

*На правах рукописи*

**ЗАПЕВАЛОВ Михаил Вениаминович**



**КОМПЛЕКСНЫЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ  
ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ И СЕМЯН ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Челябинск – 2013

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация машинно-тракторного парка» ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Научный консультант: доктор технических наук, профессор  
**Сергеев Николай Степанович**

Официальные оппоненты: **Рахимов Раис Саитгалеевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Почвообрабатывающие,  
посевные машины и земледелие» ФГБОУ ВПО  
«Челябинская государственная  
агроинженерная академия»

**Охотников Борис Лазаревич**,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Эксплуатация  
машинно-тракторного парка» ФГБОУ ВПО  
«Уральская государственная  
сельскохозяйственная академия»

**Астафьев Владимир Леонидович**,  
доктор технических наук, профессор,  
директор Костанайского филиала ТОО  
«Казахский научно-исследовательский  
институт механизации и электрификации  
сельского хозяйства»

Ведущая организация: ГНУ Сибирский научно-исследовательский  
институт механизации и электрификации  
сельского хозяйства сибирского отделения РАСХН

Защита состоится «28» июня 2013 г., в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.069.01 на базе ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 75.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Автореферат разослан «15» мая 2013 г. и размещен на официальном сайте ВАК при Министерстве образования и науки России <http://vak.ed.gov.ru>.

Ученый секретарь  
диссертационного  
совета



Возмилов  
Александр Григорьевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Жесткая конкуренция на рынке растениеводческой продукции ставит перед сельхозтоваропроизводителями первоочередную задачу по повышению эффективности возделывания сельскохозяйственных культур. Эта задача может быть решена путем повышения урожайности и снижением затрат ресурсов.

Одним из радикальных способов повышения урожайности является применение удобрений. В настоящее время в России на 1 га посевов в среднем вносится около 25 кг действующего вещества (д. в.) удобрения, в то время как в государствах с развитым сельским хозяйством – от 130 до 285 кг д. в. Основной причиной неудовлетворительного применения минеральных удобрений является их высокая стоимость. Недостаточная эффективность применения органических удобрений связана с низким содержанием в них питательных веществ и несовершенством технологии внесения. Сложилась ситуация, когда затраты на применение удобрений зачастую не окупаются прибавкой урожайности сельскохозяйственных культур. Кроме того, при усилении питания растений создаются благоприятные условия для патогенов и вредителей, что также приводит к большим потерям урожая.

Одним из рациональных способов защиты растений от болезней и воздействия вредителей является протравливание семян. Высокоэффективное действие комплекса защитно-стимулирующих препаратов обеспечивается при соблюдении полноты обработки и равномерности распределения препарата как между отдельными семенами, так и на поверхности каждого семени. Это предполагает, в свою очередь, высокий уровень технологии обработки семян, выдержать который имеющимися техническими средствами зачастую не удается.

Исходя из вышеизложенного, разработка способа и технологии приготовления эффективного удобрения, рациональное внесение его в почву и качественная предпосевная обработка семян защитно-стимулирующими препаратами являются актуальными задачами и имеют важное народно-хозяйственное значение. **Научная проблема** заключается в отсутствии взаимосвязей между технологическими процессами приготовления органо-минерального удобрения на основе птичьего помета, ленточным внутрипочвенным внесением

удобрения и двухступенчатой обработкой семян защитно-стимулирующими препаратами, а также в установлении внутренних связей этих процессов, направленных на повышение эффективности возделывания сельскохозяйственных культур.

Научные исследования и разработки, составившие основу диссертационной работы, выполнены в соответствии с разделом Федеральной программы по научному обеспечению АПК РФ: шифр 01.02 «Разработать перспективную систему технологий и машин для производства продукции растениеводства и животноводства на период до 2015 г.», Межведомственной координационной программой фундаментальных и приоритетных исследований по научному обеспечению развития агропромышленного комплекса РФ на 2011–2015 гг., одобренной Президиумом Россельхозакадемии 18 октября 2010 г., Межведомственным советом по формированию и реализации программы 31 октября 2010 г.

**Научная гипотеза.** Реализация комплекса технологических процессов приготовления органо-минерального удобрения, ленточного внутрипочвенного его внесения и предпосевной двухступенчатой обработки семян защитно-стимулирующими препаратами позволит существенно повысить потенциал урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур при меньших затратах на удобрения и защитно-стимулирующие препараты, разработка которых базируется на установлении причинно-следственных связей отдельных и комплекса технологических процессов.

**Цель исследований.** Повышение эффективности возделывания сельскохозяйственных культур путем реализации комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур.

**Задачи исследований:**

1. На основе системного анализа производственной ситуации по применению удобрений и защите растений от болезней и вредителей обосновать концепцию построения комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур.

2. Разработать технологический процесс и обосновать технические средства для приготовления органо-минерального удобрения, установить его влияние на урожайность сельскохозяйственных культур.

3. Разработать технологический процесс, обосновать параметры и режимы работы рабочих органов машины для ленточного внутрипочвенного внесения органо-минерального удобрения при возделывании пропашных культур.

4. Разработать технологический процесс и технические средства, обеспечивающие равномерное нанесение защитно-стимулирующего препарата на семена и снижение их травмирования.

5. Разработать опытные образцы машины для ленточного внутрипочвенного внесения органо-минерального удобрения, протравливателя семян с двухступенчатым нанесением защитно-стимулирующего препарата, провести производственную проверку работы агрегатов, дать оценку эффективности применения комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур.

**Объект исследований.** Комплексный ресурсосберегающий технологический процесс и технические средства для предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур.

**Предмет исследований.** Взаимосвязи технологических процессов приготовления органо-минерального удобрения на основе птичьего помета, ленточного внутрипочвенного его внесения и двухступенчатой обработки семян защитно-стимулирующими препаратами, а также внутренние связи этих процессов, направленных на повышение эффективности возделывания сельскохозяйственных культур.

**Методика исследований.** Исследования проводились на основе системного подхода к решению поставленных задач путем анализа и синтеза технологических процессов с использованием положений и законов классической механики, гидродинамики, математики и математического моделирования, оптимизации, тензометрирования и других приемов. Результаты теоретических исследований подтверждены экспериментальной проверкой на физических моделях, лабораторных и опытно-производственных машинах. Обработка результатов экспериментальных исследований осуществлялась на ПЭВМ с использованием пакетов программ MathCAD, Excel. Достоверность результатов работы подтверждается сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, которая составляет не менее 90 %, при погрешности опытов не более 5 %.

**Научная новизна основных положений, выносимых на защиту.**

1. Обоснована и разработана концепция возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающая повышение рентабельности производства продукции растениеводства, на основе установления причинно-следственных связей комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур.

2. Впервые обоснованы и разработаны новые способы и модели технологических процессов приготовления органо-минерального удобрения, его ленточного внутripочвенного внесения и двухступенчатой обработки семян защитно-стимулирующими препаратами, модель комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур.

3. Впервые определены основные технологические и технические параметры процесса приготовления органо-минерального удобрения. Определены основные физико-механические и химические свойства данного удобрения. Установлена отзывчивость возделываемых культур прибавкой урожайности и качеством продукции на применение органо-минерального удобрения.

4. Разработаны математические модели и предложены методы расчета рациональных параметров основных рабочих органов и режимов работы машины для ленточного внутripочвенного внесения органо-минерального удобрения и протравливателя семян с двухступенчатым нанесением защитно-стимулирующего препарата.

5. Обоснованы основные параметры и режимы работы рабочих органов машин для ленточного внутripочвенного внесения органо-минерального удобрения и протравливателя с двухступенчатым нанесением защитно-стимулирующих препаратов на семена, обеспечивающие качество выполнения технологических операций и снижение затрат энергии.

Научная новизна и достоверность результатов работы подтверждены 4 авторскими свидетельствами на изобретение, в том числе одно на способ внутripочвенного внесения органо-минерального удобрения, 5 патентами на изобретение, в том числе один на способ приготовления органо-минерального удобрения и один на способ утилизации птичьего помета.

**Практическая ценность.** Обобщена и развита теория и практика применения комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании с.-х. культур. Разработан способ и технологический процесс приготовления органо-минерального удобрения на основе птичьего помета, позволяющий утилизировать опасные для окружающей среды отходы птицеводства и получать удобрения с содержанием питательных веществ до 30–35%. По питательным свойствам данные удобрения являются конкурентоспособными с минеральными туками, кроме того, их стоимость значительно ниже. Разработан способ и технологический процесс ленточного внутрипочвенного внесения органо-минерального удобрения, который, по сравнению со сплошным внесением, обеспечивает снижение потребного количества удобрения в 4...5 раз, исключает питательную среду для сорняков и дополнительную операцию по заделке удобрения в почву. Внутрипочвенное внесение удобрения предотвращает потери питательных веществ и загрязнение окружающей среды, снижает уплотнение почвы, затраты труда и энергии. Результаты исследований по двухступенчатому нанесению защитно-стимулирующего препарата на поверхность обрабатываемых семян позволяют повысить качество обработки семян, исключить их повреждение и тем самым повысить эффективность выполнения данной технологической операции. Опытные образцы машин для ленточного внутрипочвенного внесения органо-минерального удобрения и протравливателя семян с двухступенчатым нанесением защитно-стимулирующего препарата прошли производственную проверку и рекомендованы к внедрению.

Результаты работы отмечены 2 медалями и 2 свидетельствами областного смотра-конкурса Свердловской области, 1 медалью и 2 дипломами выставок агропромышленного комплекса Челябинской области. Для проведения исследований Правительством Челябинской области выделено 2 гранта, на республиканском и областном уровнях выполнено 4 госконтракта, 8 хоздоговоров.

**Апробация результатов исследований.** Основные положения работы и результаты исследований доложены и одобрены на научно-технических конференциях Челябинской ГАА (1990–2011 гг.), НТС Минсельхоза Челябинской области (1992, 2006–2011 гг.), НТС НИИМАСП – филиал ФГБОУ ВПО ЧГАА (2004–2009 гг.),

НТС Минсельхоза Свердловской области (2004 г.), семинаре-совещании Управления химизации Минсельхоза РФ (г. Москва, 2005 г.), Международной конференции «Утилизация промышленных и бытовых отходов» в рамках Международного экологического форума-выставки «Изменение климата и экология промышленного города» (г. Челябинск, 2010 г.), НТС Департамента сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Курганской области (2011 г.), Международной научно-практической конференции Уральской ГСХА (г. Екатеринбург, 2012 г.), Международной научно-практической конференции «Биоэнергетика в диверсификации аграрного сектора и устойчивом развитии сельских территорий» (г. Москва, 2012 г.), конференции «Утилизация промышленных и бытовых отходов» III Международного экологического форума «Изменение климата и экология промышленного города» (г. Челябинск, 2012 г.), НТС Федерального государственного унитарного предприятия «Федеральная энергосервисная компания» Минэнерго РФ на тему: «Вопросы оценки эффективности проектов в области биоэнергетики» (г. Москва, 2012 г.).

Образцы протравливателей демонстрировались на областных агропромышленных выставках в Челябинске и Екатеринбурге. Опытные образцы стационарных и самоходных протравливателей внедрены в хозяйствах Челябинской, Курганской и Свердловской областей.

Результаты научной работы используются в учебном процессе ЧГАА. Отдельные разделы диссертационной работы используются преподавателями, аспирантами, студентами и слушателями факультета повышения квалификации в качестве учебно-методического материала.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы изложены в 59 научных работах, в том числе 11 опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, монографии объемом 5,17 п. л., рекомендациях для специалистов сельского хозяйства объемом 3,0 п. л. Новизна технических решений защищена 9 авторскими свидетельствами и патентами на изобретение, три из которых на способ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Содержание диссертационной работы изложено на 378 страницах, включая 113 рисунков, 34 таблицы и списка литературы из 205 наименований, имеется 69 страниц приложений.



## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы проблемная ситуация, научная проблема, определены направления исследований, отражены основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** «*Состояние проблемы, цель и задачи исследования*» посвящена анализу основных факторов, влияющих на урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур, определена роль применения органо-минеральных удобрений, выполнен анализ исследований процесса смешивания при приготовлении смесей, рассмотрены существующие технологии внесения в почву органо-минерального удобрения. Дана оценка предпосевной обработки семян защитно-стимулирующими препаратами в повышении урожайности и ее взаимосвязи с применением удобрения. Определены направления совершенствования технологических процессов приготовления органо-минерального удобрения, внутрипочвенного внесения его в почву и защиты растений от болезней и вредителей. Сформулированы научная проблема, научная гипотеза, цель и задачи исследования.

Установлено, что эффективность применения минеральных и органических удобрений возрастает при совместном их применении. Анализ способов внесения удобрений показывает, что предпосевное внесение удобрения в зону питания корневой системы является одним из рациональных решений по повышению эффективности применения удобрений за счет сокращения потерь питательных веществ, устранения отрицательного влияния удобрения на окружающую среду, снижения потребного количества удобрения, затрат труда и энергии.

Значительные исследования по локальному внесению удобрений проведены ВИУА, НИУИФ, Белорусской сельхозакадемией, Львовским и Полтавским сельхозинститутами, ВНИИ кукурузы и другими научными учреждениями. Исследованиями Е. В. Козловского, М. Г. Догановского, Н. М. Марченко, Г. И. Личмана, А. Е. Шебалкина, М. Г. Каплан, Р. С. Рахимова, Р. М. Латыпова и других ученых установлено, что равномерное распределение питательных веществ в почве является одним из основных условий эффективного применения удобрений. Это требует разработки новых перспективных технических средств, которые бы отвечали технологическим, экономическим и экологическим критериям.

При усилении питания растений за счет применения удобрений создаются благоприятные условия и для развития патогенной флоры. Даже при правильной подготовке почвы к посеву из-за угнетения растений болезнями и вредителями недобор урожая составляет 50% и более. Повысить урожайность возможно за счет применения удобрений и предпосевной обработки семян защитно-стимулирующими препаратами. Однако в результате сложившегося диспаритета цен на минеральные удобрения и продукцию растениеводства, а также низкого содержания питательных веществ в органических удобрениях и несовершенства технологий их внесения затраты на применение удобрений зачастую не окупаются прибавкой урожайности. Наиболее эффективным мероприятием по защите растений от болезней, передающихся с семенами, и почвообитающих вредителей является предпосевное протравливание семян. Однако обработка семян защитно-стимулирующими препаратами в большинстве случаев является малоэффективной в связи с высокой неравномерностью распределения рабочего раствора на поверхности семян и их повреждением. Ранее проводимые исследования по применению удобрений и защите растений от болезней и вредителей путем протравливания семян осуществлялись независимо друг от друга. Определенный вклад в этом направлении сделали В.А. Абеленцев, И.Я. Осташевский, Г.П. Шамаев, С.Д. Шеруда, А.В. Червяков, Ю.В. Поздняков, Э.А. Каменир, И.В. Ившин и другие.

В результате анализа причинно-следственных связей между приготовлением органо-минерального удобрения, внесением его в почву, обработкой семян защитно-стимулирующими препаратами и урожаем определено направление по повышению эффективности возделывания сельскохозяйственных культур. Данное направление основывается на разработке комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур с учетом наиболее ресурсоемких составляющих процесса, а также разработке и исследовании рациональных технологических операций, машин и их рабочих органов.

**Вторая глава** «*Концепция решения научной проблемы*» посвящена разработке комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возде-

лывании сельскохозяйственных культур. Разработаны структурные и технологические модели процессов приготовления органо-минерального удобрения, внутрипочвенного его внесения и обработки семян защитно-стимулирующими препаратами. Разработана обобщенная модель комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур, раскрывающая связи между образующими его технологическими процессами. Определены основные направления по разработке технологий приготовления органо-минерального удобрения на основе птичьего помета, ленточного внутрипочвенного его внесения и двухступенчатой обработки семян защитно-стимулирующими препаратами. Рассмотрены составляющие данных технологий, их функциональные связи, позволяющие обосновать показатели, характеризующие эффективность комплексного технологического процесса.

С учетом современных требований к применению удобрений разработаны способ приготовления органо-минерального удобрения (патент на изобретение РФ №2189962), предусматривающий смешивание в процентном соотношении птичьего помета с минеральными компонентами, и способ ленточного внутрипочвенного его внесения (а.с. на изобретение СССР №1794332), а также сопутствующие им технологические процессы.

Математическая модель комплексного технологического процесса может быть представлена совокупностью символических математических моделей отдельных элементов и уравнений технологических связей между этими элементами:

$$\left. \begin{aligned} \bar{Y}_i &= \bar{F}_i(\bar{X}_i, \bar{K}_i, \bar{Q}_i) \\ \bar{H}_i &= (\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{K}_i) \geq 0 \\ \bar{Y}_k &= \bar{X}_n \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $\bar{Y}_i$ ,  $\bar{X}_i$ ,  $\bar{Q}$  – вектор состояния, соответственно, параметров выходных, входных, внешней среды;

$\bar{K}_i$  – вектор параметров  $i$ -го элемента комплексного процесса;

$k, n$  – номера элементов, которые взаимосвязаны одним технологическим потоком;

$\bar{H}_i$  – вектор-функция технологических ограничений параметров элементов комплексного технологического процесса.

Для наглядного представления физической сущности комплексного ресурсосберегающего технологического процесса представим его в виде операторной схемы, используя топологический метод анализа (рисунок 1).



Рисунок 1 – Операторная схема комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной обработки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур:

$K_1^C$  – очистка семян;  $K_2^C$  – обработка семян защитно-стимулирующими препаратами;  $K_3^C$  – посев семян;  $K_1^M$  – подготовка минеральных компонентов;  $K_2^M$  – транспортировка минеральных компонентов;  $K_3^M$  – загрузка минеральных компонентов в дозатор;  $K_4^M$  – дозированная подача минеральных компонентов на смешивание;  $K_1^П$  – приемка птичьего помета;  $K_2^П$  – фиксация питательных веществ в помете;  $K_3^П$  – дозирование птичьего помета;  $K_4^П$  – смешивание помета с минеральными компонентами;  $K_1^B$  – транспортировка удобрений;  $K_2^B$  – внутрипочвенное внесение удобрений;  $\beta_i^C, \beta_i^y$  – изменение состояния семян, удобрения после  $i$ -й операции; С – семена; Р – растение; П – почва

Обозначив процесс приготовления органо-минерального удобрения передаточным коэффициентом  $R_1$ , внесение удобрения в почву  $R_2$  и обработку семян защитно-стимулирующими препаратами  $R_3$ , составляющие этих коэффициентов по этапам представим как:

$$R_1 = (K_1^M \beta_1^y K_2^M K_3^M K_4^M \beta_2^y + K_1^П K_2^П \beta_3^y K_3^П \beta_4^y) K_4^П \beta_5^y ; \quad (2)$$

$$R_2 = R_1 + K_1^B K_2^B \beta_6^E ; \quad (3)$$

$$R_3 = K_1^C \beta_1^C K_2^C \beta_2^C K_3^C . \quad (4)$$

Полученные составляющие показывают, что для выполнения очередного этапа работ по повышению урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур необходимо учитывать состояние предыдущего этапа. Для наиболее полного представления о комплексном технологическом процессе разработана структурная модель с учетом технологических и технических решений, экологических и экономических требований (рисунок 2). При выполнении операций с заданными технологическими параметрами необходимо учитывать конструктивные показатели, режимы работы рабочих органов и агрегатов, затраты энергии. Технологические процессы должны быть управляемыми и контролируруемыми.

Для оценки степени приспособленности производственных процессов к выполнению поставленных задач принят показатель окупаемости вложенных средств  $\Psi$ , обусловленный получением максимума урожая от денежных средств, потраченных на применение удобрений и химическую обработку семян:

$$\Psi = \frac{U_{\Pi} - U_{\text{Б}}}{Z_y + Z_x} \Rightarrow \max ; \quad (5)$$

где  $U_{\Pi}$  – урожайность возделываемой культуры при применении комплексного технологического процесса, ц/га;

$U_{\text{Б}}$  – базовая урожайность, ц/га;

$Z_y$  – затраты на применение удобрений, руб./га;

$Z_x$  – затраты на обработку семян защитно-стимулирующими препаратами, руб./га.

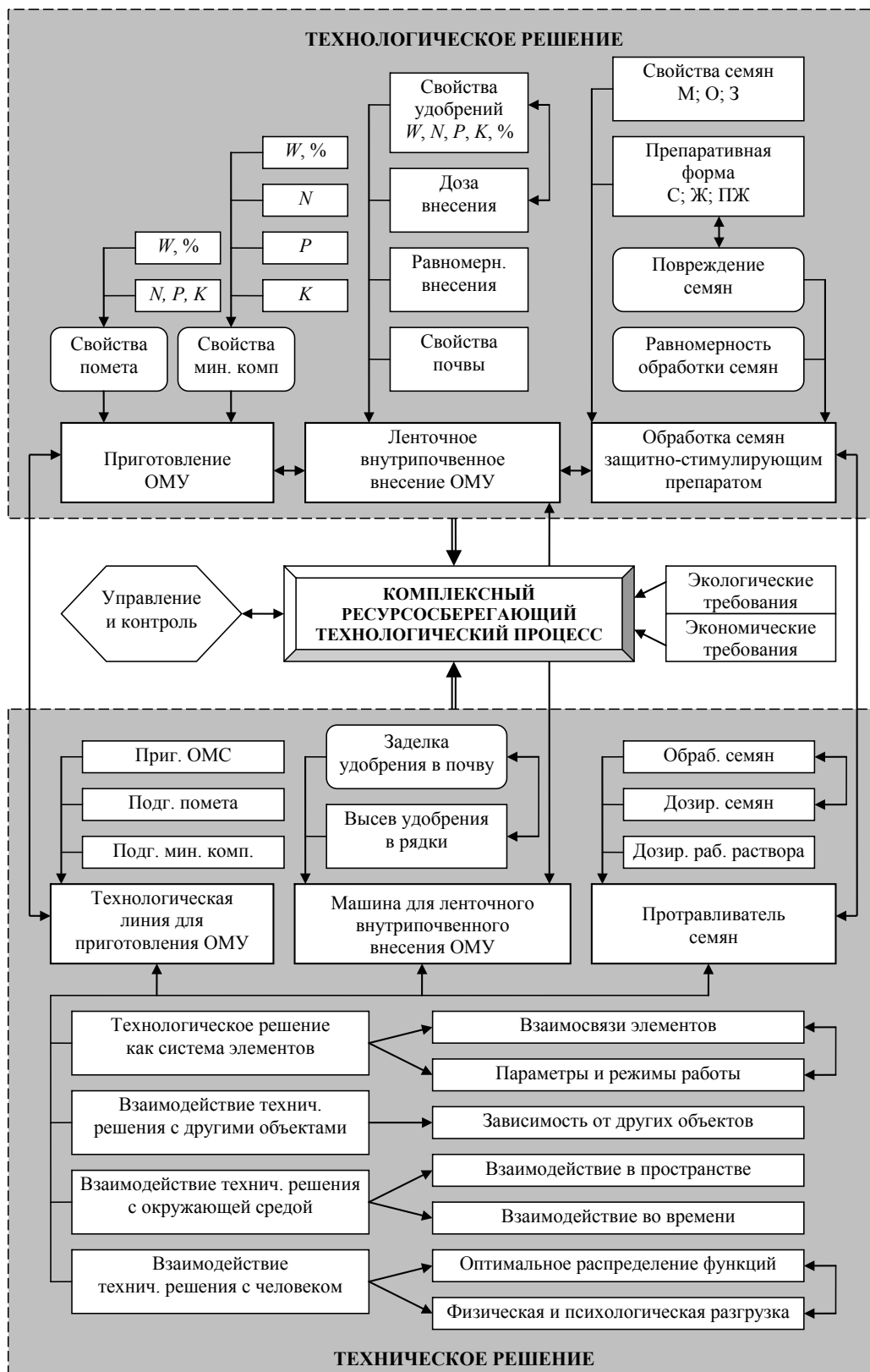


Рисунок 2 – Структурная модель комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур

В соответствии с целью диссертационной работы исследуемые процессы (процесс приготовления органо-минерального удобрения, внутривнесение удобрения, обработка семян защитно-стимулирующими препаратами) необходимо рассматривать более детально по уровням декомпозиции.

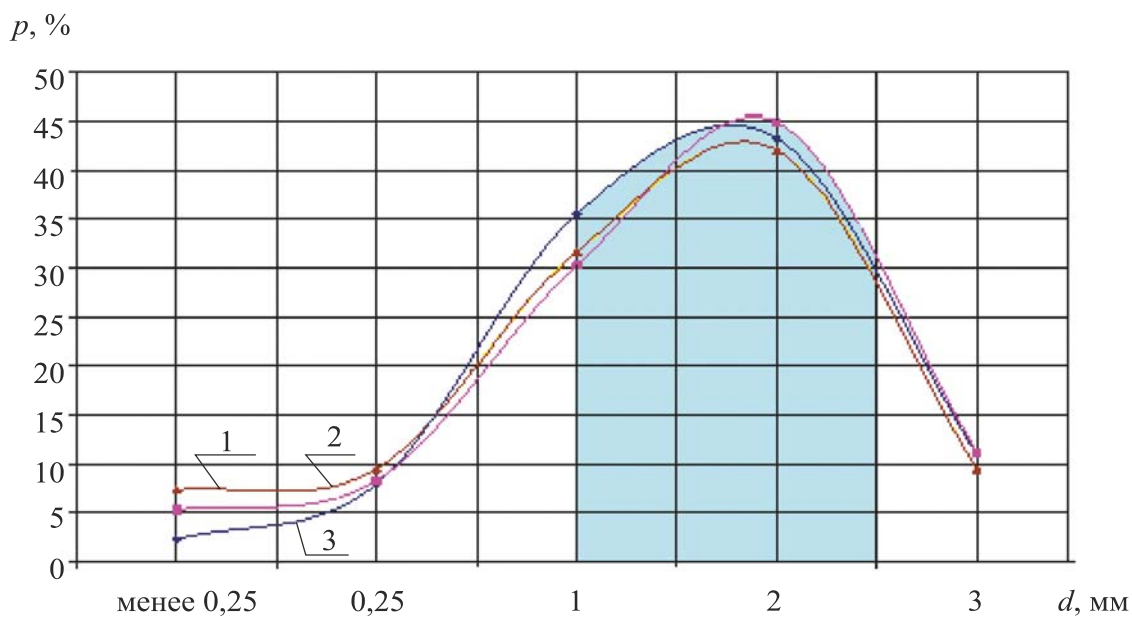
В третьей главе «Обоснование основных стадий приготовления органо-минерального удобрения» проведены исследования технологического процесса приготовления органо-минерального удобрения на основе птичьего помета, обоснованы основные технологические и технические параметры процесса, определены физико-механические и химические свойства удобрения, определена отзывчивость возделываемых сельскохозяйственных культур прибавкой урожайности и качеством продукции на применение органо-минерального удобрения.

Технология приготовления органо-минерального удобрения предусматривает выполнение трех основных технологических процессов – подготовку минеральных компонентов к смешиванию, обработку помета стабилизатором и смешивание птичьего помета с минеральными компонентами. При подготовке минеральных компонентов производится их измельчение, при этом качество размолла характеризуется средними размерами частиц (модуль помола): 0,2...1,0 мм – мелкий размол; 1,0...1,8 мм – средний размол; 1,8...2,6 мм – крупный размол. На основе анализа исследований по измельчению твердых материалов для измельчения минеральных компонентов выбран измельчитель центробежно-роторного типа ИЛС-5. Экспериментально установлено, что при измельчении компонентов на данном измельчителе при модуле помола 2 мм частицы размером от 1,0 до 2,5 мм составляют от 74 до 78 % (таблица 1).

Высокий процент выравненности компонентов по крупности частиц обеспечивает получение качественной органо-минеральной смеси. Характеристика крупности измельченных компонентов представлена кривыми распределения (рисунок 3).

Таблица 1 – Результаты измельчения минеральных компонентов

Компонент	Влажность, %	Гранулометрический состав, %					Модуль помола $M$ , мм	Уд. эн. затраты кВт·ч/т	Производительность, т/ч
		Ø 3 мм	Ø 2 мм	Ø 1 мм	Ø 0,25 мм	менее Ø 0,25 мм			
Фосфоритная руда	11,0	10,92	43,28	35,56	7,95	2,29	2,0	5,5	3,5
Сульфат аммония	0,3	11,20	44,91	30,28	8,32	5,29	2,0	5,8	3,3
Хлористый калий	0,8	9,45	42,06	31,65	9,51	7,33	2,0	5,9	3,8



1 – Хлористый калий; 2 – Фосфоритная руда; 3 – Сульфат аммония

Рисунок 3 – Характеристика крупности материала

При смешивании птичьего помета с минеральными компонентами в единице массы удобрения содержится определенное количество основных элементов питания растений –  $n_N$  азота,  $n_P$  фосфора и  $n_K$  калия. В случае некачественного смешивания компонентов их



значение будет непостоянно и изменчиво от пробы к пробе. При применении удобрения количество питательных веществ  $NPК$ , внесенных на единицу площади, можно выразить как

$$n_{NPКij} = n_{NPК} m_{ij}, \quad (6)$$

где  $n_{NPК}$  – количество питательных веществ в удобрении;

$m_{ij}$  – количество физической массы удобрения, приходящейся на единицу площади.

Количество питательных веществ в удобрении зависит от качества и количества компонентов, применяемых при его приготовлении. Изменения, которые происходят с компонентами в процессе смешивания, могут быть описаны уравнениями материальных балансов. Произведение количества компонента  $g$  на содержание в нем питательных веществ  $Z$  можно назвать питательностью  $Z_e$ . Используя это понятие, количественно-качественный баланс удобрения можно определить как

$$Z_{ey} = Z_{e1} + Z_{e2} + Z_{e3} + \dots + Z_{en} = \sum_1^n Z_{ei}, \quad (7)$$

где  $Z_{ey}$  – питательность полученного удобрения, %;

$Z_{e1}, Z_{e2}, \dots, Z_{en}$  – питательность компонентов, поступивших на смешивание, %.

Количественно-качественный баланс органо-минерального удобрения – это равенство между питательностью компонентов, поступивших на смешивание, и питательностью полученного удобрения. Данный баланс можно представить в виде диаграммы, из которой видно, что общее содержание питательных веществ составляет около 20 % (рисунок 4).

Количественно-качественный баланс позволяет: рассчитать и подобрать технологическое оборудование линии для приготовления органо-минерального удобрения, рассчитать транспортное оборудование, рассчитать бункера для оперативного хранения компонентов и производительность дозаторов, сформировать технологические потоки компонентов на смешивание, определить предельный выход органо-минерального удобрения по питательности.

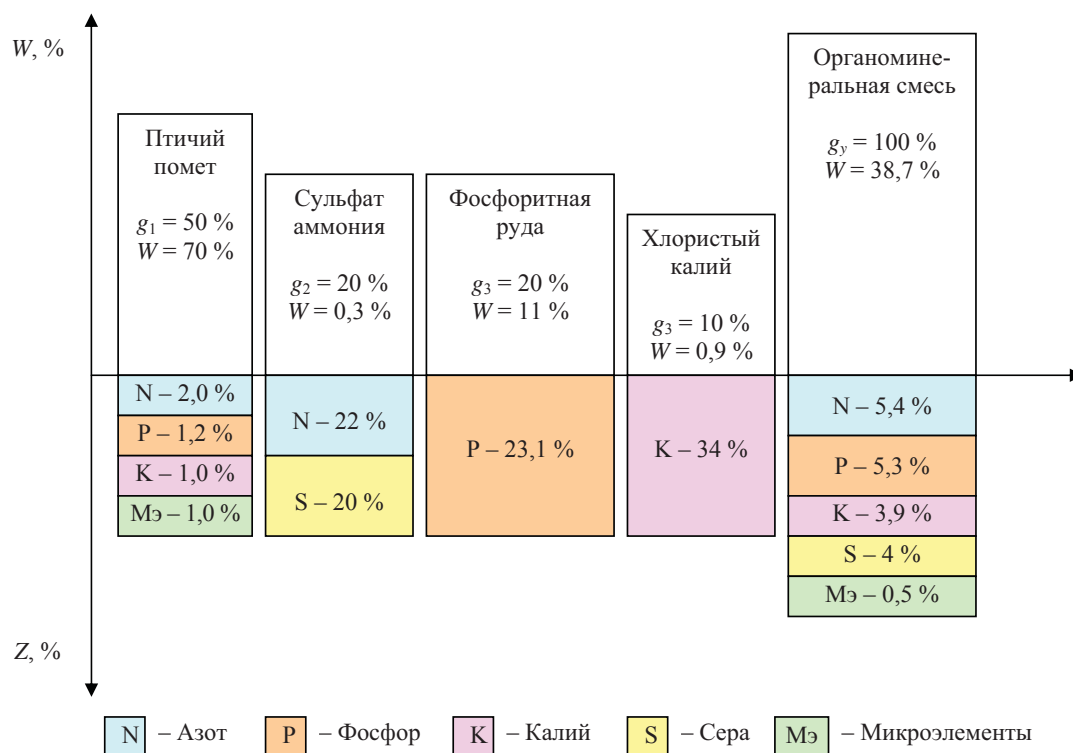


Рисунок 4 – Диаграммы количественно-качественного баланса органо-минерального удобрения

Минеральные компоненты в измельченном виде являются гигроскопичными, в результате чего при добавлении в помет часть влаги забирают на себя, снижая относительную влажность смеси.

Уравнение баланса влажности органо-минерального удобрения в этом случае можно записать в виде

$$W_E = \frac{g_1 W_1 + g_2 W_2 + g_3 W_3 + \dots + g_i W_i}{g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_i} = \frac{\sum_1^n g_i W_i}{\sum_1^n g_i}, \quad (8)$$

где  $W_y$  – влажность органо-минерального удобрения, %;

$W_1, W_2, W_3, \dots, W_i$  – влажность соответствующего компонента, поступившего на смешивание, %;

$g_1, g_2, g_3, \dots, g_i$  – количество соответствующего компонента, входящего в органо-минеральное удобрение, %.

Физико-механические свойства органо-минерального удобрения зависят от свойств компонентов, входящих в его состав. При влажности 35...40% плотность удобрения находится в пределах 670...710 кг/м<sup>3</sup>,

коэффициент внутреннего трения – 0,76...0,79, коэффициент трения о сталь – 0,75...0,71, угол естественного откоса – 44...46 град. Определение физико-механических и химических свойств органо-минерального удобрения позволяет принять правильное решение при разработке технологического процесса внутривспашечного его внесения.

В четвертой главе «Исследования процесса внутривспашечного внесения органо-минерального удобрения» рассмотрены процессы высева удобрения в рядки и ленточной заделки его в почву, обоснованы основные параметры и режимы работы рабочих органов высевающего аппарата и комбинированного сошника машины для ленточного внутривспашечного внесения органо-минерального удобрения, произведена производственная проверка машины.

#### 4.1 Высев удобрения в рядки

Высев удобрения осуществляется в результате воздействия на удобрения подающих, дозирующих и распределяющих рабочих органов. Перемещение удобрения из бункера для хранения к высевающему аппарату осуществляется под действием лобового давления  $P_{\text{ЛП}}$  планок транспортера на удобрение и сил трения удобрения о планки транспортера  $F_{\text{ТП}}$  (рисунок 5).

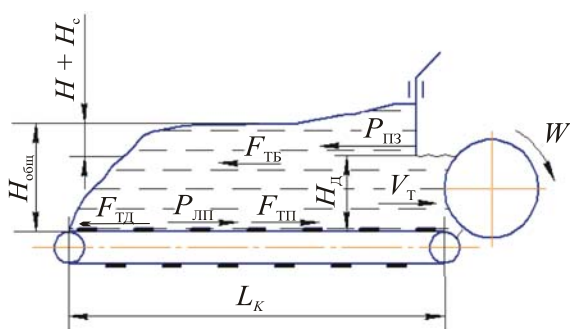


Рисунок 5 – Принципиальная схема подачи удобрения цепочно-планчатым транспортером к распределяюще-высевающему барабану

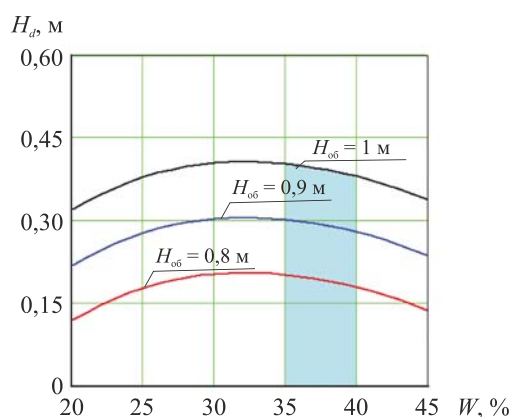


Рисунок 6 – Зависимость рациональной высоты установки дозирующей заслонки  $H_d$  от влажности  $W$  органо-минерального удобрения при различной его высоте

Препятствуют перемещению силы трения удобрения о дно и борта бункера  $F_{\text{ТД}}$  и  $F_{\text{ТБ}}$ . С увеличением высоты слоя над транспортером силы сцепления снижаются и при каком-то значении становятся меньше, чем силы трения о борта. Верхние слои удобрения начинают отставать от нижних. Это отрицательно влияет на равномерность высева удобрения.

Для исключения данного явления над подающим транспортером установлена дозирующая заслонка. Рациональная высота ее установки определяется выражением

$$H_d = H_{\text{об}} - \frac{\kappa_y \rho^n}{\rho g} \left( \frac{4}{\sin 2\beta (1 - \text{ctg}\beta \cdot \text{tg}\varphi)} + \frac{1}{2(m_n f_4 - \text{tg}\varphi)} \right), \quad (9)$$

где  $H_d$  – высота установки дозирующей заслонки над транспортером, м;

$H_{\text{об}}$  – общая высота удобрения на транспортере, м;

$\kappa_y, n$  – постоянные коэффициенты (для органо-минеральных удобрений  $\kappa_y = 0,025, n = 1,5$ );

$\rho$  – плотность удобрения, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta$  – угол естественного откоса удобрения, град;

$\varphi$  – угол трения, град;

$m_n$  – коэффициент подвижности удобрения;

$f_4$  – коэффициент трения удобрения о борта бункера.

При высоте слоя удобрения на транспортере  $H_{\text{об}} = 0,9$  м и влажности удобрения 35...40% высота установки дозирующей заслонки составляет 0,27...0,3 м (рисунок 6). Отделение частиц удобрения от общей массы с формированием нескольких однонаправленных потоков осуществляется распределяюще-высевающим барабаном аналогично процессу фрезерования при глубине, равной высоте установки дозирующей заслонки. Исследуя движение частицы удобрения по лопасти вращающегося барабана, определяем рациональный радиальный угол наклона лопасти, который составит 40–45°.

Движение удобрения от высевающего аппарата к комбинированному сошнику осуществляется по тукопроводу, допустимый угол отклонения которого определяется уравнением (рисунок 7):

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \left( \varphi_1 - \arcsin \left( \frac{v_0^2 \cos \varphi_1}{2gS} \right) \right). \quad (10)$$

При начальной скорости движения частиц удобрения  $v_0 = 0,7$  м/с, длине тукопровода  $S = 0,5$  м и угле трения  $\varphi_1$  от 35 до 50 град допустимый угол отклонения тукопровода  $\gamma$  составляет от 40 до 57 град (рисунок 8).

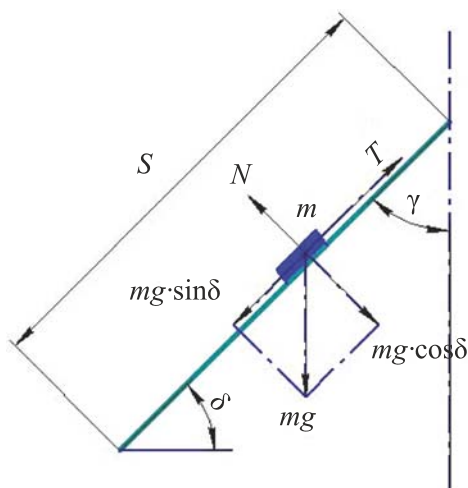


Рисунок 7 – Движение частиц удобрения по тукопроводу

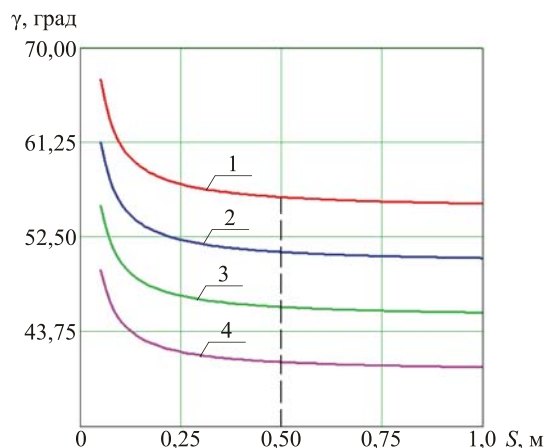


Рисунок 8 – Зависимость допустимого угла отклонения тукопровода от его длины при разных значениях угла трения  $\varphi$  (1 –  $\varphi = 25^\circ$ ; 2 –  $\varphi = 30^\circ$ ; 3 –  $\varphi = 35^\circ$ ; 4 –  $\varphi = 40^\circ$ )

С целью обоснования параметров высевающего аппарата машины для ленточного внутрипочвенного внесения органо-минерального удобрения, обеспечивающего допустимую неравномерность посева, проведены экспериментальные исследования, получено уравнение регрессии:

$$y = 9,59 + 1,04x_2 + 1,22x_3 + 0,37x_4 + 0,73x_2 \cdot x_4 + 0,67x_1^2 + 0,95x_2^2 + 0,85x_3^2 + 0,89x_4^2, \quad (11)$$

где  $x_1$  – высота установки дозирующей заслонки;

$x_2$  – высота лопасти барабана;

$x_3$  – угол отклонения тукопровода;

$x_4$  – фракционный состав удобрения.

При решении данного уравнения на  $\min$  определены рациональные параметры исследуемых факторов: высота установки дозирующей заслонки  $H_d = 258$  мм, высота лопасти барабана  $h_{л} = 69$  мм,

угол отклонения тукопровода  $\gamma = 51^\circ$ , фракционный состав удобрения  $\Phi_y = 5$  мм. Сочетание этих параметров обеспечивает высев удобрения с неравномерностью, не превышающей 10%. В соответствии с агротехническими требованиями, для обеспечения внесения в почву расчетного количества удобрения производительность высевающего аппарата должна составлять:

$$W_{\text{BA}} = v_a d_p n, \quad (12)$$

где  $W_{\text{BA}}$  – производительность высевающего аппарата, кг/с;

$v_a$  – скорость движения агрегата, м/с;

$d_p$  – расчетная доза удобрения, приходящаяся на погонный метр рядка, кг/м;

$n$  – количество одновременно высеваемых рядков, шт.

В свою очередь количество удобрения  $d_p$ , вносимого в рядок на единицу его длины, определяется уравнением

$$d_p = \frac{v_T \cdot B_T \cdot H_d \cdot \rho \cdot k}{v_a \cdot n}, \quad (13)$$

где  $v_T$  – скорость движения транспортера, м/с;

$B_T$  – ширина транспортера, м;

$k$  – поправочный коэффициент.

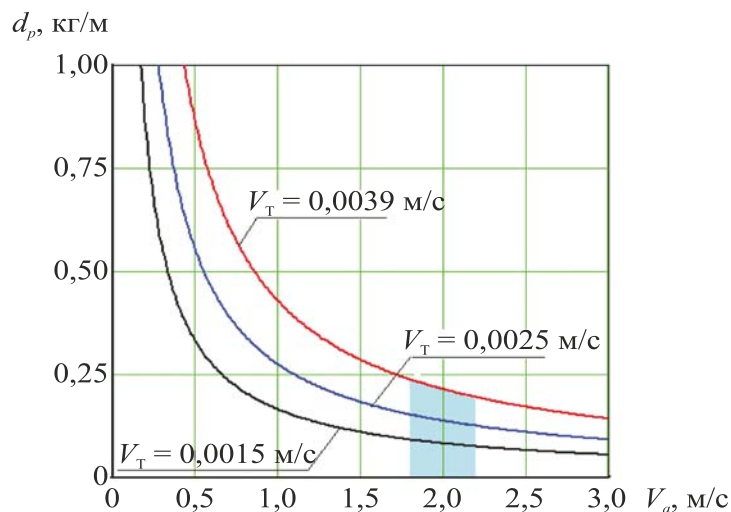


Рисунок 9 – Зависимость количества удобрения  $d_p$ , высеваемого в рядок, от скорости движения агрегата  $V_a$  при различной скорости подающего транспортера

Доза внесения удобрения в рядки регулируется скоростью подающего транспортера. При скорости агрегата 1,8...2,2 м/с и скорости подающего транспортера от 0,0015 м/с до 0,0039 м/с на погонный метр рядка высевается от 0,08 до 0,25 кг органо-минерального удобрения (рисунок 9). Удобрение высевается в образованную на поверхности почвы борозду, где оно перемешивается с почвой и в виде ленты распределяется на дне борозды, которая засыпается почвой.

#### 4.2 Заделка удобрения в почву

Смешивание удобрения с почвой целесообразно осуществлять игольчатым ротором с активным приводом. Ротор участвует в двух движениях – поступательном (вместе с корпусом сошника) и вращательном (относительно него) (рисунок 10).

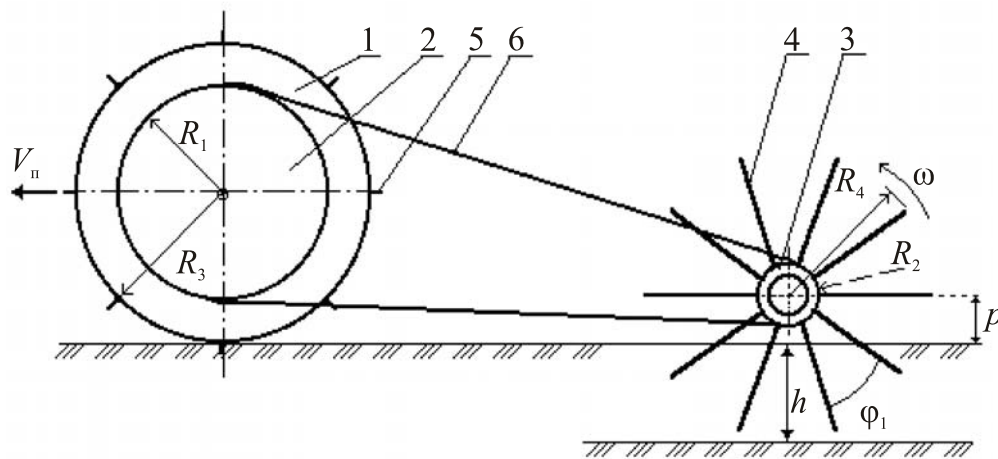


Рисунок 10 – Схема привода игольчатого рабочего органа:

- 1 – приводное колесо; 2 – ведущая звездочка; 3 – ведомая звездочка;  
4 – игла; 5 – почвозацеп; 6 – цепь

Теоретические исследования не дают полной картины качества смешивания, добиться желаемого результата можно только опытным путем. При этом задача экспериментальных исследований сводится к оптимизации параметров рабочего органа по критериям качества выполнения операции. Значительная роль в качестве смешивания удобрения с почвой отводится кинематическому параметру  $\lambda$ , который представляет собой отношение окружной скорости ротора  $V_o$  к поступательной скорости агрегата  $V_n$ . Кроме того,

степень смешивания существенно зависит от угла изгиба иглы  $\alpha$  к направлению ее движения и глубины обработки  $h$ . Целевой функцией выбрана зависимость показателя однородности смешивания  $W$  (%) от варьируемых параметров (таблица 2). Оптимизационная задача может быть представлена системой уравнений:

$$\begin{cases} W(\lambda, \alpha, h) \rightarrow \max \\ \lambda \in [1.12, 2.24], \alpha \in [-45, 45], h \in [80, 120] \end{cases} \quad (14)$$

Таблица 2 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение		Уровни варьирования			Интервал варьирования
	именное	кодированное	-1	0	+1	
Кинематический параметр	$\lambda$	X1	1,12	1,68	2,24	0,56
Угол загиба иглы	$\alpha$ , град.	X2	-45	0	+45	45
Глубина смешивания	$h$ , мм	X3	80	100	120	20

В результате экспериментальных исследований получено уравнение регрессии, которое для раскодированных значений факторов имеет вид

$$W = -65,857\lambda - 0,203\alpha + 2,1h + 0,212\lambda h + 0,003\alpha h + 16,14\lambda^2 - 0,011h^2. \quad (15)$$

На основе данного уравнения получены зависимости однородности смеси от кинематического параметра  $\lambda$ , глубины обработки  $h$  и угла загиба иглы  $\alpha$  (рисунок 11). Установлено, что при любом сочетании  $\lambda$  и  $h$  однородность смешивания улучшается с увеличением  $\lambda$ . На основе анализа полученных зависимостей в качестве рациональных диапазонов изменения параметров с учетом изложенных ограничений следует принять  $\lambda = 2 \dots 2,4$ ;  $\alpha = 40 \dots 45^\circ$ .

Учитывая, что почва обладает определенной прочностью на разрыв и сдвиг, то есть внутренним сцеплением частиц, для определения силового взаимодействия ротационного рабочего органа с почвой ис-



пользовался полуэмпирический метод. При этом оценивались зависимости нормальных (сминающих почву) напряжений в зоне контакта иглы с почвой для различных глубин внедрения и углов наклона иглы.

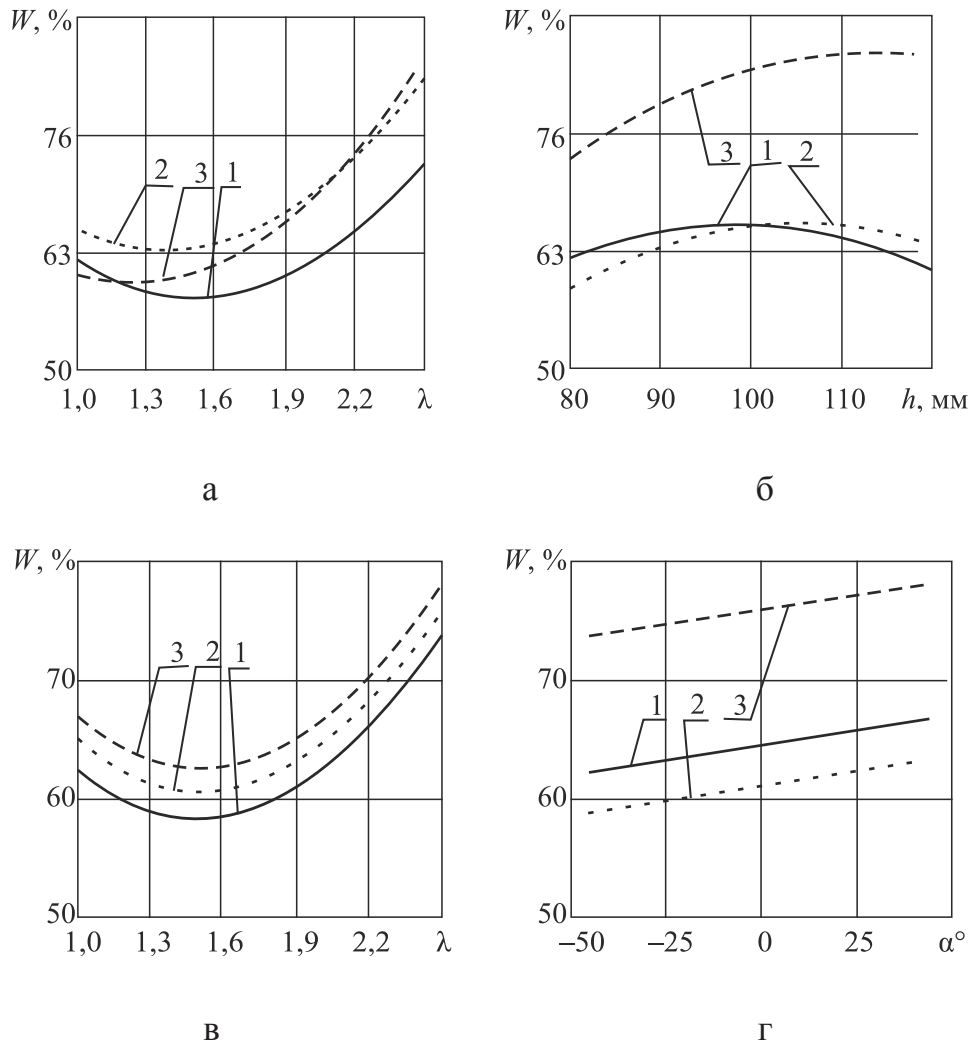


Рисунок 11 – Зависимость однородности смешивания удобрения с почвой  $W$  от кинематического параметра  $\lambda$  (а) и от глубины обработки  $h$  (б) при  $\alpha = -45$  град, от кинематического параметра  $\lambda$  (в) и от угла изгиба иглы  $\alpha$  (г) при  $h = 80$  мм

Функция для нахождения нормального к поверхности иглы усилия в зависимости от угла ее поворота и угла загиба иглы примет вид

$$Q(\varphi, \alpha) = \int \sigma_n (\beta(\varphi) + \alpha) \cdot d_{\text{и}} \cdot dl, \quad (16)$$

где  $\alpha$  – угол загиба иглы, градус;

$\beta(\varphi)$  – функция угла между направлением нормали к игле и вектором абсолютной скорости от угла поворота иглы;

$dl$  – бесконечно малый элемент длины иглы, м;

$d_{\text{и}}$  – диаметр иглы, м.

С учетом значений поперечного усилия  $Q$  значения окружного усилия  $T$  и крутящего момента  $M$  на игле при условии, что окружное усилие приложено в точке, находящейся посередине ее рабочей части, составляют

$$T = Q \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \psi_1), \quad (17)$$

$$M = T \cdot \left( R_4 - \frac{L_p}{2} \right), \quad (18)$$

где  $\psi_1$  – коэффициент трения смешиваемого материала о сталь;

$L_p$  – рабочая длина иглы, м;

$R_4$  – радиус игольчатого ротора, м.

Для определения окружного усилия и крутящего момента в функции угла поворота иглы при преодолении слоя смешиваемого материала получены теоретическая и эмпирическая зависимости. Графики показывают, что максимальное окружное усилие и крутящий момент достигаются при повороте иглы на  $90 \dots 95^\circ$ . Окружное усилие колеблется в пределах  $17 \dots 22$  Н, крутящий момент – в пределах  $1,4 \dots 1,6$  Н·м (рисунок 12 а, б).

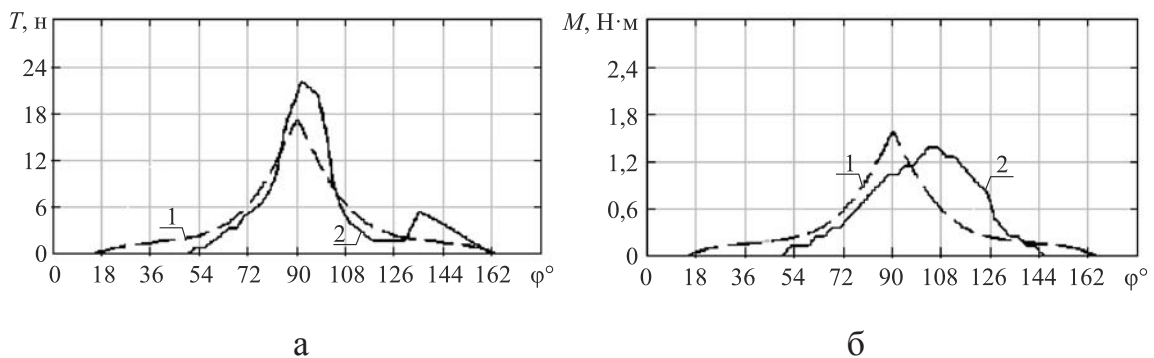


Рисунок 12 – Зависимость окружного усилия  $T$  (а) и крутящего момента  $M$  (б) от угла поворота ротора  $\varphi$ : 1 – теоретическая; 2 – эмпирическая

Экспериментально определено тяговое сопротивление комбинированного сошника, которое составляет  $0,65 \dots 0,9$  кН.

### **4.3 Результаты производственной проверки ленточного внутрипочвенного внесения органо-минерального удобрения**

Для производственной оценки ленточного внутрипочвенного внесения органо-минерального удобрения на базе разбрасывателя удобрений РОУ-6 была изготовлена экспериментальная машина РОУ-6-4(М). Машина агрегатируется трактором МТЗ-80. Установлено, что при увеличении скорости подающего транспортера машины с 0,0025 до 0,0071 м/с расход топлива увеличивается от 9,4 до 11,5 кг/ч. В процессе опорожнения кузова при скорости подающего транспортера 0,0025 м/с расход топлива снижается с 9,4 до 7,0 кг/ч.

При ленточном внутрипочвенном внесении органо-минерального удобрения с дозой внесения 0,5 т/га за смену агрегатом выполняется один рейс. В среднем сменная производительность составляет 7,2 га/см, при этом рабочее время занимает около 64% от сменного времени. При сплошном внесении с дозой внесения удобрения 2,5 т/га за смену выполняется 5 рейсов. Сменная производительность при этом в среднем составляет 6,9 га/см, а рабочее время всего около 20%. Анализ полученных результатов показывает, что сменная производительность агрегатов при ленточном внутрипочвенном внесении органо-минерального удобрения и сплошном способе внесения практически одинаковая. Однако при сплошном внесении удобрения расходы на погрузочные работы, транспортировку удобрения, холостые переезды в загонке увеличиваются почти в пять раз по сравнению с ленточным внутрипочвенным внесением.

Установлено, что при заданной глубине внесения удобрения 110 мм фактическая глубина залегания ленты удобрения находится в пределах 80...130 мм. Такое варьирование происходит в связи с тем, что при внесении удобрения в почву возмущающие воздействия со стороны рельефа поверхности поля оказывают существенное влияние на работу и устойчивость хода сошников. Кроме того, на устойчивость хода комбинированного сошника по глубине оказывают влияние колебания самой машины для внесения удобрения, передаваемые на сошник посредством навески. Во всех случаях наблюдения установлено, что ширина ленты удобрения находится в пределах 140...150 мм.

Однако создание благоприятных условий для питания растений в течение всего вегетационного периода способствует развитию

и патогенной флоры. Затраты на применение органо-минерального удобрения будут оправданы только в том случае, если сельскохозяйственные культуры защищены от болезней и вредителей.

В пятой главе «Теоретическое обоснование основных технологических операций при обработке семян защитно-стимулирующими препаратами» обоснована ступенчатая обработка семян защитно-стимулирующими препаратами и формирование кольцевого потока семян в камере протравливания, движущегося в один слой, определены рациональные параметры основных рабочих органов камеры протравливания.

Семена из бункера через дозирующую заслонку поступают на конусный распределитель (рисунок 13).

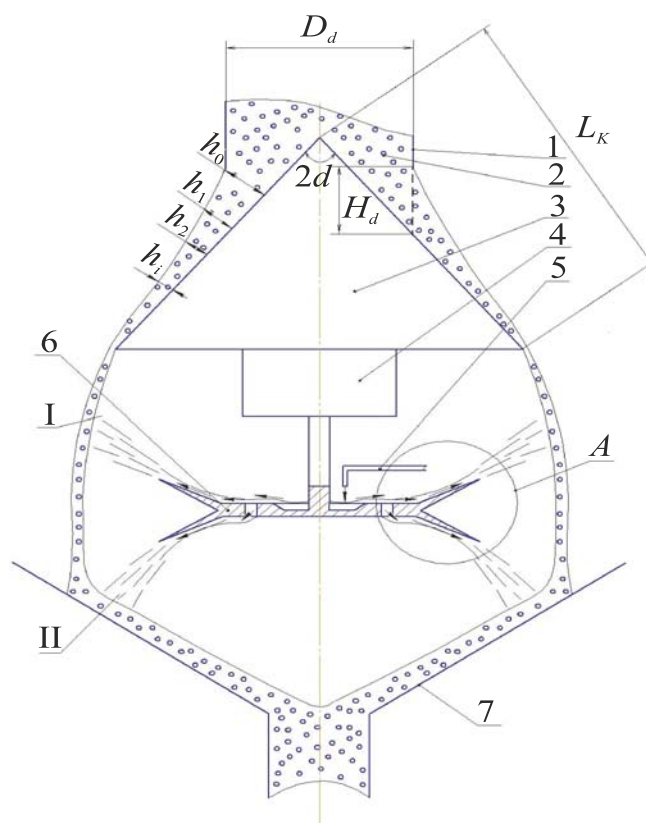


Рисунок 13 – Двухступенчатое нанесение защитно-стимулирующего препарата на поверхность семян: 1 – дозирующая заслонка; 2 – семена; 3 – конусный распределитель семян; 4 – электродвигатель; 5 – трубка подачи рабочего раствора; 6 – распылитель рабочего раствора; 7 – приемная воронка; I, II – первая и вторая ступени обработки семян; A – зона распыления препарата;  $h_0-h_i$  – высота потока зерна по сечениям

При движении семян от вершины конуса к основанию происходит формирование кольцевого дисперсного потока, который движется вертикально сверху вниз. При свободном падении семян происходит первая ступень обработки. При попадании на наклонную поверхность приемной воронки и скатывании по ней семена проходят вторую ступень обработки. Обеспечить формирование заданного кольцевого потока позволяет дозирующее устройство с конусным распределителем семян, основными параметрами которого являются угол по вершине конусного распределителя  $2\alpha$ , град; длина образующей конусного распределителя  $L_k$ , м; высота подъема дозирующей заслонки  $H_d$ , м, и ее радиуса  $R_d = D_d/2$ , м.

Одним из основных эксплуатационных показателей дозатора семян является его пропускная способность:

$$Q = \pi \cdot V_0 \cdot H_d \cdot \sin \alpha \cdot (2 \cdot R_d + H_d \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha), \quad (19)$$

где  $Q$  – пропускная способность дозатора, т/ч;

$V_0$  – начальная скорость потока семян, м/с;

$\alpha$  – половина угла по вершине конуса, град.

Максимальная пропускная способность дозирующего устройства при разной величине параметра  $H_d$  обеспечивается при угле по вершине конусного распределителя  $\alpha = 45 \dots 50^\circ$  (рисунок 14). В результате экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости пропускной способности от высоты подъема дозирующей заслонки и угла по вершине распределителя при дозировании пшеницы и овса.

- Для пшеницы

$$Q_p = -16,28 + 342,75 \cdot H_d + 0,8171 \cdot \alpha + \\ + 0,716 \cdot H_d \cdot \alpha - 1262,5 \cdot H_d^2 - 9,984 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha^2; \quad (20)$$

- для овса

$$Q_o = -16,735 + 297,54 \cdot H_d + 0,73 \cdot \alpha + \\ + 0,906 \cdot H_d \cdot \alpha - 962,5 \cdot H_d^2 - 9,12 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha^2. \quad (21)$$

Экспериментальные данные подтверждают теоретические исследования: максимальная пропускная способность дозирующего

устройства обеспечивается при угле по вершине конусного распределителя  $\alpha$ , находящегося в пределах  $40\dots45^\circ$  (рисунок 15).

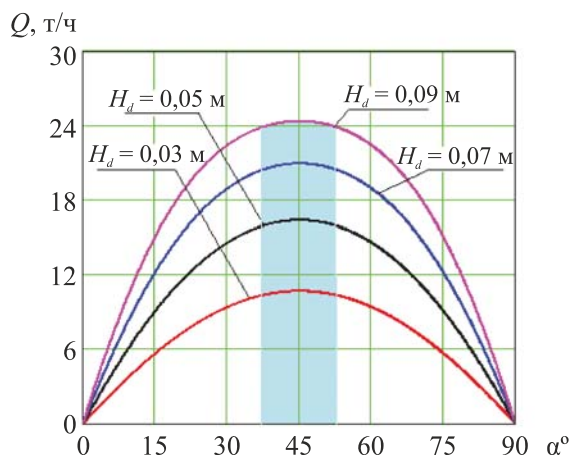


Рисунок 14 – Зависимость пропускной способности дозирующего устройства камеры протравливания  $Q$  от угла по вершине конуса  $\alpha$  при разной высоте подъема дозирующей заслонки  $H_d$

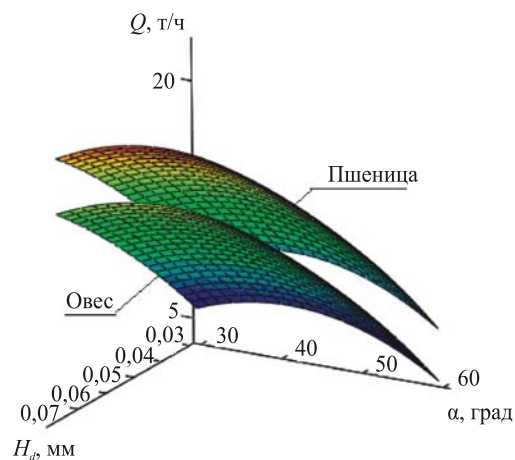


Рисунок 15 – Зависимость пропускной способности дозирующего устройства  $Q$  от угла по вершине конуса  $\alpha$  и высоты подъема заслонки  $H_d$  для пшеницы и овса

Из графика видно, что существует явно выраженная область экстремальных значений по пропускной способности при изменении параметра  $H_d$ , соответствующая разным значениям угла конусности  $\alpha$ . Наилучшего качества нанесения защитно-стимулирующего препарата на семена в свободном их падении можно добиться при однослойном движении потока семян. Зависимость длины участка образующей распределительного конуса относительно вершины, на которой поток семян переходит в один слой, описывается выражением:

$$L_k = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot h \cdot V_0 \cdot \sin \alpha} - \frac{1}{2} \cdot h \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \quad (22)$$

где  $h$  – высота слоя зернового потока, м.

Минимальная длина образующей конусного распределителя  $L_k$ , обеспечивающая переход зерна в один слой при величине угла  $\alpha$  от  $40$  до  $50$  градусов, находится в пределах  $0,23\dots0,27$  м (рисунок 16). Достоверность теоретических предпосылок подтверждается экспериментальными исследованиями (рисунок 17). Ступенчатое нане-

сение защитно-стимулирующего препарата на семена обеспечивает полноту их обработки за счет отсутствия активных рабочих органов в камере протравливания, снижение травмирования и затрат энергии, что повышает эффективность выполнения данного технологического процесса.

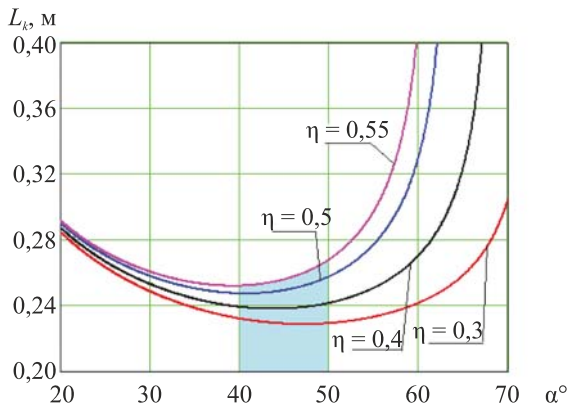


Рисунок 16 – Зависимость длины образующей конусного распределителя семян  $L_k$  от угла  $\alpha$  при разных коэффициентах трения  $\eta$  ( $H_d = 0,09$  м)

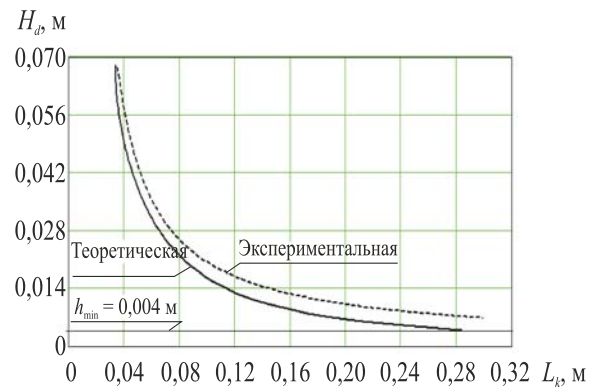


Рисунок 17 – Толщина слоя потока семян при движении по образующей конусного распределителя  $L_k$  ( $\alpha = 50^\circ$ ,  $H_d = 0,09$  м)

В шестой главе «Оценка результатов исследования» дано экономическое и экологическое обоснование внедрения результатов исследований и рекомендации по повышению эффективности возделывания сельскохозяйственных культур. Изложены основные выводы по исследованиям.

Эффективность применения удобрения значительно зависит от его качественных показателей и стоимости. Производство органо-минеральных удобрений экономически целесообразно проводить на промышленной основе в условиях птицефабрики, что исключает большие расходы на транспортировку помета. Себестоимость такого удобрения складывается из затрат на приобретение составляющих удобрения (помета, минеральных компонентов), эксплуатационных затрат на его производство. По расчетам затраты на материалы составляют 65–70% от общей себестоимости производимого удобрения. Предварительные расчеты показывают, что при производстве органо-минерального удобрения на основе

птичьего помета и минеральных добавок с содержанием питательных веществ 19...20% ориентировочная себестоимость его составит около 2 000 руб. за 1 тонну, в то время как стоимость нитрофоски с содержанием питательных веществ 32,0% составляет 11 000...12 000 руб./т. Таким образом, стоимость 1 кг действующего вещества органо-минерального удобрения (10...11 руб.) в 3 раза дешевле стоимости 1 кг действующего вещества нитрофоски (34...37 руб.). При этом необходимо также учитывать, что органо-минеральное удобрение на основе птичьего помета, кроме основных элементов питания, содержит и необходимые для растений микроэлементы: серу, кальций, магний, медь, марганец, цинк, кобальт и бор. В результате использования птичьего помета при приготовлении органо-минерального удобрения решается большая экологическая проблема: происходит утилизация вещества, относящегося к третьей группе опасных веществ, а внутрипочвенное внесение исключает потери питательных веществ, что предотвращает загрязнение воздушного бассейна. Производственные опыты показали, что при внесении под яровую пшеницу 1,0...1,5 т/га, а под картофель около 2 т/га органо-минерального удобрения урожайность пшеницы увеличивается в среднем на 30...90%, а картофеля – на 20...45%. При применении данного удобрения повышается качество продукции.

При защите растений от болезней и вредителей с учетом наличия возможных инфекций как в почве, так и на семенах при возделывании пшеницы и ячменя их обработка выполнялась витаросом, витаросом + агатом, агатом. Наилучший результат получен при обработке семян витаросом и агатом. Урожайность пшеницы составила около 21 ц/га, ячменя около 22 ц/га, что на 5...7 ц/га выше, чем на контроле без обработки. Производственные испытания по двухступенчатой обработке семян защитно-стимулирующими препаратами проводились в ряде хозяйств Челябинской, Курганской, Свердловской областей.

Производственный опыт проводился при возделывании кукурузы на силос в условиях ООО «ЮгсАгро» Октябрьского района Челябинской области. Базовый вариант включал в себя традиционную обработку семян кукурузы защитно-стимулирующими пре-



паратами и сплошное внесение органо-минерального удобрения из расчета 2,5 т/га, предлагаемый новый вариант – двухступенчатую обработку семян кукурузы защитно-стимулирующими препаратами и ленточное внутрпочвенное внесение органо-минерального удобрения в дозе 0,5 т/га. Суммарные затраты денежных средств базового варианта составили 6 500...6 600 руб./га, предлагаемого варианта – 2 500...2 600 руб./га. Основная доля затрат связана с затратами на удобрение. При базовом варианте они составляют около 4 900 руб./га, при предлагаемом – около 1 000 руб./га. За счет более качественной обработки семян и рационального внесения органо-минерального удобрения непосредственно в зону корневой системы растений прибавка урожайности по новой технологии в среднем за 3 года составила около 28 ц/га. Исходя из этого, стоимость валовой продукции в базовом варианте (в ценах 2010 года) составляет около 11 тыс. руб./га, в предлагаемом – около 13 тыс. руб./га. С учетом суммарных затрат на возделывание кукурузы на силос по новой и базовой технологии расчетная годовая экономическая эффективность от применения комплексного технологического процесса составляет 5...6 тыс. руб./га.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ**

1. Анализ исследований показал, что при недостаточной обеспеченности сельскохозяйственных культур питательными веществами и воздействии на них болезней и вредителей недобор урожая составляет около 50%. Обоснована концепция комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур. Она основывается на установлении причинно-следственных связей между процессами приготовления органо-минерального удобрения, внутрпочвенного его внесения и обработки семян защитно-стимулирующими препаратами.

2. Разработан технологический процесс и обоснованы технические средства для приготовления органо-минерального удобрения на основе птичьего помета. Установлено, что смешивание птичьего

помета с сульфатом аммония, фосфоритной рудой и хлористым калием (в процентном соотношении как 50:20:20:10) обеспечивает получение органо-минерального удобрения с содержанием питательных веществ 19...20% и физико-механическими свойствами, позволяющими осуществлять внутривпочвенное его внесение.

3. Установлено влияние органо-минерального удобрения на урожайность яровой пшеницы и картофеля. Урожайность яровой пшеницы увеличивается на 30...90%, картофеля – на 20...45%. Наибольшая прибавка урожайности достигается при внесении органо-минерального удобрения под яровую пшеницу в пределах 1...1,5 т/га, под картофель – до 2 т/га. Данное удобрение по питательным свойствам не уступает минеральным тукам, а по стоимости единицы питательных веществ в 3... 3,5 раза дешевле.

4. Обоснован способ и разработан технологический процесс ленточного внутривпочвенного внесения органо-минерального удобрения при возделывании пропашных культур, которые позволяют уменьшить потребное количество удобрения, затраты на его погрузку, транспортировку и внесение в 4...5 раз. Удобрение вносится непосредственно в зону расположения корневой системы растений шириной ленты 0,14...0,16 м, обеспечивает тем самым рациональное их питание, исключает подкормку сорняков в междурядьях, предотвращает потери питательных веществ и загрязнение окружающей среды.

5. Обоснованы параметры и режимы работы высевающего аппарата, которые при рациональном сочетании обеспечивают высева органо-минерального удобрения в рядки с неравномерностью, не превышающей 10%. Изменение скорости подающего транспортера в интервале от 0,0013 до 0,0039 м/с обеспечивает дозу высева удобрения от 0,08 до 0,42 кг на 1 погонный метр рядка. Удельный расход топлива агрегата при этом составляет 9...10 кг/га.

6. Обоснованы рациональные параметры и режимы работы ротационного рабочего органа комбинированного сошника, обеспечивающие смешивание удобрения с почвой с однородностью 80...85%. При этом на одну иглу ротора приходится 17...22 Н окружного усилия и 1,4...1,6 Н·м крутящего момента.

7. Разработан технологический процесс, обеспечивающий равномерное нанесение защитно-стимулирующего препарата на семена

и снижение их травмирования. Обоснованы способ и конструкция машины с двухступенчатым нанесением препарата на поверхность семян. Установлено, что при угле  $\alpha$  по вершине конусного распределителя семян в пределах 45...50 град и длине образующей 0,26...0,27 м обеспечивается пропускная способность камеры протравливания в пределах от 10 до 24 т/ч.

8. Разработаны конструкции и изготовлены опытные образцы машины для ленточного внутрипочвенного внесения органо-минерального удобрения РОУ-6-4М, которая агрегатируется трактором класса тяги 14 кН, протравливателей семян с двухступенчатым нанесением защитно-стимулирующего препарата (стационарные КИС-10(20)М, самоходные на базе зерномета ЗМ-60, самоходные СПС-15). Машина для внутрипочвенного внесения органо-минерального удобрения прошла производственные испытания в хозяйствах Челябинской области. Протравливатели семян внедрены в хозяйствах Челябинской, Свердловской, Курганской областей. В результате проведенных исследований разработаны практические рекомендации по совершенствованию технологий и технических средств по приготовлению и внутрипочвенному внесению органо-минерального удобрения и предпосевной обработке семян защитно-стимулирующими препаратами, одобренные НТС Министерства сельского хозяйства Челябинской области, НТС Департамента сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Курганской области.

9. При возделывании кукурузы на силос при ленточном внутрипочвенном внесении органо-минерального удобрения из расчета 0,5 т/га и качественной обработке семян защитно-стимулирующими препаратами повышение урожайности составило около 28 ц/га. С учетом суммарных затрат по новой и базовой технологиям расчетная годовая экономическая эффективность составляет 5...6 тыс. руб./га. Применение комплексного технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян позволяет значительно снизить отрицательное воздействие на окружающую среду в результате эффективной переработки птичьего помета, рационального внесения его в почву и качественной обработки семян защитно-стимулирующими препаратами.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

### Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК

1. Запевалов М. В. Высевающий аппарат для ленточного внутрипочвенного внесения органо-минерального удобрения // Вестник КрасГАУ. – 2011. – Вып. 9. – С. 227–232.

2. Запевалов М. В. Критерий эффективности применения органо-минеральных удобрений // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 6. – С. 35–37.

3. Запевалов М. В. Протравливатель семян // Сельский механизатор. – 2011. – № 11. – С. 6–7.

4. Запевалов М. В. Технология приготовления органо-минерального удобрения на основе птичьего помета // Вестник Алтайского ГАУ. – 2011. – № 5. – С. 84–90.

5. Запевалов М. В., Бердышев А. М., Запевалов С. М. Обезвоживание птичьего помета перед его переработкой // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 1. – С. 43–44.

6. Запевалов М. В., Запевалов С. М. Технологии и средства превентивных процессов по уходу за сельскохозяйственными культурами // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 12. – Ч. 2. – С. 326–331.

7. Запевалов М. В., Сергеев Н. С. Ленточное внутрипочвенное внесение органо-минерального удобрения // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 11(2). – С. 30–33.

8. Сергеев Н. С., Запевалов М. В. Кинематические параметры комбинированного сошника для рядкового внутрипочвенного внесения органо-минеральных удобрений // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 3. – С. 27–29.

9. Сергеев Н. С., Запевалов М. В., Мухамадиев В. Э. Обоснование основных параметров конусного распределителя семян камеры протравливания // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 61–64.

10. Сергеев Н. С., Запевалов М. В., Наумов Ю. М. Определение рабочего хода игольчатого ротора комбинированного сошника, обеспечивающего равномерное перемешивание удобрений с почвой // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 10. – С. 59–62.

11. Сергеев Н. С., Запевалов М. В. Совершенствование средств механизации для протравливания семян // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – № 1. – С. 22–24.

### **Публикации в других изданиях**

12. Виноградов В. И., Запевалов М. В. Обоснование оптимальной ширины захвата машины для рядкового внутрипочвенного внесения твердых органических удобрений // Повышение эффективности производственных процессов в растениеводстве : сб. науч. тр. – Челябинск : ЧГАУ, 1991. – С. 33–39.

13. Запевалов М. В. Возделывание кочанной капусты при локальном внесении твердых органических удобрений : информ. листок // Челябинский межотраслевой территориальный ЦНТИ и пропаганды. – 1990. – № 9–90. – 2 с.

14. Запевалов М. В. Инновационная технология переработки птичьего помета // Официальный каталог Международного форума «Изменение климата и экология промышленного города». – Челябинск, 2012. – С. 50–51.

15. Запевалов М. В. Ленточное внутрипочвенное внесение органо-минерального удобрения // Вестник ЧГАА. – 2011. – Т. 58. – С. 127–130.

16. Запевалов М. В. Машина для внутрипочвенного внесения органических удобрений : информ. листок // Челябинский межотраслевой территориальный ЦНТИ и пропаганды. – 1990. – № 513–90. – 2 с.

17. Запевалов М. В. Машина для рядкового внутрипочвенного внесения твердых органических удобрений // Каталог научных разработок для внедрения в производство. – Челябинск : ЧГАУ, 2003. – С. 21.

18. Запевалов М. В. Обоснование механизированного способа внутрипочвенного внесения твердых органических удобрений // Инженерное обеспечение механизированных процессов в растениеводстве : сб. науч. тр. – Челябинск : ЧГАУ, 1990. – С. 36–38.

19. Запевалов М. В. Параметры приготовления органо-минерального удобрения // Вестник ЧГАУ. – 2010. – Т. 57. – С. 85–89.

20. Запевалов М. В. Повышение плодородия почвы за счет применения органо-минеральных удобрений // Материалы XLVII междунар. науч.-тех. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАУ, 2008. – Ч. 2. – С. 18–22.

21. Запевалов М. В. Протравливатель семян зерновых и зернобобовых культур : информ. листок // Челябинский межотраслевой территориальный ЦНТИ и пропаганды. – 2010. – № 74–028–10. – 2 с.
22. Запевалов М. В. Разработка технологического процесса высева органических удобрений при рядковом внутрпочвенном внесении : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1992. – 17 с.
23. Запевалов М. В. Разработка технологического процесса высева органических удобрений при рядковом внутрпочвенном внесении : дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1992. – 164 с.
24. Запевалов М. В. Рядковое внутрпочвенное внесение органических удобрений при возделывании кочанной капусты // Повышение эффективности производственных процессов в растениеводстве : сб. науч. тр. – Челябинск : ЧГАУ, 1991. – С. 39–45.
25. Запевалов М. В. Системный подход к применению органических удобрений // Челябинскому государственному университету – 70 лет : тез. докл. на XL науч.-техн. конф. – Челябинск : ЧГАУ, 2001. – С. 90–91.
26. Запевалов М. В. Смешивание компонентов при производстве органо-минеральных удобрений на основе птичьего помета // Материалы XLIX междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2010. – Ч. 1. – С. 370–375.
27. Запевалов М. В. Совершенствование технологии приготовления органо-минеральных удобрений // Материалы XLII науч.-техн. конф. – Челябинск : ЧГАУ, 2003. – Ч. 2. – С. 121–125.
28. Запевалов М. В. Способ компостирования навоза : информ. листок // Челябинский межотраслевой территориальный ЦНТИ и пропаганды. – 1990. – № 539–90. – 2 с.
29. Запевалов М. В. Требования к минеральным наполнителям при производстве органо-минеральных удобрений // Материалы XLVIII междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАУ, 2009. – Ч. 2. – С. 18–23.
30. Запевалов М. В. Утилизация птичьего помета и производство гранулированных органо-минеральных удобрений // Вестник ЧГАУ. – 2009. – Т. 54. – С. 124–129.
31. Запевалов М. В. Утилизация птичьего помета и производство органо-минеральных удобрений : сб. научных тр. ГНУ ВНИИМЖ. –

М. : Россельхозакадемия ; ГНУ ВНИИМЖ, 2008. – Т. 18. – Ч. 4. – С. 133–140.

32. Запевалов М. В. Эксплуатационно-технологические показатели агрегатов для внесения органических удобрений // Совершенствование методов использования и обслуживания техники в сельском хозяйстве : сб. науч. тр. – Челябинск : ЧГАУ, 1992. – С. 40–42.

33. Запевалов М. В. Бердышев А. М. Утилизация птичьего помета методом сжигания // Вестник ЧГАА. – 2012. – Т. 61. – С. 71–74.

34. Запевалов М. В., Линчук А. И. Показатель эффективности применения органо-минеральных удобрений // Материалы ХLI науч.-техн. конф. – Челябинск : ЧГАУ, 2002. – Ч. 2. – С. 61–63.

35. Запевалов М. В., Линчук А. И. Птицеводство – это еще и источник сырья для производства удобрений // Сельский округ. – 2003. – № 12.

36. Запевалов М. В., Маринин С. П. Исследования по повышению плодородия почв и защите растений // Вестник ЧГАУ. – 2009. – Т. 54. – С. 26–31.

37. Запевалов М. В., Мухамадиев В. Э. Исследования движения зерна по конической поверхности // Материалы L междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2011. – Ч. 3. – С. 24–28.

38. Запевалов М. В., Наумов Ю. М. Совершенствование средств механизации для внесения удобрений // Вестник ЧГАУ. – 1997. – Т. 19. – С. 33–36.

39. Запевалов М. В., Наумов Ю. М. Эффективность применения птичьего помета в качестве удобрения // Вестник ЧГАУ. – 2002. – Т. 37. – С. 118–119.

40. Запевалов М. В., Саплинов А. С. Расчет мощности при смешивании птичьего помета с минеральными компонентами // Вестник ЧГАУ. – 2010. – Т. 57. – С. 90–94.

41. Запевалов М. В., Тухбатов И. А. «КИС-10/20»: экономичность и надежность // Нивы Урала. – 2004. – № 1. – С. 13.

42. Сергеев Н. С., Запевалов М. В. Технология приготовления органо-минерального удобрения // Справочник инновационных технологий вузов Российской Федерации в сфере АПК. – Белгород, 2012. – С. 248–249.

43. Запевалов М. В., Маринин С. П. Машины для внесения удобрений : учеб.-метод. разработка. – Челябинск : ЧГАУ, 2000. – 16 с.

44. Запевалов М. В., Маринин С. П. Технологии и технические средства в сельском хозяйстве : учеб. пособие. – Челябинск : ЧГАУ, 2009. – 48 с.

45. Запевалов М. В. Механизированные процессы превентивного ухода за растениями (Технологическое и техническое обеспечение применения органо-минерального удобрения и химической обработки семян) : монография. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 88 с.

46. Сергеев Н. С., Запевалов М. В., Басков В. Н. Совершенствование технологий и технических средств по приготовлению и внутрипочвенному внесению органо-минерального удобрения и предпосевной обработке семян защитно-стимулирующими препаратами : рек. для спец. сельск. хозяйства. – Челябинск : ЧГАУ, 2012. – 64 с.

#### **Авторские свидетельства, патенты**

47. А. с. на изобретение СССР № 1692326. Машина для внесения твердых органических удобрений / В. И. Виноградов, М. В. Запевалов, В. В. Хаданович. – № 4765663/15 ; заявл. 06.12.89 ; опубл. 23.11.91, Бюл. № 43.

48. А. с. на изобретение СССР № 1794332. Способ внесения в почву сыпучих органо-минеральных удобрений и устройство для его осуществления / В. И. Виноградов, М. В. Запевалов, Н. А. Печерцев. – № 4814375/15 ; заявл. 11.03.90 ; опубл. 15.02.93, Бюл. № 6.

49. А. с. на изобретение СССР № 1822632. Устройство для рядкового высева органических удобрений / В. И. Виноградов, М. В. Запевалов, Н. А. Печерцев. – № 4879660/15 ; заявл. 01.10.90 ; опубл. 23.06.93, Бюл. № 23.

50. Патент на полезную модель РФ № 111640. Дозатор сыпучих и вязких материалов / М. В. Запевалов, С. М. Запевалов, Д. В. Вагин. – № 2011131991/28 ; заявл. 29.07.2011 ; опубл. 20.12.2011, Бюл. № 35.

51. Патент на изобретение РФ № 2189962. Способ получения гранул из пометно-минеральной смеси / М. В. Запевалов, А. И. Линчук. – № 2000128203 ; заявл. 10.11.2000 ; опубл. 27.09.2002.

52. Патент на изобретение РФ № 2342985. Устройство для смешивания жидкостей разной вязкости / М. В. Запевалов, Н. С. Серге-



ев, С. П. Маринин. – № 2007110207/15 ; заявл. 21.03.2007 ; опубл. 10.01.2009, Бюл. № 1.

53. Патент на изобретение РФ № 2370937. Протравливатель семян / М. В. Запевалов, С. П. Маринин. – № 2008115663/13 ; опубл. 27.10.2009 ; заявл. 21.04.2008, Бюл. № 30.

54. Патент на изобретение РФ № 2395189. Сошник для внесения удобрения / М. В. Запевалов. – № 2009108612/12 ; заявл. 10.03.2009 ; опубл. 27.07.2010, Бюл. № 21.

55. Патент на изобретение РФ № 2399641. Способ утилизации птичьего помета / М. В. Запевалов, С. П. Маринин. – № 2009108613/12 ; заявл. 10.03.2009 ; опубл. 20.10.2010, Бюл. № 30.

### **Отчеты о НИР**

56. Повышение качества протравливания семян зерновых и зернобобовых культур за счет совершенствования технологии и технических средств : отчет о НИР / М. В. Запевалов [и др.]. – Челябинск : ВНТИЦ. – Рег. №01.2.006 11296. – Инв. № 02.2.007 03229. – 61 с.

57. Проведение исследований и усовершенствование интегрированной защиты интенсивно возделываемых зерновых культур на основе ресурсосберегающего комплекса машин для инкрустации семян и ультрамалообъемного ротационного электростатического опрыскивания : отчет о НИР / М. В. Запевалов [и др.]. – Челябинск : ВНТИЦ. – Рег. № 01.04.00 01647. – Инв. № 02.04.00 00031. – 40 с.

58. Разработка способа и технических средств двухступенчатого нанесения рабочего раствора на поверхность семян зерновых и зернобобовых культур : отчет о НИР / М. В. Запевалов [и др.]. – Челябинск : ВНТИЦ. – Рег. № 01.2.006 10007. – 61 с.

59. Совершенствование технологии утилизации и переработки птичьего помета : отчет о НИР / М. В. Запевалов [и др.]. – Челябинск : ВНТИЦ. – Рег. № 01.2.007 05723. – Инв. № 02.20.0 801120. – 110 с.

---

Подписано в печать 20.03.2013 г. Формат 60×84/16  
Гарнитура Times. Печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ № 50

---

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Челябинская государственная агроинженерная академия»  
454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 75