

На правах рукописи



**ТЕТЕРИН ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ**

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

Специальность: 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для  
агропромышленного комплекса

**АВТОРЕФЕРАТ**  
Диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

**Рязань – 2026**

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

**Научный консультант: Сибирёв Алексей Викторович**

доктор технических наук, член-корреспондент РАН

**Официальные оппоненты:**

**Гаджиев Парвиз Имранович**, доктор технических наук, профессор, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Российский государственный университет народного хозяйства имени В.И. Вернадского», профессор кафедры технологического развития систем жизнеобеспечения сельских территорий

**Калинин Андрей Борисович**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», профессор кафедры технических систем в агробизнесе

**Калимуллин Марат Назипович**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт машин»

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха» (ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха)

Защита состоится «28» апреля 2026 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: <http://rgatu.ru/>, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.gisnauka.ru/>

Автореферат разослан «\_\_\_» 2026 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Юхин Иван Александрович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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., Измайлов 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 ВГ-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 «Иновационные 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.

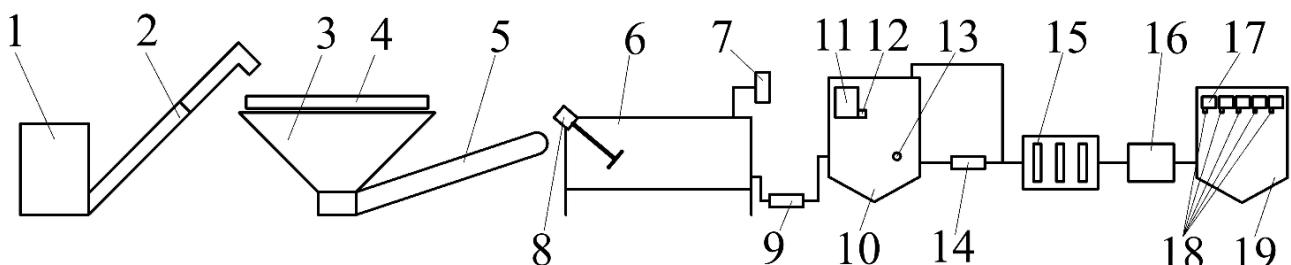
**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 390 страницах и состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения. Работа содержит 107 рисунков, 10 таблиц и 11 приложений. Список литературы состоит из 300 наименований, в том числе 70 – иностранных источников

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлена актуальность диссертации, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, описана научная новизна и практическая значимость выполненной работы. Определены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «Анализ способов и технических средств подготовки и внесения органоминеральных удобрений при возделывании картофеля»** рассмотрены основные тенденции в возделывании картофеля. Проведен анализ способов внесения органоминеральных удобрений и рассмотрены технические средства их внесения в почву. Представлен анализ технических средств аэрозольного внесения органоминеральных удобрений в период вегетации картофеля. Рассмотрены существующие технологии подготовки органоминеральных удобрений и технические средства их производства.

**Во второй главе «Аспекты подготовки органоминеральных удобрений»** рассмотрены теоретические предпосылки к совершенствованию подготовки органоминеральных удобрений, на основе которых предложена схема линии подготовки органоминеральных удобрений (рисунок 1).



1 – измельчитель молоткового типа, 2 – шнековый транспортер, 3 – накопительный бункер, 4 – вибросепаратор, 5 – шнековый транспортер, 6 – гидромеханический узел предварительной подготовки сырья, 7 – проточный водонагреватель, 8 – лопастной смеситель, 9 – циркуляционный насос, 10 – реактор, 11 – емкость для раствора щелочи, 12 – насос-дозатор, 13 – датчик уровня pH, 14 – дезинтегратор, 15 – батарея гидроциклонов, 16 – центрифуга, 17 – емкости микроэлементов, 18 – насосы дозаторы, 19 – накопительная емкость

Рисунок 1 – Схема линии подготовки органоминеральных удобрений (патент РФ №2727193)

При использовании в качестве гуматосодержащего сырья торфа процесс подготовки органоминеральных удобрений выглядит следующим образом. Торф поступает на вибросепаратор, для очистки от примесей более 4 мм и поступает в накопительный бункер. Далее в гидромеханический узел предварительной подготовки сырья подаётся подогретая до температуры 70 – 80°C вода, а при помощи шнекового транспортера подаётся из накопительного бункера просеянный торф. Одновременно с этим включаются лопастной смеситель и циркуляционный насос, работающий по замкнутому циклу. Совместная работа лопастного смесителя и циркуляционного насоса обеспечивает интенсивное отделение песка и других не растворимых включений от рабочей суспензии. Затем суспензия отстаивается до осаждения песка, после чего включается циркуляционный насос и осуществляется перекачка суспензии в реактор. После

перекачки суспензии в реактор 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 с учетом результатов моделирования нейронной сети. После прекращения активного образования солей гуминовых и фульвокислот и стабилизации среды, дезинтегратор прекращает работу по замкнутому циклу и начинает подачу суспензии на батарею гидроциклонов, где происходит стадия грубой очистки, после чего суспензия поступает в центрифугу, где осуществляется стадия тонкой очистки. В итоге на выходе из центрифуги органоминеральные удобрения поступают в накопительную ёмкость.

Подготовка безбалластных органоминеральных удобрений обеспечивается в процессе двухступенчатой очистки. Система очистки включает в себя гидроциклоны и центрифугу. Качество очистки суспензии будет определяться минимальным диаметром балластных частиц, улавливаемых гидроциклоном. Расчёт требуемых параметров гидроциклона осуществляли по формуле:

$$D_{цик} = \sqrt{\frac{d_{min\ б.ч.}^2 \cdot d_{пес} \cdot \sqrt{P_{пит}} \cdot (\rho_{б.ч.} - \rho_{сус})}{0,078 \cdot a}} \quad (1)$$

где  $D_{цик}$  – необходимый диаметр гидроциклона, м;  $d_{min\ б.ч.}$  – минимальное значение диаметра балластных частиц, которые будут осаждены гидроциклоном, м;  $d_{пес}$  – диаметр песковой насадки, м;  $P_{пит}$  – питающее давление, Па;  $\rho_{б.ч.}$  – плотность балластных частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{сус}$  – плотность суспензии, кг/м<sup>3</sup>;  $a$  – содержание балластной части в суспензии, %.

Питающее давление будет определяться, как:

$$P_{пит} = \frac{H_{дез} \cdot \rho_{сус} \cdot g \cdot A_{сус}}{\eta_{дез}}; \quad (2)$$

где  $H_{дез}$  – напор, создаваемый дезинтегратором, м;  $A_{сус}$  – расход суспензии, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_{дез}$  – КПД дезинтегратора.

Задавшись минимальным значением размера частиц балластной части и режимов работы гидроциклона на основе выражения (1), определяли рациональный диаметр гидроциклона. Для этого в программе MathCad был построен график зависимости диаметра гидроциклона от рабочего давления в системе и диаметра песковой насадки (рисунок 2).

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 ( $d_{пес}$ ) может составлять 8; 12; 17 мм, что также соответствует полученным результатам.

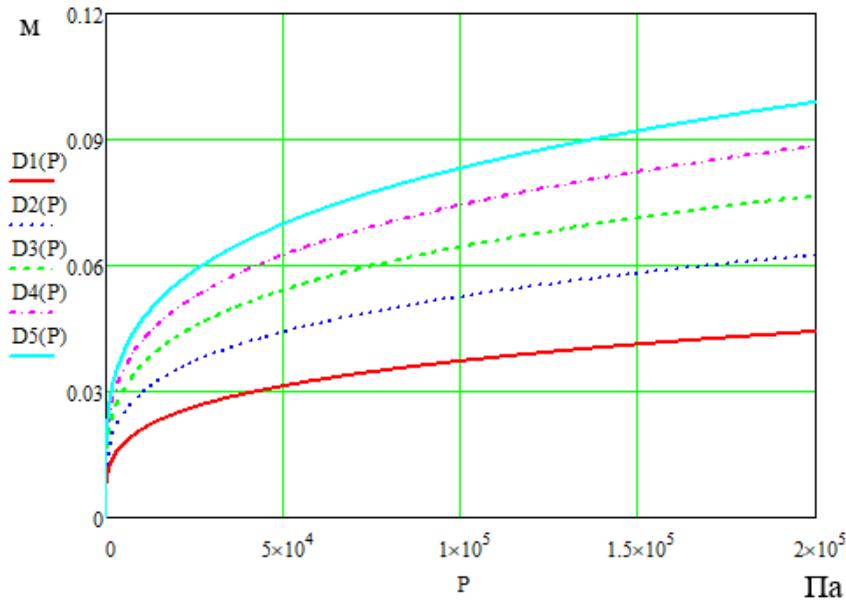


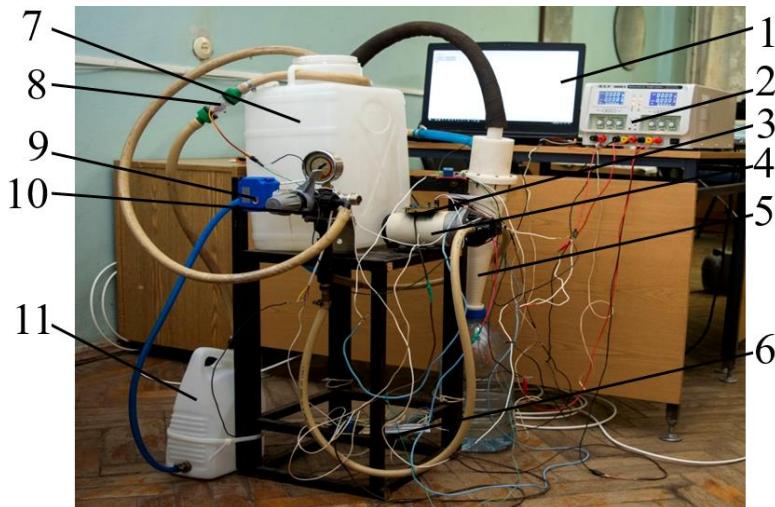
Рисунок 2 – Зависимость диаметра гидроциклона от питающего давления в системе и диаметра песковой насадки

Производительность гидроциклона определяется ( $Q_{гц}$ ), как:

$$Q_{гц} = 0,485 \cdot k_D \cdot k_\alpha \cdot d_{пит} \cdot d_{слив} \sqrt{P_{пит}} \quad (3)$$

где  $k_D$  – коэффициент, учитывающий диаметр гидроциклона;  $k_\alpha$  – коэффициент, учитывающий конусность гидроциклона;  $d_{пит}$  – диаметр питающего отверстия, м;  $d_{слив}$  – диаметр сливного отверстия, м;  $P_{пит}$  – питающее давление, Па.

Для исследования процесса очистки органоминеральных удобрений при помощи гидроциклона разработан лабораторный стенд, представленный на рисунке 3.



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 3 – Лабораторный стенд

Установлено, что с увеличением диаметра песковой насадки наблюдается снижение объёма органоминеральных удобрений, поступивших в балласт.

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 является 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.

Производительность линии определяется производительностью используемой центрифуги из условия:

$$Q_{\text{ц}} \geq Q_{\text{гц}}; \quad (4)$$

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

Производительность центрифуги определяется, как:

$$Q_{\text{ц}} = 1,1 \cdot 10^{-11} \cdot k_{\text{п.ц}} \cdot T_{\text{ц}} \cdot z_{\text{ц}} \cdot V_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}}^2 \cdot \eta_{\text{ц}} \quad (5)$$

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,  $\text{м}^3$ ;  $n_{\text{ц}}$  – частота вращения барабана центрифуги, об/мин;  $\eta_{\text{ц}}$  – КПД центрифуги.

Исходя из производительности гидроциклона выбирали производительность центрифуги более  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . В результате приняли в качестве второй ступени очистки сепаратор А1-ОЦМ-10 отвечающий ГОСТ 18113-2013, ГОСТ 11117-85 и имеющий 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 ходе проведённых экспериментов и 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.

Получение органоминеральных удобрений высоким содержанием гуматов достигается за счёт определения параметров технических средств и интегрирования в процесс искусственной нейронной сети, которая на основе имеющихся данных об исходном сырье уточняет рациональные параметры подготовки.

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  $Y_1 - Y_n$ . В качестве функции активации в скрытом слое использовалась функция ReLU, описываемая выражением (6) и линейная функция для выходного слоя.

$$f(x) = \max(0, x) \quad (6)$$

где  $x$  – входное значение нейрона.

В качестве оптимизатора для корректировки весовых коэффициентов модели с целью минимизации функции потерь использовался алгоритм стохастического градиентного спуска.

$$w_{t+1} = w_t - \alpha_h \frac{dE}{dw_t} \quad (7)$$

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:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{\text{эт}i} - y_{\text{пред}i})^2 \quad (8)$$

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

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 представлена на рисунке 4.

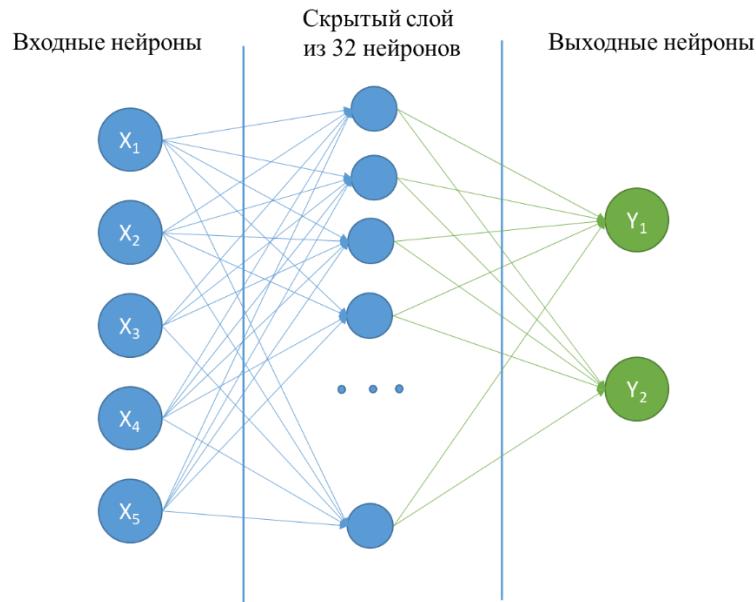


Рисунок 4 – Схема используемой нейронной сети

Предложенная нейронная сеть является частью многоуровневого алгоритма работы системы автоматизации линии, учитывающей максимально возможное число узлов, подлежащих автоматизации. Она использована для определения параметров работы линии по подготовке органоминеральных удобрений.

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.

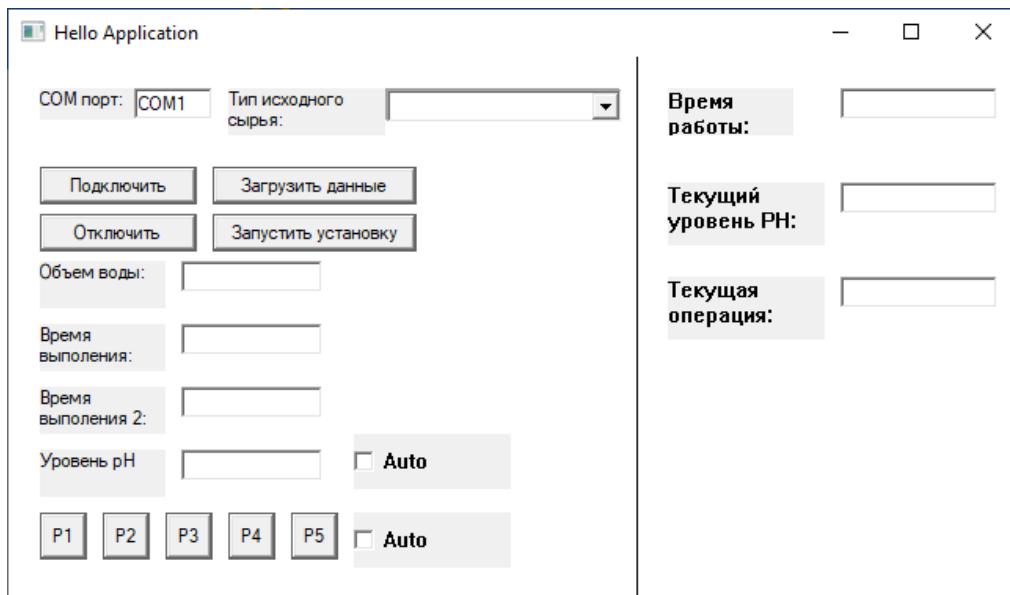


Рисунок 5 – Общий вид интерфейса используемого программного комплекса

Для расширения сформированной на основе литературных источников базы данных была произведена серия экспериментов, направленная на получение органоминеральных удобрений из торфа с различными характеристиками. Полученные результаты были обработаны и занесены в таблицу, после чего при помощи программы Statistica осуществлялся их анализ. Кроме того, полученные результаты были использованы в базе данных для обучения разработанной нейронной сети.

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

$$N_{\text{гфк}} = 40,7267 + 0,4937 \cdot N_{\text{КОН}} + 1,94 \cdot t_{\text{экс}} - 0,0058 \cdot N_{\text{КОН}}^2 - (9) \\ - 0,044 \cdot N_{\text{КОН}} \cdot t_{\text{экс}} + 0,12 \cdot t_{\text{экс}}^2$$

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.

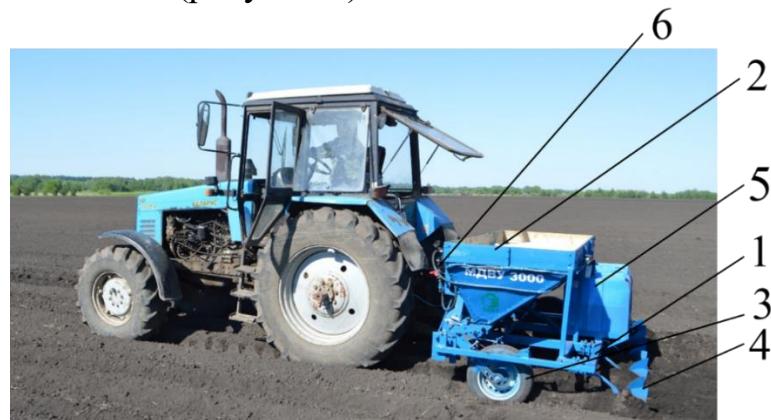
Анализ полученных результатов показал, что выход солей гуминовых и фульвовых кислот растёт с увеличением нормы внесения щёлочи и времени экстракции. При этом более значимым фактором, оказывающим влияние на экстракцию солей гуминовых и фульвовых кислот является норма внесения щёлочи. Высокие значения 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.

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 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. Использование в многоуровневом алгоритме работы системы автоматизации линии искусственной нейронной сети 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.

**В третьей главе «Теоретические основы внесения органоминеральных удобрений в процессе предпосадочной обработки почвы»** определены теоретические предпосылки к совершенствованию локально-ленточного внесения удобрений, на основе которых была предложена схема гребнеобразующего культиватора-подкормщика (патент РФ №2762212). Выполнено теоретическое обоснование параметров гребнеобразующего культиватора-подкормщика для совместного локально-ленточного внесения органоминеральных и минеральных удобрений, обоснованы параметры шнекового дозирующего устройства (патент РФ №2780210) и сошника для распределения удобрений в гребне (патенты РФ №2804071 и №213790). Проведено моделирование процесса дозирования твердых минеральных удобрений в шнековом дозирующем устройстве. Проведены полевые исследования гребнеобразующего культиватора-подкормщика при совместном локально-ленточном внесении стимуляторов роста, органоминеральных и минеральных удобрений при возделывании картофеля.

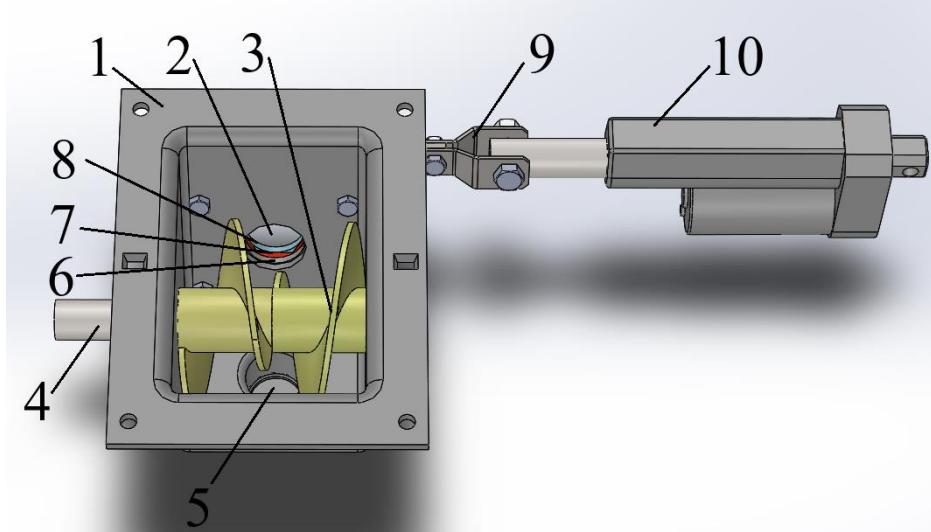
Разработанный гребнеобразующий культиватор-подкормщик содержит раму, с установленным на ней бункером для твердых минеральных удобрений, имеющим в нижней части туковысевающие аппараты. На раме шарнирно закреплена навеска с закреплёнными на ней опорными колёсами. Для внесения жидких удобрений и средств защиты растений на раме установлены ёмкости, которые оборудованы системой подачи препаратов к форсункам, установленным на подкормочных сошниках (рисунок 7).



1 – рама; 2 – бункер для твердых минеральных удобрений; 3 – опорные колеса; 4 – окучивающие сошники; 5 – ёмкость для органоминеральных и жидких минеральных удобрений; 6 – система подачи жидких удобрений;

Рисунок 7 – Общий вид гребнеобразующего культиватора-подкормщика (патент РФ №2762212)

Для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений согласно картам заданий, с высокой точностью их дозирования было разработано дозирующее устройство (рисунок 8).



1 – корпус; 2 – выгрузное отверстие; 3 – составной шнек; 4 – вал; 5 – разгрузочная горловина; 6 – боковая стенка; 7 – заслонки; 8 – водило; 9 – тяга; 10 – актуатор

Рисунок 8 – Схема дозирующего устройства (патент РФ №2780210)

Предлагаемое дозирующее устройство состоит из корпуса с выгрузным отверстием, составного шнека со встречно направленными витками, сходящимися напротив выгрузного отверстия, установленного на валу, который подключен к электроприводу. Корпус содержит разгрузочную горловину с установленной на ней крышкой. Корпус соединён с выгрузным патрубком системой дозирования. Система дозирования включает боковую стенку корпуса и водило, выполненные с направляющими пазами, заслонки, установленные с возможностью перемещения в пазах. Водило соединено через тягу с актуатором.

Производительность дозирующего устройства определяется проходным сечением выгрузного отверстия и производительностью составного шнека. Производительность шнека определяли, как:

$$Q_{ш} = Q_{в1} + Q_{в2} \quad (10)$$

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

Производительность витка шнека определяли по формуле:

$$Q_{в} = 7200 \cdot \pi \cdot h^2 \cdot \omega \cdot \cos \alpha \cdot (1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot b \cdot \gamma_{уд} \quad (11)$$

где  $b$  – расстояние между витками шнека, м;  $h$  – высота витков шнека, м;  $\omega$  – угловая скорость шнека, рад/с;  $\alpha$  – угол подъёма винтовой линии шнека, град;  $\gamma_{уд}$  – объёмная масса удобрений, кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi$  – текущий угол положения витка составного шнека ( $\varphi = \omega t$ ), град.

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

$$Q_{\text{бо}} = \mu \cdot \gamma_{\text{уд}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{в.о.}}^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{\text{уд}}} \quad (12)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода, зависящий от формы отверстия;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $H_{\text{уд}}$  - приведённый напор удобрений,  $\text{м}$ ;  $D_{\text{в.о.}}$  – диаметр выгрузного окна,  $\text{м}$ .

Взаимосвязь между параметрами элементов дозирующего устройства с учётом выражений (11), (12):

$$D_{\text{в.о.}} = \sqrt{\frac{8 \cdot h^2 \cdot \omega \cdot \cos \alpha \cdot (1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot b}{\mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(H + \frac{P_{\text{уд}}}{\gamma_{\text{уд}} \cdot g}\right)}}} \quad (13)$$

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. На основе результатов проведенных программно-математических вычислений был построен график зависимости производительности дозирующего устройства от изменения площади выгрузного отверстия и скорости вращения шнека (рисунок 9).

Анализ графика показал, 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  $\text{мм}^2$  в 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.

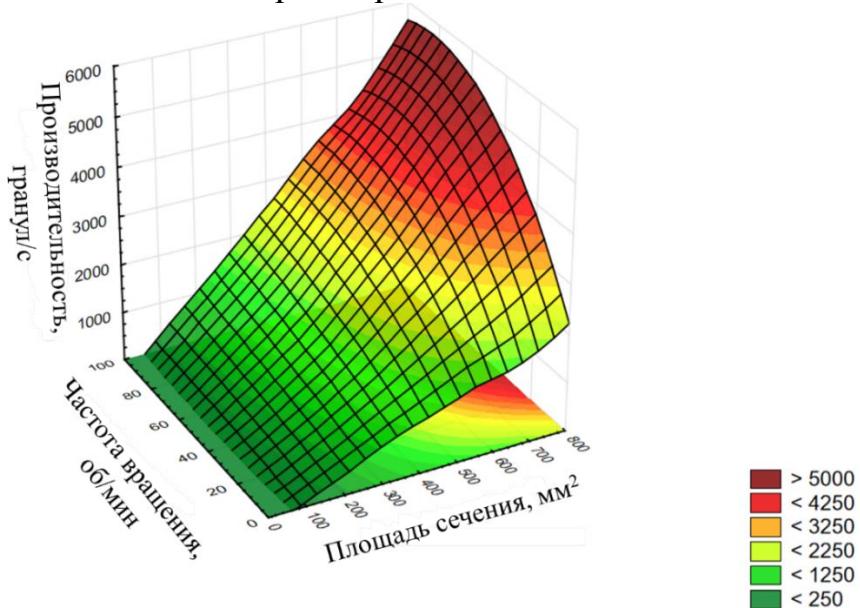


Рисунок 9 – График производительности дозирующего устройства

Также была исследована равномерность высева на разных режимах работы дозирующего устройства (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №. 2022665285). На основе полученных данных была построена графическая зависимость, показывающая равномерность высева гранул в зависимости от частоты вращения шнека и площади выгрузного отверстия (рисунок 10).

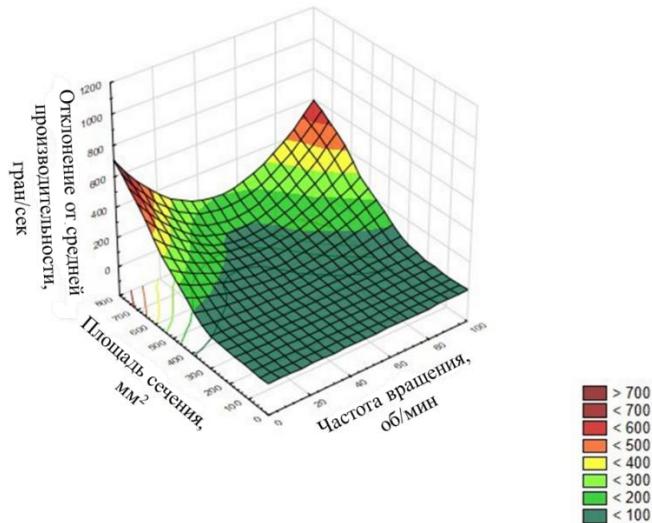
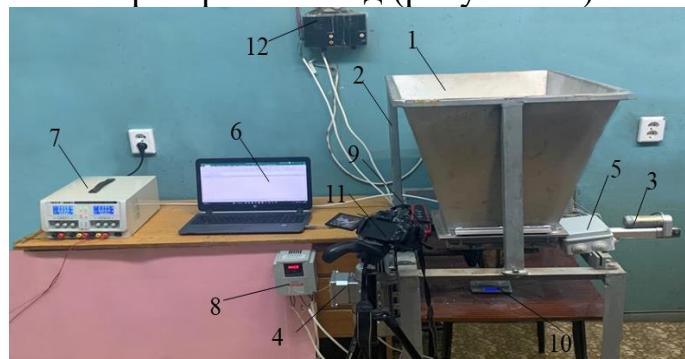


Рисунок 10 – График равномерности высева на разных режимах дозирования

Анализ графика показал, что наибольшее влияние на равномерность высева оказывает диаметр проходного сечения выгрузного отверстия в сравнении с частотой вращения составного шнека. Площадь выгрузного окна следует назначать в диапазоне от  $100 \text{ mm}^2$  до  $600 \text{ mm}^2$ , 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.

С целью уточнения параметров разработанного дозирующего устройства для дифференцированного ленточного внесения минеральных удобрений, был разработан и изготовлен лабораторный стенд (рисунок 11).



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 11 – Общий вид лабораторного стендса

На основе полученных данных был построен график изменения подачи дозирующего устройства от площади проходного сечения и частоты вращения шнека разработанного дозирующего устройства (рисунок 12).

На основании опытных данных было получено уравнение регрессии, описывающее изменения подачи дозирующего устройства от площади проходного сечения и частоты вращения шнека разработанного дозирующего устройства:

$$\Pi_r = -117,0187 + 0,5236 \cdot n_{ш} + 0,7037 \cdot F_{пот} - 0,009 \cdot n_{ш}^2 + 0,003 \cdot n_{ш} \cdot F_{пот} - 0,0006 \cdot F_{пот}^2 \quad (14)$$

где  $\Pi_r$  – подача дозирующего устройства, кг/ч;  $F_{пот}$  – площадь проходного сечения потока удобрений,  $\text{мм}^2$ ;  $n_{ш}$  – частота вращения шнека, об/мин.

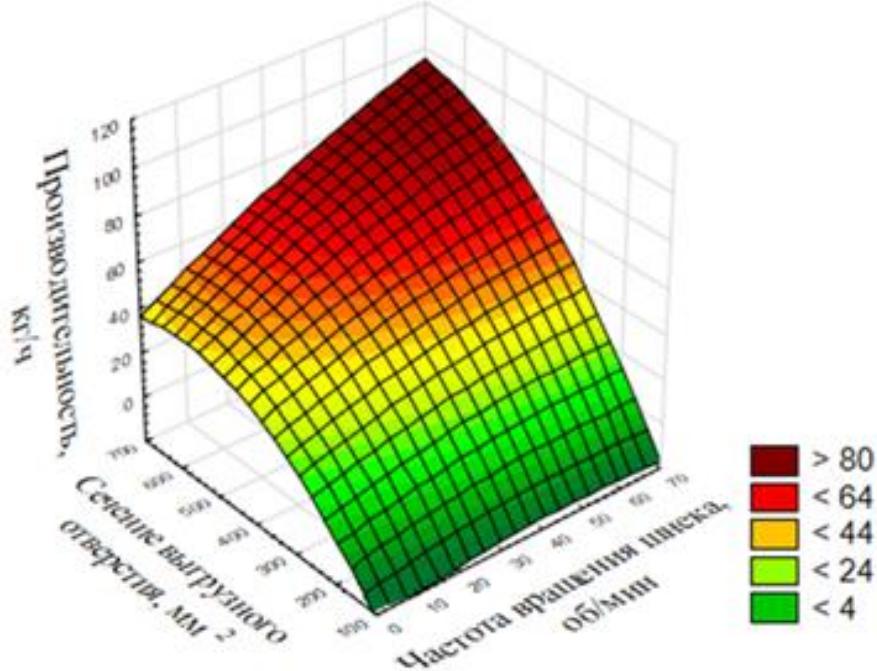


Рисунок 12 – Зависимость подачи шнекового дозирующего устройства от частоты вращения шнека и сечения выгрузного отверстия

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  $500 \text{ мм}^2$ .

При локально-ленточном внесении минеральных удобрений важно учитывать степень распределения удобрений по объёму гребня для эффективного поступления элементов питания к корневой системе картофеля. К предлагаемому гребнеобразующему культиватору-подкормщику был разработан подкормочный сошник с рассеивателем удобрений (рисунок 13).

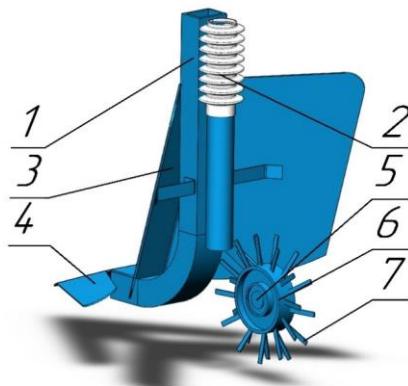
В процессе заглубления сошника образуется борозда, в которую через тукопровод подаются удобрения, взаимодействуя с разнонаправленными

зубьями свободно вращающегося рассеивателя. Таким образом подаваемые минеральные удобрения распределяются по борозде.

Траектории полёта гранул минерального удобрения определяются абсолютной скоростью в момент отскока от зуба рассеивателя, а также высотой расположения рассеивателя над поверхностью земли.

$$\begin{cases} X = \frac{\cos \gamma}{\frac{c_1 \cdot U_1}{m_{\text{гр}} g} \cdot \sin \gamma} \left( 1 - e^{-\frac{c_1 \cdot U_1}{m_{\text{гр}} g} \cdot \sin \gamma \cdot \tau} \right) \\ Y = \left( \frac{1}{\frac{c_1 \cdot U_1}{m_{\text{гр}} g}} + \frac{1}{(\frac{c_1 \cdot U_1}{m_{\text{гр}} g})^2 \cdot \sin \gamma} \right) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{c_1 \cdot U_1}{m_{\text{гр}} g} \cdot \sin \gamma \cdot \tau} \right) - \frac{1}{\frac{c_1 \cdot U_1}{m_{\text{гр}} g}} \tau \end{cases} \quad (15)$$

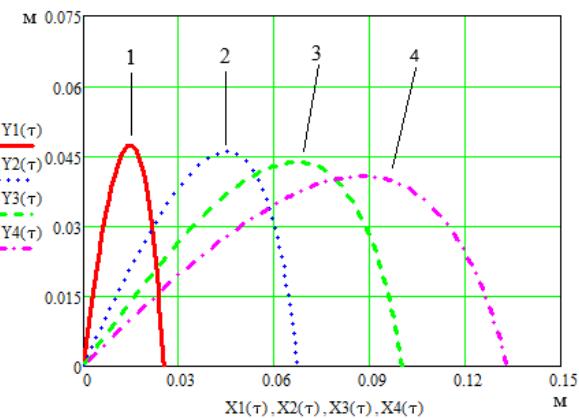
где  $\gamma$  – угла отскока, град;  $c_1$  – коэффициент линейной составляющей скорости, Н·м/с;  $U_1$  – начальная скорость гранулы, м/с;  $m_{\text{гр}}$  – масса гранулы, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\tau$  – время.



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

Рисунок 13 – Общий вид подкормочного сошника для внесения твердых минеральных удобрений (патенты РФ №2804071 и №213790)

На основе системы уравнений (15) в программе MathCad был построен график траекторий гранул минеральных удобрений после отскока от зуба рассеивателя в зависимости от изменения угла его наклона (рисунок 14).



1 – угол наклона зуба 2°; 2 – угол наклона зуба 4°; 3 – угол наклона зуба 6°; 4 – угол наклона зуба 8°;

Рисунок 14 – График траекторий гранул минеральных удобрений после отскока от зуба рассеивателя

Анализ траекторий 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  $7^\circ$ .

Для оценки качества работы сошника и системы дозирования, была проведена серия экспериментов. В ходе которых оценивалось, на сколько равномерно распределяются минеральные удобрения по площади.

На основе полученных результатов в программе Statistica было получено уравнение регрессии, характеризующее неравномерность распределения:

$$H_p = 1,0141 - 0,1121 \cdot \alpha_3 - 0,0081 \cdot h_3 + 0,0052 \cdot \alpha^2 + 0,0003 \cdot \alpha_3 \cdot h_3 + 2,118 \cdot 10^{-5} \cdot h_3^2 \quad (16)$$

где  $H_p$  – неравномерность распределения, %;  $\alpha_3$  – угол наклона зуба, град;  $h_3$  – высота зуба над поверхностью, мм.

На основе полученной модели построен график зависимости неравномерности распределения гранул от изменения угла наклона зубьев и высоты их расположения (рисунок 15).

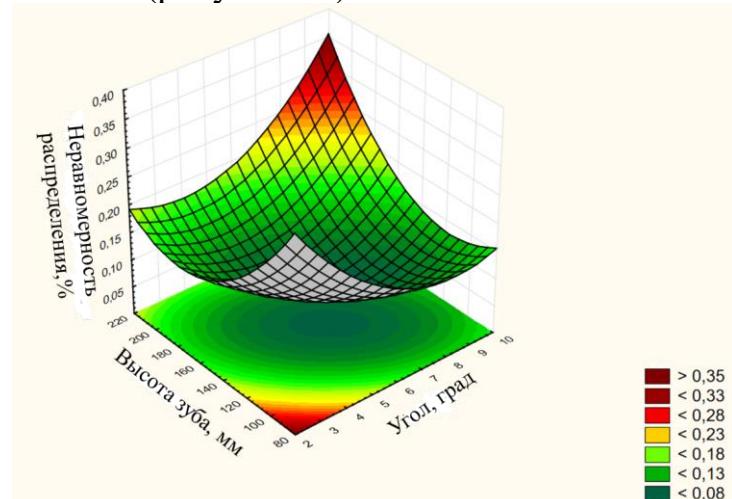


Рисунок 15 – График зависимости неравномерности распределения гранул по поверхности от угла установки и высоты зуба

Анализируя зависимость установлено, что диапазонами параметров рассеивателя является угол наклона зубьев  $5^\circ \dots 8^\circ$ , высота расположения зубьев рассеивателя над дном борозды 120 ... 160 мм. Используя полученные аналитические зависимости получены рациональные значения параметров – угол наклона зубьев  $6^\circ$ , диаметр рассеивателя 150 мм, что соответствует наименьшей неравномерности распределения гранул минеральных удобрений по поверхности.

В ходе производственных исследований гребнеобразующего культиватора-подкормщика при совместном внесении органоминеральных и минеральных удобрений в ООО «Авангард» Рязанского района, Рязанской области было установлено, что 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 % с увеличением средней массы клубней на 26,2 % в сравнении со сплошным внесением минеральных удобрений (KCl) с нормой 460 кг/га, и увеличению урожайности на 8,7 % с увеличением средней массы клубней на 14,2 % в сравнении с локально-ленточным внесением минеральных удобрений (KCl) с нормой 250 кг/га (патент РФ №2814712).

**В четвертой главе «Теоретико-технологические основы внесения органоминеральных удобрений в период вегетации картофеля»** определены теоретические предпосылки совместного внесения органоминеральных удобрений во время пестицидной обработки, на основе которых предложена схема аэрозольного опрыскивателя пропашных культур (патент РФ №2727637). Выполнено теоретическое обоснование параметров аэрозольного опрыскивателя для совместного внесения органоминеральных удобрений во время пестицидной обработки. Экспериментально уточнены параметры аэрозольного опрыскивателя для совместного внесения органоминеральных удобрений во время пестицидной обработки с использованием тоннельных укрытий. Проведены сравнительные исследования равномерности распределения рабочего раствора при обработке растений картофеля штанговым опрыскивателем и аэрозольным генератором с тоннельным укрытием. Выполнены производственные исследования совместного внесения органоминеральных удобрений и пестицидов в период вегетации картофеля (патент РФ №2810531).

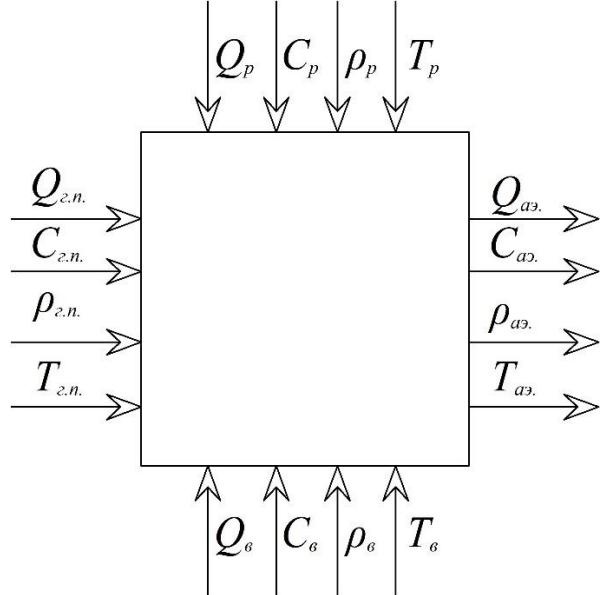
Разработанный аэрозольный опрыскиватель пропашных культур состоит из резервуаров для рабочего раствора, в конструкции имеется система подачи средств защиты растений, включающая в себя насосы дозаторы для подачи рабочего раствора и раствора гербицидов, генератор горячего тумана с жаровой трубой и эжектором. 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 (рисунок 16).



1 – рама; 2 – генератор горячего тумана, 3 – тоннельные укрытия; 4 – резервуар для рабочего раствора; 5 – опорное колесо

Рисунок 16 – Общий вид аэрозольного опрыскивателя (патент РФ №2727637)

Эффективность работы аэрозольного опрыскивателя определяется объёмом формируемого аэрозоля к площади обрабатываемой поверхности. В свою очередь данный показатель зависит от параметров используемого генератора горячего тумана. Производительность генератора горячего тумана определяется мощностью испарителя (рисунок 17)



$Q_{e.n.}, Q_p, Q_b, Q_{aэ}$  – теплота топочных газов, раствора, воздуха и аэрозоля, кДж, соответственно;  $C_{e.n.}, C_p, C_b, C_{aэ}$  – удельная теплоёмкость топочных газов, раствора, воздуха и аэрозоля, кДж/(кг·К), соответственно;  $\rho_{e.n.}, \rho_p, \rho_b, \rho_{aэ}$  – плотность топочных газов, раствора, воздуха и аэрозоля, кг/м<sup>3</sup>, соответственно;  $T_{e.n.}, T_p, T_b, T_{aэ}$  – температура топочных газов, раствора, воздуха и аэрозоля, К, соответственно

Рисунок 17 – Детерминированная модель формирования аэрозоля защитно-стимулирующих препаратов

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.

Используя детерминированную модель формирования аэрозоля защитно-стимулирующих препаратов (рисунок 17), получили уравнение баланса:

$$Q_{\text{г.п.}} \cdot C_{\text{г.п.}} \cdot \rho_{\text{г.п.}} \cdot (T_{\text{г.п.1}} - T_{\text{г.п.2}}) + Q_b \cdot C_b \cdot \rho_b \cdot (T_{b1} - T_{b2}) + Q_p \cdot C_p \cdot \rho_p \cdot (T_{p1} - T_{p2}) = Q_{aэ} \cdot C_{aэ} \cdot \rho_{aэ} \cdot T_{aэ}. \quad (17)$$

где  $Q_{e.n.}, Q_p, Q_b, Q_{aэ}$  – теплота топочных газов, раствора, воздуха и аэрозоля, кДж;  $C_{e.n.}, C_p, C_b, C_{aэ}$  – удельная теплоёмкость топочных газов, раствора, воздуха и аэрозоля, кДж/(кг·К);  $\rho_{e.n.}, \rho_p, \rho_b, \rho_{aэ}$  – плотность топочных газов, раствора, воздуха и аэрозоля, кг/м<sup>3</sup>;  $T_{e.n.}, T_p, T_b, T_{aэ}$  – температура топочных газов, раствора, воздуха и аэрозоля, 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. При этом доля жидкой фазы рабочего раствора в аэрозоле определится выражением:

$$\varepsilon_p = \frac{V_p}{V_{\text{г.п.}} + V_b + V_p} \quad (18)$$

где  $\varepsilon_p$  – доля жидкой фазы;  $V_p$ ,  $V_{\text{г.п.}}$ ,  $V_b$  – объёмный расход раствора, топочных газов и воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Объёмный расход генерируемого аэрозоля равен:

$$V_{\text{аэ}} = V_p + V_{\text{г.п.}} + V_b \quad (19)$$

Плотность аэрозоля рабочего раствора определяется выражением:

$$\rho_{\text{аэ}} = \rho_p \frac{V_p}{V_{\text{г.п.}} + V_b + V_p} + \rho_{\text{г.п.}} \frac{V_{\text{г.п.}}}{V_{\text{г.п.}} + V_b + V_p} + \rho_b \frac{V_b}{V_{\text{г.п.}} + V_b + V_p} \quad (20)$$

Температура формируемого аэрозоля после выхода из жаровой трубы описывается выражением:

$$T_{\text{аэ}} = \frac{V_{\text{г.п.}} C_{\text{г.п.}} T_{\text{г.п.}} + V_b C_b T_b + V_p C_p T_p}{V_{\text{аэ}} C_{\text{аэ}}} \quad (21)$$

где  $C_{\text{г.п.}}$ ,  $C_b$ ,  $C_p$ ,  $C_{\text{аэ}}$  – удельные теплоёмкости соответственно газового потока топочных газов, воздуха, рабочего раствора и формируемого аэрозоля,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $T_{\text{г.п.}}$ ,  $T_b$ ,  $T_p$ ,  $T_{\text{аэ}}$  – температуры соответственно газового потока топочных газов, воздуха, рабочего раствора и формируемого аэрозоля,  $\text{К}$ .

Удельная теплоёмкость формируемого аэрозоля после выхода из жаровой трубы определяется выражением:

$$C_{\text{аэ}} = \frac{V_{\text{г.п.}} C_{\text{г.п.}} + V_b C_b + V_p C_p}{V_{\text{г.п.}} + V_b + V_p} \quad (22)$$

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:

$$t_t = \frac{V_t}{V_{\text{аэ}}} \quad (23)$$

где  $t_t$  – время заполнения тоннельного укрытия формируемым аэрозолем,  $\text{с}$ ;  $V_t$  – объём тоннельного укрытия,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{аэ}}$  – объёмный расход генерируемого аэрозоля,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

В свою очередь качество обработки растения картофеля будет определяться средней скоростью движения агрегата:

$$v_{\text{агр}}^{\text{ср}} = \frac{l_t}{t_t} \quad (24)$$

где  $v_{\text{агр}}^{\text{ср}}$  – средняя скорость движения агрегата для аэрозольной обработки растений,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $l_t$  – длина тоннельного укрытия,  $\text{м}$ .

Используя выражения (23) и (24) в программе MathCad были построены графики изменения времени, затрачиваемого на заполнение тоннельного укрытия аэрозолем исходя из параметров укрытия и средней скорости движения агрегата. На основе которых в последующем была разработана номограмма (рисунок 18) для выбора параметров скорости и производительности агрегата.

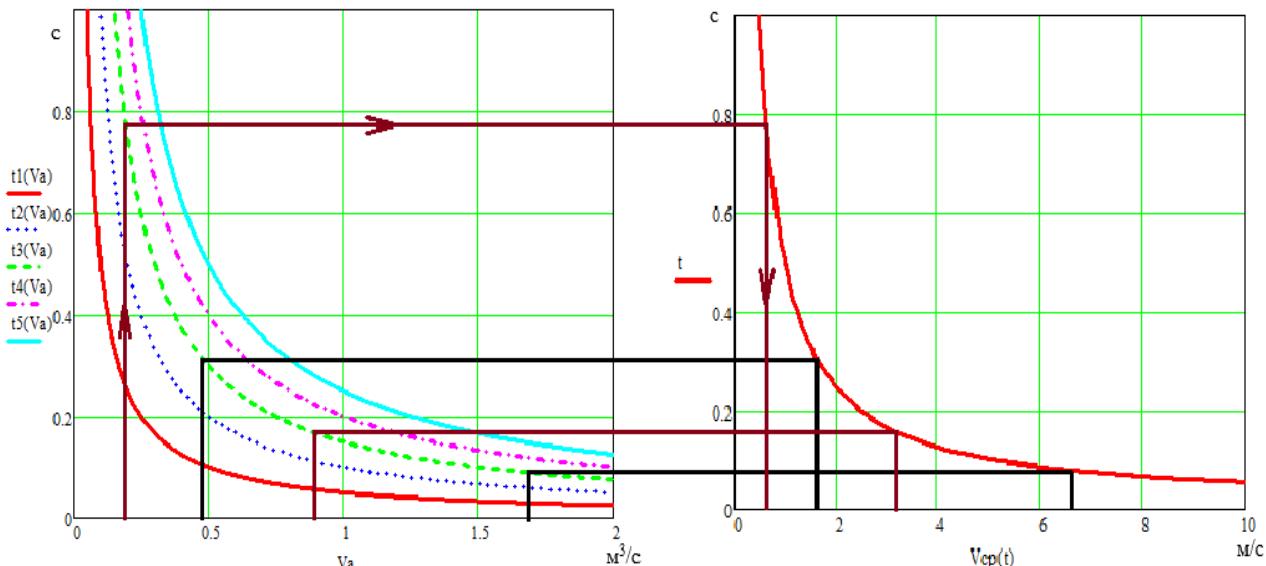


Рисунок 18 – Номограмма для выбора средней скорость движения агрегата в зависимости от объёмного расхода генерируемого аэрозоля и геометрических параметров тоннельного укрытия

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. Установлено, что 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 обеспечивается полноценное заполнение четырёх тоннельных укрытий при рациональной скорости движения агрегата в диапазоне от 1,5 м/с до 3,5 м/с.

В ходе проведения сравнительных исследований в качестве контроля использовался штанговый опрыскиватель ОП – 1000/18, в качестве экспериментального образца применялся генератор горячего тумана марки BF-150 с макетом тоннельного укрытия. Для оценки эффективности обработки использовали имитацию растений картофеля с закреплёнными на листьях дисками фильтровальной бумаги диаметром 55 мм. Для обеспечения качественного перекрытия и соблюдения параметров опрыскивания, обработку проводили со скоростью от 8 до 12 км/ч.

После обработки растений рабочим раствором фильтровальным дискам давали подсохнуть, после чего диски подвергались оцифровке при помощи сканера Epson Perfection V33, с разрешением 4800×9600 точек на дюйм. Изображения дисков оценивали по степени их обработки рабочим раствором. Полученные результаты обрабатывались в программе Statistica, где были построены диаграммы эффективности обработки (рисунки 19, 20).

Анализ результатов показал, 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.

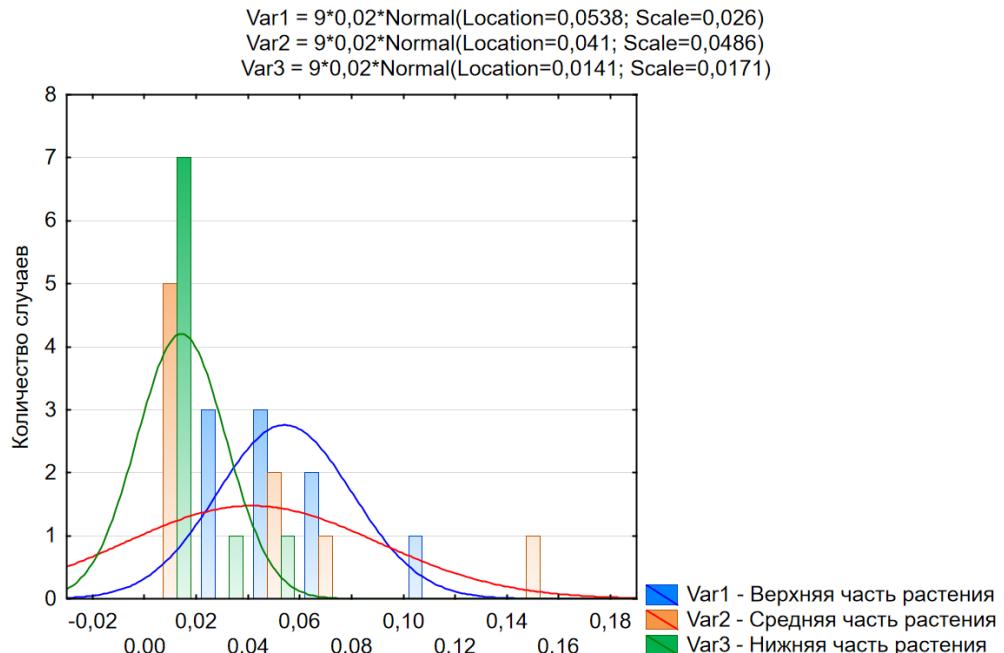


Рисунок 19 – Эффективность обработки нижней поверхности листьев при помощи штангового опрыскивателя ОП – 1000/18

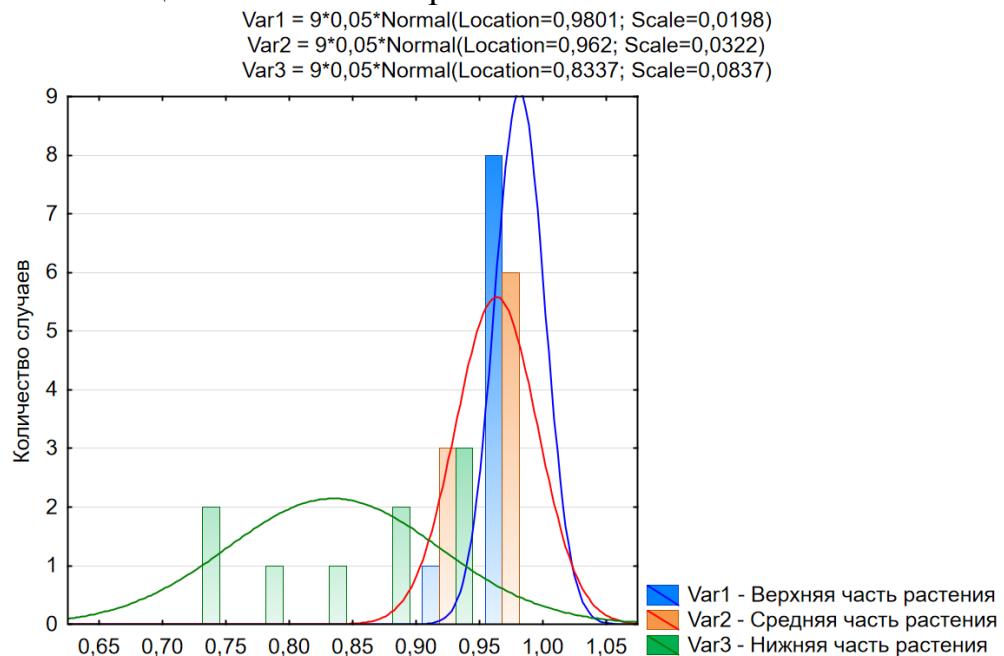


Рисунок 20 – Эффективность обработки нижней поверхности листьев при помощи генератора горячего тумана BF-150 с тоннельным укрытием

Полевые исследования аэрозольного опрыскивателя для обработки картофеля проводились на базе Института семеноводства и агротехнологий – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Разработанный аэрозольный опрыскиватель пропашных культур при помощи трёхточечной навески крепился на трактор

МТЗ-82 в сцепке, с которым производилась обработка опытного участка (рисунок 21).



Рисунок 21 – Обработка посадок картофеля аэрозольным опрыскивателем пропашных культур

В процессе полевых исследований оценивалась степень заражения растений вредителями и поражения ботвы и листьев наиболее распространёнными заболеваниями в данном регионе возделывания. 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.

Совместная аэрозольная 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 соответственно (патент РФ №2810531).

**В пятой главе «Результаты внедрения и технико-экономические оценки технических средств для подготовки и внесения органоминеральных удобрений при возделывании картофеля»**

Экономическую эффективность оценивали за период окупаемости с учётом дисконтирования, который позволяет оценить, на сколько быстро инвестиционные затраты будут компенсированы за счёт получаемых доходов. Одним из подходов к определению данного показателя, является метод чистой приведённой стоимости (NPV). Чистая приведённая стоимость рассчитывается как разница между текущей стоимостью будущих денежных потоков от проекта и первоначальными инвестициями.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{b(t)}{(1+r_{\text{disc}})^t} - C \quad (25)$$

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.

Оценка экономической эффективности технических средств по подготовке 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.

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.

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. Анализ полученных результатов показывает, что несмотря на высокие экономические риски разработанные технические решения обладают высоким потенциалом экономической эффективности при их внедрении в производство.

## 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 гидроциклона, 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 сошника, 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 6° 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 работ, в которых опубликованы основные положения диссертации:**

#### ***Издания, рецензируемые в базах данных Scopus и Web of Science***

1. Increasing the efficiency of mineral fertilizers by their biological modification / S.V. Mitrofanov, N.V. Orlova, V.S. Teterin [et al.] // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2023. – Vol. 29(1). – P. 43–54.

2. Technology for Production of Humic Preparations / Teterin, V., Mitrofanov, S., Panferov, N., Ovchinnikov, A., Pehnov, S. // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2024. – Vol. 733, – P. 263–273.

#### ***Издания из списка ВАК РФ***

3. Анализ применения различных видов гуматов и способов их использования при возделывании картофеля / М. Ю. Костенко, И. Н. Горячкина, В. С. Тетерин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 3(39). – С. 88-93. – EDN YBJKDJ.

4. 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. – EDN YIUMTK.

5. Модернизация технического средства для внутрипочвенного внесения органоминеральных удобрений / М. А. Гайбаян, В. С. Тетерин, В. И. Сидоркин, Н. Н. Гапеева // Технический сервис машин. – 2020. – № 2(139). – С. 12-20. – DOI 10.22314/2618-8287-2020-58-2-12-20. – EDN ROPTIO.

6. 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. – EDN VIKSJI.

7. 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. – EDN ORXTPF.
8. 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. – EDN XTWTYP.
9. Тетерин, В. С. Обоснование методики проектирования взаимосвязанной поточной работы комплексов машин / С. В. Митрофанов, Н. С. Панферов, В. С. Тетерин // Сельский механизатор. – 2021. – № 2. – С. 6-7. – EDN VVYSCB.
10. 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. – EDN JBDBYJ.
11. 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. – EDN MHPQKO.
12. Использование нейронной сети для выявления больных растений картофеля / А. Г. Аксенов, В. С. Тетерин, А. Ю. Овчинников [и др.] // Аграрная наука. – 2022. – № 7-8. – С. 167-171. – DOI 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-167-171. – EDN JHXHUL.
13. 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. – EDN SMPKLR.
14. Разработка технологии контроля работы распределителей твердых минеральных удобрений и качества их распределения / А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов, В. С. Тетерин [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 12. – С. 106-111. – DOI 10.28983/asj.y2022i12pp106-111. – EDN WGXXOT. (BAK)
15. Разработка шнекового дозирующего устройства твердых минеральных удобрений / М. Ю. Костенко, И. А. Успенский, В. С. Тетерин [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 5(311). – С. 16-21. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-16-20. – EDN YQUMVR.
16. Исследование технологии по применению гуматов для повышения эффективности минеральных удобрений / В. С. Тетерин, Н. В. Липатов, М. Ю. Костенко [и др.] // Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 187. – С. 304-315. – DOI 10.21515/1990-4665-187-028. – EDN MNXDSJ.
17. Экономическая оценка эффективности использования биологически модифицированных удобрений / С. В. Митрофанов, В. С. Тетерин, Н. С. Панферов, А. В. Чирков // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 2(332). – С. 44-48. – DOI 10.33267/2072-9642-2025-2-44-48. – EDN LMQTIB.

18. Разработка и обоснование параметров сошника для подпочвенно-разбросного внесения твердых минеральных удобрений / В. С. Тетерин, М. Ю. Костенко, Н. В. Липатов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2025. – № 7. – С. 146-154. – DOI 10.28983/asj.y2025i7pp146-154.

***В патентах:***

19. Патент № 2731577 С1 Российская Федерация, МПК A01G 25/09, A61L 2/22. Агрегат для аэрозольной обработки пропашных культур: № 2019137170: заявл. 19.11.2019: опубл. 04.09.2020 / В. С. Тетерин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева".

20. 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, [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агронженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

21. 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 агронженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

22. 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 агронженерный центр ВИМ».

23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662322 Российская Федерация. Программный комплекс по формированию системы удобрения в цифровом земледелии: № 2021619908: заявл. 25.06.2021: опубл. 26.07.2021 / С. В. Митрофанов, А. С. Пехнов, В. С. Никитин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агронженерный центр ВИМ».

24. 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 агронженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

25. Патент на полезную модель № 213790 U1 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 бюджетное образовательное учреждение высшего образования

"Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева".

26. 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 агротехнологический центр ВИМ".

27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022665285 Российской Федерации. Программа управления системой дозирования твердых минеральных удобрений: № 2022664284: заявл. 01.08.2022: опубл. 12.08.2022 / В.С. Тетерин, А. С. Дорохов, А. Г. Аксенов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агротехнологический центр ВИМ».

28. Патент на полезную модель № 210619 U1 Российская Федерация, МПК A01M 7/00, A61L 2/22. Агрегат для аэрозольной обработки пропашных культур: № 2021137209: заявл. 14.12.2021: опубл. 22.04.2022 / Р. В. Безносюк, И. Н. Горячкина, В.С. Тетерин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева".

29. Патент № 2810531 С1 Российская Федерация, МПК A01M 7/00, A01C 21/00. Способ совместной аэрозольной обработки пестицидами и гуматами картофеля: 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 агротехнологический центр ВИМ".

30. Патент № 2804071 С1 Российская Федерация, МПК A01C 7/20. Сошник для разбросного-ленточного внесения твердых минеральных удобрений: № 2023105628: заявл. 10.03.2023: опубл. 26.09.2023 / В. С. Тетерин, А. Г. Аксенов, М. Ю. Костенко, Н. В. Липатов; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агротехнологический центр ВИМ".

31. 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 агротехнологический центр ВИМ".

32. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025686849 Российской Федерации. 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 агротехнологический центр ВИМ».

### ***В монографиях:***

33. Тетерин, В.С. Перспективные технические решения для внесения удобрений при возделывании картофеля / В.С. Тетерин, Н.В. Липатов, М.Ю.

Костенко и др. // монография / ФГБОУ ВО РГАТУ; ФГБНУ ФНАЦ ВИМ – 2024. – 165 с.,

*Статьи в других научных журналах и сборниках, материалах международных и всероссийских конференций:*

34. К вопросу разработки карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений / С. В. Митрофанов, С. А. Белых, В.С. Тетерин [и др.] // Техническое обеспечение сельского хозяйства. – 2020. – № 1(2). – С. 141-150.

35. К вопросу совершенствования технологии локального внесения удобрений при посадке и уходе за растениями картофеля / О. А. Тетерина, М. Ю. Костенко, Н. В. Липатов, В. С. Тетерин // Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации: материалы 72-й международной научно-практической конференции, Рязань, 20 апреля 2021 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2021. – С. 392-397.

36. 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.

37. Тетерин, В. С. 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.

38. Сокращение объёма используемых пестицидов за счёт применения аэрозольного опрыскивателя для обработки пропашных культур / В. С. Тетерин, Н. С. Панферов, О. А. Тетерина, М. Ю. Костенко // Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития: Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора техн. наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 24 ноября 2022 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. – С. 184-189.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная  
Усл. печ. л. 2. Тираж 100 экз.*

*Заказ №\_\_\_\_\_ подписано в печать 22.01.2026 г.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет  
имени П.А. Костычева»*

*390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*

*Отпечатано в издательстве учебной литературы и учебно-  
методических пособий ФГБОУ ВО РГАТУ*

*390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*