberoseum L.*) / Б. В. Жеребцов, А. В. Козлов, С. В. Нетесов // АгроЭкоИнфо. – 2021. – № S7. – DOI 10.51419/20217014.
56. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. – М: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2005. – 302 с.
57. Завалин А.А., Чеботарь В.К., Ариткин А.Г., Сметов Д.Б. Биологизация минеральных удобрений как способ повышения эффективности их использования // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №9. – С. 45-47.
58. Зинченко В.А. Химическая защита растений: средства, технологии и экологическая безопасность. - М.: Коллесс, 2012. - 127 с.
59. Исследование крошения почвы при её предпосадочной подготовке к последующей комбайновой уборке картофеля / П. И. Гаджиев, М. С. Шикалов, Г. Г. Рамазанова, А. И. Алексеев // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 4(262). – С. 20-23. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-4-20-23. – EDN YRRTOC.

60. Исследование работы почвообрабатывающей фрезы с зубчатым лезвием ножей / П. И. Гаджиев, В. И. Славкин, А. И. Алексеев [и др.] // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агротехнологический университет имени В.П. Горячкina". – 2020. – № 1(95). – С. 14-18. – DOI 10.34677/1728-7936-2020-1-14-18.

61. Ишматов А.Н., Ворожцов Б.И. Исследование развития высокодисперсного аэрозоля жидкости с учетом влияния слабоиспаряемой примеси // Краткие сообщения по физике. ФИАН - Москва. - № 1 - 2010. - С. 22-27.

62. К вопросу совершенствования гребнеобразующего культиватора-подкормщика / М. Ю. Костенко, В. С. Тетерин, Н. В. Липатов, А. С. Терентьев // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 2(296). – С. 10-14. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-2-10-14.

63. К обоснованию методики проведения экспериментальных исследований влияния параметров и режима работы дискового рабочего органа на качество проведения междурядной обработки / Р. М. Латыпов, М. Н. Калимуллин, Э. Г. Мухамадиев, С. И. Силков // АПК России. – 2021. – Т. 28, № 3. – С. 367-375. – EDN DAEHSE.

64. К расчету параметров винтового сепаратора / В. А. Рычков, С. С. Васильев, В. А. Филатов, И. С. Глазунов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2015. – № 2(26). – С. 72-76.

65. Кадыров С. В., Коновалов Н. Н. Изучение новых препаратов для обработки семян и растений //Агрохимический вестник. - № 5. - 2008. - С. 38-40.

66. Калимуллин, М. Н. Анализ динамики колебательного движения почвообрабатывающего орудия с инерционным вибровозбудителем / М. Н. Калимуллин, И. И. Алиакберов, Н. С. Бархатов // Вестник Чувашского

государственного аграрного университета. – 2024. – № 4(31). – С. 175-183. – DOI 10.48612/vch/u8e3-679z-u5b6. – EDN IDLLBE.

67. Калимуллин, М. Н. Картофелеуборочный миникомбайн для селекционных участков и фермерских хозяйств / М. Н. Калимуллин, Р. М. Латыпов, П. В. Зайцев // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4(27). – С. 188-192. – DOI 10.48612/vch24ub-z2d6-tp8b. – EDN RFIBUL.

68. Калинин, А. Б. Оценки параметров почвенного состояния при выполнении технологических процессов возделывания картофеля по интенсивной технологии / А. Б. Калинин, И. З. Теплинский, П. П. Кудрявцев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 38. – С. 288-293.

69. Калинин, А. Б. Снижение рисков проявления водной эрозии на профилированных полях при возделывании пропашных культур / А. Б. Калинин, В. А. Ружьев, И. З. Теплинский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 6(110). – С. 129-133. – DOI 10.37670/2073-0853-2024-110-6-129-133. – EDN BINZPF.

70. Калинин, А. Б. Совершенствование методов и средств снижения технологических рисков при функционировании машин для возделывания картофеля / А. Б. Калинин, И. З. Теплинский, Т. Ш. Теймурев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1(62). – С. 178-190. – DOI 10.24412/2078-1318-2021-1-178-190.

71. Калинин, А. Б. Совершенствование методов оценки условий функционирования культиватора-глубокорыхлителя для междурядной обработки почвы при возделывании картофеля / А. Б. Калинин, И. З. Теплинский, В. Е. Герасимова // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 3(130). – С. 24-36. – DOI 10.24412/2227-9407-2022-3-24-36.

72. Калугин, Д. С. Сравнительные испытания туковысыевающих аппаратов / Д. С. Калугин, Н. Е. Руденко, Е. В. Кулаев // Научное обозрение. – 2016. – № 3. – С. 59-62.

73. Канатьева, А. В. Анализ технологий возделывания картофеля в сложных почвенно-климатических условиях Российской Федерации / А. В. Канатьева, Д. А. Морозов, А. В. Кондрашов // Молодой ученый. – 2017. – № 11-3(145). – С. 10-12.

74. Картофелеводство России: состояние и перспективы в новых условиях / Е. А. Симаков, Б. В. Анисимов, С. В. Жевора [и др.] // Картофель и овощи. – 2022. – № 4. – С. 3-6. – DOI 10.25630/PAV.2022.80.38.001. – EDN PLCYFK.

75. Картофелесажалка для клонового семеноводства с автоматизированной системой обработки клубней / А. С. Дорохов, Н. С. Панферов, В. С. Тетерин, Е. В. Пестряков // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 7(277). – С. 16-21. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-7-16-20.

76. Кляйн О. И., Куликова Н. А., Константинов А. И., Федорова Т. В., Ландесман Е. О., Королева О. В. Трансформация гуминовых веществ высокоокисленного бурого угля базидальными грибами // Прикладная биохимия и микробиология. - 2013. - том 49. - № 3. - С. 292-300

77. Колчина, Л. М. Технологии и оборудование для производства картофеля: Справочник / Л. М. Колчина. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2014. – 164 с. – ISBN 978-5-7367-1026-3.

78. Костенко, М. Ю. Применение технологий точного земледелия при возделывании картофеля / М. Ю. Костенко, Н. В. Липатов, В. С. Тетерин // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии : Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова, Рязань, 23 ноября 2021 года. Том Часть I. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2021. – С. 129-135.

79. Костенко, М. Ю. Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Костенко Михаил Юрьевич. – Рязань, 2011. – 462 с. – EDN QFLAIT.

80. Крук, И.С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей / И.С. Крук, Т.П. Кот, О.В. Гордеенко. – Минск: БГТАУ, 2015. – 284 с.: ил. – ISBN 978-987-519-726-4.

81. Кузьмин Н.А., Митрофанов С.В. Влияние гуминовых удобрений на посевные качества семян ячменя ярового // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства: сб. науч. тр. / ФГБНУ ВНИМС.- Рязань, 2016. - С. 96-103.

82. Лабораторные исследования дисперсности аэрозоля для механизированной обработки растений / И. Н. Горячкина, А. И. Ликучев, Д. М. Юмаев [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14. – № 3. – С. 85-93. – DOI 10.36508/RSATU.2022.94.92.011.

83. Лаптев А. Г., Шинкевич Е.О. Гидромеханические процессы в технологии водоочистки. Часть II. Конструкции и расчет аппаратов: учеб. пособие в 2-х частях / А.Г. Лаптев, Е.О. Шинкевич. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. – 219 с.

84. Лекомцев, П. Л. Аэрозольные технологии и возможности их применения / П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова, Л. Н. Прокопьев // Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России: Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной памяти кандидата технических наук, доцента Виталия Александровича Носкова, Ижевск, 20 декабря 2022 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2022. – С. 144-149.

85. Липатов, Н. В. Обоснование параметров культиватора-подкормщика : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Липатов Николай Васильевич. – Рязань, 2023. – 119 с.

86. Личман, Г.И. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия / Г.И. Личман, С.А. Белых, А.Н. Марченко // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. №4. С. 4-9.

87. Ляшук Ю.О., Тетерин В.С., Овчинников А.Ю., Панферов Н.С. Количественная оценка уровня биологического риска для алиментарнообусловленных инфекций и инвазий в Рязанской области. Аграрная наука. 2022; (6): 27–32. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-27-32>

88. Марыганова В.В., Бамбалов Н.Н., Пармон С.В. Воздействие вида экстрагента на структуру извлекаемых из торфа гуминовых кислот // Химия твердого топлива. - 2003. - № 1. - С. 3-10.

89. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. [Текст] / М.: Минсельхозпром России, 1998. – 220 с.

90. Методология прогнозной оценки экологической безопасности применения агрохимикатов туковысевающими приспособлениями картофелепосадочных комбинированных агрегатов / А. Б. Калинин, И. З. Теплинский, Р. В. Шкрабак [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 2. – С. 122-127. – DOI 10.28983/asj.y2022i2pp122-127. – EDN VIGAKY.

91. Методы и средства автоматизированного управления глубиной хода рабочих органов пропашного культиватора-глубокорыхлителя для дифференцированной обработки почвы при возделывании картофеля / А. Б. Калинин, И. З. Теплинский, В. А. Ружьев, В. Е. Герасимова // Известия Международной академии аграрного образования. – 2022. – № 59. – С. 25-29.

92. Методы и средства снижения технологических рисков при функционировании оборудования для применения средств химизации комбинированных картофелепосадочных машин / А. Б. Калинин, И. З.

Теплинский, Р. В. Шкрабак [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 8. – С. 76-81. – DOI 10.28983/asj.y2022i8pp76-81.

93. Микроконтроллерное оборудование в сельскохозяйственном производстве / Н. С. Панферов, Е. В. Пестряков, С. В. Митрофанов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 3(83). – С. 211-216. – DOI 10.37670/2073-0853-2020-83-3-211-216.

94. Митрофанов С.В., Гапеева Н.Н. Эффективность использования гуминовых препаратов в растениеводстве // Гуминовые вещества в биосфере: материалы VII Всерос.науч. конф. с междунар. участием. - Москва: МАКС Пресс, 2018. - С.128-129.

95. Модель определения коэффициента рыхления почвы двойной почвообрабатывающей фрезой / П. И. Гаджиев, М. М. Махмутов, П. М. Тюпаев [и др.] // Техника и технология транспорта. – 2024. – Т. 32, № 1. – EDN OBYLUN.

96. Москаленко Т.В., Михеев В. А., Данилов О. С. Воздействие ультразвуковым полем на торф при экстрагировании гуминовых кислот //Горный информационно-аналитический бюллетень «Горная книга»: М. - 2010. - С. 209-213.

97. Наими О.И. Применение гуминовых препаратов для разложения соломы в почве // Гуминовые вещества в биосфере: Материалы VII Всерос-171 сийской науч. конф. с междунар. участием (4-8 декабря 2018 г.). - Москва: МАКС Пресс, 2018. - С.129-131.

98. Обеспечение равномерности раскладки клубней картофеля при посадке высаживающим аппаратом дискового типа / Р. М. Латыпов, М. Н. Калимуллин, Н. Р. Саврасова [и др.] // АПК России. – 2021. – Т. 28, № 2. – С. 230-235. – EDN FZSCFZ.

99. Обоснование и определение параметров бороздообразователя картофелесажалки / М. Н. Калимуллин, Д. Т. Халиуллин, И. Х. Гайфуллин, Р. Р. Хамитов // Вестник Казанского государственного аграрного университета.

– 2022. – Т. 17, № 3(67). – С. 84-89. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-88-93. – EDN LUMTPZ.

100. Обоснование конструктивных параметров малогабаритного картофелекопателя / Г. Г. Рамазанова, Н. Г. Байбобоев, П. И. Гаджиев, У. Г. Гайипов // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 6(312). – С. 20-23. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-6-20-23. – EDN OKMDEZ.

101. Официальный сайт ООО «Амальтеа-Сервис [Электронный ресурс]. URL: <https://dewa.tech/products/dewa-f/> (Дата обращения 25.03.2022).

102. Официальный сайт ООО «EMC» [Электронный ресурс]. URL: <https://emc-rf.ru/catalog/hardi/?ysclid=m77t2s2wuj239778273> (Дата обращения 25.05.2023).

103. Официальный сайт ООО «Тесар-ЭКОГАЛЬ» [Электронный ресурс]. URL: <http://ecogal.tesar.ru/news-0002.html?ysclid=m69nbm8zdw510860927> (Дата обращения 25.03.2022).

104. Оценка распределения капель дезинфицирующей жидкости по обрабатываемой поверхности / Б. Л. Иванов, Б. Г. Зиганшин, А. И. Рудаков, М. А. Лушнов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14, № 3(54). – С. 103-107. – DOI 10.12737/article\_5db969d80165a4.44685655.

105. Павлов Н. П. Эффективность применения синтетических укрывных материалов при выращивании ранних овощей и картофеля // Сб. «Совершенствование научного обеспечения агропромышленного комплекса Республики Саха (Якутия) в условиях рыночных отношений». – Якутск, 1997. – С. 41.

106. Патент № 2015949 С1 Российская Федерация, МПК C05F 3/00, C05F 11/02. способ получения жидкого комплексного гуминового удобрения : № 5019009/15 : заявл. 26.12.1991 : опубл. 15.07.1994 / А. Н. Трофимов.

107. Патент № 2015951 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Способ получения безбалластного гумата аммония: № 4939671/15: заявл.

28.05.1991: опубл. 15.07.1994 / А. В. Бутюгин, А. С. Иванов, Ю. Н. Зубкова; заявитель Донецкий государственный университет.

108. Патент № 2025515 С1 Российская Федерация, МПК C22B 3/16, C22B 34/34. Способ приготовления органического реагента : № 5047053/02 : заявл. 10.06.1992 : опубл. 30.12.1994 / Е. П. Кривошеев, А. М. Мухаметшин.

109. Патент № 2092471 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/08. способ получения гуминовых удобрений : № 5046685/13 : заявл. 17.03.1992 : опубл. 10.10.1997 / Ю. В. Демидов, В. Н. Серебряков, Г. А. Шаршовец ; заявитель Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по проблемам развития Канско-Ачинского угольного бассейна.

110. Патент № 2128155 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. способ получения стимулятора роста : № 97111479/13 : заявл. 09.07.1997 : опубл. 27.03.1999 / Л. С. Гусев, В. П. Соловьева.

111. Патент № 2151757 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. органоминеральное удобрение : № 99112997/13 : заявл. 24.06.1999 : опубл. 27.06.2000 / А. Г. Черкасов, В. М. Гурьев, Е. В. Лапина [и др.] ; заявитель Закрытое акционерное общество Научно-производственный центр "Прогресс".

112. Патент № 2159222 С1 Российская Федерация, МПК C05B 13/04, C05F 11/02. Способ получения органоминеральных гуминовых удобрений : № 99110858/13 : заявл. 25.05.1999 : опубл. 20.11.2000 / А. А. Новицкий, В. П. Митрофанов, И. В. Кириленко ; заявитель Акционерное общество закрытого типа "БАЛТКОНВЕРСИЯ".

113. Патент № 2174529 С2 Российская Федерация, МПК C10G 1/04, C05F 11/02. способ получения гуминовых веществ : № 99122182/04 : заявл. 22.10.1999 : опубл. 10.10.2001 / М. Д. Новопашин, М. И. Бычев, Г. И. Петрова [и др.] ; заявитель Институт горного дела Севера СО РАН.

114. Патент № 2178777 С1 Российская Федерация, МПК C05C 9/00, C05F 11/02, C07C 63/33. Способ выделения гуминовых веществ из природного сырья : № 2000123813/13 : заявл. 19.09.2000 : опубл. 27.01.2002 / А. И. Попов,

В. П. Шипов, В. А. Трофимов [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Нобель".

115. Патент № 2181710 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02, C05F 3/00. Жидкое гуминовое удобрение и способ его получения : № 2000120893/13 : заявл. 09.08.2000 : опубл. 27.04.2002 / К. В. Митрофанова, Е. Е. Володин, Э. И. Смышляев [и др.] ; заявитель ЗАО "Рязанский картонно-рубероидный завод".

116. Патент № 2191798 С1 Российская Федерация, МПК C10F 7/00. способ получения гумата натрия : № 2001105591/13 : заявл. 27.02.2001 : опубл. 27.10.2002 / К. К. Гусев.

117. Патент № 2193547 С2 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Способ переработки угля : № 2001104106/13 : заявл. 12.02.2001 : опубл. 27.11.2002 / Б. В. Левинский, С. М. Курченко.

118. Патент № 2243194 С2 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. способ получения гуматов щелочных металлов : № 2002120570/12 : заявл. 02.08.2002 : опубл. 27.12.2004 / Б. В. Левинский, С. М. Курченко.

119. Патент № 2263092 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Способ получения жидкого гуминового удобрения: № 2003137323/12 : заявл. 24.12.2003: опубл. 27.10.2005 / А. Л. Верещагин, Ю. Е. Прищенко, О. И. Антонова [и др.]; заявитель Закрытое акционерное общество "Сельскохозяйственное предприятие Озерское" (ЗАО СХП "Озерское").

120. Патент № 2275348 С2 Российская Федерация, МПК C05G 1/00, C05F 11/02. способ получения гуматов щелочных металлов : № 2004112108/15 : заявл. 20.04.2004 : опубл. 27.04.2006 / В. И. Бутаков, Ю. В. Бутаков, Ю. В. Макушев ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Гумат" (ООО "Гумат").

121. Патент № 2286970 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. способ получения водорастворимого гумата : № 2005105209/12 : заявл. 28.02.2005 : опубл. 10.11.2006 / А. В. Апканеев, В. В. Дегтярев, А. Н. Чумаков.

122. Патент № 2304161 С1 Российская Федерация, МПК C10G 1/04. способ переработки бурого угля : № 2005138438/04 : заявл. 09.12.2005 : опубл. 10.08.2007 / П. И. Ковшик, Л. П. Носкова, И. Ф. Савченко; заявитель ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "Коал-А".

123. Патент № 2319683 С2 Российская Федерация, МПК C05F 11/02, C07C 63/33. способ получения гумино-минерального концентрата : № 2004107745/12 : заявл. 12.03.2004 : опубл. 20.03.2008 / В. И. Ломовцев ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное объединение "ТЭКОС" (ООО НПО "ТЭКОС").

124. Патент № 2384549 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Способ получения азотсодержащих гуминовых удобрений из торфа : № 2008144222/12 : заявл. 06.11.2008 : опубл. 20.03.2010 / М. В. Ефанов, П. П. Черненко, В. А. Новоженов ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Югорский государственный университет".

125. Патент № 2392046 С2 Российская Федерация, МПК B01J 19/10, B01F 11/02, C07C 7/00. Устройство деструкции углеводородов и его применение : № 2008102960/12 : заявл. 25.01.2008 : опубл. 20.06.2010 / В. С. Аникин, В. В. Аникин.

126. Патент № 2411224 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/00. Способ получения жидкого торфогуминового удобрения : № 2009130937/05 : заявл. 13.08.2009 : опубл. 10.02.2011 / П. П. Бурковец, А. Н. Комаров, С. П. Павленко, А. Ю. Сушков.

127. Патент № 2429214 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02, C10F 7/00. Способ получения гуминовых кислот и гуматов из торфа: № 2010118361/21 : заявл. 06.05.2010: опубл. 20.09.2011 / Д. В. Дудкин, А. С. Толстяк, Г. Ф. Фахретдинова ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Югорский государственный университет".

128. Патент № 2457896 С1 Российская Федерация, МПК B01F 11/02. Способ акустической обработки многофазного продукта и устройство для его осуществления : № 2010148726/05 : заявл. 29.11.2010 : опубл. 10.08.2012 / В. С. Аникин, В. В. Аникин.

129. Патент № 2471755 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/00. Способ получения биологически активных гуминовых веществ : № 2011116589/13 : заявл. 26.04.2011 : опубл. 10.01.2013 / Г. Г. Ягафарова, Л. Р. Акчурина, Ю. А. Федорова [и др.] ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

130. Патент № 2472761 С2 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Способ получения биологически активного гуминового продукта : № 2011112692/13 : заявл. 04.04.2011 : опубл. 20.01.2013 / В. А. Дементьев, О. И. Бражко.

131. Патент № 2473527 С2 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Способ производства концентрата гуминовой кислоты из бурого угля и Линия для производства концентрата гуминовой кислоты : № 2010116035/13 : заявл. 23.04.2010 : опубл. 27.01.2013 / Н. В. Проселков, В. Э. Глуховцев, Н. В. Капкин [и др.].

132. Патент № 2514715 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. способ получения структурированного торфо-сапропелевого концентрата : № 2012151757/13 : заявл. 03.12.2012 : опубл. 10.05.2014 / С. Г. Чиргин, О. А. Кропотов.

133. Патент № 2573358 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Способ получения гуминового препарата и технологическая линия для его осуществления : № 2014128099/13 : заявл. 09.07.2014 : опубл. 20.01.2016 / А. И. Сухов, Б. М. Салимов, К. Н. Сорокин.

134. Патент № 2619469 С Российской Федерацией, МПК A01C 1/00. Способ предпосадочной обработки корнеклубней растений : № 2015130981 :

заявл. 24.07.2015 : опубл. 16.05.2017 / В. Ф. Некрашевич, В. С. Тетерин, Д. О. Соколов [и др.].

135. Патент № 2685904 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Способ получения гуминового препарата: № 2018124420: заявл. 04.07.2018: опубл. 23.04.2019 / Л. Н. Циппер, М. В. Циппер, А. А. Циппер ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственное объединение "ПАРМАСОРБ" (ООО "НПО "ПАРМАСОРБ").

136. Патент № 2727193 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/02. Способ производства органоминеральных, комплексных удобрений и технологическая линия для его осуществления: № 2019133360: заявл. 21.10.2019 : опубл. 21.07.2020 / В. С. Тетерин, Н. С. Панфенов, М. А. Гайбаян [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агротехнологический центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

137. Патент № 2727637 С1 Российская Федерация, МПК A01M 7/00. Прицепной аэрозольный опрыскиватель пропашных культур: № 2019135772 : заявл. 07.11.2019 : опубл. 22.07.2020 / В. С. Тетерин, Н. Н. Новиков, М. Ю. Костенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агротехнологический центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

138. Патент № 2762212 С1 Российская Федерация, МПК A01B 49/06, A01C 23/00. Гребнеобразующий культиватор-подкормщик : № 2021110486 : заявл. 14.04.2021 : опубл. 16.12.2021 / В. С. Тетерин, М. Ю. Костенко, Н. В. Липатов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агротехнологический центр ВИМ». – EDN SFSVCV.

139. Патент № 2767637 С1 Российская Федерация, МПК C05G 3/50, C05G 3/00, C05G 1/00. Способ гуматизации минеральных удобрений : № 2021121285 : заявл. 19.07.2021 : опубл. 18.03.2022 / С. В. Митрофанов, В. С. Тетерин, Д. А. Благов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное

бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». – EDN NZDJKB.

140. Патент № 2780210 С1 Российская Федерация, МПК A01C 15/16. Дозатор твёрдых минеральных удобрений : № 2022109181 : заявл. 07.04.2022 : опубл. 20.09.2022 / В. С. Тетерин, С. А. Пехнов, М. Ю. Костенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ". – EDN EBRHQJ.

141. Патент № 2810531 С1 Российская Федерация, МПК A01M 7/00, A01C 21/00. Способ совместной аэрозольной обработки пестицидами и гуматами картофеля : № 2023114430 : заявл. 01.06.2023 : опубл. 27.12.2023 / А. С. Дорохов, В. С. Тетерин, А. Г. Аксенов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ". – EDN HFCJEW.

142. Патент № 2814712 С1 Российская Федерация, МПК A01G 22/25, A01B 79/02. Способ возделывания картофеля: № 2023121926: заявл. 22.08.2023: опубл. 04.03.2024 / А. С. Дорохов, В. С. Тетерин, А. Г. Аксенов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ".

143. Патент US4786307A, USA, МПК C05F 11/02; C05G 3/00. Chelated plant nutrients: опубл. 22.10.1988 / John R. Marihart; заявитель Pacific Micro Minerals

144. Патент на полезную модель № 171086 У1 Российская Федерация, МПК B02C 13/00. Дисмембратор : № 2016140611 : заявл. 14.10.2016 : опубл. 19.05.2017 / Н. Т. Сорокин, М. А. Гайбарян, В. И. Сидоркин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации и информатизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства (ФГБНУ ВНИМС).

145. Патент на полезную модель № 199456 У1 Российская Федерация, МПК B02C 13/00. Роторно-шаровой дезинтегратор тонкого помола: №

2020111491: заявл. 19.03.2020: опубл. 02.09.2020 / В. И. Сидоркин, Н. Н. Новиков, М. А. Гайбарян [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агротехнологический центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

146. Патент на полезную модель № 213790 У1 Российская Федерация, МПК A01C 7/20. Сошник: № 2022115755: заявл. 09.06.2022: опубл. 29.09.2022 / Н. В. Липатов, В. С. Тетерин, М. Ю. Костенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN EFGYQU.

147. Перминова И.В. Гуминовые вещества - вызов химикам XXI века // Химия и жизнь. – 2008. – №1. – С. 50-55.

148. Перспективные технические решения для внесения удобрений при возделывании картофеля [Текст]: монография / В.С. Тетерин, Н.В. Липатов, М.Ю. Костенко, Н.С. Панферов, А.В. Сибирёв, А.В. Шемякин, С.Н. Борычев, Г.К. Ремболович, И.А. Успенский, А.С. Терентьев // ФГБОУ ВО РГАТУ; ФГБНУ ФНАЦ ВИМ - 2024. – 165 с., ил. 73, список лит. 108 наим. ISBN 978-5-98660-380-3

149. Перспективы использования электроаэрозольного метода для осуществления внекорневого удобрения растений / П. Л. Лекомцев, Е. В. Дресвянникова, А. М. Ниязов, Л. Н. Прокопьев // Современные энергетические аспекты развития аграрной сферы: Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной Дню энергетика, Ижевск, 22 декабря 2023 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2023. – С. 81-88.

150. Петрухин, А. С. Продуктивность картофеля при применении биогумуса и регулятора роста в условиях южной части Нечерноземной зоны РФ: специальность 06.01.01 "Общее земледелие, растениеводство": диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Петрухин Александр Сергеевич, 2017. – 168 с.

151. Плодородие почвы и продуктивность картофеля на основе сидератов, минеральных удобрений и биологически активных препаратов / Н. А. Тимошина, Е. В. Князева, Л. С. Федотова, С. В. Жевора // Плодородие. – 2023. – № 2(131). – С. 8-13. – DOI 10.25680/S19948603.2023.131.02. – EDN PMGOPT.

152. Плодородие почвы и урожайность картофеля на основе научно обоснованной системы применения мелиорантов и удобрений / С. В. Жевора, Л. С. Федотова, Н. И. Аканова [и др.] // Плодородие. – 2022. – № 6(129). – С. 55-59. – DOI 10.25680/S19948603.2022.129.15. – EDN NMSSSH.

153. Поваров А. И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках //Недра. – 1978. – Т. 232.

154. Повышение эффективности использования картофелекопателя с автоматической системой в переменных условиях почвы / П. И. Гаджиев, М. М. Махмутов, Г. Г. Рамазанова, И. П. Гаджиев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 2(55). – С. 51-58. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-2-51-58.

155. Показатели качества опрыскивания полевыми штанговыми наземными машинами / Т. П. Кот, И. С. Крук, О. В. Гордеенко, С. В. Сорока // Механизация и электрификация сельского хозяйства : Межведомственный тематический сборник. Том 50. – Минск: Республикаансое унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2016. – С. 233-239.

156. Полиенко Е.А., Безуглова О.С., Патрикеев Е.С. и др. Влияние гуминовых веществ на динамику элементов питания при сочетании с системами защиты нута // Агрохимический вестник. – 2020. – № 5. – С. 52-57.

157. Порываева О.В., Касимова Л.В., Терещенко Н.Н. Влияние нового микробного инокулята на агрохимические свойства, состав органического вещества и биологическую активность торфа // Торф в сельском хозяйстве: Сб. науч. тр. - Томск. - 2002. - С. 66-77

158. Порываева О.В., Терещенко Н.Н. Биоудобрение на основе микробиологически обработанного торфа //Тр. регион. науч. - практ. конф. - Томск. - 1994. - С. 32-34.

159. Применение и развитие машинных технологий производства картофеля / Н. Н. Колчин, В. Н. Зернов, С. Н. Петухов [и др.] // Картофелеводство : Материалы научно-практической конференции, Москва, 01–03 августа 2017 года / Под редакцией С.В. Жеворы. – Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха", 2017. – С. 89-97.

160. Применение удобрений при биологизации картофелеводства / С. В. Жевора, Л. С. Федотова, Н. А. Тимошина, Е. В. Князева // Плодородие. – 2021. – № 1(118). – С. 50-53. – DOI 10.25680/S19948603.2021.118.14. – EDN CPIXZV.

161. Прогнозирование уровня биологических рисков возникновения и распространения инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля / А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов, В. С. Тетерин [и др.] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 2. – С. 89-95. – DOI 10.31857/S2500208224020189.

162. Программа по расчету доз микроудобрений / В. С. Никитин, С. А. Белых, Д. А. Благов, С. В. Митрофанов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 2(38). – С. 36-41.

163. Продуктивность посевов озимой пшеницы при использовании регуляторов роста Агростимул, Мивал-Агро и удобрения на основе гуминовых кислот Гуми-30 в технологии её возделывания / В. Б. Щукин, А. О. Мишустин, Н. В. Ильясова, О. А. Кузякина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2(76). – С. 61-64.

164. Промтов, М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Вестник ТГТУ.– 2008. – Т. 14, № 4. – С. 861-869.

165. Пронько Н. А., Шушков Ю. С., Степанченко Д. А. Применение удобрений на основе гуминовых кислот при выращивании овощей в Саратовском Заволжье //Плодородие. – 2015. – №. 4 (85). – С. 42-45.

166. Разработка гидродинамического ударно-вибрационного диссембратора мокрого сверхтонкого помола / М. А. Гайбарян, В. И. Сидоркин, Н. Н. Новиков [и др.] // Международный научный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 3. – С. 74-81.

167. Разработка и обоснование конструктивных и режимных параметров картофелесажалки / М. Н. Калимулин, Р. Р. Багаутдинов, Р. Р. Хамитов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 1(65). – С. 62-66. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-62-66. – EDN QCBCXV.

168. Разработка и обоснование параметров рабочих органов самозагружающейся машины для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений / К. П. Андреев, Н. В. Бышов, С. Н. Борычев [и др.]. – Курск : Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2018. – 149 с. – ISBN 978-5-907049-76-5.

169. Разработка шнекового дозирующего устройства твердых минеральных удобрений / М. Ю. Костенко, И. А. Успенский, И. А. Юхин [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 5(311). – С. 16-21. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-16-20. – EDN YQUMVR.

170. Резервы картофельного поля / В. Н. Зейрук, С. В. Васильева, С. В. Жевора [и др.] // Защита и карантин растений. – 2023. – № 1. – С. 23-26. – DOI 10.47528/1026-8634\_2023\_1\_23. – EDN ODQRLP.

171. Результаты лабораторно-полевых исследований сепарирующей системы машины для уборки картофеля / Я. П. Лобачевский, А. С. Дорохов, А. В. Сибирев [и др.] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 6. – С. 108-112. – DOI 10.31857/S2500208224060239.

172. Роганов В.Р., Касимова Л.В., Тельянова А.В., Елисеева И.В. Исследование способов извлечения из низинного торфа гуминовых

препаратов // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 6. - С.1411-1411.

173. Сапега, В. А. Урожайность, параметры адаптивности сортов картофеля и их корреляционная зависимость / В. А. Сапега // Аграрная Россия. – 2016. – № 3. – С. 21-24.

174. Саранин Е.К. Принципы биологизации земледелия Нечерноземья России // Химия в сельском хозяйстве. – 1997. – №1. – С. 6-7.

175. Сафин, Р. И. Оценка влияния органоминеральных удобрений на формирование урожая картофеля / Р. И. Сафин, Н. А. Медведев // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. – 2023. – № 4(8). – С. 48-52. – DOI 10.12737/2782-490X-2024-48-52.

176. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019618100 Российская Федерация. Интегрированный программный комплекс по управлению лабораторными средствами автоматизации: № 2019617196: заявл. 17.06.2019 : опубл. 26.06.2019 / Н. С. Панферов, С. В. Митрофанов, Е. В. Пестряков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

177. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021610948 Российская Федерация. Программа по определению равномерного распределения минеральных удобрений и их гранулометрического состава : № 2020666794 : заявл. 16.12.2020 : опубл. 20.01.2021 / В. С. Тетерин, М. Ю. Костенко, Н. М. Костенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

178. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022665285 Российская Федерация. Программа управления системой дозирования твердых минеральных удобрений : № 2022664284 : заявл. 01.08.2022 : опубл. 12.08.2022 / А. С. Дорохов, А. Г. Аксенов, А. Ю. Овчинников [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное

научное учреждение «Федеральный научный агронженерный центр ВИМ». – EDN WPPXPO.

179. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025686849 Российская Федерация. Интеллектуальный программный комплекс для анализа и прогнозирования характеристик органоминеральных удобрений : № 2025686849 : заявл. 25.09.2025 : опубл. 06.10.2025 / А. С. Дорохов, В.С. Тетерин, А.В. Сибирёв, [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агронженерный центр ВИМ».

180. Селекционная ценность сортов картофеля в Сибири / Ю. П. Логинов, А. С. Иваненко, Е. Н. Заровнятных [и др.] // Вестник ИрГСХА. – 2012. – № 52. – С. 7-15.

181. Смирнов, Ю. В. Механизм действия и функции гуминовых препаратов / Ю. В. Смирнов, В. С. Виноградова // Агрохимический вестник. - 2004. -№1 - С. 22-23.

182. Снижение экологических рисков применения мобильных энергонасыщенных агрегатов при возделывании семенного картофеля с учетом закономерности тепло и влагопереноса внутри корнеобитаемого слоя почвы / А. Б. Калинин, И. З. Теплинский, В. А. Ружьев [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 5. – С. 132-139. – DOI 10.28983/asj.y2023i5pp132-139. – EDN UZPEWP.

183. Совершенствование картофелеуборочной техники / О. А. Тетерина, В. С. Тетерин, Н. С. Панферов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 182. – С. 132-141. – DOI 10.21515/1990-4665-182-012.

184. Совершенствование рабочих органов машин и орудий для обработки почвы на основе реологической модели почвенного состояния / В. А. Ружьев, А. Б. Калинин, И. З. Теплинский [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 11. – С. 163-174. – DOI 10.28983/asj.y2024i11pp163-174.

185. Современный взгляд на производство картофеля / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, А. А. Симлянкин [и др.] // Политеатический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 128. – С. 146-153. – DOI 10.21515/1990-4665-128-008.
186. Содержание фитогормонов и рост побегов у пшеницы (*Triticum durum* Desf.) под влиянием гуматов натрия в составе гранулированных органоминеральных удобрений / А. М. Назаров, И. Н. Гараньков, И. О. Туктарова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – Т. 55, № 5. – С. 945-955. – DOI 10.15389/agrobiology.2020.5.945rus.
187. Создание устойчивой среды при выращивании картофеля / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина, В. А. Чайка // Агроинженерия. – 2020. – № 5(99). – С. 15-20. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-5-15-20.
188. Соколов Г. А., Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В., Цвирко Л. Ю. Влияние гидродинамической кавитации на выход гуминовых веществ из торфа // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. науок. - 2010. - № 4. - С. 112-117.
189. Сорокин, К. Н. Анализ работы и совершенствование технологических линий по производству органических удобрений / К. Н. Сорокин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 2. – С. 67-76. – DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-67-76.
190. Сорокин, К. Н. Методология синтеза технологических линий для производства органоминеральных удобрений из торфа и бурых углей: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Сорокин Константин Николаевич. – Москва, 2023. – 451 с.
191. Сорокин, К. Н. Новые технологии в производстве комплексных органо-минеральных удобрений / К. Н. Сорокин, В. С. Никитин, С. А. Белых // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 9. – С. 12-15.
192. Способ получения гуминового удобрения: пат. 107536 Украина: МПК (2006.01) C05F 11/02, B02C 19/18 / Ризун А.Р, Денисюк Т.Д.,

Домерщикова А.О.; заявитель и патентообладатель Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины - № u201512641; заявл. 21.12.15; опубл. 10.06.16, Бюл. № 11.

193. Способ производства комплексных органоминеральных удобрений и технологическая линия для его осуществления / В. С. Тетерин, Н. Н. Гапеева, С. В. Митрофанов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 4(44). – С. 114-119. – DOI 10.36508/RSATU.2019.50.20.020.

194. Стариц, Д.Э. Как рассчитать эффективность инвестиций [Текст] / Д.Э. Стариц. – М.: Финстатинформ, 1996. – 92 с.

195. Старовойтов, В. И. Влияние предпосадочной обработки почвы на урожайность картофеля / В. И. Старовойтов, Х. Н. Насибов, О. А. Старовойтова // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агронженерный университет имени В.П. Горячкina". – 2012. – № 2(53). – С. 47-50.

196. Старовойтов, В. И. Влияние сочетания высокоточного внесения минеральных удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество клубней картофеля / В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А. Манохина // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агронженерный университет имени В.П. Горячкina". – 2014. – № 2(62). – С. 38-41.

197. Старовойтова, О. А. Влияние органического гранулированного удобрения и росторегуляторов на качество клубней картофеля / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2018. – № 2(23). – С. 15-20.

198. Степченко Л.М., Ефимов В.Г., Лосева Е.А., Скорик М.В. Использование гуминовых препаратов при получении биопродукции // Тр. IV

междунар. конф. «Гуминовые вещества в биосфере». - СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. - С. 520-527

199. Танаков, Н. Т. Рост и развитие раннего картофеля в зависимости от срока посадки в условиях Юга Кыргызстана / Н. Т. Танаков, М. У. Карымшакова // Наука и новые технологии. – 2014. – № 4. – С. 208-211.

200. Теоретические и экспериментальные исследования комплексов машин для уборки и послеуборочной обработки клубней картофеля с применением оптической системы сортирования / А. С. Дорохов, Н. В. Сазонов, А. В. Сибирев [и др.]. – Москва : Цифровичок, 2023. – 143 с. – ISBN 978-5-91587-272-0.

201. Теоретическое исследование процесса разрушения измельчаемого материала в гидродинамическом ударно-вибрационном дисембраторе мокрого сверхтонкого помола / М. А. Гайбаян, В. С. Тетерин, Н. Н. Гапеева [и др.] // Техническое обеспечение сельского хозяйства. – 2019. – № 1(1). – С. 25-32.

202. Теория распыливания жидкости форсунками / Б. Л. Иванов, Б. Г. Зиганшин, Р. Ф. Шарафеев, И. Р. Сагбиев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14, № 2(53). – С. 95-99. – DOI 10.12737/article\_5d3e174f90fe69.76703992.

203. Терентьева, Е. В. Получение мини-клубней картофеля аэропонным способом / Е. В. Терентьева, О. В. Ткаченко // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 4. – С. 61-72. – DOI 10.26897/0021-342X-2018-4-61-72.

204. Тетерин, В. С. Инновационная технология производства органоминеральных удобрений из различных видов органического сырья / В. С. Тетерин, Н. Н. Гапеева, М. А. Гайбаян // Техническое обеспечение сельского хозяйства. – 2019. – № 1(1). – С. 104-109.

205. Тетерин, В. С. Машина для аэрозольной обработки пропашных культур / В. С. Тетерин, Н. Н. Гапеева // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 7(277). – С. 22-25. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-7-22-24.

206. Тетерин, В. С. Разработка системы автоматизированного управления технологическими процессами при производстве гуминовых удобрений / В. С. Тетерин, Н. С. Панферов, Е. В. Пестряков // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 10(304). – С. 35-39. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-10-35-39.

207. Тетерин, В. С. Разработка системы контроля и оптимизации технологического процесса производства гуминовых препаратов / В. С. Тетерин, Н. С. Панферов, А. Ю. Овчинников // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 10. – С. 111-115. – DOI 10.28983/asj.y2022i10pp111-115.

208. Тетерин, В. С. Способ аэрозольной обработки пропашных культур / В. С. Тетерин, Н. Н. Гапеева, Н. С. Панферов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1(45). – С. 100-107. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.018.

209. Тетерин, В. С. Эффективность предпосадочной обработки семян картофеля гуминовыми препаратами / В. С. Тетерин // Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства : Материалы 52-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, посвященной 200-летию со дня рождения профессора Ярослава Альбертовича Линовского, Москва, 24–25 октября 2018 года / Под редакцией В.Г. Сычева. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. – С. 189-191.

210. Тетерина, О. А. Обоснование параметров устройства предпосевной обработки семян горячим туманом гуматов : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тетерина Ольга Анатольевна, 2019. – 138 с.

211. Тетерина, О. А. Совершенствование машин для внесения минеральных удобрений / О. А. Тетерина, Н. А. Костенко // Юность и Знания

- Гарантия Успеха - 2017: Сборник научных трудов 4-й Международной молодежной научной конференции. В 2-х томах, Курск, 27–28 сентября 2017 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2017. – С. 202-205.

212. Тетерина, О. А. Технологии использования гуминовых препаратов при возделывании сельскохозяйственных культур / О. А. Тетерина, В. С. Тетерин // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке : Материалы XXVII Международной научно-производственной конференции, Майский, 12 апреля 2023 года. Том 4. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 84-85. – EDN XERKKJ.

213. Технологии внесения удобрений и применения средств защиты при возделывании картофеля / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, Н. П. Мишурев [и др.]. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2020. – 84 с. – ISBN 978-5-7367-1559-6.

214. Технологии и машины для производства картофеля / И.Н. Гаспарян, А.Г. Левшин, И.Г. Голубев, С.В. Щиголев, Ш.В. Гаспарян // Картофель и овощи. 2021. №9. С. 3-8. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.65.12.001>

215. Тиранова, Л.В. Лигногумат на картофеле / Л.В. Тиранова, А.Б. Тиранов, А.В. Григорьев // Картофель и овощи. - 2014. - №11. - С. 31-33.

216. Трапезников, В.К. Локальное питание растений / В.К. Трапензников, И.И. Иванов, Н.Г. Тальвинская – Уфа: Гилем, 1999. – 260 с.

217. Ульянов, В. М. Технология и обезвоживатель картофельной мезги на корм скоту : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ульянов Вячеслав Михайлович. – Рязань, 1990. – 21 с. – EDN ZLPDWN.

218. Умбеталиев, Н. А. Обоснование параметров рабочих органов чизельного культиватора / Н. А. Умбеталиев, Ж. И. Даuletова, Э. А.

Жатканбаева // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – № 11-5(67). – С. 49-53.

219. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Соснов В.С. Управление фертигацией в овощеводстве // Картофель и овощи. 2022. №11. С. 14-18. <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.71.18.002>

220. Хужаназарова Идимох Хасановна, Бурса Игорь Александрович Методика определения ставки дисконтирования для предприятий апк при планировании реализации инвестиционных проектов // Научный журнал КубГАУ. 2023. №189.

221. Чеботарь В.К., Завалин А.А., Ариткин А.Г. Применение биомодифицированных минеральных удобрений: [моногр.]. – М.:ВНИИИА, Ульяновск, 2014. – 142 с

222. Чердакова, А. С. Влияние различных гуминовых препаратов на кислотность серой лесной почвы, загрязненной цезием-137 / А. С. Чердакова, С. В. Гальченко // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27–28 ноября 2014 года / Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета. – Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. – С. 133-137.

223. Чистик О.В., Головатый С.Е., Поздняк С.С. Ведение сельскохозяйственного производства на землях, загрязненных радионуклидами. - Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2008. - 208 с.

224. Шабанов, А. Э. Агротехнологический паспорт сорта картофеля Азарт / А. Э. Шабанов, А. И. Киселев, П. В. Соломенцев // Картофель и овощи. – 2022. – № 1. – С. 23-26. – DOI 10.25630/PAV.2022.12.98.002. – EDN EUNWCQ.

225. Шабанов, А. Э. Агротехнологический паспорт сорта картофеля Сигнал / А. Э. Шабанов, А. И. Киселев // Картофель и овощи. – 2021. – № 4. – С. 33-36. – DOI 10.25630/PAV.2021.85.10.005. – EDN CWCFHR.
226. Шарипбай, А.А. Нейронные сети. Учебник. Астана: ТОО «Мастер ПО», 2018. 398 с.
227. Шпилько, А.В. Экономическая эффективность механизации сельскохозяйственного производства [Текст] / А.В. Шпилько, В.И. Драгайцев, Н.М. Морозов // М.: РАСХН, 2001. – 346 с.
228. Эффективность нанобиопрепаратов на основе микроэлементов в защите картофеля от болезней / В. Н. Зейрук, М. К. Деревягина, С. В. Васильева [и др.] // Агрохимический вестник. – 2025. – № S5. – С. 43-46. – DOI 10.24412/1029-2551-2025-5-012s. – EDN CVEWQO.
229. Эффективность применения листовых подкормок водорастворимыми удобрениями линейки Aqualis на картофеле / Т. В. Гребенникова, М. М. Визирская, С. В. Жевора [и др.] // Картофель и овощи. – 2023. – № 3. – С. 36-40. – DOI 10.25630/PAV.2023.78.61.006. – EDN TJIKLG.
230. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект. - Л.: Машгиз, 1955. - 50 с.
231. Achari G.A. Resent developments on nanotechnology in agriculture: plant mineral nutrition, health, and interactions with soil microflora // Journal of agricultural and food chemistry. – 2018. – Vol. 66, № 33. P. 8647 – 8661.
232. Adams E., Shin R. Transport, signaling, and homeostasis of potassium and sodium in plants //Journal of integrative plant biology. – 2014. – T. 56. – №. 3. – С. 231-249.<https://doi.org/10.1111/jipb.12159>
233. Agasyeva I. et al. Entomophages of the Colorado Potato Beetle, Population Dynamics of *Perillus bioculatus* Fabr. and Its Compatibility with Biological and Chemical Insecticides //Agronomy. – 2023. – T. 13. – №. 6. – С. 1496.

234. Ahmed A. A. et al. Integrated use of farmyard manure and inorganic nitrogen fertilizer on growth, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). – 2015. – Т. 4. – С. 325–349.
235. Air-Assisted Boom Sprayers – Sprayers 101 [Электронный ресурс]. URL: <https://sprayers101.com/air-assist/> (Дата обращения 25.05.2023).
236. Andrews M., Raven J. A., Lea P. J. Do plants need nitrate? The mechanisms by which nitrogen form affects plants //Annals of applied biology. – 2013. – Т. 163. – №. 2. – С. 174-199. <https://doi.org/10.1111/aab.12045>
237. Burkhardt J. et al. Stomatal penetration by aqueous solutions—an update involving leaf surface particles //New Phytologist. – 2012. – Т. 196. – №. 3. – С. 774-787.
238. Bussan A. J. The canon of potato science: 45. Brown centre and hollow heart //Potato Research. – 2007. – Т. 50. – С. 395-398.
239. Cameron K. C., Di H. J., Moir J. L. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review //Annals of applied biology. – 2013. – Т. 162. – №. 2. – С. 145-173. <https://doi.org/10.1111/aab.12014>
240. Cavalcanti F. M., Kozonoe C. E. Application of Artificial Neural //Deep Learning Applications. – 2021. – С. 167.
241. CHEN C. T. E. H., Setter T. L. Response of potato tuber cell division and growth to shade and elevated CO<sub>2</sub> //Annals of Botany. – 2003. – Т. 91. – №. 3. – С. 373-381.
242. Chen X. L. Method for extracting high-purity humic acid from low-rank coal //Patent CN. – 2012. – Т. 102558573.
243. Corma A. et al. Application of artificial neural networks to combinatorial catalysis: Modeling and predicting ODHE catalysts //ChemPhysChem. – 2002. – Т. 3. – №. 11. – С. 939-945.
244. De Wilde T. et al. Influence of fertilization on acrylamide formation during frying of potatoes harvested in 2003 //Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2006. – Т. 54. – №. 2. – С. 404-408.

245. Dean B. B. Cultivation, fertilization, and irrigation //Managing the potato production system. Haworth Press, Inc. New York. – 1994. – C. 69-83.
246. Dick S., Fernandez-Serra M. Machine learning accurate exchange and correlation functionals of the electronic density //Nature communications. – 2020. – T. 11. – №. 1. – C. 3509.
247. Dua V. K. Nutrient management in potato production //A compendium of summer school on Advances in quality potato production and post harvest management from. – 2013. – T. 16. – C. 73-79.
248. Dudkin D. V., Zmanovskaya A. S. Formation of Humic Acids under Cavitation Impact on Peat in Aqueous Alkaline Media // Chemistry for Sustainable Development. - 2014. - Vol. 22. - P. 119-121.
249. Feficova D., Snajdr J., Siglova M., Cejkova A., Masak J., Jirku V. Influence of humic acid on the growth of the microorganisms utilizing toxic compounds (comparison between yeast and bacteria) // Chimia. - 2005. - V. 59. - P. 749-752.
250. Fomicheva N. V., Rabinovich G. Y., Smirnova Y. D. Experience in the use of BoHum humic preparation in the cultivation of vegetable crops //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – T. 848. – №. 1. – C. 012104.
251. Gavryushina I.V. Photosynthetic activity the yield and biomass of maize depending on mineral nutrition // Research journal of pharmaceutical biological and chemical sciences – 2018. – Vol. 9, № 6. P. 1696 – 1703.
252. Halterman D. et al. Biotech potatoes in the 21st century: 20 years since the first biotech potato //American journal of potato research. – 2016. – T. 93. – C. 1-20.
253. Hanc A., Boucek J., Svehla P., Dreslova M., Tlustos P. Properties of vermicompost aqueous extracts prepared under different conditions // Environmental Technology, 2017. Vol.38. P. 1428-1434

254. Hopkins B. G. Russet Burbank potato phosphorus fertilization with dicarboxylic acid copolymer additive (AVAIL®) //Journal of Plant Nutrition. – 2013.– Т.36.– №. 8. – С. 1287-1306. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.785565>
255. Hopkins B. G., Horneck D. A., MacGuidwin A. E. Improving phosphorus use efficiency through potato rhizosphere modification and extension //American Journal of Potato Research. – 2014. – Т. 91. – С. 161-174.<https://doi.org/10.1007/s12230- 014-9370-3>
256. Horneck D., Rosen C. Measuring nutrient accumulation rates of potatoes—tools for better management //Better Crops. – 2008. – Т. 92. – №. 1. – С. 4-6.
257. Humic acids of solid fossil fuels-perspectives for application in technology and environment protection / Nikitina I.M [et al.] // Eurasian Mining. 2016. (2). P. 33-36
258. Islam J. et al. Evaluation of tuber yield and marketable quality of newly developed thirty-two potato varieties grown in three different ecological zones in South Korea //Agriculture. – 2020. – Т. 10. – №. 8. – С. 327.
259. Jákli B. et al. Adequate supply of potassium improves plant water-use efficiency but not leaf water-use efficiency of spring wheat //Journal of Plant Nutrition and Soil Science. – 2016. – Т. 179. – №. 6. – С. 733-745.<https://doi.org/10.1002/jpln.201600340>
260. Jenkins P. D., Ali H. Phosphate supply and progeny tuber numbers in potato crops. – 2000. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2000.tb00007.x>
261. Joshi M. et al. Potato root system development and factors that determine its architecture //Journal of plant physiology. – 2016. – Т. 205. – С. 113-123.
262. Joshi M., Ginzberg I. Adventitious root formation in crops—Potato as an example //Physiologia Plantarum. – 2021. – Т. 172. – №. 1. – С. 124-133.
263. Karam F. et al. Influence of genotypes and potassium application rates on yield and potassium use efficiency of potato //J. Agron. – 2009. – Т. 8. – №. 1. – С. 27-32.<https://doi.org/10.3923/ja.2009.27.32>

264. Koch M. et al. Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and partitioning of photoassimilates in potato plants //Physiologia plantarum. – 2019. – T. 166. – №. 4. – C. 921-935. <https://doi.org/10.1111/ppl.12846>
265. Koch M. et al. The importance of nutrient management for potato production Part I: Plant nutrition and yield //Potato research. – 2020. – T. 63. – №. 1. – C. 97-119. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2>
266. Kumar P. et al. Influence of source and time of potassium application on potato growth, yield, economics and crisp quality //Potato Research. – 2007. – T. 50. – C. 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11540-007-9023-8>
267. Kutlu I., Gulmezoglu N. Morpho-agronomic characters of oat growing with humic acid and zinc application in different sowing times //Plant science today. – 2020. – T. 7. – №. 4. – C. 594–600-594–600.
268. Lang N. S. et al. Potato nutrient management for central Washington. – 1999.
269. Liangliang WEI., Kun WANG, Xiangjuan KONG, Guangyi LIU, Shuang CUI, Qingliang ZHAO, Fuyi CUI Application of ultra-sonication, acid precipitation and membrane filtration for co-recovery of protein and humic acid from sewage sludge // Front. Environ. Sci. Eng. Higher Education Press and Springer-Verlag Berlin. - Heidelberg. - 2014. - P. 1-9.
270. Liu H. Science and Engineering of Droplets - Fundamentals and Applications. - William Andrew Publishing: Noyes, 2000. - 508 p. 13. 118.
271. Mak J., Chen Y., Sadek M. A. Determining parameters of a discrete element model for soil–tool interaction //Soil and Tillage Research. – 2012. – T. 118. – C. 117-122.
272. Marschner H. (ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. – Academic press, 2011.
273. Mathematical models and soil fertility management software / S. Mitrofanov, N. Novikov, V. Nikitin, S. Belykh // E3S Web of Conferences : 8,

Rostovon-Don, 19–30 августа 2020 года. – Rostovon-Don, 2020. – P. 04008. – DOI 10.1051/e3sconf/202021004008.

274. Mbuyisa S., Bertling I., Ngcobo B. L. Impact of Foliar-Applied Plant Extracts on Growth, Physiological and Yield Attributes of the Potato (*Solanum tuberosum* L.) //Agronomy. – 2023. – T. 14. – №. 1. – C. 38.
275. Naumann M. et al. The importance of nutrient management for potato production part II: Plant nutrition and tuber quality //Potato Research. – 2020. – T. 63. – C. 121-137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>
276. Niederl S. et al. Co-Permeability of <sup>3</sup>H-Labeled Water and <sup>14</sup>C-Labeled Organic Acids across Isolated Plant Cuticles: Investigating Cuticular Paths of Diffusion and Predicting Cuticular Transpiration //Plant Physiology. – 1998. – T. 116. – №. 1. – C. 117-123.
277. Niedziński T. et al. Does the Deep Placement of Fertilizers Increase Potato Yields, Fertilization Efficiency and Reduce N<sub>2</sub>O Emissions from the Soil? //Agriculture. – 2024. – T. 14. – №. 3. – C. 368.
278. Obermayr M. et al. Prediction of draft forces in cohesionless soil with the Discrete Element Method //Journal of Terramechanics. – 2011. – T. 48. – №. 5. – C. 347-358.
279. Radwan E. A., El-Shall Z. S. A., Ali R. A. M. Effect of potassium fertilization and humic acid application on plant growth and productivity of potato plants under clay soil //Journal of Plant Production. – 2011. – T. 2. – №. 7. – C. 877-890.
280. Rosen C. J. et al. Optimizing phosphorus fertilizer management in potato production //American Journal of Potato Research. – 2014. – T. 91. – C. 145-160. <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9371-2>
281. Rusch H. P. Bodenfruchtbarkeit: eine Studie biologischen Denkes / Xanten: Organischer Landbau Verl., 2004. – 256 S.
282. Sarlaki E. et al. Extraction and purification of humic acids from lignite wastes using alkaline treatment and membrane ultrafiltration //Journal of Cleaner Production. – 2019. – T. 235. – C. 712-723.

283. Shabala S., Pottosin I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance //Physiologia plantarum. – 2014. – Т. 151. – №. 3. – С. 257-279. <https://doi.org/10.1111/ppl.12165>
284. Simard, R.R. Application of Precision Farming to Potato Production in Québec / R.R. Simard, M.C. Nolin, A.N. Cambouris // Better Crops. – 1998. – № 2. – 22-24 pp.
285. Srivastava K. C., Walia D. S. Biological production of humic acid and clean fuels from coal : пат. 5854032 СИІА. – 1998.
286. Stark J. C., Westermann D. T., Hopkins B. Nutrient management guidelines for Russet Burbank potatoes. – Moscow, ID : University of Idaho, College of Agricultural and Life Sciences, 2004.
287. Study of the Operation of a Vortex Pneumatic Sprayer for Disinfectant Liquids / B. L. Ivanov, B. G. Ziganshin, I. Kh. Gayfullin [et al.] // Russian Agricultural Sciences. – 2024. – Vol. 50, No. 6. – P. 803-807. – DOI 10.3103/S1068367425700193.
288. Teterin V. et al. Technology for Production of Humic Preparations //International Scientific Conference Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. – С. 263-273.
289. Tindall T., Westermann D. T. Potassium fertility management of potatoes //Proc. Univ. Idaho Winter Commodity Schools. – 1994. – Т. 26. – С. 239-242.
290. Ucgul M., Saunders C., Fielke J. M. A Method of quantifying discrete element method simulations of top soil burial from a mouldboard plough //2016 ASABE Annual International Meeting. – American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2016. – С. 1.
291. Valeh-e-Sheyda P. et al. Application of artificial neural networks for estimation of the reaction rate in methanol dehydration //Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2010. – Т. 49. – №. 10. – С. 4620-4626.

292. Verma A. K. Process modelling and simulation in chemical, biochemical and environmental engineering. – CRC Press, 2014.
293. Villordon A. Q., Ginzberg I., Firon N. Root architecture and root and tuber crop productivity //Trends in plant science. – 2014. – T. 19. – №. 7. – C. 419-425.
294. Vos J. Nitrogen responses and nitrogen management in potato //Potato research. – 2009. – T. 52. – C. 305-317. <https://doi.org/10.1007/s11540-009-9145-2>
295. Westermann D. T., Tindall T. A. Managing potassium in potato production systems of Idaho //Proceedings of the Winter Commodity Schools. – 1995. – T. 27. – C. 201-207.
296. Wraight S. P., Ramos M. E. Application parameters affecting field efficacy of Beauveria bassiana foliar treatments against Colorado potato beetle Leptinotarsa decemlineata //Biological Control. – 2002. – T. 23. – №. 2. – C. 164-178.
297. Yusuf F., Olayiwola T., Afagwu C. Application of Artificial Intelligence-based predictive methods in Ionic liquid studies: A review //Fluid Phase Equilibria. – 2021. – T. 531. – C. 112898.
298. Zara M. et al. Extraction and characterization of humic acid from Pakistani lignite coals //Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2017. – T. 39. – №. 11. – C. 1159-1166.
299. Zhang Z. et al. Real-time optimization and control of nonlinear processes using machine learning //Mathematics. – 2019. – T. 7. – №. 10. – C. 890.
300. Zorn W. et al. Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. – Springer-Verlag, 2016.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Растениепитатель Blu-Jet AT 3015



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	США
Ширины захвата, м	6 – 13
Количество рядов, шт	9;11;13;15;17;21;29
Расстояние между рядами, мм	380 – 700
Объём бака для препаратов, л	3880
Глубина заделки, см	7 – 10
Норма внесения, л/га	100 – 200
Транспортная ширина, мм	4800
Длина, мм	5080
Высота, мм	4170

**Удобрительный комплекс Дончанка-М**



**Основные технические характеристики**

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Россия
Ширины захвата, м	3,6 – 5,4
Глубина заделки, см	0 – 10
Объём бака для препаратов, л	1800 - 2400
Производительность, га/ча	5,4 – 3,6
Норма внесения, л/га	300
Транспортная ширина, мм	2850
Длина, мм	12500
Высота, мм	4000

**Подкормщик ПЖУ 2000/4500**



**Основные технические характеристики**

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Россия
Ширины захвата, м	4 – 12
Глубина заделки, см	–
Объём бака для препаратов, л	2000 – 4500
Производительность, л/мин	300
Норма внесения, л/га	150 – 400
Транспортная ширина, мм	2500
Длина, мм	2000
Высота, мм	1600
Масса, кг	1500 – 1650

### Güstrower GFI 15-4



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Германия/Нидерланды
Ширины захвата, м	10,5
Глубина заделки, см	12 – 25
Объём бака для препаратов, л	8000 – 15000
Количество инжекторов, шт	15
Производительность, л/мин	800
Норма внесения, л/га	50-3000
Расстояние между точками инъекции, см	13
Транспортная ширина, мм	3000
Длина, мм	11000
Высота, мм	3500

### Культиватор-инжектор Dalton Stealth



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	США
Ширины захвата, м	10,7 – 18,3
Глубина заделки, см	до 20
Объём бака для препаратов, л	4500 – 9000
Количество инжекторов, шт	25
Производительность, га/час	10 – 15
Норма внесения, л/га	100 – 1000
Транспортная ширина, мм	3000 – 3300
Длина, мм	8500 – 9500
Высота, мм	2500 – 3000

**Культиватор Колнаг КЛ – 4,2-00**



**Основные технические характеристики**

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Россия
Ширины захвата, м	4,2
Глубина заделки, см	6 – 12
Объём бака для препаратов, л	600
Количество обрабатываемых рядов, шт	6
Производительность, га/час	2,5
Норма внесения, л/га	300 – 1000
Ширина, мм	4500
Длина, мм	1950
Высота, мм	1650

**Пропашной культиватор Агрифлекс КРН-5,6/70-Ж**



**Основные технические характеристики**

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Россия
Ширины захвата, м	2,8 – 11
Ширина междурядий, см	45 – 70
Объём бака для препаратов, л	600
Производительность, га/час	2 – 17
Норма внесения, л/га	50 – 200
Ширина, мм	6200
Длина, мм	3500
Высота, мм	1600

**Культиватор-глубокорыхлитель Cenius TX с бункером XTender**



**Основные технические характеристики**

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Германия
Ширины захвата, м	4 – 8
Глубина заделки, см	5 – 30
Расстояние между рядами, см	75 – 90
Объём бункера, л	3000
Производительность, га/час	5 – 7
Норма внесения, кг/га	50 – 800
Ширина, мм	3000
Длина, мм	10500
Высота, мм	3250

**Культиватор Farmet Fertis 4,5 с бункером для внесения удобрений**



**Основные технические характеристики**

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Чехия
Ширины захвата, м	4,5
Глубина заделки, см	10 – 35
Расстояние между рядами, см	100
Объём бункера, л	2000
Производительность, га/час	2 – 4,5
Норма внесения, кг/га	0 – 25
Ширина, мм	4500
Длина, мм	3000
Высота, мм	2800

### Культиватор Bednar Strip Master EN с бункером Ferti-box fb f dual



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Чехия
Ширины захвата, м	4,5 – 6
Глубина заделки, см	до 35
Расстояние между рядами, см	45
Объём бункера, л	1900 – 5000
Производительность, га/час	3 – 5
Норма внесения, кг/га	20 – 500
Ширина, мм	6000
Длина, мм	8500
Высота, мм	3500

**Культиватор окучник навесной КОН-2,8**



**Основные технические характеристики**

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Россия
Ширины захвата, м	2,8
Глубина заделки, см	до 16
Расстояние между ряддий, см	70 – 75
Объём бункера, л	40
Производительность, га/час	1,7 – 2,2
Норма внесения, кг/га	30 – 700
Ширина, мм	2800
Длина, мм	2450
Высота, мм	1620

### Культиватор подкормщик Mascio Gaspardo HL 4 70



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Италия
Ширины захвата, м	4
Глубина заделки, см	10 – 12
Расстояние между рядами, см	70 – 75
Объём бункера, л	160
Производительность, га/час	2,5 – 3
Норма внесения, кг/га	50 – 400
Ширина, мм	4300
Длина, мм	4500
Высота, мм	1600

### Культиватор Orthman 1tRIPr



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	США
Ширины захвата, м	6,1
Глубина заделки, см	до 16
Расстояние между рядами, см	70
Объём бункера для твердых минеральных удобрений, л	12000
Объём бункера для жидких удобрений, л	10000
Производительность, га/час	6
Норма внесения, кг/га	100 – 4000
Ширина, мм	6530
Длина, мм	9450
Высота, мм	3700

### Культиватор Kuhn-Krause Gladiator



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Франция
Ширины захвата, м	3 – 12
Глубина заделки, см	12,7 – 28
Расстояние между рядами, см	3,8
Объём бункера для твердых минеральных удобрений, т	6, 9
Объём бункера для жидких удобрений, л	4500
Производительность, га/час	6 – 10
Норма внесения, кг/га	50 – 500
Транспортная ширина, мм	6725
Длина, мм	7000
Высота, мм	3760

**Навесной штанговый опрыскиватель Gaspardo TEMPO ULTRA ISOTRONIC**



**Основные технические характеристики**

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Италия
Ширины захвата, м	21 – 28
Объём бака, л	1600 - 2000
Ёмкость бака для промывания, л	300
Производительность, л/мин	197 – 277
Тип системы опрыскивания	электрогидравлическая
Особенности	Система управления Touch 800 + Isotronic
Транспортная ширина, м	2,4
Длина, м	-
Высота, м	1,5

Опрыскиватели Amazone серии UF, UG и UX



Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение	Значение
Серия	UF	UG и UX
Страна производитель	Германия	Германия
Ширины захвата, м	12 – 24	15 – 42
Объём бака, л	900 – 2000	2200 – 12000
Ёмкость бака для промывания, л	55	550
Производительность, л/мин	160 – 250	250 – 420
Тип системы опрыскивания	DUS pro	DUS pro и AmaSpot
Особенности	штангами Q-Plus, Super-S1 и Super-S2	система сенсорных форсунок AmaSpot
Транспортная ширина, м	2,4 – 3	2,4
Длина, м	1,55 – 1,95	5,2 – 5,9
Высота, м	2,46 – 2,9	3,3

### Самоходный опрыскиватель Amazone Pantera 7004



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Германия
Ширины захвата, м	24 – 48
Объём бака, л	7000
Ёмкость бака для промывания, л	500
Производительность, л/мин	610
Тип системы опрыскивания	AmaSwitch
Особенности	система ContourControl система прямой подпитки DirectInject
Транспортная ширина, м	2,55 – 2,75
Длина, м	8,4
Высота, м	3,8

## Прицепные штанговые опрыскиватели RSM TS-6200 SPUTNIK и RSM TS-3200/4500 Satellite



### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение	Значение
Серия	RSM TS-6200 SPUTNIK	RSM TS-3200/4500 Satellite
Страна производитель	Россия	Россия
Ширины захвата, м	24 – 36	24 – 36
Объём бака, л	6200	3200 – 4500
Ёмкость бака для промывания, л	550	136
Производительность, л/мин	260 – 430	260 – 430
Тип системы опрыскивания	замкнутая система	-
Особенности	Возможность изменения ширины колеи	Возможность изменения ширины колеи
Транспортная ширина, м	2,25	2,25
Длина, м	7,5	6,65
Высота, м	3,5	3,26 – 3,5

### Самоходные опрыскиватели Регул 4000-240 и ТУМАН-4



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение	Значение
Серия	Регул 4000-240	ТУМАН-4
Страна производитель	Россия	Россия
Ширины захвата, м	22 – 36	30
Объём бака, л	4000	3000
Ёмкость бака для промывания, л	240	-
Производительность, л/мин	800	480
Тип системы опрыскивания	Веерообразное опрыскивание угол 110°	-
Особенности	блок управления Hexagon	управление высотой штанг из кабины
Транспортная ширина, м	3,9	2,78
Длина, м	9,1	2,78
Высота, м	3,9	2,8

### Опрыскиватель Hardi COMMANDER 3300I



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Дания
Ширины захвата, м	18 – 30
Объём бака, л	3300
Ёмкость бака для промывания, л	500
Производительность, л/мин	280 – 344
Тип системы опрыскивания	DynamicFluid4
Особенности	система для создания воздушной завесы TWIN FORCE
Транспортная ширина, м	3,0
Длина, м	7,3
Высота, м	3,6

### Вентиляторный опрыскиватель ОПВ-2000



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Россия
Ширины захвата, м	15
Объём бака, л	2000
Расход рабочей жидкости, л/га	500 – 1200
Производительность насоса, л/мин	170
Часовая производительность, га/ч	3 - 12
Транспортная ширина, м	2,0
Длина, м	4,5
Высота, м	1,8

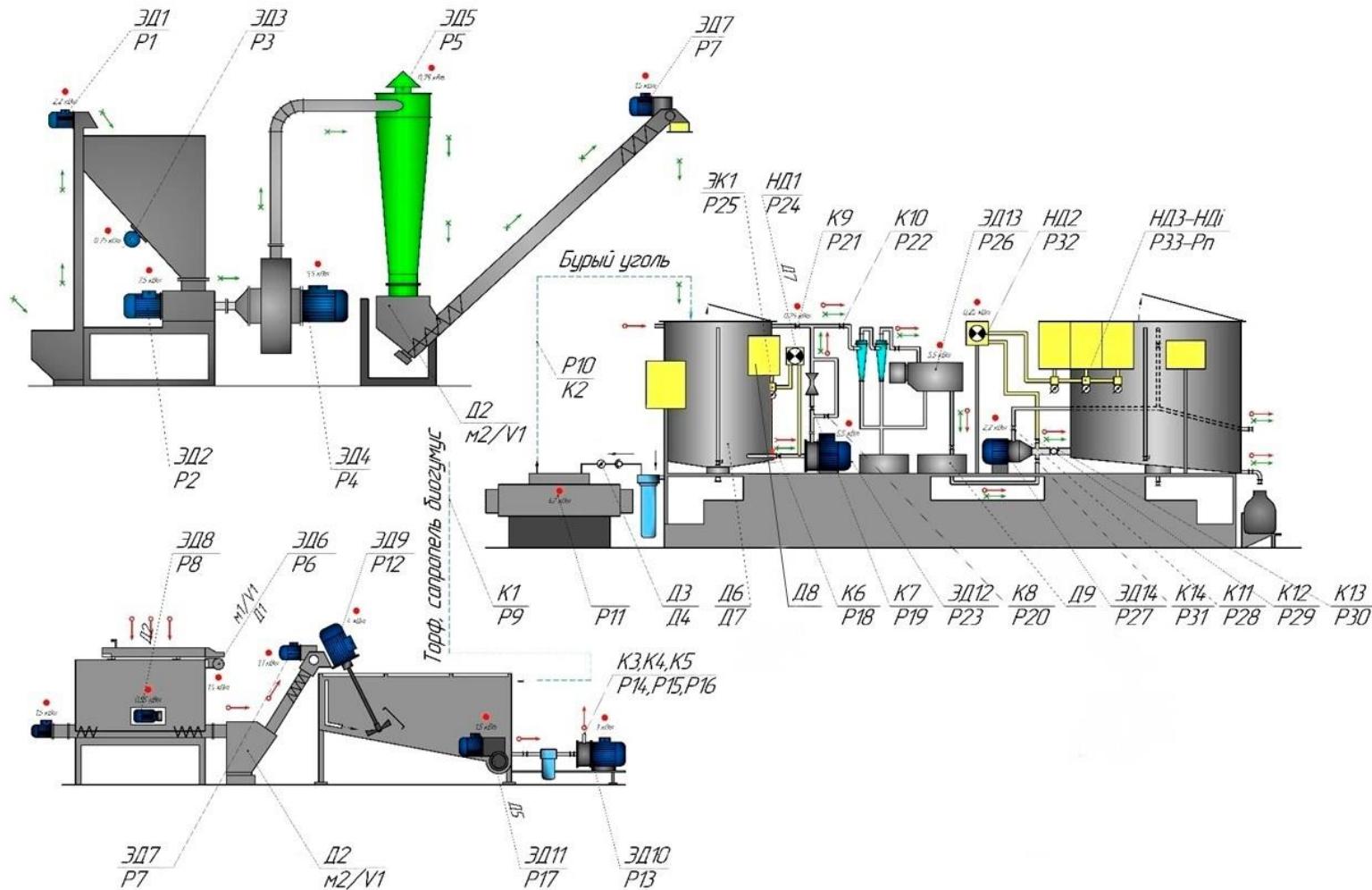
### Сверхточный опрыскиватель ARA



#### Основные технические характеристики

Технические параметры	Значение
Страна производитель	Швейцария
Ширины захвата, м	6
Объём бака, л	300
Объём бака для воды, л	600
Часовая производительность, га/ч	4
Особенности	адресная обработка каждого из сорных растений
Транспортная ширина, м	2,97
Длина, м	2,74
Высота, м	3,2

## Схема автоматизации универсальной технологической линии по подготовке органоминеральных удобрений



Продолжение приложения В

Поэтапный процесс автоматизации технологической линии по подготовке органоминеральных удобрений

Номер этапа	Узел	Действие и функция автоматизации	Датчик, контролирующее устройство	Исполнительный механизм	Описание происходящего процесса
1	2	3	4	5	6
I. Этап автоматизации технологической линии по подготовке органоминеральных удобрений					
1.	Молотковая дробилка и выгрузной шнек измельченного исходного сырья (бурый уголь)	- Включение / выключение электродвигателя транспортирующего шнека ЭД1 и электродвигателя дробилки ЭД2. - Включение / выключение электродвигателя ЭД3 площадочного вибратора	Производится вручную оператором с пульта управления или персонального компьютера (ПК)	Релейные модули Р1, Р2, Р3.	В начале технологического процесса оператор, подает питание на систему автоматизации, далее посредствам ПК или пульта управления подает сигнал на микроконтроллер о включении электродвигателей ЭД1, ЭД2 и ЭД3. Микроконтроллер, в свою очередь, подает импульсные сигналы на релейные модули Р1 запуска электродвигателя ЭД1 транспортирующего шнека и Р2 на запуск электродвигателя ЭД2 молотковой дробилки, а также на релейный модуль Р3 запуска электродвигателя ЭД3 площадочного вибратора
1.1	Вентилятор высокого давления и циклон (бурый уголь)	- Включение / выключение электродвигателя вентилятора высокого давления ЭД4 - Включение / выключение электродвигателя циклона ЭД5		Релейные модули Р4 и Р5	Одновременно с запуском транспортера и молотковой дробилки происходит автоматический запуск приводов вентилятора высокого давления и циклона ЭД4 и ЭД5 соответственно, посредствам передачи импульсного сигнала с микроконтроллера на релейные модули Р4 и Р5.

Продолжение приложения В

1	2	3	4	5	6
2.	Вибросито (торф, биогумус и сапропель)	-Включение/выключение электродвигателя вибросита ЭД6 в зависимости от нахождения/отсутствия на нем непросеянного исходного сырья	Весовой датчик Д1	Релейный модуль Р6	С попаданием массы $m$ измельченного (предварительно подготовленного) сырья на вибросито сигнал от весового датчика Д1 поступает на микроконтроллер, который в свою очередь посыпает импульсный сигнал на релейный модуль Р6, подающий питание на электродвигатель ЭД6 вибросита. Как только весовой датчик Д1 зарегистрировал массу меньшую $m_1$ на полотне вибросита, микроконтроллер подает импульсный сигнал на релейный модуль Р6 и происходит остановка электродвигателя ЭД6.
3.	Бункер накопитель (все виды сырья)	- Отключение предыдущих узлов от работы (п 1, 2) по достижению значения $m_2$ массы /объема $V_1$ в бункере накопителе.	Весовой датчик /датчик объема Д2	Релейные модули Р1- Р6	Просеянное от крупных примесей сырье поступает в бункер накопитель, при этом процесс продолжается пока на микроконтроллер не подается сигнал от весового/объемного датчика Д2 о достижении запрограммированной массы $m_2$ или объема $V_1$ . После этого микроконтроллер подает импульсные сигналы на релейные модули Р1-Р6 тем самым отключая электродвигатели ЭД1 - ЭД6
4.	Выгрузной транспортиро- вочный шнек измельченного подготовленно го сырья (Все виды сырья)	-Включение/выключение электродвигателя ЭД7 выгрузного шнека -Включение/выключение электродвигателя ЭД8 площадочного вибратора	Весовой датчик /датчик объема Д2	Релейный модуль Р7 Релейный модуль Р8	После подачи сигнала от датчика Д2 на релейные модули Р1-Р6 импульсный сигнал подается от микроконтроллера на релейный модуль Р7, тем самым включая электродвигатель ЭД7 выгрузного шнека просеянного (измельченного) сырья, который транспортирует сырье в узел гидроочистки (торф, сапропель, биогумус) или реактор (бурый уголь). Одновременно с ЭД7 запускается электродвигатель ЭД8 площадочного вибратора посредствам подачи сигнала на релейный модуль Р8.

Продолжение приложения В

1	2	3	4	5	6
5.	Проточный водонагреватель	- Включение /выключение проточного водонагревателя; - Подача определенного объема подогретой до 70-80° С воды в узел гидроподготовки сырья; - Открытие/закрытие шаровых электромеханических кранов	Датчик расхода жидкости Д3; датчик температуры Д4.	Релейные модули Р9, Р10, Р11 Электромеханический шаровой кран К1 (Торф сапропель и биогумус), Электромеханический шаровой кран К2 (Бурый уголь)	Одновременно с процессом 4.1 происходит подача импульсного сигнала через релейный модуль Р9 на шаровой электромеханический кран К1 соединяющий проточный водонагреватель и емкость гидроподготовки сырья и релейный модуль Р11 включающий проточный водонагреватель в режим нагрева. В случае с бурым углем посредством подачи сигнала от микроконтроллера на релейный модуль Р10 происходит открытие крана К2 соединяющим реактор и проточный водонагреватель. Контроль количества поступающей в узел гидроподготовки жидкости осуществляется датчиком расхода жидкости Д3. Заполнение емкости узла гидроподготовки продолжается до необходимого объема, после чего, датчик уровня Д3 подает сигнал max на микроконтроллер, а тот в свою очередь на релейный модуль Р9 электромеханического крана К1 закрывая его. Температура поступающей воды замеряется датчиком температуры Д4 и отправляется на монитор оператора, а также на микроконтроллер.
6.	Гидромеханический узел предварительной подготовки сырья (торф, сапропель, биогумус)	-Включение /выключение электродвигателя ЭД9 лопастного смесителя, насоса- дезинтегратора ЭД10 - Открытие/закрытие шаровых электромеханических кранов	Тайминг времени	Релейные модули Р12–Р16 Электромеханические краны К3–К5	После подачи сигнала от датчика расхода жидкости Д3 на микроконтроллер о достижении 2/3 необходимого объема, микроконтроллер подает импульсные сигналы на релейные модули Р12 и Р13 которые в свою очередь запускают электродвигатели ЭД9 лопастного смесителя и ЭД10

Продолжение приложения В

1	2	3	4	5	6
7.	Реактор	-Включение /выключение электродвигателя ЭД10 насоса- дезинтегратора; -Открытие/закрытие электромеханических шаровых кранов;	Тайминг времени, Датчик уровня Д5, Д6	Релейные модули Р12 – Р16 Электромеханические шаровые краны К3 К4 К5	По истечении временного отрезка t1, соответствующее необходимому времени работы узла гидромеханической подготовки сырья, микроконтроллер подает на релейные модули Р12 сигнал об отключении лопастного смесителя, на релейные модули Р14, Р15, Р16 сигнал об открытии/закрытии кранов К3, К4, К5 создавая контур: узел гидроподготовки сырья - насос дезинтегратор - реактор. Насос дезинтегратор продолжает свою работу перекачивая водноторфянную супензию в реактор, пока на микроконтроллер не будет подан сигнал от датчика Д5 уровня, установленного в емкости гидроподготовки при снижении уровня или датчика Д6 установленного в реакторе, при его максимальном наполнении, после этого микроконтроллер подает сигнал об отключении электродвигателя ЭД10 при помощи релейного модуля Р13. После отключения электродвигателя ЭД10 насоса дезинтегратора микроконтроллер подает импульсные сигналы на релейные модули Р14 - Р16 закрывая краны К3-К5. Подготовительный этап производства удобрений из органического сырья заканчивается
7.1	Гидромеханический узел предварительной подготовки сырья (торф, сапропель, биогумус)	- Включение /выключение электродвигателя ЭД11 шнека выгрузки балластной части	Датчик уровня Д5	Релейный модуль Р17	После перекачки водноторфянной супензии в реактор происходит очистка узла гидроподготовки от накопившегося балласта за счет выгрузного шнека, приводящегося в движение электродвигателем ЭД11, который включается релейным модулем Р17 после подачи сигнала на микроконтроллер от датчика уровня Д5 о том, что емкость пуста.

Продолжение приложения В

1	2	3	4	5	6
II Этап автоматизации технологической линии по подготовке органоминеральных удобрений					
8.1	Реактор	-Включение/выключение электродвигателя ЭД12 дезинтегратора; -Открытие электромеханических шаровых кранов;	Тайминг, Датчик уровня	Релейные модули Р18-Р23. Электромеханические шаровые краны К6 – К10	После перекачки суспензии в реактор п.1-п.7 микроконтроллер подает импульсный сигнал на релейный модуль Р18 - Р22 которые подают питание на электромагнитные шаровые краны К6 – К10 , тем самым создается контур Реактор - дезинтегратор – кавитатор – реактор, после открытия кранов микроконтроллер подает импульсный сигнал на релейный модуль Р23 который включает электродвигатель дезинтегратора ЭД12.
8.2	Емкость для раствора щелочи с насосом дозатором	- Дозирование раствора щелочи насосом-дозатором НД1; - Контроль pH;	Датчик уровня Ph D7; D8 Тайминг;	Нормально закрытый электромагнитный клапан ЭК1; Релейный модуль Р24, Р25.	С началом работы дезинтегратора ЭД12 микроконтроллер подает сигнал на релейный модули Р24 и Р25, который контролирует включение/выключение насоса дозатора НД1 и открытие/закрытие электромагнитного клапана ЭК1. Дозирование щелочного раствора происходит в трубопровод контура реактор- дезинтегратор - кавитатор – реактор порционно (дифференцировано), согласно параметрам заложенным в систему управления и на основе данных поступающих от нейронной сети, процесс подачи контролируется датчиком уровня pH D7. Вносится n количество порций сильнощелочного раствора до момента, когда активное выделение солей гуминовых кислот (падение pH) закончится. В данном процессе мониторинг показаний датчика pH D7 осуществляется микроконтроллером с интервалом времени t <sub>2</sub> и шагом I изменения pH. Как только активное выделение солей гуминовых кислот прекратится, соответственно шаг изменения pH в единицу времени t <sub>2</sub> резко уменьшится, после чего

Продолжение приложения В

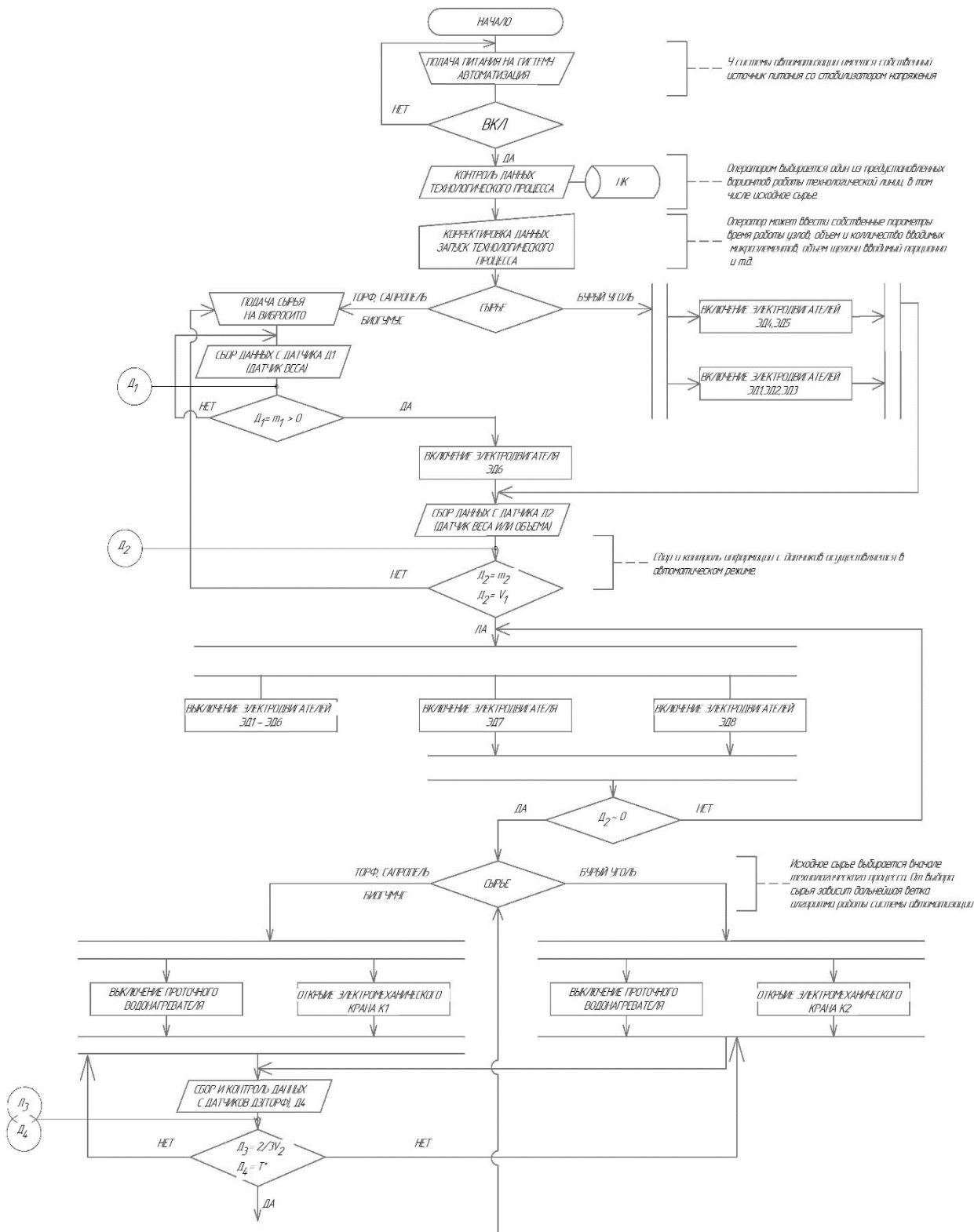
343

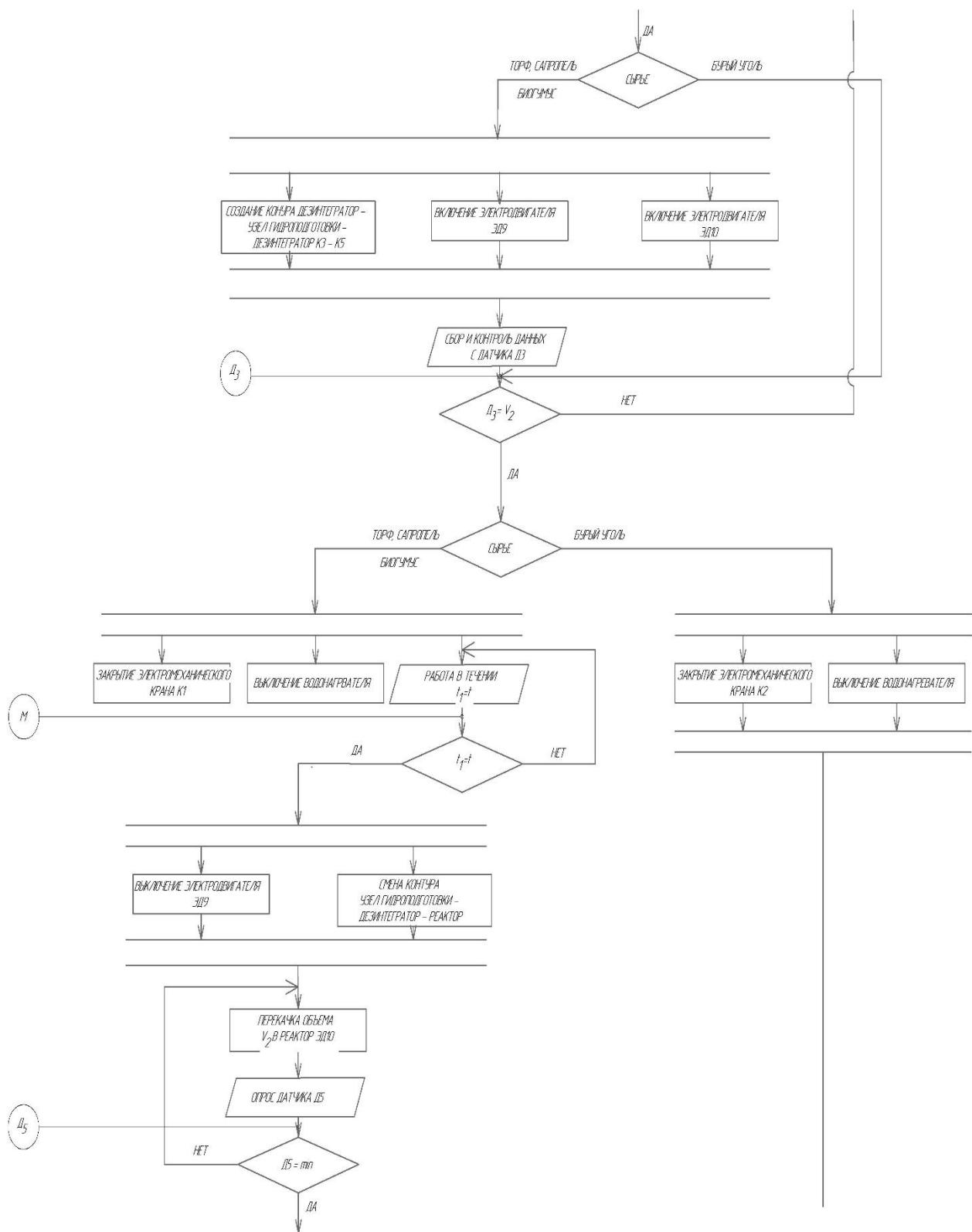
1	2	3	4	5	6
					микроконтроллер прекратит подачу сигналов на насос дозатор НД1. После этого процесс измельчения и диспергации водноторфяной супензии продолжается $t_4$ минут. Количество раствора щелочи, оставшееся в бачке контролирует датчиком уровня Д8 и посыпает информацию на пульт управления оператора.
9.1	Узел грубой очистки концентрата органоминеральных удобрений от примесей (батарея гидроциклонов)	-Открытие электромеханических шаровых кранов;	датчик уровня Д6	Релейные модули Р18 – Р22 Электромеханические шаровые краны К6 – К10	По истечении временного отрезка $t_4$ , микроконтроллер подает сигнал на релейные модули Р18 – Р22 которые открывают/закрывают краны К6 – К10 закрывая контур реактор - дезинтегратор – кавитатор - реактор и открывают контур реактор - дезинтегратор - система грубой очистки - система тонкой очистки.
9.2	Узел тонкой очистки концентрата (центрифуга)	-Включение /выключение электродвигателя ЭД13 центрифуги	датчик уровня Д6, Д9	Релейный модуль Р26	Сигнал от микроконтроллера подается на релейный модуль Р26, который включает электродвигатель центрифуги ЭД13, происходит процесс тонкой очистки концентрата органоминеральных удобрений, после чего концентрат поступает в накопительную емкость готового продукта. Процесс центрифугирования продолжается до момента подачи сигнала с датчика уровня Д6 об уменьшении уровня жидкости и датчика уровня Д9 о заполнении промежуточной накопительной ёмкости

Продолжение приложения В

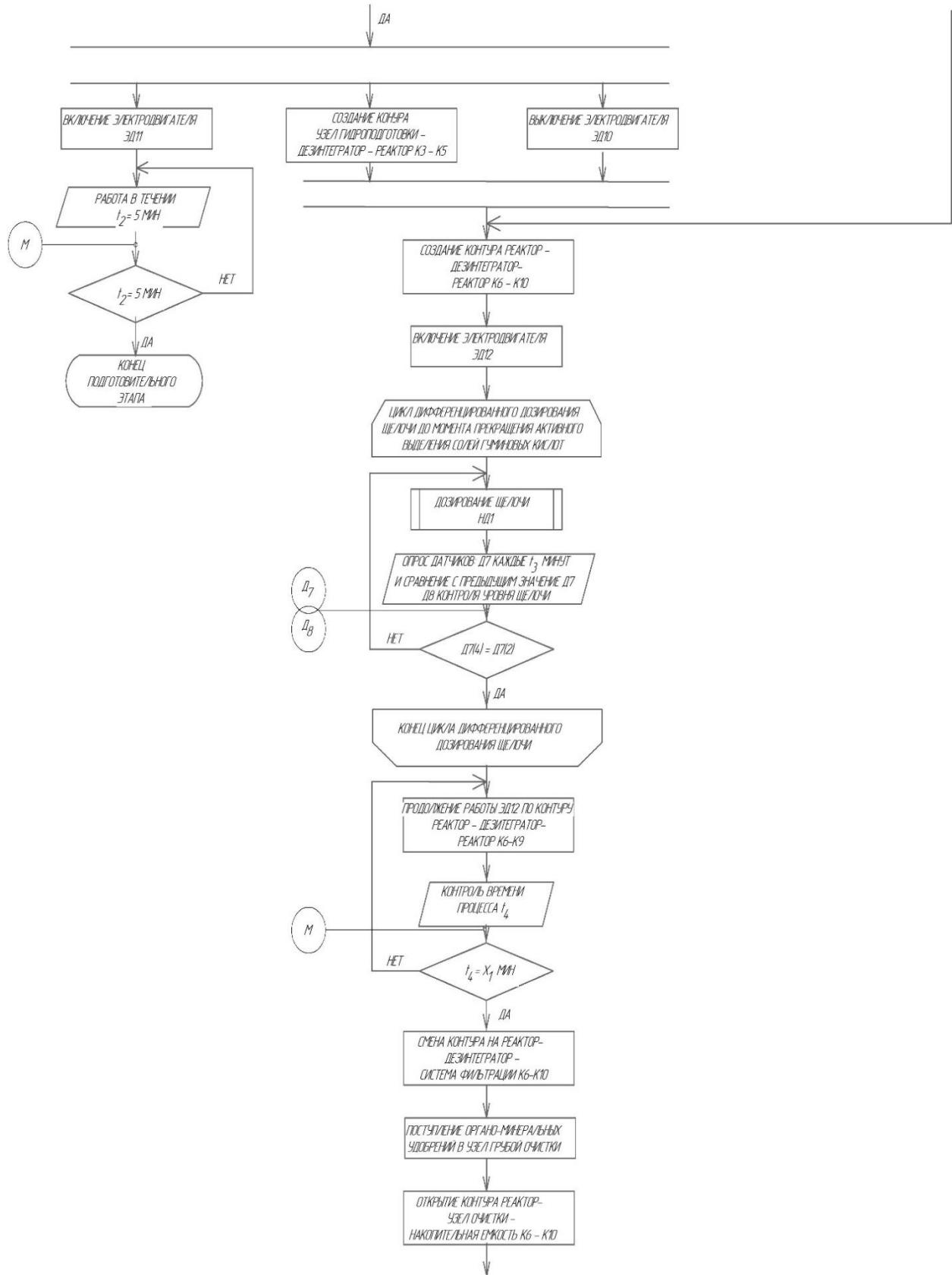
1	2	3	4	5	6
9.3	Промежуточная накопительная емкость профильтрованного продукта, циркуляционный насос	- Включение /выключение электродвигателя циркуляционного насоса ЭД14	Датчик уровня Д9	Релейный модуль Р27, Р28; Электромеханический кран К11	После фильтрации через центрифугу жидкость поступает в промежуточную накопительную емкость с установленным в ней датчиком уровня Д9, который фиксируя повышение уровня до заданного предела подает сигнал на микроконтроллер, а с него на релейный модуль Р27 который включает/выключает электродвигатель ЭД14 циркуляционного насоса, а также модуль Р28 открывает кран К11 для перекачки полученного продукта в накопительную емкость.
9.4	Узел обогащения концентратов микроэлементами	Дозирование микроэлементов (комплекс насосов дозаторов НД2)	Доза и наименование микроэлементов вводится вручную пользователем (если они необходимы)	Релейные модули Р29-Рn Электромеханические краны К11-К14	При оборудовании технологической линии узлом обогащения микроэлементами и при необходимости получения органоминеральных удобрений с микроэлементами, оператором определяются параметры конечного продукта. В результате чего одновременно с процессом поступления фильтрованного концентрата в накопительную емкость микроконтроллер подает сигнал на релейные модули Р29-Р31 которые открывают/закрывают краны К11-К14, создавая контур потока промежуточная накопительная емкость-циркуляционный насос-накопительная ёмкость. В сформированный поток подаётся необходимое количество микроэлементов при помощи общего насоса дозатор НД2 и насосов дозаторов НДi, включение и отключение которых происходит при помощи релейных модулей Р33-Рn

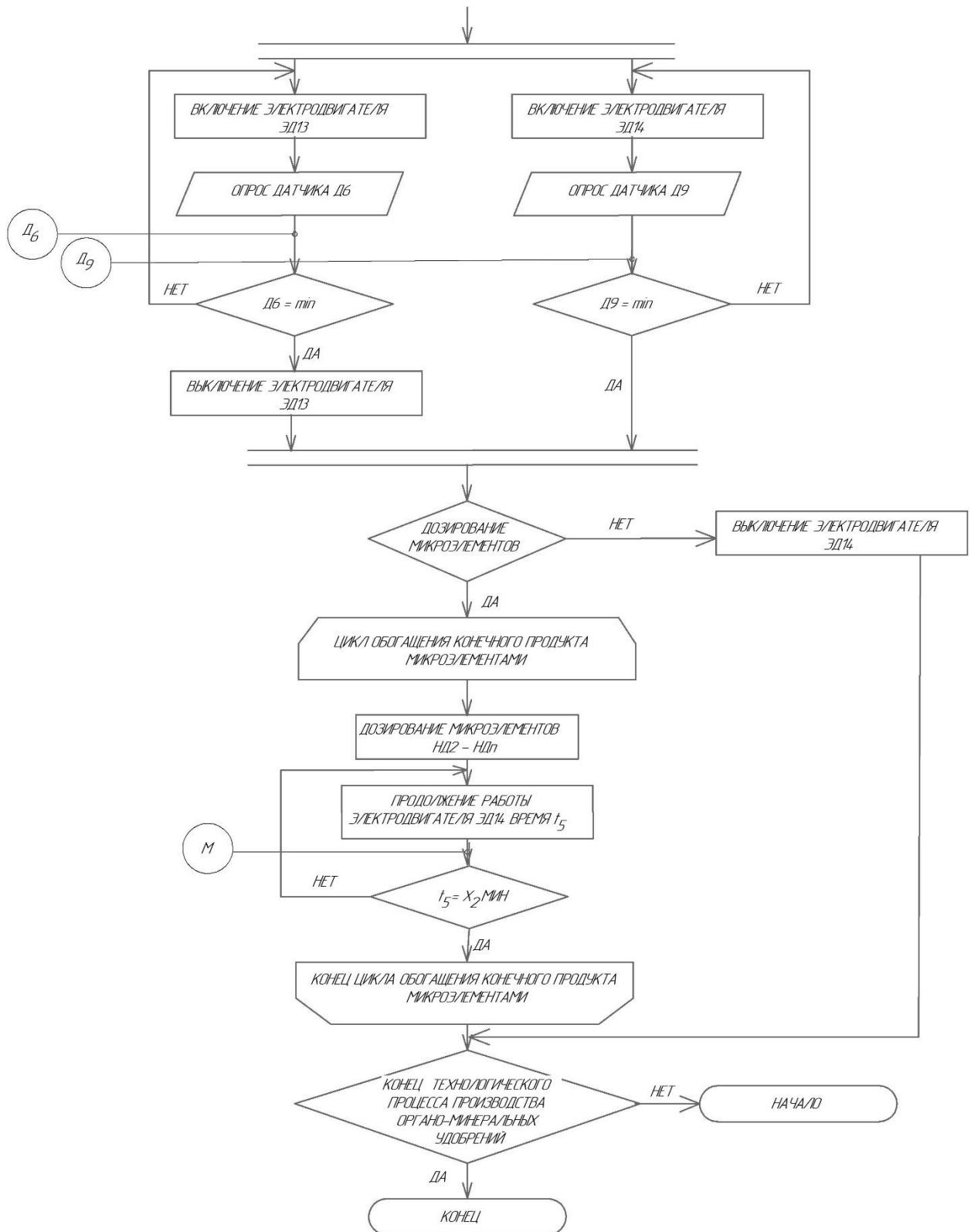
## Приложение Г





продолжение приложения Г





## Программный код

```
import os  
  
os.environ['TF_CPP_MIN_LOG_LEVEL'] = '2'  
  
import tensorflow as tf  
  
from tensorflow import keras  
  
import numpy as np  
  
from tensorflow.keras import layers  
  
import matplotlib.pyplot as plt  
  
import pandas as pd  
  
print("Hello Keras!")  
  
print("Num GPUs Available: ", len(tf.config.list_physical_devices('GPU')))  
  
model = keras.Sequential()  
  
model.add(keras.Input(shape=(5,)))  
  
model.add(layers.Dense(32, activation="relu"))  
  
model.add(layers.Dense(2,))  
  
model.summary()  
  
SI = pd.read_csv('Edu.csv', sep=';')  
  
SO = pd.read_csv('Edu2.csv', sep=';')  
  
print(SI.head())  
  
XSI = SI.values  
  
XSO = SO.values  
  
print("Размерность данных XSI:", np.shape(XSI))  
  
print("Размерность данных XSO:", np.shape(XSO))
```

```
print(XSI)

model.compile(optimizer='sgd', loss='mean_squared_error')

history = model.fit(XSI, XSO, epochs=200)

plt.plot(history.history['loss'])

plt.grid(True)

plt.savefig("loss_plot.png")

print("График сохранен как loss_plot.png")

print("Hello network\n")

xsio = np.array([90, 70, 0.5, 9, 1.5, 115, 700, 60, 10, 90], dtype=float)

example = np.array([[0.33, 0.70, 0.13, 0.00, 0.33]])

prediction = model.predict(example)

model.save("model.keras")

print(prediction)
```

## Фрагмент входных параметров обучающей выборки

Используемое сырьё	Содержание свободных гуминовых кислот в сырье, %	Массовое соотношение сырья №1, %	Массовое соотношение сырья №2, %	Используемый реагент
0.33	0.20	0.17	0.00	1.00
0.33	0.20	0.17	0.00	1.00
0.33	0.20	0.17	0.00	1.00
0.33	0.20	0.17	0.00	1.00
0.33	0.20	0.13	0.00	1.00
0.33	0.20	0.09	0.00	1.00
0.33	0.20	0.13	0.00	1.00
0.33	0.20	0.13	0.00	1.00
1.00	0.18	0.05	0.00	0.66
1.00	0.18	0.05	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.33
0.33	0.21	0.50	0.00	0.33
0.67	0.79	0.71	0.29	0.33
0.67	0.79	0.71	0.29	0.33
1.00	0.14	0.20	0.00	0.66
1.00	0.14	0.20	0.00	0.66
1.00	0.14	0.20	0.00	0.66
1.00	0.18	0.05	0.00	0.66
1.00	0.14	0.20	0.00	0.66
0.67	0.79	0.66	0.33	0.33
0.67	0.79	0.66	0.33	0.33
0.67	0.79	0.71	0.29	0.33
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.33
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
0.33	0.21	0.50	0.00	0.66
1.00	0.14	0.20	0.00	0.66

## Фрагмент выходных параметров обучающей выборки

Масса используемого реагента №1 к 1 килограмму сырья, гр	Содержание гуминовых кислот в продукте, %
0.038	0.128
0.050	0.153
0.100	0.121
0.150	0.189
0.150	0.167
0.050	0.069
0.100	0.142
0.075	0.140
0.114	0.120
0.124	0.201
0.204	0.369
0.568	0.869
0.107	0.101
0.107	0.094
0.010	0.462
0.020	0.430
0.050	0.495
0.114	0.120
0.050	0.510
0.110	0.094
0.110	0.091
0.107	0.089
0.943	0.775
0.595	0.478
0.568	0.869
0.753	0.202
0.859	0.232
0.795	0.213
0.857	0.231
0.878	0.237
0.789	0.212
0.927	0.251
0.660	0.545
0.642	0.507
0.689	0.608
0.629	0.480
0.647	0.519
0.700	0.632
0.635	0.492
0.046	0.509

## Приложение Ж

Перечень агротехнологических операций, проводимых в рамках производственных испытаний

Наименование операции	Дата	Используемая техника		
		Контроль	Опыт №1	Опыт №2
<b>Осенняя обработка</b>				
Вспашка на глубина 25-27 см	27.09.2021 – 02.10.2021	Трактор Claas Axion 940 и плуг Amazone Hektor 7+1	Трактор Claas Axion 940 и плуг Amazone Hektor 7+1	Трактор Claas Axion 940 и плуг Amazone Hektor 7+1
Внесение удобрений	05.10.2021 – 06.10.2021	Трактор Claas Axion 850 и распределитель Amazone ZG-TS 8000 (минеральные удобрения KCl с нормой 460 кг/га)	–	–
Культивация	05.10.2021 – 06.10.2021	Трактор Challenger MT845 и дисковый глубокорыхлитель Case Ecolotiger 6	Трактор Challenger MT845 и дисковый глубокорыхлитель Case Ecolotiger 6	Трактор Challenger MT845 и дисковый глубокорыхлитель Case Ecolotiger 6
Нарезка гребней и локально-ленточное внесение удобрений	07.10.2021 – 08.10.2021	–	Трактор Claas Axion 940 и культиватор-подкормщик (минеральные удобрения KCl с нормой 250 кг/га)	Трактор Claas Axion 940 и культиватор-подкормщик (минеральные удобрения KCl с нормой 250 кг/га калий-хлор и рабочего раствора гумата калия концентрацией 0,08% с нормой расхода 250 л/га)

<b>Весенняя обработка</b>				
Культивация на глубину 15-17 см	04.05.2022 – 07.05.2022	Трактор Claas Axion 940 и комбинированный культиватор FLEXI-COIL ST 820	–	–
Фрезерование на глубину 18-20 см	20.05.2022 – 29.05.2022	Трактор Claas Axion 940 и ротационная борона Lemken Zirkon 6000	–	–
Формирование гребней	20.05.2022 – 29.05.2022	–	New Holland T7060 и гребнеобразователь Grimme GF 75-4	New Holland T7060 и гребнеобразователь Grimme GF 75-4
Посадка картофеля с внесением удобрений амофос – 70 кг/га	21.05.2022 – 31.05.2022	Трактор MasseyFerguson MF и картофелесажалка Grimme GL34T	Трактор MasseyFerguson MF и картофелесажалка Grimme GL34T	Трактор MasseyFerguson MF и картофелесажалка Grimme GL34T
Формирование гребней	25.05.2022 – 05.06.2022.	Трактор New Holland T7060 и гребнеобразователь Grimme GF 75-4	–	–
Посадка картофеля с внесением удобрений амофос – 70 кг/га	21.05.2022 – 31.05.2022	Трактор MasseyFerguson MF и картофелесажалка Grimme GL34T	Трактор MasseyFerguson MF и картофелесажалка Grimme GL34T	Трактор MasseyFerguson MF и картофелесажалка Grimme GL34T
Формирование гребней	25.05.2022 – 05.06.2022.	Трактор New Holland T7060 и гребнеобразователь Grimme GF 75-4	–	–

## Схема проведения обработок средствами защиты растений

Наименование обработки	Используемые препараты и доза внесения
Первая гербицидная обработка почвы	Сойл Агро Эксперт – 1 л/га
Вторая гербицидная обработка	Зенкор Ультра – 0,3 л/га
Третья гербицидная обработка	Хантер – 2 л/га
Первая обработка фунгицидами	Рапид Голд Плюс – 2,5 кг/га
Вторая обработка фунгицидами	Консенто – 2 л/га Микроудобрения Вигор Форте – 0,05 кг/га
Третья обработка фунгицидами	Инфинито – 1,6 л/га Микроудобрение Вигор Форте – 0,05 кг/га
Инсектицидная обработка	Монарх – 0,025 кг/га
Четвертая обработка фунгицидами	Улис – 0,6 кг/га
Десикация	Голден Ринг – 2 л/га

## Характеристики микроскопа «Микромед С1 LED».

Параметры	Значения
Увеличение микроскопа, крат	40 - 1600 (20 - 2000* - опция)
Визуальная насадка	моноокулярная
Угол наклона визуальной насадки, град	45
Увеличение насадки	1
Окуляры	10/18; 16/15; (5/18*; 12,5/15*; 20/11* - опция)
Револьверное устройство	на 4 объектива
Тип коррекции объективов	ахроматы, рассчитаны на длину тубуса 160, парфокальная высота 33 мм
Объективы	4x/0,1; 10x/0,25; 40x/0,65; 100x/1,25 мм
Предметный столик, мм	110x125
Диапазон перемещения препарата, мм	67x22
Центрируемый конденсор Аббе	наиб. числовая апертура 1.25
Источник света галогеновая лампа, В/Вт	6/20
Источник питания сеть переменного тока, В/Гц	220±22/50
Габаритные размеры, мм	170x210x350;
Масса, не более, кг	3,5

Общий вид тепловизора RGK TL-80



## Технические характеристики тепловизора RGK TL-80

Параметры	Значения
Поле зрения/минимальное расстояние фокусировки	17°x17° / 0,5 м
Пространственная разрешающая способность (IFOV)	3,78 мрад
Тепловая чувствительность (NETD)	< 0,1 °C при +30°C / 100 мК
Частота обновления кадров	50 Гц
Тип детектора	Неохлаждаемый микроболометр, 80x80 pіx
Режим отображения (изображение)	ИК, видимое, совмещённое, AUF
Температурный диапазон объекта	-20° до +150°C; 0° до +350°C
Погрешность	±2°C или ±2% от показания
Коэффициент излучения	от 0,01 до 1,0 (таблица/ручной режим)
Перевод единиц измерения	C, K, F
Диапазон рабочих температур	-15°C до +50°C
Диапазон температур при хранении	-40°C до +70°C
Влажность воздуха (без образования конденсата)	10%-90%
Вес, включая батарею питания	<500 гр
Размер (Д . Ш . В)	224x77x96

## Технические характеристики спектрофотометра UV300/2

Параметры	Значения
Оптическая схема	Двухлучевая
Диапазон длин волн, нм	190 — 1100
Точность установки длин волн, нм	±1
Диапазон измерений спектральных коэффициентов направленного пропускания	0 — 100
Точность измерений спектральных коэффициентов направленного пропускания	±1 (в диапазоне от св. 350 нм до 600 нм) ±1,5 (в остальном диапа-зоне)
Спектральная ширина щели, нм	2
Создание методов измерений	Да
Сканирование спектра	Да
Кинетические измерения	Да
Соответствие требованиям GLP	Да
Соответствие требованиям Фармакопеи	Да
Защита настроек паролем	Да
Подключение автоподатчика кювет	Да
Передача данных	Да

Метеорологические условия вегетации 2022 года (Рязанская область,  
Рязанский район, с. Подвязье)

Месяц	Декада	Среднесуточная температура, °C			Сумма осадков, мм		
		Факт.	Средн. многолетн.	Отклон.	Факт.	Средн. многолетн.	Отклон.
Апрель	I		0,7				
	II		4,0				
	III		7,7				
За месяц			4,1				
Май	I						
	II		13,0				
	III		14,6				
За месяц							
Июнь	I						
	II						
	III						
За месяц							
июль	I	25,4	18,9	+6,5	-	22,0	- 22,0
	II	22,1	19,4	+2,7	8,7	22,0	-13,3
	III	24,4	19,1	+5,3	7,3	21,0	-13,7
за месяц		24,0	19,1	+4,9	16,0	65,0	- 49,0
август	I	25,5	18,4	+6,4	12,0	21,0	- 9,0
	II	24,5	17,2	+ 7,3	-	18,0	-18,0
	III	26,5	15,8	+10,7	0,8	16,0	- 15,2
за месяц		25,5	17,1	+8,4	12,8	55,0	-42,2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

на полезную модель

№ 197206

**Гидромеханический многофункциональный очиститель  
торфа, биогумуса, сапропеля**

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)**

Авторы: **Сидоркин Владимир Иванович (RU), Гайбарян Михаил  
Арутюнович (RU), Тетерин Владимир Сергеевич (RU),  
Гапеева Наталья Николаевна (RU), Мельничук Дмитрий  
Сергеевич (RU)**

Заявка № 2019143693

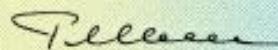
Приоритет полезной модели 25 декабря 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации 13 апреля 2020 г.

Срок действия исключительного права  
на полезную модель истекает 25 декабря 2029 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ильин



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 199456

Роторно-шаровой дезинтегратор тонкого помола

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Сидоркин Владимир Иванович (RU), Новиков Николай Николаевич (RU), Гайбаян Михаил Арутюнович (RU), Панферов Николай Сергеевич (RU), Тетерин Владимир Сергеевич (RU)*

Заявка № 2020111491

Приоритет полезной модели 19 марта 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 02 сентября 2020 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 19 марта 2030 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ильин



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2731577

АГРЕГАТ ДЛЯ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ  
ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2019137170

Приоритет изобретения **19 ноября 2019 г.**

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **04 сентября 2020 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **19 ноября 2039 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ильин





продолжение приложения Л

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

на изобретение

№ 2727193

Способ производства органоминеральных, комплексных  
удобрений и технологическая линия для его осуществления

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: см. на обороте

Заявка № 2019133360

Приоритет изобретения 21 октября 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 21 июля 2020 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 21 октября 2039 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Иалиев*



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021662322

«Программный комплекс по формированию системы  
удобрения в цифровом земледелии»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение «Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Митрофанов Сергей Владимирович (RU), Пехнов  
Андрей Сергеевич (RU), Никитин Василий Степанович (RU),  
Панферов Николай Сергеевич (RU), Благов Дмитрий  
Андреевич (RU), Тетерин Владимир Сергеевич (RU),  
Овчинников Алексей Юрьевич (RU)*

Заявка № 2021619908

Дата поступления 25 июня 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 26 июля 2021 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Г.П. Ильин".

Г.П. Ильин



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2021610948**

**«Программа по определению равномерного  
распределения минеральных удобрений и их  
гранулометрического состава»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агротехнологический центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Костенко Никита Михайлович (RU), Овчинников Алексей Юрьевич (RU), Пехнов Андрей Сергеевич (RU), Панферов Николай Сергеевич (RU), Благов Дмитрий Андреевич (RU), Митрофанов Сергей Владимирович (RU)*

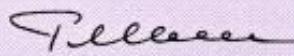
Заявка № 2020666794

Дата поступления 16 декабря 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 20 января 2021 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ильин



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2780210

Дозатор твёрдых минеральных удобрений

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)**

Авторы: **Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Пехнов Сергей Александрович (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Липатов Николай Васильевич (RU), Панферов Николай Сергеевич (RU)**

Заявка № 2022109181

Приоритет изобретения 07 апреля 2022 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 20 сентября 2022 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 07 апреля 2042 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



продолжение приложения Л

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2022665285**

### Программа управления системой дозирования твердых минеральных удобрений

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)**

Авторы: **Дорохов Алексей Семенович (RU), Аксенов Александр Геннадьевич (RU), Овчинников Алексей Юрьевич (RU), Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Липатов Николай Васильевич (RU), Сазонов Николай Викторович (RU)**

Заявка № **2022664284**

Дата поступления **01 августа 2022 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **12 августа 2022 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Ю.С. Зубов*  
*Ю.С. Зубов*



продолжение приложения Л

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2810531**

### Способ совместной аэрозольной обработки пестицидами и гуматами картофеля

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Федеральный научный агронженерный  
центр ВИМ"(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Дорохов Алексей Семенович (RU), Тетерин Владимир  
Сергеевич (RU), Аксенов Александр Геннадьевич (RU), Сибирёв  
Алексей Викторович (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU),  
Ремболович Георгий Константинович (RU), Панферов Николай  
Сергеевич (RU), Ушакова Елена Юрьевна (RU), Захарова Марина  
Николаевна (RU), Егорова Ирина Вячеславовна (RU)*

Заявка № 2023114430

Приоритет изобретения 01 июня 2023 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 27 декабря 2023 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 01 июня 2043 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2804071**

**Сошник для разбросного-ленточного внесения твердых  
минеральных удобрений**

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)  
(RU)**

Авторы: **Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Аксенов  
Александр Геннадьевич (RU), Костенко Михаил Юрьевич  
(RU), Липатов Николай Васильевич (RU)**

Заявка № 2023105628

Приоритет изобретения 10 марта 2023 г.

Дата государственной регистрации

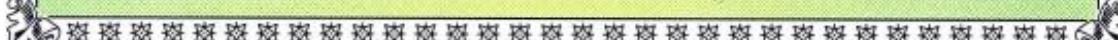
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 26 сентября 2023 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 10 марта 2043 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



• ПАТЕНТ •

на полезную модель

№ 213790

СОШНИК

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)*

Авторы: *Липатов Николай Васильевич (RU), Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Шемякин Александр Владимирович (RU), Борычев Сергей Николаевич (RU), Бойбобоев Набижон Гуломович (UZ), Ремболович Георгий Константинович (RU), Безносюк Роман Владимирович (RU)*

Заявка № 2022115755

Приоритет полезной модели **09 июня 2022 г.**

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации **29 сентября 2022 г.**

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает **09 июня 2032 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2767637

### Способ гуматизации минеральных удобрений

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Митрофанов Сергей Владимирович (RU), Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Благов Дмитрий Андреевич (RU), Панферов Николай Сергеевич (RU), Гапеева Наталья Николаевна (RU)*

Заявка № 2021121285

Приоритет изобретения 19 июля 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 18 марта 2022 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 19 июля 2041 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

на изобретение

№ 2762212

### Гребнеобразующий культиватор-подкормщик

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агротехнологический центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)**

Авторы: **Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Липатов Николай Васильевич (RU), Новиков Николай Николаевич (RU), Пехнов Сергей Александрович (RU), Сидоркин Владимир Иванович (RU)**

Заявка № 2021110486

Приоритет изобретения 14 апреля 2021 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 16 декабря 2021 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 14 апреля 2041 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Извеев



© 2021. All rights reserved. This document is a copy of the original patent document and is provided for informational purposes only. It is not a legal document and should not be relied upon for legal advice.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

на изобретение

№ 2814712

Способ возделывания картофеля

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агронженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Дорохов Алексей Семенович (RU), Тетерин Владимир Сергеевич (RU), Аксенов Александр Геннадьевич (RU), Сибирёв Алексей Викторович (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Липатов Николай Васильевич (RU), Панферов Николай Сергеевич (RU)*

Заявка № 2023121926

Приоритет изобретения 22 августа 2023 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 04 марта 2024 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 22 августа 2043 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2025686849**

**Интеллектуальный программный комплекс для  
анализа и прогнозирования характеристик  
органоминеральных удобрений**

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ" (RU)**

Авторы: **Дорохов Алексей Семенович (RU), Тетерин Владимир  
Сергеевич (RU), Сибирёв Алексей Викторович (RU),  
Пестряков Ефим Вадимович (RU), Панферов Николай  
Сергеевич (RU)**

Заявка № **2025685999**

Дата поступления **25 сентября 2025 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **06 октября 2025 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Ю.С. Зубов*



Утверждаю



Генеральный директор

ООО «Гуматы»

Мишагин М.В.

«29» 07 2021 года

АКТ

о внедрении технологии производства органоминеральных удобрений и  
технологического оборудования для её осуществления

Мы, нижеподписавшиеся представители ООО "Гуматы" Курганская область, р.п. Каргаполье ул. Северная 16 начальник цеха Мишагин Михаил Владимирович., главный бухгалтер Серебренникова Наталья Владимировна и представители ИТОСХ – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ заместитель директора филиала по инновационным разработкам и развитию экспериментального производства Панферов Н.С., ведущий научный сотрудник отдела технического обеспечения сельскохозяйственного производства Галеева Н.Н., старший научный сотрудник отдела технического обеспечения сельскохозяйственного производства Тетерин В.С. составили настоящий акт в том, что в 2019-2020 году на предприятии ООО «Гуматы» проходили испытания технологии производства органоминеральных удобрений и технологического оборудования для её осуществления.

При внедрении технологии производства органоминеральных удобрений была произведена модернизация ранее приобретённой технологической линии по производству органоминеральных удобрений из органического сырья.

Для повышения степени очистки торфа от нерастворимых примесей была произведена модернизация гидромеханического многофункционального очистителя торфа, биогумуса, сапропеля. Также для повышения степени очистки готовых органоминеральных удобрений была модернизирована система очистки, в которую была внедрена система центрифугирования.

Использование системы центрифугирования для очистки гуматов позволило резко снизить долю балластной части. При этом результаты проведенных исследований, в том числе с использованием микроскопии проб органоминеральных удобрений, позволили достоверно установить, что использование двухступенчатой системы очистки в технологической линии обеспечивает получение наиболее качественного продукта с содержанием балластной части до 1 %, и размерностью частиц менее 10 мкм, что

позволяет считать нам полученные удобрения безбалластными. При этом ранее установленная система очистки с использованием только кассетных фильтров с размерностью фильтрующих элементов в 70 мкм позволяла получать продукт с наличием частиц балластного остатка размерность которых достигала 1000 мкм, а содержание балластной части составляло 13%, что связано с несовершенством конструкции используемых фильтров и неравномерностью геометрических размеров и форм частиц балластной части.

Таким образом можно сделать вывод, что применение предлагаемой технологии производства органоминеральных удобрений и технологического оборудования для её осуществления позволяет получать безбалластный продукт высокого качества.

Начальник цеха ООО «Гуматы»

 М.В. Мишагин

Главный бухгалтер ООО «Гуматы»

 Н.В. Серебренникова

Заместитель директора филиала  
по инновационным разработкам  
и развитию экспериментального производства

 Н.С. Панферов

Ведущий научный сотрудник  
отдела технического обеспечения  
сельскохозяйственного производства

 Н.Н. Гапеева

Старший научный сотрудник отдела  
технического обеспечения  
сельскохозяйственного производства

 В.С. Тетерин

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполнительный директор

ООО «Авангард»

Рязанского района

Рязанской области

Красников И. Г.

«15» ноября

2022 года



**АКТ**

испытаний машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений МДВУ - 3000 в ООО «Авангард» Рязанского района

Комиссия в составе: представителей ООО «Авангард» исполнительного директора Красникова И. Г., агронома по картофелеводству и семеноводству Егоровой И.В., представителей ФГБОУ ВО РГАТУ заведующего кафедрой ТМ и РМ Ремболовича Г.К., профессора кафедры ТМ и РМ Костенко М.Ю., доцента кафедры ТМ и РМ Безносюка Р.В. и аспирантов кафедры ТМ и РМ Липатова Н.В., Ликучева А.И. и представителя ФГБНУ ФНАЦ ВИМ старшего научного сотрудника лаборатории № 7.1 «Машинных технологий для возделывания и уборки овощных культур открытого грунта» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ Тетерина В. С. составила настоящий акт о том, что машина для дифференцированного внесения минеральных удобрений МДВУ - 3000 проходила испытания с ноября 2021года по ноябрь 2022 года в ООО «Авангард» Рязанского района в структурном подразделении «Подвязье».

Полевые исследования машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений МДВУ - 3000 велись по двум основным направлениям: проверка предшествующих теоретических и практических проработок в реальных условиях осенней нарезки гребней с дифференцированным внесением твердых минеральных удобрений с гуматом калия под картофель и сравнительная оценка агротехнических показателей и качественных показателей урожайности.

Полевые испытания показали:

1. Работоспособность и эффект от использования машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений МДВУ - 3000 обеспечивается при осенней нарезке гребней с дифференцированным внесением твердых минеральных удобрений с гуматом калия под картофель. Применение машины МДВУ – 3000 позволило сократить объём основного внесения минеральных удобрений в два раза (до 250 кг/га) в сравнении с технологией сплошного разбросного внесения, применяемой в хозяйстве.

2. Установлено, что на опытном участке развитие растений картофеля происходило более интенсивно, так к фазе цветения средняя высота растений картофеля на варианте опыта с ленточным внесением твердых минеральных удобрений была выше на 7,5 % по сравнению с контролем, а в варианте опыта с ленточным внесением минеральных удобрений и гумата калия данный показатель был выше на 14 % по сравнению с контролем.

3. Перед уборкой проводилась оценка структуры урожая картофеля, в ходе которой было установлено, что на варианте опыта с одновременным ленточным внесением минеральных удобрений и гумата калия наблюдалось увеличение среднего размера клубней по сравнению с контролем на 15,4%, при увеличении среднего числа клубней на 14,4%.

4. В результате уборки картофеля комбайном Grimme SE 150 – 60 урожайность сорта «Манифест» на варианте опыта с одновременным ленточным внесением минеральных удобрений и гумата калия составила 299 ц/га, что на 16,3 % выше чем урожайность полученная по технологии используемой в хозяйстве, которая составила 257 ц/га на контрольном участке.

Подписи:

Исполнительный директор  
ООО «Авангард»  
Агроном по картофелеводству  
и семеноводству ООО «Авангард»  
Заведующий кафедрой  
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ  
Профессор кафедры  
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ  
Доцент кафедры  
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ  
Аспирант кафедры  
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ  
Аспирант кафедры  
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ  
Старший научный сотрудник  
лаборатории № 7.1 «Машинных  
технологий для возделывания  
и уборки овощных культур открытого  
грунта» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Красников И.Г.

Егорова И.В.

Ремболович Г.К.

Костенко М.Ю.

Безносюк Р.В.

Ликучев А.И.

Липатов Н.В.

Тетерин В. С.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИСА – филиал

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Гладышева О.В.

« 25 » 10 2022 года



АКТ

испытаний аэрозольного опрыскивателя для обработки пропашных культур

Комиссия в составе: представителей ИСА - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ заместителя директора по производственной деятельности Мальцева А.В., заведующей отделом производства оригинальных и элитных семян Ушаковой Е. Ю., старшего научного сотрудника отдела сортовых агротехнологий в семеноводстве Захаровой М.Н. и представителей ФГБНУ ФНАЦ ВИМ старшего научного сотрудника лаборатории № 7.1 «Машинных технологий для возделывания и уборки овощных культур открытого грунта» Тетерина В.С., старшего научного сотрудника лаборатории № 7.1 «Машинных технологий для возделывания и уборки овощных культур открытого грунта» Панферова Н.С. составила настоящий акт о том, что аэрозольный опрыскиватель для обработки пропашных культур проходил испытания на базе Института семеноводства и агротехнологий – филиала Федерального научного агроинженерного центра ВИМ в период с июня по август 2022 года.

В ходе полевых исследований аэрозольного опрыскивателя для обработки пропашных культур ставились задачи по изучению влияния аэрозольной обработки защитно-стимулирующими препаратами на растения картофеля и его биологическую урожайность, а также проведению комплексной оценки эффективности применения защитно-стимулирующих препаратов при опрыскивании и обработке аэрозолем.

Полевые исследования проводились на участке поля площадью 1 га. Со следующей агрохимической характеристикой: почва темно-серая лесная тяжелосуглинистая, содержание общего гумуса в слое 0-30 см (по Тюрину) – 5,12%; pH сол. вытяжки 4,8; общий азот 0,23 %; подвижного фосфора – 228

мг/кг; подвижного калия – 160 мг/кг; серы – 4,4 мг/кг; обменного магния – 2,59 ммоль/100г.

Полевые исследования проводились на картофеле сорта Сантэ. Схема проведения исследований включала в себя следующие варианты обработок:

1. Контроль без обработки.
2. Технология опрыскивания, используемая в хозяйстве (Производственный вариант).
3. Аэрозольная обработка с дозой внесения препаратов 50% от технологии опрыскивания, используемой в хозяйстве.
4. Аэрозольная обработка с дозой внесения препаратов 25% от технологии опрыскивания, используемой в хозяйстве.
5. Аэрозольная обработка с дозой внесения препаратов 50% от технологии опрыскивания, используемой в хозяйстве + гумат калия.
6. Аэрозольная обработка с дозой внесения препаратов 25% от технологии опрыскивания, используемой в хозяйстве + гумат калия.

В хозяйственном варианте опыта проводились обработки по вегетации следующими препаратами: гербицидами Эскудо с дозой внесения 25 г/га и Лазурит Супер – 0,5 л/га; инсектицидами Борей с дозой внесения 0,1 л/га; фунгицидами Максим с дозой внесения 0,4 л/т, Браво – 2,5 л/га, Танос – 0,6 кг/га и Метаксил – 2,5 кг/га.

В ходе проведения полевых исследований было установлено, что проведение аэрозольной обработки со сниженными дозами препаратов с совместным применением гумата калия способствует сокращению абиотического стресса растений, при сохранении биологической эффективности используемых препаратов. Так биологическая эффективность используемых фунгицидов на хозяйственном варианте и вариантах с использованием аэрозольного опрыскивателя для обработки пропашных культур составляла 96% и 90% в зависимости от периода проводимых наблюдений.

Также было отмечено положительное влияние сниженных доз пестицидов на биологическую урожайность картофеля так на варианте опыта с 25% дозой внесения препаратов от производственного варианта, наблюдалась прибавка продовольственного картофеля в сравнении с хозяйственным вариантом на 8,7 %. В свою очередь добавление в баковую смесь гумата калия позволило дополнительно повысить урожайность на вариантах опыта с аэрозольной обработкой на 44,5% для варианта с

использованием 50% дозой внесения препаратов от производственного варианта и 10,1% для варианта с использованием дозы внесения препаратов 25% от производственного варианта, а прибавка по продовольственному картофелю на данных вариантах составила 8,4 % и 21,6% по массе соответственно.

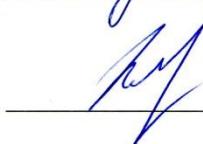
Таким образом, проведённые полевые исследования показали высокую эффективность применения аэрозольного опрыскивателя пропашных культур, а совместное использование пестицидов в сниженной дозе с гуматом калия позволило повысить урожайность на 10,5 т/га в сравнении с технологией, используемой в хозяйстве, при этом рентабельность увеличилась на 74,9 %.

Подписи:

Директор ИСА-филиал  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

  
Гладышева О.В.

Заместитель директора  
по производственной деятель  
ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ  
Заведующей отделом производства  
оригинальных и элитных семян  
ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

  
Мальцев А.В.

Старший научный сотрудник отдела  
сортовых агротехнологий в семеноводстве  
ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

  
Ушакова Е. Ю.

Старший научный сотрудник  
лаборатории № 7.1 «Машинных  
технологий для возделывания  
и уборки овощных культур открытого  
грунта» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

  
Захарова М.Н.

Старший научный сотрудник  
лаборатории № 7.1 «Машинных

  
Тетерин В. С.

технологий для возделывания  
и уборки овощных культур открытого  
грунта» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

  
Панферов Н.С.



Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ВИМ  
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5.  
тел. 8 (499) 171-19-33, тел./факс 8 (499) 171-43-49, e-mail: vim@vim.ru

АКТ  
о внедрении результатов диссертационной работы  
Тетерина Владимира Сергеевича

г. Москва

«20» 01 2025 г.

**Автор научно-исследовательской разработки:** Тетерин Владимир Сергеевич,  
кандидат технических наук.

**Учреждение, внедряющее авторскую разработку:** Федеральное государственное  
бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агронженерный центр ВИМ»  
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

**Название внедряемых материалов:** рабочие программы дисциплин (модулей) и  
дидактические материалы для основных образовательных программ магистратуры и  
аспирантуры.

**Практическая значимость:** материалы и результаты проведенного научного  
исследования в области совершенствования технических средств по совместному внесению  
органоминеральных и минеральных удобрений и технических средств по совместному  
использованию органоминеральных удобрений и пестицидов были использованы при  
разработке содержания образовательных программ магистратуры и аспирантуры,  
адаптированных к научно-исследовательской деятельности. Материалы включены в  
рабочие программы учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), факультативных  
занятий для подготовки магистрантов направления подготовки 35.04.06 Агронженерия,  
аспирантов научной специальности 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для  
агропромышленного комплекса, обучающихся в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Заместитель директора по образовательной  
и редакционно-издательской деятельности

Ю.С. Ценч



Утверждаю

Генеральный директор

ООО «Агротехмаш»

А.А. Косырев

«13» 02 2025 г

АКТ

внедрения материалов научно-исследовательской работы:

Настоящий акт подтверждает, что ООО «Агротехмаш» при проектировании и изготовлении машин для обработки почвы (патенты РФ №№ 2762212, 213790, 2780210, 2804071) использованы результаты теоретических и экспериментальных исследований кандидата технических наук, старшего научного сотрудника ФГБНУ «Федеральный научный агринженерный центр ВИМ» Тетерина В.С. под руководством и при участии доктора технических наук Костенко М.Ю.

Результаты исследований по обоснованию параметров технических средств для совместного локального применения органоминеральных и минеральных удобрений использованы при изготовлении опытного образца гребнеобразующего культиватора-подкормщика.

Справка дана для предоставления в диссертационный совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Саратовский государственный  
университет генетики,  
биотехнологии и инженерии  
имени Н.И. Вавилова»**  
(ФГБОУ ВО Вавиловский университет)  
410012, Саратовская область, г. Саратов,  
пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр.3  
факс: (8452) 23-47-81, тел.: 23-32-92  
e-mail: rector@vavilovsar.ru  
www.vavilovsar.ru

от 20.02.2025 № 12CB  
на № \_\_\_\_\_

**СПРАВКА**  
о внедрении в учебный процесс результатов  
научно-исследовательской работы

Настоящей справкой подтверждается, что в учебный процесс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» (ФГБОУ ВО Вавиловский университет) были внедрены результаты научно исследовательской работы Тетерина В.С. в области совершенствования технических средств по совместному внесению органоминеральных и минеральных удобрений и технических средств по совместному использованию органоминеральных удобрений и пестицидов.

Полученные в научно исследовательской работе результаты используются при подготовке специалистов по программе магистратуры 35.04.06. Агроинженерия. Технологии и технические средства в сельском хозяйстве и по программе подготовки кадров высшей квалификации в аспирантуре по направлению 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

**Проректор по научной  
и инновационной работе**

Исполнитель: Таловерко А.Ю.  
Телефон: 23-32-92









