

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный
агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



САЛАПИН ИЛЬЯ МИХАЙЛОВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ СЕМЯН

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

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

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор М.Ю. Костенко

Рязань, 2026

Оглавление

Введение	4
Глава 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1 Анализ существующих технологий обработки семян перед севом.....	9
1.2. Анализ средств защиты семян зерновых культур.....	14
1.3 Анализ смесительных устройств протравливателей семян.....	19
1.4 Анализ транспортирующих устройств зерновых культу.....	30
1.5 Анализ выполненных исследований по протравливанию семян.....	36
1.6 Постановка задачи исследования.....	40
Выводы по 1 главе.....	40
Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНА В БАРАБАНЕ.....	42
2.1 Конструктивно-технологическая схема барабана.....	42
2.2 Теоретические исследования движения частиц в барабане.....	44
2.3 Моделирование процесса смешивания семян в барабане на основе теории цепей Маркова с использованием высокоуровневого языка программирования Python.....	50
2.4. Теоретические исследования истечения семян из барабана через отверстия.....	55
Выводы по 2 главе.....	59
Глава 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ.....	61
3.1 Методика экспериментального обоснования параметров.....	61
3.2 Методика исследования физико-механических свойств семян.....	64
3.3 Методика расчёта производительности барабана.....	68
3.4 Методика определение покрытия семян ядохимикатами в барабане фотоколориметрическим методом.....	71
3.5 Методика оценки покрытия семян ядохимикатами в.....	75

барабане.....	
3.6 Методика оценки покрытия семян в барабане с применением программного комплекса ImageJ.....	76
3.7 Методика проведения полевых исследований.....	78
Выводы по 3 главе.....	79
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ И СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ СЕМЯН.....	80
4.1 Результаты экспериментального обоснования параметров протравливателя.....	80
4.2 Результаты исследования физико-механических свойств семян.....	83
4.3 Результаты исследований определения производительности барабана...	88
4.4 Результаты исследований протравливания семян в барабане с помощью фотоколориметра КФК-2.....	93
4.5 Результаты исследований протравливания семян в барабане с помощью программного комплекса ImageJ.....	98
4.6 Результаты полевых исследований протравливателя семян с барабаном...	104
Выводы по 4 главе.....	113
ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ СЕМЯН.....	115
Выводы по 5 главе.....	125
Заключение.....	127
Литература.....	129
Приложения.....	146

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Федеральная программа развития агропромышленного комплекса России в период с 2017 по 2030 годы, была утверждена постановлением правительства РФ от 25 августа 2017 года N996. В технологиях возделывания полевых культур, системы предпосевной обработки семян составляют одну из основных статей расходов, так как от этих операций зависит развитие растений, урожайность, энергозатраты и рентабельность всего производства. Важную роль в решении этих задач играют протравливатели семян.

Проблема повреждения семян, возникающая из-за воздействия рабочих органов протравочных машин в ходе их подготовки к севу, требует комплексного решения. Важно не только совершенствовать конструкции уже имеющихся протравливателей семян, но и создавать новые машины, которые будут повышать качество смешивания. Это позволит снизить повреждения, повысить эффективность предпосевной обработки и обеспечит рост урожайности.

В этой связи, создание конструкции протравливателя семян, способствующей повышению качества смешивания и минимизации механических повреждений посевного материала, представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Степень разработанности темы исследования. Механические повреждения семян в процессе технологических операций являются существенной проблемой, приводящей к снижению их качества, всхожести и, как следствие, урожайности в данной области исследования проводили: Тарасенко А.П., Шатохин И.В., и другие. Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования были посвящены различным аспектам предпосевной обработки семян. Среди ученых, внесших заметный вклад в эту область, можно выделить: Вялых В.А., Дринчу В.М., Зиганшина Б.Г., Мударисова С.Г., Нуруллина Э.Г., Салахова И.М., Суханову М.В., Хасанова Э.Р., Якупова А.М. и других.

Настоящая работа является частью плана НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021–2025 годы. Она посвящена теме «Совершенствование технологий, средств

механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве».

Цель исследования – повышение равномерности и полноты покрытия семян при снижении повреждений семян в протравливателе.

Задачи исследований:

1. Анализ существующих технологий обработки семян средствами защиты.
2. Исследование движения семян в барабане протравливателя.
3. Обоснование и уточнение рациональных параметров барабана протравливателя.
4. Оценка экономической эффективности модернизированного протравливателя на предпосевной обработке семян.

Объект исследований - процесс протравливания семян в протравливателе.

Предмет исследований - закономерности влияния параметров протравливателя на полноту покрытия семян.

Научную новизну составляют:

- теоретические зависимости движения семян внутри барабана протравливателя;
- аналитические зависимости обоснования параметров протравливателя семян.

Теоретическая значимость заключается в обосновании зависимостей для определения параметров барабана протравливателя.

Практическая значимость работы заключается в обоснованных рациональных параметрах протравливателя семян.

Методы исследований. Методология исследований опирается на базовые принципы теоретической механики и сочетает компьютерное моделирование с математическим анализом. В работе использовалось сертифицированное оборудование, а результаты обрабатывались с помощью статистических методов. В ходе эксперимента применялись как апробированные, так и методики, разработанные на их основе. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием программных пакетов Python, ImageJ и

Microsoft Excel. Исследования проводились и оценивались как в лабораторных, так и в полевых условиях в соответствии с действующими стандартами: ГОСТ 52777-2007, ГОСТ 53056-2008, ГОСТ 52778-2007, ГОСТ 13586.5-2015.

Положения, выносимые на защиту:

- научно обоснованные и экспериментально подтвержденные параметры протравливателя семян;
- результаты экспериментальных исследований по протравливанию семян с применением протравливателя с обоснованными параметрами;
- технико-экономическая оценка эффекта применения протравливателя с обоснованными параметрами.

Достоверность результатов исследований. В ходе экспериментальной части работы были использованы стандартные методики, современное оборудование и установки, разработанные специально для данного исследования. Полученные выводы подтверждены как теоретическими расчетами, так и экспериментальными данными, сходимость теоретических и экспериментальных данных составляет 98%. Результаты диссертации согласуются с публикациями в авторитетных научных журналах и были успешно апробированы на всероссийских конференциях.

Реализация результатов исследования. Разработанный протравливатель семян с барабаном нашел свое применение на практике и успешно внедрен в технологическую линию подготовки семян к севу на предприятии ООО «Мир» Александровского муниципального округа, Рязанской области.

Вклад автора. Автор активно участвовал в решении поставленной задачи, и его вклад состоит в следующем: постановка цели и задач исследований, проведение теоретических и экспериментальных исследований, систематизация и обобщение полученных данных, изготовление и тестирование опытного образца, научное обоснование рациональных параметров барабана, формулирование ключевых выводов. Написание научных статей, участие в конкурсах и научных конференциях.

Апробация результатов. Основные положения диссертации докладывались III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова «Инновационный вектор развития отечественного АПК», Рязань, ФГБОУ ВО РГТУ, 23 ноября 2023 года; на студенческой научной конференции «Перспективные научные исследования высшей школы», Рязань, ФГБОУ ВО РГТУ, 28 мая 2024 года; на Национальной студенческой научно-практической конференции «Современные тренды аграрной экономики», Рязань, ФГБОУ ВО РГТУ, 4 ноября 2024 года; на всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 85-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007) «Инженерные решения для АПК», Рязань, ФГБОУ ВО РГТУ, 13 ноября 2024 года; на IV национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова «Инновационное развитие аграрной науки: традиции и перспективы» в рамках мероприятий десятилетия науки и технологий в Российской Федерации, Рязань, ФГБОУ ВО РГТУ, 22 ноября 2024 года; в рамках мероприятий десятилетия науки и технологий в Российской Федерации, Рязань, ФГБОУ ВО РГТУ, 22 ноября 2024 года; III этап Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых аграрных образовательных и научных организаций России в номинации «Машины и оборудование для АПК», Уфа, 15-16 мая 2025 года; Студенческий стартап VI очередь, Фонд содействия инновациям 2025г, номер заявки №СтС-513454; II этап Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых аграрных образовательных и научных организаций России, номинация «Машины и оборудование для АПК», Белгород, 2026 год.

Публикации. Четыре научных статьи опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, отражают основные результаты проведённого диссертационного исследования. Общий объем

публикаций составляет 7,3 условных печатных листа, из которых доля автора – 3,6 условных печатных листа.

Состав и объем диссертационного исследования. Диссертация имеет следующую структуру: введение, пять основных разделов, заключение с обобщенными выводами. Работа представлена на 162 страницах и включает библиографический список из 144 источника, 13 приложений, а также: 73 рисунка и 11 таблицы.

Глава 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ существующих технологий обработки семян перед севом

Урожайность сельскохозяйственных культур, важнейший показатель продуктивности сельскохозяйственного производства. Рост урожайности сельскохозяйственных культур свидетельствует о потенциале дальнейшего роста производительности сельского хозяйства за счет постоянных инноваций и инвестиций. Более полное раскрытие потенциала развития сельскохозяйственного производства подчёркивает важность внедрения современных технологий и развития сельскохозяйственной поддержки на всех уровнях для повышения производительности труда [102,110,126].

Подготовка семян к посеву является основным мероприятием, без которого не обходится ни одна посевная кампания в сельскохозяйственном предприятии. Качественная подготовка семян позволяет сельхозтоваропроизводителям обеспечить дружные всходы растений, снизить риски появления болезней и вредителей, повысить урожайность и качество зерна. Предпосевную обработку семенного материала можно разделить на несколько этапов. Первоначальная подготовка заключается в сортировке семян, что позволяет нам отобрать самые крупные семена и отбраковать мелкие и повреждённые, а также исключить посторонние примеси (пыль, оболочки, ости), которые служат источником снижения качества подготовки семян. Дальнейший этап заключается в фитоэкспертизе семян в специализированной лаборатории с выдачей заключения, которая определяет фитосанитарное состояние предоставленных на экспертизу проб семян. Это исследование направлено прежде всего на выявление патогенных микроорганизмов (грибков, бактерий, вирусов) и вредителей, которые способны оказать угнетающее воздействие на всходы и дальнейшее развитие растений. Следующий этап направлен на определение посевных качеств семян в соответствии Приказом Минсельхоза России №528 от 26.05.2023 года и гост Р 52325-2005 [28]. По результатам проведённых исследований аккредитованная

лаборатория выдаётся протокол с указанием соответствующих посевных качеств семян сельскохозяйственных растений. Дальнейшая предпосевная работа заключается в протравке семян химическими и биологическими препаратами. Существует ряд методов подготовки протравленных семян [109,116, 125].

Протравливание представляет собой комплекс мер, включающих химическое, биологическое и физическое воздействие на семена и посадочный материал с целью ликвидации патогенных грибов и бактерий, поражающих растения на ранних стадиях развития, а также и переносчиков вирусных болезней. Применение инсектицидных протравливателей в сочетании с другими методами позволяет эффективно контролировать популяции некоторых вредных насекомых, таких как злаковая муха, проволочники и тли, являющиеся переносчиками вируса желтой карликовости ячменя. Современные протравочные машины предназначены для обработки значительных объемов семенного материала. Однако, качество обработки в значительной степени зависит от конструкции и принципа работы используемого оборудования. Особое значение для достижения высокого качества обработки имеет состояние семян. Они должны быть очищены от примесей и обладать высокой энергией прорастания и полевой всхожестью. Обработка мелких и загрязненных партий зерна требует увеличения расхода ядохимикатов. Эффективность протравливания зависит от качества посевного материала, средств защиты, используемого оборудования, технологии и квалификации персонала [37,48,134].

Сухое протравливание характеризуется как не сложный способ обработки семян. Протравливание осуществляется без добавления воды, так как при данной обработке семенной материал должен иметь повышенную влажность и в следствии чего наносимый в сухом виде препарат прилипает к поверхности зерновок. Происходит данный процесс путём смешивания семян и порошкообразного ядохимиката. Отрицательной чертой данного метода является слабое сцепление наносимого препарата с оболочкой зерна, что приводит к его осыпанию при механических воздействиях (перегрузка, упаковка, транспортировка) и от чего образуется много пыли.

Мокрое протравливание семян является очень трудоёмким технологическим процессом. Он предусматривает погружение семян в заранее подготовленный раствор содержащий ядохимикаты. Время выдержки семян в погружённом состоянии составляет 2 часа. Далее рекомендуется слить рабочий раствор в герметичную ёмкость и осуществить просушку семенного материала, а использованный раствор утилизировать. Недостаток этого метода протравливания заключается в больших трудозатратах, большом расходе рабочего раствора и дополнительное просушивание.

Многие сельхозпроизводители выбирают протравливание семян с увлажнением. Суть его заключается в предварительном увлажнении семян небольшим количеством воды, как правило до 1 процента от веса партии обрабатываемых семян, а затем на их поверхность наносят средства защиты в различных физико-химических формах (жидкие, сухие, суспензии). При данной обработке происходит значительная экономия используемых препаратов, а с точки зрения экологии он безопасный, но вместе с тем этот процесс достаточно сложный в исполнении и после высыхания семян может наблюдаться неравномерное покрытие зерновок ядохимикатами.

Мелко дисперсионный метод зарекомендовал себя тем, что препараты для протравливания в виде приготовленных жидких растворах распыляют в закрытой камере на нисходящий поток семян, что позволяет покрывать большую часть семян защитными средствами и экономя при этом расход самих препаратов. Но как показывает практика, что при высокой производительности сжижается полнота покрытия семян ядохимикатами, а также неравномерность их нанесения по поверхности зерновок. Данный фактор играет важное значение для крупных аграрных предприятий, которые готовят к севу большие объёмы семян в жатые календарные сроки.

Обработка семян плёнкообразующими препаратами. Это один самых эффективных способов протравливания семян, который позволяет удерживается защитным веществам на поверхности зерновок и не осыпаться при различных механических воздействиях. Сам технологический процесс заключается в

нанесении жидкого рабочего раствора, в составе которого присутствуют плёнкообразующие агенты и при попадании их на семена образуется слой в виде защитной плёнки.

Дражирование семян, заключается в механическом методе обволакивания семян защитными и питательными средствами предавая при этом семенам идеально круглую и ровную форму, что является преимуществом при точном высеве семян и обеспечивает их контролируемый расход современными автоматизированными сеялками. Недостаток заключается в высоких затратах для подготовки таких семян, требуется калибровка и шлифовка семян перед обработкой, требуется их сушка после обработки, снижается срок хранения, для растворения созданной оболочки потребуется вода.

Метод инкрустирования семян достаточно похож на дражирование, но в данном случае семена не изменяют свою форму, а количество наносимых веществ на их поверхность гораздо меньше. Основная задача этого метода заключается в том, чтобы обогатить семена питательными микроэлементами и биостимуляторами с добавлением ограниченного количества защитных средств.

В последние годы все больше сельском хозяйстве применяют и физические методы для предпосевной подготовки семян. Это облучение семян лазером, ультрафиолетом и термическая обработка.

Лазерная обработка семян сама по себе достаточно безопасна как для персонала, так и к посевному материалу. Устойчивость семян к различным болезням и патогенам становится в разы выше, фиксируется и рост урожайности, а также сокращения сроков прорастания. Тем не менее недостаточный контроль за данным процессом может привести и к обратному эффекту, поэтому уровень профессиональной подготовки и настройка оборудования являются ключевыми факторами в данном методе подготовки семян к севу.

Облучение семян ультрафиолетом позволяет уничтожать различные патогены на их поверхности. При таком методе происходит воздействие только на верхний слой зерновок, и не проникает во внутреннюю структуру. Обеспечивает стрессоустойчивость семян и как следствие интенсивный рост и развитие. Он

достаточно экономный. Недостатком является отсутствие информативности в полноте обработки семян со всех сторон ультрафиолетом. Слабое проникновение лучей в глубь семян обеспечивает недостаточную обработку от патогенов. Наличие пыли или других примесей будут служить барьером для ультрафиолетового излучения и снижать его эффективность.

При термической обработке семена нагревают до температуры, которая убивает вредные бактерии и грибки, но не вредит самим семенам. Нагрев осуществляется как горячим паром, горячей водой так применяют и воздушно-тепловой нагрев. Данный метод подходит не для всех видов семян, а при несоблюдении температурного режима можно нанести им травмы и повредить зародыш. Он, как и многие другие методы, требует ответственного подхода к соблюдению всей технологии термической обработки семян. Только это и позволит уничтожить вредные патогены, находящиеся на поверхности семян, обеспечить дружные всходы и прибавку урожайности.

Биологическая обработка семян предусматривает обработку семян биопрепаратами, которые способны подавлять рост патогенных микроорганизмов, повышать иммунитет и стимулировать развитие растений. Данный метод не оказывает отрицательного влияния на окружающую среду и является достаточно эффективным, но он напрямую зависит от погодных условий, что крайне непредсказуемо в настоящее время [66].

Выбор способа предпосевной обработки зерна как правило определяется рядом факторов, включая особенности возделываемой культуры, агроклиматические условия, наличие различных патогенов как в семенной материале, так и в почве. Несмотря на наличие определённых рисков, химические методы протравливания семян сохраняют свою лидирующую позицию в этом направлении и прежде всего это благодаря подтверждённой результативности и экономической целесообразности. Физические и биологические методы более экологичны, но требуют вложений в оборудование и специалистов. Наилучшие результаты часто достигаются при комбинировании различных способов подготовки семян к севу.

1.2. Анализ средств защиты семян зерновых культур

Современные система защиты должны обеспечивать получение запрограммированного урожая заданного качества. Для достижения поставленных задач система должна:

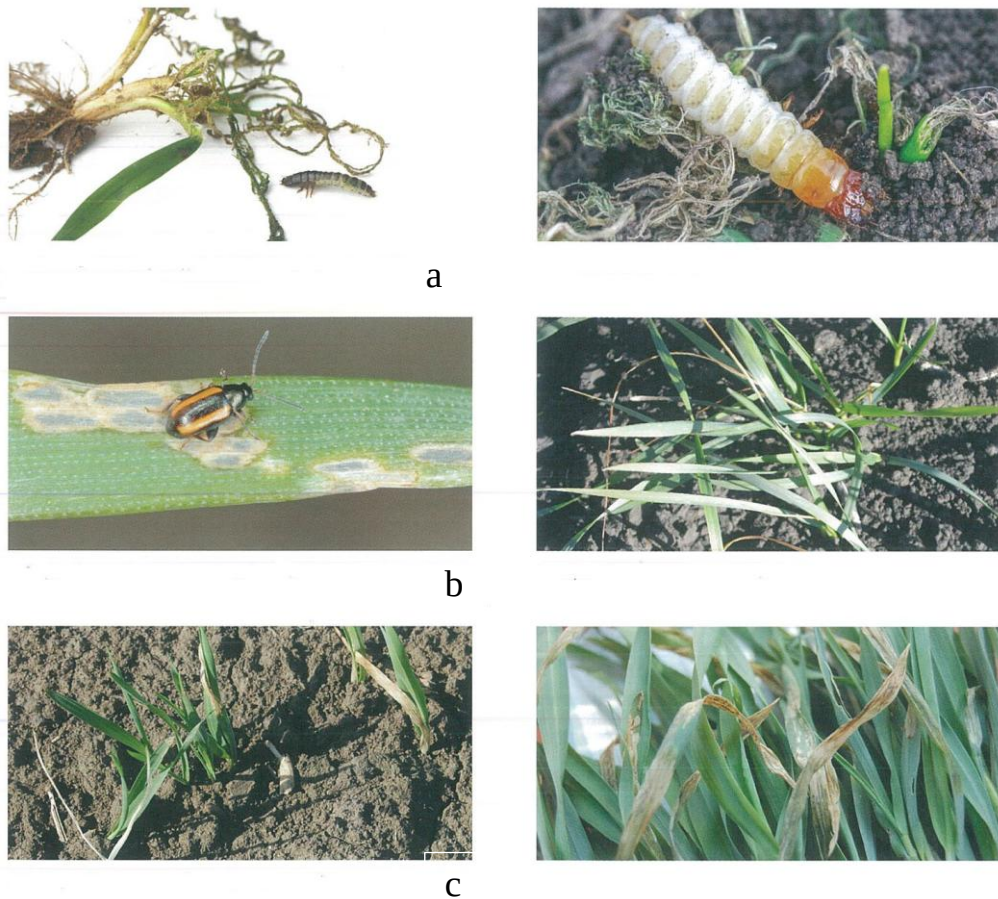
- Обеспечивать высокоэффективную защиту от хозяйственно-значимых болезней на всех этапах роста и развития культуры. Для этого спектр действия препаратов должен соответствовать наиболее вредоносным компонентам представленного патогенного комплекса. Биологическая эффективность действия препаратов должна быть не менее 90%, а продолжительность защитного действия 6 – 7 недель. Сроки применения препаратов необходимо увязывать с наиболее вероятными периодами естественного заражения. Методика построения системы должна позволить провести определение оптимального срока применения препаратов в зависимости от складывающихся метеорологических условий, наличия очагов инфекции, генетически и фенотипически обследованной восприимчивости защищаемой культуры [1,68,144].

- повышать устойчивость растений к неблагоприятному воздействию метеорологических факторов и обеспечивать потенциально возможную длительность вегетационного периода.

- Гарантировать экологическую чистоту получаемой продукции (отсутствие остатков препаратов выше допустимых норм, заражения зерна токсинообразующими видами грибов и накопления микотоксинов).

Протравливание семян — это ключевой агротехнический прием обработки семенного материала с помощью ядохимикатов.

Ядохимикаты семян – это специальные препараты, которыми обрабатывают семена перед их высевом. Их главная задача – защитить прорастающее семя и молодые всходы от широкого спектра болезней и вредителей [16,33].



а — измочаливание растения личинками хлебной жучелицы, б — повреждения полосатой хлебной блошкой, с - повреждения ячменной минирующей мухой.

Рисунок 1.1 – Примеры вредителей всходов зерновых культур, против которых эффективны инсектицидные ядохимикаты

Данный агротехнологический приём позволяет решить ряд важных задач:

- снижение риска потерь урожая: болезни и вредители могут нанести непоправимый ущерб, особенно на ранних стадиях развития растений, ядохимикаты минимизируют этот риск;
- улучшение всхожести и энергии прорастания: здоровые семена лучше всходят и дают более сильные и жизнеспособные ростки;
- экономия средств обработки семян — это гораздо более эффективный и экономичный способ борьбы с вредителями и болезнями, чем последующая обработка полей;

- при снижении пестицидной нагрузки ядохимикаты действуют локально, на семя и прикорневую зону, что позволяет использовать меньшее количество действующих веществ по сравнению с наземными обработками.

На рисунке 9 представлены результаты опытов АО «Щёлково Агрохим». В первом варианте развитие растений пшеницы, семена которой были обработаны ядохимикатом хозяйства, где проводился эксперимент. На втором варианте развитие тех же самых семян, но обработанных препаратом АО «Щёлково Агрохим» Гераклион, КС. Масса корневой системы во втором варианте выше на 44%, а рост урожайности на 11,8%.



Рисунок 1.2 – Влияние ядохимикатов на развитие растений

Пестициды можно классифицировать по разным признакам, но наиболее распространенная это по спектру действия:

Фунгицидные ядохимикаты

Это самая распространенная группа. Они борются с грибковыми заболеваниями, которые могут поражать семена и всходы. К ним относятся:

Системные фунгициды проникают в семя и распределяются по всему растению по мере его роста. Они обеспечивают длительную защиту от широкого спектра болезней, таких как корневые гнили, плесневение семян, мучнистая роса, гельминтоспориоз и другие.

Контактные фунгициды: действуют непосредственно на поверхности семени, уничтожая патогены, находящиеся там. Они эффективны против поверхностных инфекций, но их защитное действие короче, чем у системных.

Комбинированные фунгициды: сочетают в себе действие системных и контактных компонентов, обеспечивая комплексную защиту.

Инсектицидные ядохимикаты

Эти препараты предназначены для борьбы с почвенными вредителями, которые могут повредить семена и молодые всходы. К ним относятся:

Почвенные вредители: Жуки-проволочники, личинки хрущей, совки, тля, клопы и другие.

Системные инсектициды: проникают в растение и делают его токсичным для вредителей, которые питаются его частями.

Контактные инсектициды: действуют при непосредственном контакте с вредителем.

Комбинированные ядохимикаты

Это наиболее эффективный вариант, он включает в себе фунгицидные и инсектицидные компоненты, которые обеспечивают комплексную защиту от болезней и вредителей одновременно. Современные инсекто-фунгицидные ядохимикаты отличаются совершенно новым сочетанием действующих веществ из разных химических классов. Как результат ПОЛАРИС КВАТРО, СМЭ комбинированный инсекто-фунгицидный ядохимикат семян зерновых культур в инновационной формуляции содержит 150 г/л ацетамиприда, 100 г/л прохлораза, 20 г/л тебуконазола, 15 г/л пираклостробина.

Ацетамиприд – это инсектицид из класса неоникотиноидов, который эффективно защищает семена, корни и молодые растения от почвенных и наземных вредителей. Его действие основано на нарушении нервной системы насекомых, вызывая их быструю гибель. Он обладает системной активностью и длительным защитным эффектом.

Прохлораз – это фунгицид из класса имидазолов, предназначенный для обеззараживания семян от грибковой инфекции и почвы вокруг семенного ложа.

Он активен против широкого спектра почвенных грибов, включая *Fusarium spp.* и *Microdochium nivale*, путем ингибирования биосинтеза стерина в клетках грибов.

Тебуконазол – это фунгицид из класса триазолов третьего поколения с широким спектром действия. Он обладает системно-транслокационной активностью, обеспечивая защитный, искореняющий и лечащий эффект против поверхностной и внутренней семенной инфекции, а также аэрогенной инфекции. Его механизм действия заключается в подавлении биосинтеза эргостерина в клетках фитопатогенов.

Пираклостробин – это фунгицид, обладающий контактным действием и способен глубоко проникать в ткани семян, тем самым обеспечивая надёжную и длительную защиту. Механизм его действия основан на принципе ингибирования нежелательных процессов.

Благодаря наличию таких компонентов данный ядохимикат обеспечивает комплексную защиту от широкого спектра болезней (головня, корневые гнили, мучнистая роса, септориоз, снежная плесень и другие). Гарантирует защиту от снежной плесени при перезимовке и уничтожает наземных и почвенных вредителей [92].

Современные инновационные микроэмульсии протравливания семян способны быстро и глубоко проникать по микрокапиллярам в глубь семени, достигая всех участков локализации инфекции, в том числе скрытой. Такая качественная обработка семян исключает осыпание и механические потери препарата при хранении, транспортировке и севе. Данная эффективность достигается за счет ультрамалых размеров (до 0,1 мкм) частиц действующих веществ. Эти частицы, перемещаясь по ксилеме, свободно проникают во флоэму, блокируя развитие мицелия возбудителя. При этом размер частиц в концентрате суспензии может варьироваться от 3 до 5 мкм.



Рисунок 1.3 – Нанозащита семян снаружи и изнутри

1.3 Анализ смесительных устройств протравливателей семян

Эффективность предпосевной обработки зерна во многом зависит не только от выбранных методов и препаратов, но и от оборудования, которое используется для выполнения данной задачи. Решающее значение для быстрого и раннего этапа развития посевов имеет высококачественная подготовка семян перед севом. Протравливание семян является ключевым агротехническим приемом, который отличается высокой целесообразностью, экономической эффективностью и экологической чистотой в системе защиты растений [96,104,111].

В зависимости от принципа действия, машины для протравливания семян делятся на четыре основные группы: шнековые, барабанные, камерные и ротационные. Различаются по своим конструктивным особенностям и функциональным возможностям. Чтобы правильно работать с каждой такой

машиной для протравливания семян, нужно хорошо разбираться в её устройстве и уметь её настраивать. Важно выбрать соответствующее средство для обработки, правильно его подготовить, выставить нужную скорость работы, настроить детали так, чтобы семена не повреждались, и убедиться, что все зерновки на выходе полностью обработаны препаратом [18,77,138].

Шнековые протравливатели, как правило, используют шнековые механизмы для перемешивания семян с ядохимикатами. Они обеспечивают равномерное распределение химических веществ по поверхности семян, но вместе с тем данная конструкция приводит и к серьёзным травмам семенного материала [22,95,98].

Барабанные протравливатели семян можно охарактеризовать как вращающиеся цилиндры, в которых семена перемешиваются с растворами. При этом в данных смесителях применяют лопасти, перегородки, полки, спиральные рёбра для более качественного покрытия семян защитными средствами, что в итоге сказывается на целостности зерновок. Производительность таких устройств может быть чуть ниже, чем у шнековых.

В камерных протравливателях семена через регулируемый дозатор поступают на виброколебатель с которого они равномерно подаются самотёком в зону распыления ядохимиката. Весь процесс осуществляется в закрытой камере. Далее протравленное зерно собирается в нижней части камеры и оттуда поступает в выгрузной шнек. Неотъемлемой частью работы камерных протравливателей является дополнительное перемешивание семян шнеком. Без этой функции камера не способна обеспечить полное покрытие семян ядохимикатом.

В ротационных протравливателях семена через дозатор поступают на вращающийся ротор, который разбрасывает их по смесительной камере, где на них и наносятся ядохимикаты, а затем с помощью шнекового транспортёра осуществляется их выгрузка. Разброс семян ротором и транспортировка шнеком негативно сказывается на физических свойствах семян [32,93].

Каждый из этих механизмов имеет положительные, так и отрицательные стороны. Далее рассмотрим более подробно используемые смесительные устройства в протравливателях семян.



Рисунок 1.4 - Камерный протравливатель семян

Камерные протравливатели — это высокотехнологичное оборудование для обработки семян. В отличие от шнековых протравливателей у данных устройств принцип работы основан на создании внутри герметичной смесительной камеры нисходящего потока семян, свободно падающих под действием гравитации.

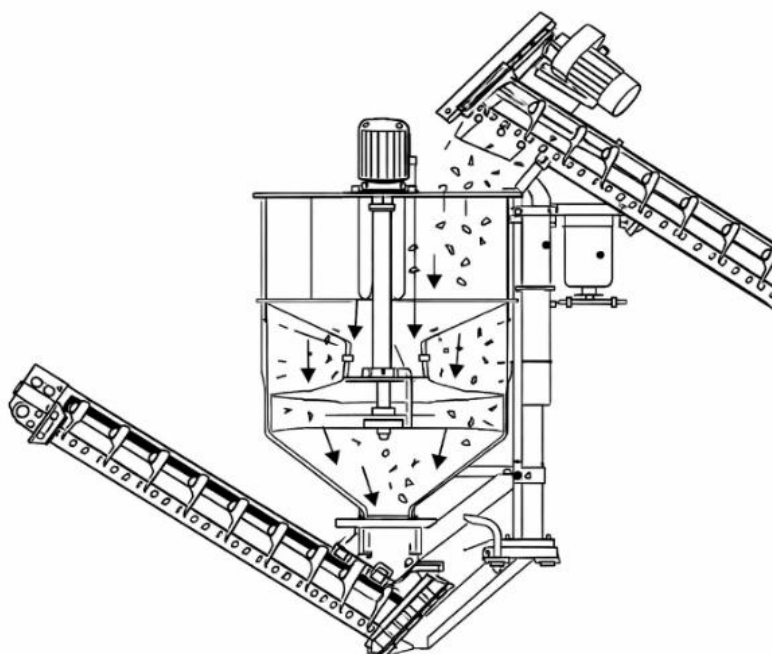


Рисунок 1.5 - Технологическая схема камерного смесителя

Процесс загрузки зерна в камерный смеситель напрямую влияет на качество обработки семян. Из технологической схемы (рисунок 1.5) видно, что зерно

подаётся по наклонному шнековому транспортеру и не по центру бункера-дозатора, возникает асимметрия заполнения. Это явление, далеко не тривиальное, порождает целый каскад негативных последствий, начиная с неравномерного распределения зерна внутри бункера и заканчивая неэффективностью обработки ядохимикатом [94].

Вместо равномерного слоя, зерно скапливается в одной части бункера, образуя зоны с повышенной и пониженной плотностью. Это приводит к неравномерному истечению материала из дозирующей заслонки. Представьте: одна часть заслонки пропускает обильный поток зерна, а другая – едва заметную струйку. Результат - нестабильный поток семян, поступающих на распределительный конус (питатель) и это влияет на точность дозирования и равномерность распределения семян в дальнейшем. Наличие вибратора не решает в полной мере данной проблемы.

Необходимо отметить, что гранулометрический состав зерна также играет значительную роль. Крупные семена будут скапливаться внизу, мешая равномерному распределению мелких семян. Это усугубляет проблему неравномерного истечения из дозатора.

Дальнейшие проблемы возникают в смесительной камере. Так как зерно самотёком и не равномерно поступает камеру, где наносится ядохимикат на семена с помощью распылителя, то часть семян не полностью покрывается защитными средствами. Дальнейшее движение семян происходит также самотёком в шнековый транспортёр (смеситель). В нём семена передвигаются и перемешиваются между собой, что способствует распределению защитных средств по поверхности семян. Шнек в данном случае играет важное значение, но в месте с тем он оказывает значительное влияние на целостность семян [3, 58,101].

Проведённые исследования, направленные на обоснование конструктивных параметров камерного протравливателя в полевых условиях, выявили несколько значительных недостатков, которые негативно сказываются на его работе. Так на больших объёмах зерна и с максимальной скоростью происходит значительное

снижение степени покрытия, наблюдается рост повреждённых семян на выходе и с высокой влажностью. Данный результат объясняется тем, что на больших подачах семена не успевают равномерно покрываться средствами защиты, что усиливает вышеописанные проблемы [2].



Рисунок 1.6 - Барабанный протравливатель семян

Конструкция стационарных протравливателей семян, использующих барабанные смесители с внутренними лопастями, перегородками, рёбрами, рифлением изготавливают в виде цилиндрических корпусов. Устанавливают их на раме в горизонтальном положении или с небольшим уклоном.

Привод барабана осуществляется с помощью электродвигателя и редуктора обеспечивая необходимую скорость вращения и в зависимости от вида протравливаемых семян. Вращается вся конструкция на стальных роликах с прорезиненным покрытием. Подача семян в смеситель осуществляется по наклонному лотку. Попав в барабан, на семена через распылитель, наносятся средства защиты и затем осуществляется их перемешивание. Проходя по всей

длине барабана семена самотёком высыпаются, с другой стороны, в разгрузочный лоток.

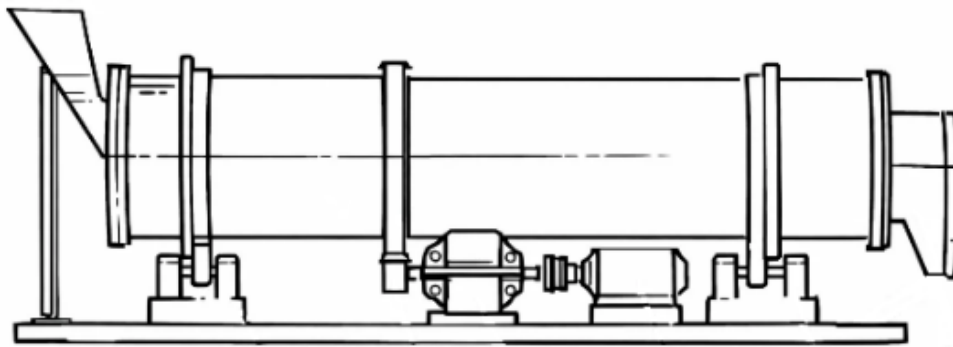


Рисунок 1.7 - Технологическая схема барабанного смесителя

В барабанном смесителе, которые также широко применяются и в различных отраслях промышленности для гомогенизации сыпучих материалов, движение семенного материала (или, в более общем случае, компонентов смеси) - это сложный процесс, определяемый взаимодействием нескольких сил. Ключевую роль играют силы трения между частицами смеси и стенками барабана, а также центробежные силы, возникающие в результате вращения барабана. Эти силы и определяют характерный для барабанных смесителей способ перемещения материала, который складывается из двух основных составляющих: радиального и аксиального движения.

Радиальное перемещение происходит в плоскости вращения барабана. Компоненты смеси, непрерывно подаются в смесительную камеру через загрузочный транспортер (который может быть шнековым, ленточным или другим типом в зависимости от конкретной конструкции смесителя и характеристик семенного материала), под действием центробежной силы прижимаются к внутренней поверхности барабана. Сила трения, возникающая между семенами и стенкой, определяет высоту подъема материала по круговой

траектории. Эта высота зависит от скорости вращения барабана, коэффициента трения между материалом и стенкой, а также от размера и формы семян. Более крупные и более плотные частицы будут подниматься выше, чем мелкие и лёгкие. Более того, характер поверхности барабана - гладкая или рифленая - также оказывает существенное влияние на интенсивность подъема и, как следствие, на эффективность перемешивания.

Аксиальное движение описывает перемещение семян вдоль оси вращающегося барабана протравливателя семян. Поднявшись в верх, семена под действием силы тяжести отрываются от стенок смесителя и начинают падать. В процессе падения происходит их интенсивное перемешивание, которое непременно связано с размером семян, их весом, формой и влажностью. Семена более лёгкие падают гораздо медленнее, относительно тяжёлых, в следствии чего они преодолевают большее расстояние в аксиальном направлении. Этот механизм, напоминающий каскад, является основным фактором достижения однородности смеси [13,115].



Рисунок 1.8 - Ротационный протравливатель семян

Угол наклона барабана напрямую влияет на осевое перемещение, ускоряя движение семян и процесс их смешивания. Наличие в данном механизме

лопастей, перегородок, рёбер для улучшения смешивания семян способствует нанесению им различных травм. Долговечность и производительность данного устройства определяются выбором материала, из которого он изготовлен и с учетом абразивности семян. Необходимо использовать износостойкие, такие как высокотвердая сталь с резиновым покрытием или специальная керамика. Несоблюдение данных требований приведёт к ускоренному износу и снижению производительности барабанного смесителя.

Применение барабанных протравливателей позволяет с уверенностью говорить об их надежности и высокой производительности при работе с большими объемами семян. Результатом является достаточно хорошая степень покрытия, а также ощутимая экономия времени и ресурсов.

Ротационные машины для предпосевной обработки семян - высокопроизводительные агрегаты, предназначенные для равномерного нанесения ядохимиката на семенной материал. Их конструкция, хотя и обеспечивает впечатляющую эффективность, достаточно сложна и включает в себя несколько ключевых элементов. В основе работы лежит принцип обработки семян в потоке, формируемом вращающимся коническим барабаном (ротором) внутри неподвижного цилиндрического корпуса (смесителя).

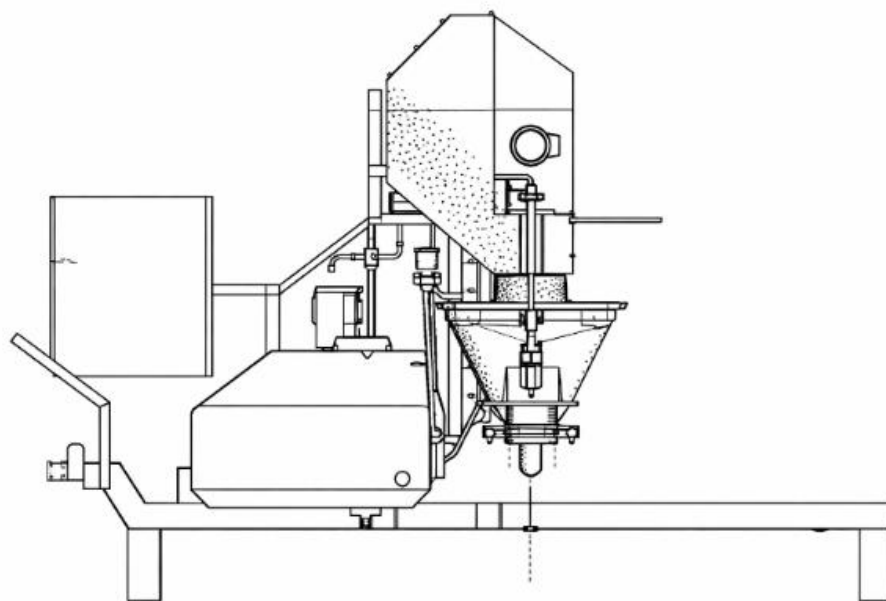


Рисунок 1.9 - Технологическая схема ротационного смесителя

Процесс протравливания семян в ротационном протравливателе начинается с загрузки (рисунок 1.9). Семена в накопительный бункер, расположенного в верхней части агрегата над смесительной камерой, поступают из загрузочного Т-образного шнекового транспортёра. Далее самотёком, через дозирующее окно, семена попадают в смесительную камеру на вращающийся ротор. Этот ротор, представляющий собой цилиндрическую или коническую конструкцию, играет ключевую роль в равномерном распределении семян внутри камеры протравливания. Центробежная сила, возникающая при высоких оборотах ротора (скорость вращения может достигать нескольких сотен оборотов в минуту, в зависимости от модели и производительности машины), эффективно разбрасывает семена по всей внутренней поверхности камеры. Это предотвращает образование сгустков и обеспечивает равномерное воздействие ядохимиката на каждое семя, но только при невысокой подаче семян из дозирующего отверстия, что критически важно для эффективной обработки.

Однако, интенсивное вращение ротора и связанное с ним трение семян друг о друга, а также о металлические или полимерные стенки камеры, могут привести к механическим повреждениям. Степень повреждения зависит от множества факторов: твердости и размера семян (например, мелкие семена более подвержены повреждениям, чем крупные), скорости вращения ротора, материала изготовления камеры (гладкие поверхности снижают трение), а также наличия дополнительных элементов внутри камеры, таких как сварные швы, перегородки или лопасти, предназначенные для улучшения перемешивания. Повреждения могут проявляться в виде царапин, сколов, трещин на оболочке семени. В результате снижается всхожесть семян, увеличивается риск развития заболеваний и уменьшается урожайность [11,78,79].

При загрузенности смесительной камеры на 80-100% не позволяет центробежному распылителю жидкого ядохимиката в полной мере обработать поступающий посевной материал (рисунок 1.10). В результате часть семян в смесительной камере получают не 100% покрытие ядохимикатом, и этот недостаток решается выгрузным шнековым транспортёром, где осуществляется

перемешивание семян между собой, но и одновременно с этим происходит их повреждение.

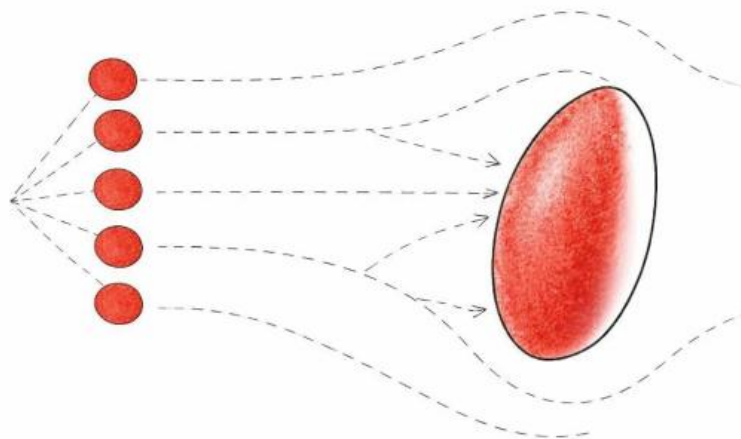


Рисунок 1.10 – Нанесение средств защиты растений на зерновку в анализируемых протравливателях семян

Важно отметить ещё тот фактор, что роторные протравливатели, такие как широко распространенные модели ПС-22 и ПС-20К-4 имеют определенные особенности конструкции, которые могут приводить к неравномерной обработке семян. В частности, для подачи ядохимиката в смесительную камеру в этих машинах используются центробежные насосы. Выбор центробежных насосов обусловлен их простотой конструкции и повышенной надежностью по сравнению с диафрагменными аналогами. Однако, этот выбор сопряжен с существенным недостатком: центробежные насосы, в отличие от диафрагменных, не комплектуются обратными клапанами. Это отсутствие обратного клапана имеет серьезные последствия для процесса обработки семян. Когда подача ядохимиката прекращается (например, при остановке машины, при замене биг-бега или переходе на другую операцию), жидкость из нагнетательной части насоса свободно возвращается в бак. В результате, при последующем включении протравливателя, некоторое время (зависящее от объема нагнетательной системы

и производительности насоса) семена поступают в смесительную камеру без обработки ядохимикатом. Это приводит к образованию партии необработанных или, что еще хуже, неравномерно обработанных семян. Величина этой партии может быть значительной – оценки показывают, что до 50-100 кг семян могут оказаться необработанными при каждой остановке машины, что зависит от установленной производительности протравливателя и времени простоя. Такая неравномерность обработки снижает эффективность протравливания и увеличивает риск поражения всходов болезнями и вредителями. Для решения этой проблемы необходимо внести конструктивные изменения в систему подачи протравливателя.

На рисунке 1.11 - представлены сведения об уровне повреждения эндоспермы, зародыша и хохолки семян пшеницы, которые были зафиксированные в процессе обработки их на протравливателе ПС-20 [63].

Этап	Всего нетравмированных семян, шт. (%)	Семена с травмированием, шт. (%)			Всего травмированных семян, шт. (%)	Относительная ошибка выборочной средней, %
		эндосперма	зародыша	хохолка		
1	2237 (63,9)	1195 (34,2)	35 (1,0)	33 (0,9)	1263 (36,1)	12,0
2	957 (63,8)	514 (34,3)	17 (1,1)	12 (0,8)	543 (36,2)	
3	822 (54,8)	641 (42,7)	22 (1,5)	15 (1,0)	678 (45,2)	
4	712 (47,6)	743 (49,5)	28 (1,9)	17 (1,1)	788 (52,5)	
5	664 (44,3)	776 (51,7)	33 (2,2)	27 (1,8)	836 (55,7)	
6	645 (43,0)	803 (53,5)	30 (2,0)	22 (1,5)	855 (57,0)	

Рисунок 1.11 – Результаты опытов по определению повреждений семян после протравливания [63]

Исследование показало, что протравливание семян на установке ПС-20 со шнековыми элементами привело к увеличению общего числа поврежденных семян с 45,2% до 52,5% (рост на 7,3%). Наибольший процент повреждений пришелся на эндосперм (6,8%), затем зародыш (0,4%) и хохолок (0,1%). Доля неповрежденных семян составила 47,6%. Это значительно превышает допустимый уровень общего повреждения семян зерновых культур при протравливании, который составляет не более 0,5% согласно агротехническим нормам.

Анализ смесительных устройств в рассмотренных протравливателях семян показывает, что шнековые, камерные и ротационные смесители, которые используются для быстрого и интенсивного перемешивания, могут вызывать высокие повреждения семян. Такие резкие механические воздействия опасны тем, что они могут повредить зерновку. В результате такого повреждения снижается вероятность успешного прорастания семян и ухудшается дальнейшее развитие растений.

В свою очередь в барабанных смесителях перемешивание происходит благодаря вращению барабана, в результате чего компоненты свободно поднимаются затем падают и скатываются. Данная технология протравливания семян позволяет сохранить целостность зерновок, при отсутствии различных лопастей и перегородок, эффективно работать с различными типами ядохимикатов и добиться более полного и равномерного покрытия их за счет совместного трения друг о друга в процессе перемешивания.

При выборе протравливателя семян следует отдавать предпочтение тем, которые минимизируют их повреждения, а не только обеспечивают высокую производительность. Важно также учитывать специфику и самих средств защиты, применяемых для обработки. Совершенствование агрономических методов и технологий подготовки семян к севу способствует повышению урожайности и, как следствие, рост рентабельности производства [57,59,117,122].

1.4 Анализ транспортирующих устройств зерновых культур

Современное сельское хозяйство стремится увеличить урожайность и качество сельскохозяйственных культур за счет применения передовых технологий. Качественная подготовка семенного материала является важным этапом для достижения этой цели. Ключевым фактором в данном процессе выступают инновационные технологии и устройства, позволяющие получить высококачественные семена [60,106].

Транспортировка зерна составляет значительную часть сельскохозяйственных работ. При подготовке семян особое внимание уделяется их всхожести, которая должна быть не ниже 92%. Однако повреждения семян, особенно транспортирующими органами, может достигать значительных величин, что снижает полевую всхожесть и урожайность. Поэтому необходимо минимизировать количество транспортирующих устройств и обеспечивать достижение стандартов качества семян за один проход.

Для предприятий, занимающихся производством зерна, транспортирующие машины являются ключевым инструментом повышения эффективности. Они позволяют сельхозпредприятиям значительно увеличить производительность и автоматизировать многие процессы. В настоящее время выбор транспортирующих машин разнообразен: от ленточных и ковшовых до скребковых, винтовых и пневматических. Каждая из них имеет свои особенности. При выборе необходимого устройства важно обратить внимание на такие характеристики, как производительность, высота подачи семян, ширина захвата зернового вороха, энергопотребление и мобильность [28,64,91,143].

Пневматический транспортер. Высокоэффективное и многофункциональное устройство для перемещения зерна. Он значительно упрощает и ускоряет процессы загрузки сеялок, погрузки и разгрузки складских помещений, железнодорожных вагонов и автотранспорта, обеспечивая перемещение как по горизонтали, так и по вертикали. Принцип его работы заключается в использовании воздушного потока, создаваемого вентилятором. Мощный поток

воздуха захватывает зерно из начальной точки и транспортирует его по трубопроводу к месту назначения (рисунок 1.12).

Диапазон производительности варьируется от нескольких тонн до 60 тонн зерна в час. Для эффективной работы по перемещению зерна скорость воздушного потока должна быть примерно вдвое выше скорости витания зерна. Максимальная дистанция транспортировки достигает 190 метров.



Рисунок 1.12 – Пневматический транспортер

Такой транспортёр зерна обладает рядом преимуществ: значительная производительность, мобильность, простота монтажа, гибкость в подключении, подсушивание зерна потоком воздуха. Несмотря на преимущества, стоит учитывать высокую энергоёмкость и потенциальный износ трубопровода, особенно в местах изгибов из-за потока семян.

Шнековый транспортер представляет собой конструкцию, состоящую из герметичной трубы, внутри которой установлен вращающийся на подшипниках шнек. Его основное назначение – это транспортировка зерна. Длина такого

устройства может достигать 15 метров в длину и перемещать до 100 тонн в час зерно-продукции (рисунок 1.13) [58,141].



Рисунок 1.13 – Шнековый транспортер

Преимущества шнекового транспортёра это – высокая производительность, безопасность для персонала, прочная конструкция, низкие эксплуатационные расходы, малая энергоёмкость. Недостатки - дробление зерна при работе шнека, ручное подведение к бурту и ограничение дальности перемещения зерна длиной шнека.

Скребковый транспортер предназначен для горизонтального или наклонного перемещения зерна. Устройство оснащено питателем, состоящим из двух горизонтальных транспортеров (цепь со скребками) и одного продольного жёлоба, в котором также движется цепь со скребками. Движение цепи и скребков происходит по кругу, что обеспечивает постоянный поток зерна во время работы транспортера. Питатель и центральный продольный транспортер имеют

возможность подъема и опускания. Производительность такого устройства может достигать 100 тонн в час (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Скребковый транспортер

Преимущества: гибкость в разгрузке с возможностью поворота жёлоба на 90 градусов в обе стороны, широкий захват питательного транспортера и наличие самохода. Недостатки: быстрый износ направляющего кожуха и скребков, а также высокий уровень шума при работе.

Нория представляет собой эффективное решение для вертикальной транспортировки зерновых культур. Ее работа основана на движении ленты с ковшами, приводимой в действие вращающимся барабаном. Основная структура нории выполнена в виде вертикального металлического канала, в котором и расположены ковши. Корпус изготавливают из прочной стали или другого устойчивого к коррозии материала, что обеспечивает долговечность устройства. Ковши, наполняясь зерном в нижней части, перемещаются вверх. В верхней точке они опрокидываются, высыпая содержимое в выпускной канал, а обратный путь ковши проделывают пустыми по отдельной шахте. Производительность устройства высокая — до 180 тонн в час (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 – Нория

Преимущества: вертикальное перемещение зерна, экономия пространства, подача груза на значительную высоту, высокая производительность и низкое потребление электроэнергии. Недостатки: ударное воздействие на зерно, сложная установка, необходимость полной очистки ковшей и шахты при смене транспортируемого материала, а также повышенная пожаро- и взрывоопасность.

Ленточный транспортер. Действие ленточного транспортёра зерна заключается в использовании сцепления между движущейся лентой и приводным барабаном. Это сцепление обеспечивает поступательное движение ленты, которая транспортирует груз, расположенный на ее рабочей поверхности. Лента может быть оснащена поперечными планками, а рама бортами, для увеличения производительности. Загрузка ленты происходит ручным или механизированным способом. Выгрузка зерна происходит самотёком (рисунок 1.16).



Рисунок 1.16 – Ленточный транспортер

Преимущества: отсутствие повреждений зерна, высокая пропускная способность, надежность, низкая себестоимость изготовления и удобство эксплуатации. Недостатки: ограничение по углу наклона (до 35°), не высокий срок службы ленты.

Анализ существующих транспортирующих устройств для зерновых культур показал, что качество семян напрямую зависят от типа используемого транспортера и особенностей его работы. Повреждения семян в процессе транспортировки может существенно снизить полевую всхожесть и урожайность. При выборе транспортирующего устройства необходимо учитывать конкретные задачи, требуемую производительность, дальность и направления подачи, энергопотребление и условия эксплуатации. Эффективным методом снижения повреждений семян при транспортировке является использование ленточных транспортеров с прорезиненным покрытием. Такое решение не только помогает сохранить качество зерна.

1.5 Анализ выполненных исследований по протравливанию семян.

Предпосевная обработка зерна – залог высокого урожая, качественной продукции и минимизации потерь. Она обеспечивает дружные всходы, надежную

защиту и раскрывает дополнительный потенциал роста сельскохозяйственного производства, что в современных условиях является особенно важным для обеспечения продовольственной безопасности страны. Поскольку спрос на продукты сельского хозяйства растет, а климат меняется, то подготовка семян является важной частью современного земледелия.

Выбор оптимального способа предпосевной обработки зависит от множества факторов, включая особенности культуры, агроклиматические условия и наличие патогенов. Несмотря на экологические преимущества физических и биологических методов, химические методы протравливания сохраняют лидирующие позиции благодаря подтвержденной результативности и экономической целесообразности [36,40].

В ходе исследований четырех основных типов смесителей семян: шнековые, камерные, ротационные и барабанные было установлено их преимущества, недостатки и особенности конструкции.

Главная задача протравливателя – обработать семена химическими средствами, обеспечивая тем самым их защиту от вредителей и болезней. Ключевым фактором эффективности протравливания является равномерное покрытие каждого семени защитными средствами, а неравномерное распределение препарата снижает защитные свойства и может привести к потерям урожая. Все типы протравливателей, в той или иной степени, несут риск механического повреждения семян. Это является существенным недостатком, так как поврежденные семена теряют всхожесть и могут быть непригодны для посева. Работа протравливателей основана на взаимодействии различных физических сил, таких как трение (внутреннее и внешнее), гравитация и центробежная сила. Понимание этих сил необходимо для оптимизации работы оборудования.

А. П. Тарасенко занимался разработкой технологий и технических средств механизации для получения качественного зерна и семян. В научной деятельности он уделял особое внимание снижению потерь и повреждений зерна [110,111,112,113].

Вялых В.А. занимался разработкой и внедрением комплексных технологий и машинных решений для эффективного применения пестицидов. Владимир Афанасьевич проводил теоретические и экспериментальные исследования, направленные на усовершенствование конструкции опрыскивателей, процессов предпосевной обработки и протравливания семян разработку методик их настройки и проверки [15,16].

Дринча В.М. усовершенствовал технологии предпосевной обработки семян, объединив электрофизические воздействия с химическими методами для повышения эффективности протравливания при одновременном снижении токсичности и экологических рисков. Василий Михайлович разработал и обосновал принципы построения технологических линий для комбинированной обработки зерна, которые можно адаптировать к различным сельскохозяйственным культурам и агроклиматическим условиям. Проведённый им с коллегами системный анализ зерно- и семяочистительной техники обеспечил практическую реализацию научных разработок — от теоретических принципов до модернизации оборудования и внедрения устойчивых агротехнологических решений [38,39,41,42,43,87,88].

Мударисов С.Г. научно обосновал вопросы моделирования рабочих органов со средой и создавая методики компьютерного расчета. Он создал основы совершенствования сельскохозяйственных машин, повышая качество обработки и снижая энергозатраты. Особый интерес представляют работы связанные с моделированием движения сыпучей среды с рабочими органами [69,70].

Нуруллин Э.Г. разрабатывал и внедрял технологии для семеноводства и послеуборочной обработки зерна, включая создание пневмомеханических машин, совершенствование очистки и подготовки семян, а также предпосевной обработкой семян. Им рассмотрены вопросы повреждения семян при протравливании, установлено, что шнековые транспортеры оказывают значительные повреждения семенам [47,72,73,74,85,86,123].

Салахов И.М занимался совершенствованием технологий протравливания семян. Он разрабатывал обосновывал параметры пневмомеханического

протравливателя семян зерновых культур, сформулировал требования к протравливанию, факторы качества обработки и выполнил математическое моделирование процесса протравливания [75,99].

Суханова М.В. совершенствовала технологии предпосевной обработки семян, разрабатывая новые подходы для повышения качества посевного материала и урожайности. Суханова М.В. предложила использование ударопоглощающих рабочих органов, также ею рассмотрены вопросы управления динамическими процессами смешивания с высокоэластичными рабочими органами в машинах для обработки семян [107,108].

Исследования Хасанова Э.Р. связаны с обоснованием и разработкой технологических процессов и технических средств предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур. Хасанов Э.Р. отмечает, что при использовании распространённых типов машин при неудачном выборе режимов подачи и параметров перемешивания возможно снижение эффективности протравливания. Им выполнено моделирование с последующей численной реализацией (FlowVision) и экспериментальной верификацией. В частности, используются методы определения размеров капель (иммерсионный метод) и компьютерная обработка изображений для оценки характеристик аэрозоля. На основе полученных результатов обоснованы конструктивно-технологические параметры узлов аэрозольной установки и рабочего устройства, обеспечивающие требуемые условия распыла и контактирования капель с семенным материалом [71,80,124,127,128,129,130,141,142].

Шатохин И.В. изучал процессы транспортировки и загрузки зерна в зерноочистительных агрегатах. Основным направлением его исследований стало снижение механических повреждений семян и зерна, вызываемых работой транспортирующих устройств. Исследовал дробление зерна нориями и его влияние на качество [139,140].

Якупова А. М. связан с технической разработкой в области механизации сельского хозяйства, а именно с совершенствованием методов подготовки семян и обработки посадочного материала [142].

1.6 Постановка задачи исследования

Современные машины для протравливания семян, несмотря на свою высокую производительность, не достигают стопроцентного покрытия семенного материала защитными средствами, а их транспортирующие и смесительные устройства наносят различные механические повреждения семенам.

В качестве перспективной модернизации существующих протравливателей семян предложена модульная конструкция отдельных рабочих органов, что позволит минимизировать риск повреждений семян, и обеспечит полноценное покрытие семян ядохимикатом, сохранив высокую производительность всего процесса.

Для такого внедрения необходимо провести комплексное теоретическое исследование: изучить движение семян в смесителях протравливателей семян, проанализировать степени покрытия семян ядохимикатом и повреждения семян. В результате изучения и обобщения существующего опыта определены задачи, подлежащие решению в ходе последующих исследований:

1. Анализ существующих машин обработки семян средствами защиты.
2. Исследование движения семян в барабане протравливателя.
3. Обоснование и уточнение рациональных параметров барабана протравливателя.
4. Оценка экономической эффективности модернизированного протравливателя на предпосевной обработке семян.

Выводы по 1 главе

1. Выбор способа предпосевной обработки зерна как правило определяется рядом факторов, включая особенности возделываемой культуры, агроклиматические условия, наличие различных патогенов как в семенной материале, так и в почве. Несмотря на наличие определённых рисков, химические

методы протравливания семян сохраняют свою лидирующую позицию, благодаря подтверждённой результативности и экономической целесообразности.

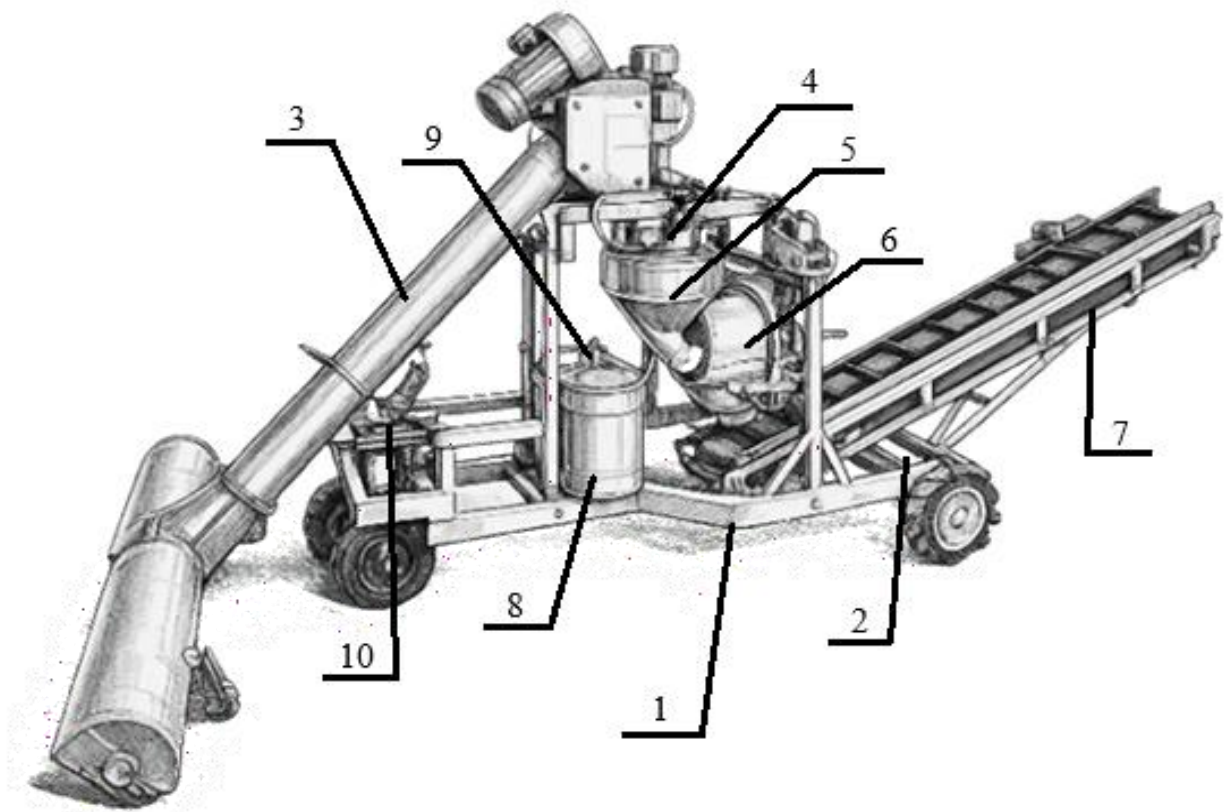
2. Современные инновационные микроэмульсии протравливания семян способны быстро и глубоко проникать по микрокапиллярам вглубь семени, достигая всех участков локализации инфекции, в том числе скрытой. Данная эффективность достигается за счет ультрамалых размеров (до 0,1 мкм) частиц действующих веществ. Эти частицы, перемещаясь по ксилеме, свободно проникают во флоэму, блокируя развитие мицелия возбудителя. При этом размер частиц в концентрате суспензии может варьироваться от 3 до 5 мкм.

3. При выборе протравливателя семян следует отдавать предпочтение тем рабочим органам, которые минимизируют их повреждение, а не только обеспечивают высокую производительность. Ключевым фактором эффективности протравливания является равномерное покрытие каждого семени защитными средствами.

Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНА В БАРАБАНЕ

2.1 Конструктивно-технологическая схема барабана

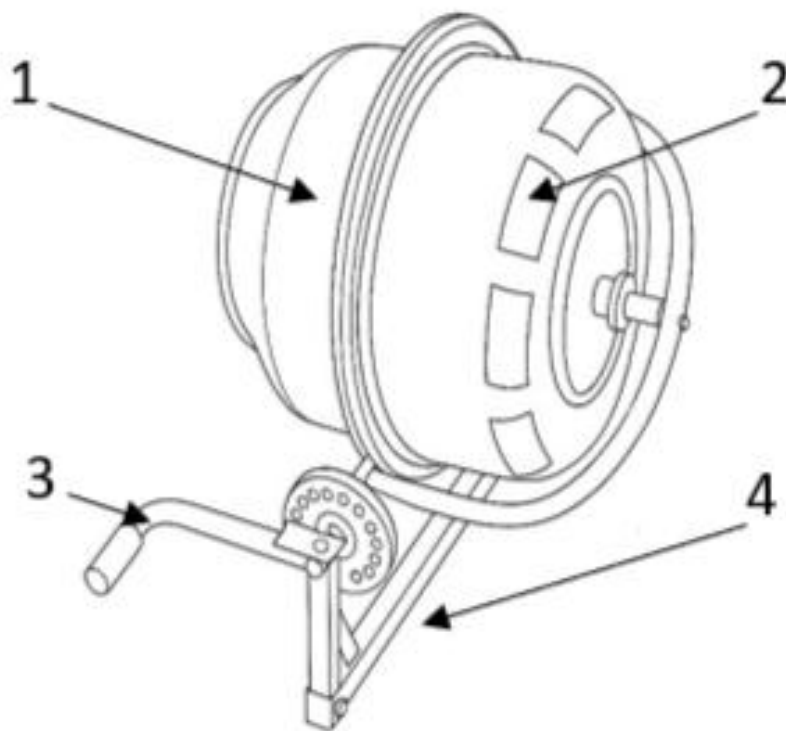
Чтобы решить проблему повреждения семян и неравномерного нанесения ядохимиката, необходимо не только улучшить работу смесительных и транспортирующих устройств, но и разработать щадящие технологии обработки, минимизирующие механическое воздействие.



1 - рама с колесами, 2 - механизм самопередвижения, 3 - загрузочное устройство, 4 - бункер семян, 5 - камера протравливания, 6 – барабан, 7 – прорезиненный ленточный транспортёр, 8 - резервуар ядохимикатов, 9 - дозатор ядохимикатов, 10 - поворотный механизм

Рисунок 2.1 – Модель протравливатель семян с вращающимся барабаном и ленточным устройством для выгрузки

Применение вращающегося барабана обеспечит равномерное распределение жидких защитных средств по поверхности смешиваемых семян при минимальном механическом воздействии, что способствует сохранению их жизнеспособности и увеличению урожайности [5, 6, 57].



1 - барабан для смешивания семян; 2 – выходные отверстия для истечения семян;
3 – ручка регулирования угла наклон; 4 – рама;

Рисунок 2.2 - Схема барабана протравливателя

Барабан устанавливается после камеры протравливания, где на семена распылителем наносится ядохимикат. Нанесение семян осуществляется с помощью распылителя жидкого ядохимиката дисперсионным способом в тот момент, когда они самотёком высыпаются из бункера дозатора в камеру нанесения ядохимиката. Далее семена по наклонному лотку, который имеет соответствующий угол наклона, позволяющий семенам скатываться в низ, попадают в барабан, где благодаря его вращению происходит их смешивание. Этот процесс является крайне важным, так как именно в ходе него ядохимикат

равномерно распределяется по всей поверхности зерновок благодаря их контакту друг с другом и со стенками барабана. Равномерное покрытие семян ядохимикатом гарантирует, что каждое семя получит необходимую защиту, что в свою очередь значительно увеличивает шансы на успешное прорастание и предотвращает различные болезни в дальнейшем.

Данное устройство имеет мотор редуктор с регулятором оборотов, который позволит устанавливать требуемую частоту вращения барабана, обеспечивающую их качественное смешивание до полного покрытия средствами защиты и обеспечить до минимума снижения риска повреждений семян [81,82,83,84].

Предусмотренная система изменения угла наклона барабана обеспечивает требуемую скорость прохождения семян через устройство и позволяет дополнить технологию смешивания семян дополнительной функцией улучшения распределения ядохимиката.

На задней части барабанного протравливателя предусмотрены технологические разгрузочные отверстия, позволяющие обработанным семенам, истекать на ленточный транспортёр, который имеет прорезиненное покрытие, прорезиненные боковые бортики и прорезиненные поперечные планки, позволяющие изменять вертикальный угол наклона его и работать с большими объёмами семян [12,135,136].

2.2 Теоретические исследования движения частиц в барабане

Рассмотрим движение частицы на вращающейся цилиндрической поверхности. Частица будет совершать подъём по поверхности за счёт центробежной силы и спуск под действием силы тяжести, причём сила трения при спуске и при подъёме будет пропорциональна силам, так величина коэффициента трения постоянна [89,114,120]. Поэтому допустим, что влияние силы трения будет учитываться коэффициентом k_T .

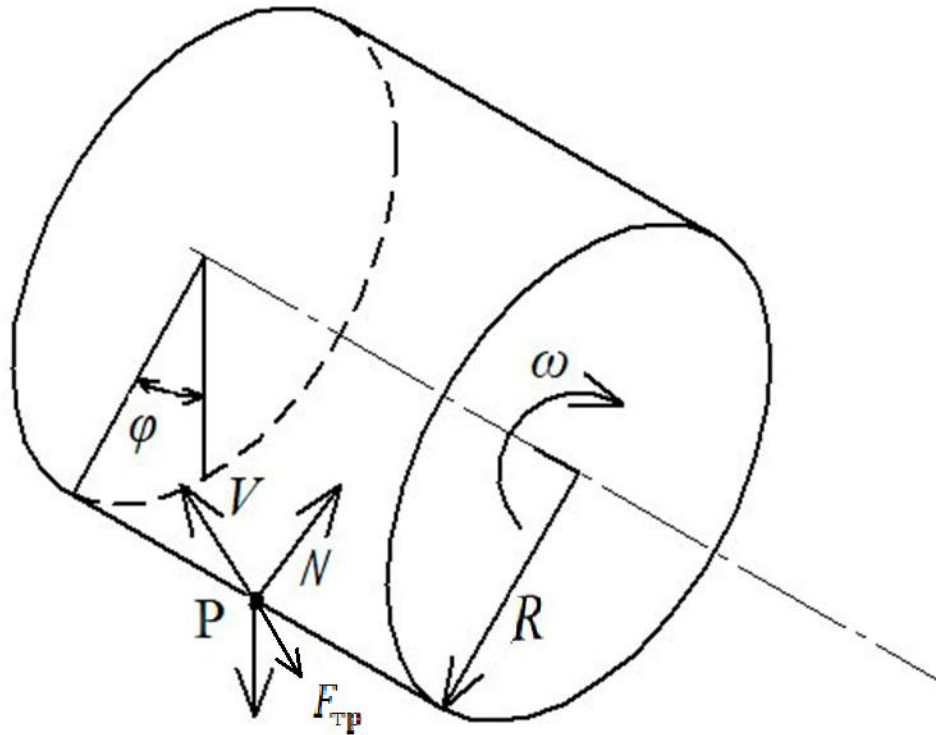


Рисунок 2.3 – Расчётная схема к определению условий движения частицы по цилиндрической поверхности

Применив метод кинетостатики, запишем уравнение движения частицы

$$\begin{cases} m \frac{dv}{dt} = -mg \sin \varphi + F_{\text{тр}} \\ m \frac{v^2}{R} = -mg \cos \varphi + N \end{cases} \quad (2.1)$$

где m – масса частицы;

V – окружная скорость;

R – радиус цилиндрической поверхности;

$F_{\text{тр}}$ – сила трения;

N – сила нормального давления.

Перепишем уравнение (2.1), проведя преобразования

$$\begin{cases} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{g}{R} \sin \varphi - k_T \left(\frac{v^2}{R} + g \cos \varphi \right) = 0 \\ N = m \frac{v^2}{R} + mg \cos \varphi \end{cases} \quad (2.2)$$

где φ – угол подъёма частицы.

Проинтегрируем 1 уравнение системы,

представив $\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \frac{d\omega}{d\varphi} \cdot \omega$

$$\frac{d\omega}{d\varphi} \cdot \omega - k_T \frac{\omega^2}{R^2} + \frac{g}{R} \sin \varphi - k_T \frac{g}{R} \cos \varphi = 0 \quad (2.3)$$

где ω - угловая скорость движения частиц

Для интегрирования выполним замену $u = \omega^2$ тогда

$$\frac{du}{d\varphi} = 2\omega \frac{d\omega}{d\varphi}, \quad (2.4)$$

Перепишем уравнение (2.3) с учетом замены и умножим его на 2:

$$\frac{du}{d\varphi} - \frac{2k_T}{R^2} u = -\frac{2g}{R} \sin \varphi + k_T \frac{2g}{R} \cos \varphi \quad (2.5)$$

Для удобства обозначим $a = \frac{2k_T}{R^2}$. И введем интегрирующий множитель

$$\mu(\varphi) = e^{-a\varphi}. \quad (2.6)$$

Помножим обе части уравнения (2.5) на интегрирующий множитель $\mu(\varphi)$, получаем

$$\frac{d}{d\varphi} (ue^{-a\varphi}) = e^{-a\varphi} \left(-\frac{2g}{R} \sin \varphi + k_T \frac{2g}{R} \cos \varphi \right). \quad (2.7)$$

Проинтегрировав, получим

$$ue^{-a\varphi} = C_1 + \frac{e^{-a\varphi}}{a^2+1} \left[\frac{2g}{R} (a \sin \varphi + \cos \varphi) + \frac{2k_T g}{R} (\sin \varphi - a \cos \varphi) \right]. \quad (2.8)$$

Подставим замены u и a , получаем общее решение:

$$\omega^2 = C_1 e^{\frac{2k_T}{R^2}\varphi} + \frac{2g}{R((\frac{2k_T}{R^2})^2+1)} \left[\left(\frac{2k_T}{R^2} \sin \varphi + \cos \varphi \right) + k_T \left(\sin \varphi - \frac{2k_T}{R^2} \cos \varphi \right) \right]. \quad (2.9)$$

Найдём постоянную интегрирования C_1 , подставив начальные условия

$$\varphi = 0, \omega = \omega_0$$

$$C_1 = \omega_0^2 - \frac{2g}{R((\frac{2k_T}{R^2})^2+1)} \left[\left(\frac{2k_T}{R^2} \sin \varphi + \cos \varphi \right) + k_T \left(\sin \varphi - \frac{2k_T}{R^2} \cos \varphi \right) \right]. \quad (2.10)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \omega^2 = & e^{\frac{2k_T}{R^2}\varphi} \left(\omega_0^2 - \frac{2g}{R((\frac{2k_T}{R^2})^2+1)} \left[\left(\frac{2k_T}{R^2} \sin \varphi + \cos \varphi \right) + k_T \left(\sin \varphi - \frac{2k_T}{R^2} \cos \varphi \right) \right] \right) + \\ & \frac{2g}{R((\frac{2k_T}{R^2})^2+1)} \left[\left(\frac{2k_T}{R^2} \sin \varphi + \cos \varphi \right) + k_T \left(\sin \varphi - \frac{2k_T}{R^2} \cos \varphi \right) \right]. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Домножив уравнение (2.11) на R^2 , получим

$$V^2 = e^{\frac{2k_T}{R^2}\varphi} \left(V_0^2 - \frac{2gR}{\left(\left(\frac{2k_T}{R^2}\right)^2 + 1\right)} \left[\left(\frac{2k_T}{R^2} \sin\varphi + \cos\varphi\right) + k_T \left(\sin\varphi - \frac{2k_T}{R^2} \cos\varphi\right) \right] \right) + \frac{2gR}{\left(\left(\frac{2k_T}{R^2}\right)^2 + 1\right)} \left[\left(\frac{2k_T}{R^2} \sin\varphi + \cos\varphi\right) + k_T \left(\sin\varphi - \frac{2k_T}{R^2} \cos\varphi\right) \right]. \quad (2.12)$$

Скорость частицы в барабане определится следующим выражением

$$V = \sqrt{e^{\frac{2k_T}{R^2}\varphi} \left(V_0^2 - \frac{2gR}{\left(\left(\frac{2k_T}{R^2}\right)^2 + 1\right)} \left[\left(\frac{2k_T}{R^2} \sin\varphi + \cos\varphi\right) + k_T \left(\sin\varphi - \frac{2k_T}{R^2} \cos\varphi\right) \right] \right) + \frac{2gR}{\left(\left(\frac{2k_T}{R^2}\right)^2 + 1\right)} \left[\left(\frac{2k_T}{R^2} \sin\varphi + \cos\varphi\right) + k_T \left(\sin\varphi - \frac{2k_T}{R^2} \cos\varphi\right) \right]}. \quad (2.13)$$

Построим график изменения скорости частицы, задавшись V_0 , R (рисунок 2.4).

Анализ рисунка 2.4 показал, что с увеличением угла подъема частицы (зерна) скорость перемещения частицы снижается при определенной частоте вращения барабана. Максимальная скорость частицы определяется окружной скорости барабана с учетом проскальзывания.

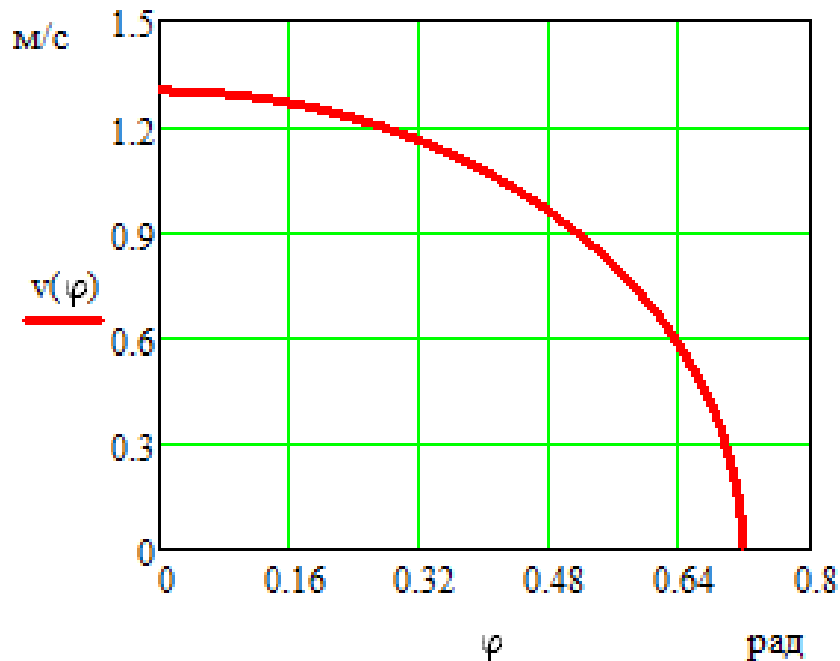


Рисунок 2.4 - График изменения скорости частицы от текущего угла в барабане

Найдём приближённое решение выражения (2.2), допустив что при малых углах отклонения

$$\sin\varphi \approx \varphi \quad (2.14)$$

тогда уравнение (2.2) имеет вид

$$\ddot{\varphi} + \frac{g}{R} \varphi = 0 \quad (2.15)$$

где k_T – коэффициент трения.

Составим характеристическое уравнение

$$\lambda^2 + \frac{g}{R} = 0 \quad (2.16)$$

Найдём корни характеристического уравнения

$$\lambda_{1,2} = \pm \sqrt{-\frac{g}{R}} = \pm i \sqrt{\frac{g}{R}} \quad (2.17)$$

Тогда решение дифференциального уравнения запишется в виде

$$\varphi = C_1 \cos\left(\sqrt{\frac{g}{R}} t\right) + C_2 \sin\left(\sqrt{\frac{g}{R}} t\right) \quad (2.18)$$

В этом случае период малых колебаний частицы во вращающейся цилиндрической поверхности равны

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{g}{R}} \quad (2.19)$$

Определим постоянные интегрирования C_1 и поставив начальные условия при

$$t_0 = 0, \quad \varphi = \varphi_0 = 0, \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 = \omega_0 = \frac{V_0}{R}, \text{ в уравнение (2.18)}$$

$$0 = C_1 \quad (2.20)$$

Продифференцируем уравнение (1.13)

$$\varphi' = -C_1 \sqrt{\frac{g}{R}} \sin\left(\sqrt{\frac{g}{R}} t\right) + C_2 \sqrt{\frac{g}{R}} \cos\left(\sqrt{\frac{g}{R}} t\right) \quad (2.21)$$

и подставим в него начальные условия

$$C_2 = \frac{V_0}{\sqrt{g R}} \quad (2.22)$$

Тогда окончательно закон движения частицы в барабане

$$\varphi = \frac{V_0}{\sqrt{g R}} \sin\left(\sqrt{\frac{g}{R}} t\right) \quad (2.23)$$

Построим в программе Mathcad график зависимости (2.24) учитывая, что частица будет смещаться на угол $\varphi_{\text{см}}$ за счет вращения барабана при заданных значениях k_T (рисунок 2.5).

$$\varphi = \varphi_{\text{см}} + \frac{v_0}{\sqrt{gR}} \sin\left(\sqrt{\frac{g}{R}} t\right) \quad (2.24)$$

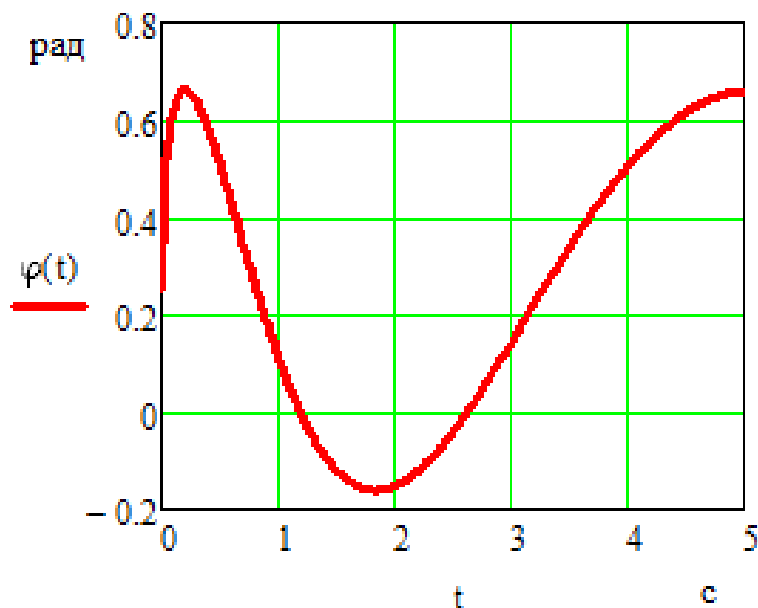


Рисунок 2.5 - Изменение угла подъема частицы (зерна) при движении вдоль барабана

Анализ рисунка 2.5 показал, что движение частиц в конической и цилиндрической частях барабана носит пульсирующий характер и определяется радиусом барабана и частотой вращения барабана. Частица совершает ряд подъемов и спусков внутри барабана с изменяющимся периодом при заданных параметрах барабана: радиус - 0,35 м, частота вращения 35-40 об/мин. Переменчивый характер движения частицы способствует перемешиванию частиц с перераспределением ядохимиката между зернами.

2.3 Моделирование процесса смешивания семян в барабане на основе теории цепей Маркова с использованием высокоуровневого языка программирования Python

Для оценки покрытия семена ядохимикатом во вращающемся барабане, использовали теорию цепей Маркова. Эта теория хорошо подходит для описания случайных (стохастических) изменений в уровне покрытия, представляя их как последовательность дискретных, вероятностных шагов [7,19,44].

Современные компьютерные программы, например на Python, позволяют реализовать матрицы переходов и глубоко изучить динамику отдельных семян. Мы построим линейную модель цепи Маркова, чтобы отслеживать, как семена, изначально лишь частично покрытые, постепенно достигают полного покрытия в процессе вращения и взаимодействия в смесителе.

Физико-математическая постановка задачи (ограничения):

- объект: вращающийся барабан, в котором перемешиваются семена с ядохимикатом;
- состояния: начальное состояние определяется как процент покрытия одного семени ядохимикатом, это значение допустим дискретизировано с шагом 0%: 10%, 20%, ..., 100% (всего 11 состояний);
- множество частиц: моделируем группу из n семян, например, $n=1000$;
- требования к уровню покрытия: минимальный уровень покрытия 100%;
- первоначальное состояние: определим на уровне 70%;
- вероятность: установим вероятность, с которой семена покрываются друг от друга 30%.

Определим количество шагов (итераций), необходимое, чтобы практически все семена оказались в состоянии 100% покрытия ядохимикатом, при заданных вероятностях перехода.

Принципы построения Марковской модели. В процессе смешивания семена могут занимать различные состояния. Эти состояния могут быть обусловлены их пространственным расположением в барабане или степенью их перемешивания.

Вероятность того, что семя перейдёт из состояния (например, из одной зоны барабана) s_i в состояние s_j , обозначается как P_{ij} . Все такие вероятности перехода можно объединить в матрицу P , где элемент P_{ij} — это вероятность перехода семян из состояния s_i в состояние s_j . В этой матрице строки соответствуют текущему состоянию, а столбцы — состоянию, в которое может произойти переход (следующему состоянию).

При вводных данных можно предположить, что:

- на каждом шаге состояние может изменяться, увеличиваясь на 10% с вероятностью 30%;

- вероятность остаётся на том же уровне — 70%.

Матрица переходов P будет выглядеть так:

$$P = \begin{pmatrix} p_{0.0} & p_{0.1} & p_{0.2} & p_{0.3} & p_{0.4} & p_{0.5} & p_{0.6} & p_{0.7} & p_{0.8} & p_{0.9} & p_{0.10} \\ p_{1.0} & p_{1.1} & p_{1.2} & p_{1.3} & p_{1.4} & p_{1.5} & p_{1.6} & p_{1.7} & p_{1.8} & p_{1.9} & p_{1.10} \\ p_{2.0} & p_{2.1} & p_{2.2} & p_{2.3} & p_{2.4} & p_{2.5} & p_{2.6} & p_{2.7} & p_{2.8} & p_{2.9} & p_{2.10} \\ p_{3.0} & p_{3.1} & p_{3.2} & p_{3.3} & p_{3.4} & p_{3.5} & p_{3.6} & p_{3.7} & p_{3.8} & p_{3.9} & p_{3.10} \\ p_{4.0} & p_{4.1} & p_{4.2} & p_{4.3} & p_{4.4} & p_{4.5} & p_{4.6} & p_{4.7} & p_{4.8} & p_{4.9} & p_{4.10} \\ p_{5.0} & p_{5.1} & p_{5.2} & p_{5.3} & p_{5.4} & p_{5.5} & p_{5.6} & p_{5.7} & p_{5.8} & p_{5.9} & p_{5.10} \\ p_{6.0} & p_{6.1} & p_{6.2} & p_{6.3} & p_{6.4} & p_{6.5} & p_{6.6} & p_{6.7} & p_{6.8} & p_{6.9} & p_{6.10} \\ p_{7.0} & p_{7.1} & p_{7.2} & p_{7.3} & p_{7.4} & p_{7.5} & p_{7.6} & p_{7.7} & p_{7.8} & p_{7.9} & p_{7.10} \\ p_{8.0} & p_{8.1} & p_{8.2} & p_{8.3} & p_{8.4} & p_{8.5} & p_{8.6} & p_{8.7} & p_{8.8} & p_{8.9} & p_{8.10} \\ p_{9.0} & p_{9.1} & p_{9.2} & p_{9.3} & p_{9.4} & p_{9.5} & p_{9.6} & p_{9.7} & p_{9.8} & p_{9.9} & p_{9.10} \\ p_{10.0} & p_{10.1} & p_{10.2} & p_{10.3} & p_{10.4} & p_{10.5} & p_{10.6} & p_{10.7} & p_{10.8} & p_{10.9} & p_{10.10} \end{pmatrix} \quad (2.25)$$

Строки i (от 0 до 10) представляют текущее состояние S_i (уровень покрытия семени). Столбцы j (от 0 до 10) показывают состояние, куда происходит переход.

Значения матрицы:

- 0.7 — вероятность остаться в текущем состоянии;

- 0.3 — вероятность перейти на следующую ступень (например, S_i в S_{i+1}), за исключением состояния S_{10} , которое считается конечным состоянием (100% покрытия).

Эта полная матрица переходов позволит нам использовать метод цепей Маркова для анализа вероятностей достижения полного покрытия семян с помощью ядохимиката.

Заполнение матрицы вероятностями

Определим вероятности:

1. Из состояния S_0 (0%):

$p_{0.0}=0.7$ (остается 0%)

$p_{0.1}=0.3$ (переходит на 10%)

Остальные $p_{0.2}=p_{0.3}=...=p_{0.10}=0$

2. Из состояния S_1 (10%):

$p_{1.0}=0.7$ (остается 10%)

$p_{1.1}=0$ (не может вернуться в 0%)

$p_{1.2}=0.3$ (переходит на 20%)

Остальные $p_{1.3}=p_{1.4}=...=p_{1.10}=0$

Остальные состояния рассчитываются аналогично.

Матрица переходов P имеет следующий вид:

$$P = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 \\ 0.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Эта модель цепи Маркова позволяет оценить динамику процесса покрытия семян ядохимикатом в барабане. Подобный подход дает возможность формализовать необходимые параметры и вероятности взаимодействия, предоставляя пользователю понимание эффективных характеристик обработки семян, что может служить основой для оптимизации процесса [65].

Начальные условия:

- если на первоначальном этапе большинство семян имеют покрытие, например 0%;
- порог для завершения моделирования;

- когда итоговый процент/доля семян в состоянии 100% превышает 0.99 (или другое выбранное значение).

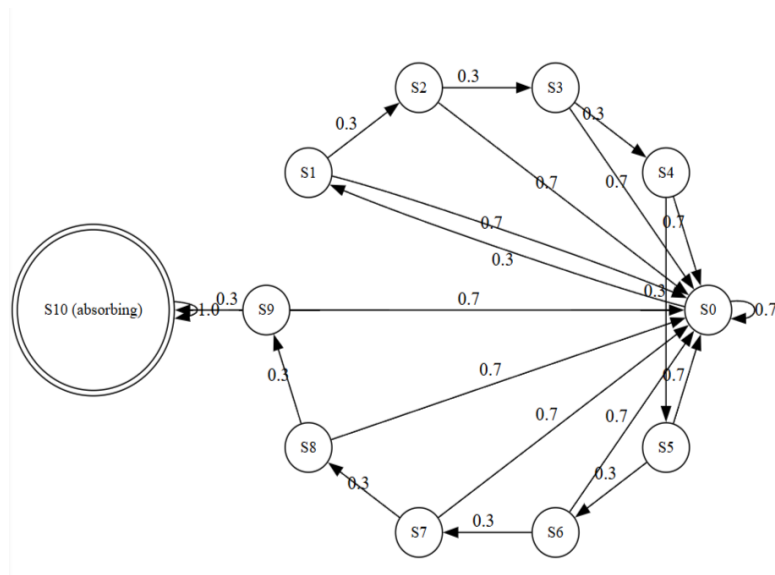


Рисунок 2.6 - Моделирование Марковских процессов с использованием графовой структуры

Интерпретация:

- вектор `state_vector` — это распределение вероятностей/долей семян по уровням покрытия после каждого перемешивания;
- число `num_steps` — можно интерпретировать как среднее количество "циклов" барабана, необходимое для практического полного покрытия всей партии семян.

Итоговое число шагов соответствует ориентировочному времени, необходимому для равномерного нанесения ядохимиката. Модель позволяет оптимизировать параметры барабана: если увеличить p (интенсивность смешивания), среднее число шагов сокращается, но возрастает риск повреждения семян.

Результат моделирования смешивания семян в барабане представлен на рисунке 2.7.

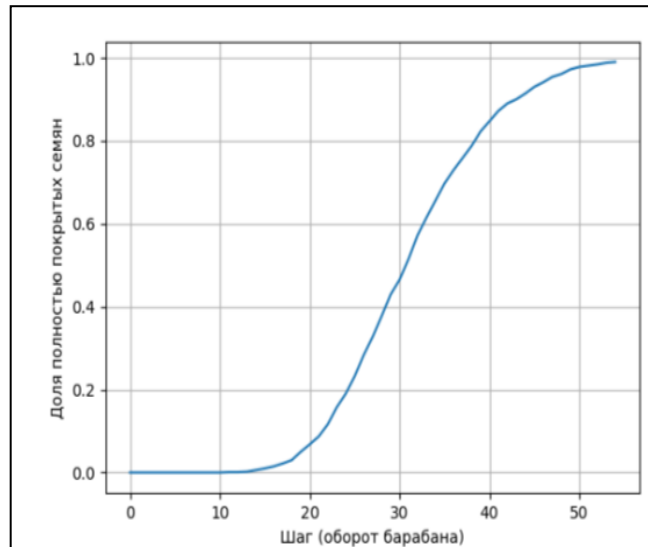


Рисунок 2.7 - График увеличения числа полностью покрытых семян по мере вращения барабана

Применяя цепи Маркова для моделирования перемешивания семян, можно количественно оценить скорость процесса и влияние параметров на однородность покрытия. Полученные результаты служат для обоснования параметров цилиндрического смесителя. Высокая степень покрытия 1000 семян ядохимикатом достигается при 40 оборотах барабана.

2.4. Теоретические исследования истечения семян из барабана через отверстия

В данной системе семена непрерывно поступают через наклонный лоток с одной стороны и покидают барабан через прямоугольные отверстия, расположенные в его задней части. Разработка модели базируется на принципах, применимых к истечению сыпучих материалов из бункеров-дозаторов. В частности, массовый расход семян определяется как произведение площади выходного отверстия на скорость истечения. Сама скорость истечения, в свою очередь, рассчитывается с использованием коэффициента истечения и так называемого «гидравлического радиуса» отверстия, при этом в формулу

интегрированы поправки с учётом технических особенностей вращающегося барабана.

Для установившегося процесса движения семян должен выполняться баланс $Q_{вх} = Q_{вых}$, если уровень заполнения (загрузка) барабана стабилен,

где $Q_{вх}$ — массовый расход подачи семян в барабан, т/ч;

$Q_{вых}$ — массовый расход истечения (выгрузки) через отверстия, т/ч.

Базовое уравнение расхода

Пропускная способность при свободном истечении семян из одного отверстия задаётся как:

$$Q = 3600 \cdot v \cdot \gamma \cdot S, \quad (2.27)$$

где Q — массовый расход, т/ч;

v — скорость истечения, м/с;

γ — насыпная плотность;

S — площадь отверстия, м²;

3600 — перевод из секунд в часы.

Для барабана в целом пропускная способность с учетом всех отверстий

$$Q_{вых} = 3600 \cdot \gamma \cdot S_{\Sigma} \cdot v_{эф}, \quad (2.28)$$

где S_{Σ} — суммарная площадь всех прямоугольных отверстий;

$v_{эф}$ — эффективная средняя скорость истечения, учитывающая вращение.

Площадь прямоугольных отверстий. Если на задней стенке n одинаковых прямоугольных отверстий шириной b и высотой h , тогда

$$S_{\Sigma} = n b h \quad (2.29)$$

Форма круглых отверстия влияет слабо на истечение семян, но четырёхугольные отверстия чаще дают заторы в углах, уменьшая фактическое «живое сечение». Для прямоугольника это означает, что реально работает площадь $S_{жив} \leq S$. В инженерной теории это обычно учитывают коэффициентом:

$$S_{жив} = \varepsilon S_{\Sigma}, \quad 0 < \varepsilon \leq 1, \quad (2.30)$$

где ε — коэффициент «эффективной площади» (учёт застойных зон и частичных перекрытий).

Скорость истечения сыпучего материала через отверстие принимается по зависимости, аналогичной используемой для свободного истечения из дозаторов, через коэффициент истечения μ и гидравлический радиус отверстия R_h :

$$v = \mu \sqrt{2gR_h}, \quad (2.31)$$

где v — скорость истечения, м/с;

μ — коэффициент истечения;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

R_h — гидравлический радиус отверстия, м.

Гидравлический радиус определяется как отношение площади отверстия к его периметру:

$$R_h = \frac{S}{P} \quad (2.32)$$

Для прямоугольного отверстия $b \times h$ площадь отверстия

$$S = b h \quad (2.33)$$

Периметр отверстия

$$P = 2(b + h), \quad (2.34)$$

откуда:

$$R_h = \frac{bh}{2(b+h)} \quad (2.35)$$

Тогда базовая скорость истечения запишется выражением

$$v_0 = \mu \sqrt{2g \frac{bh}{2(b+h)}} = \mu \sqrt{g \frac{bh}{(b+h)}} \quad (2.36)$$

В отличие от неподвижного бункера, в барабане отверстия не постоянно находятся под подпором материала: по мере вращения часть времени отверстия оказывается в зоне свободного пространства, и истечение отсутствует. Для учёта этого вводится коэффициент включенности k_B ($0 \leq k_B \leq 1$), тогда эффективная средняя скорость

$$v_{эф} = k_B v_0 \quad (2.37)$$

Коэффициент включенности k_v зависит от степени заполнения барабана, угла естественного откоса и угла трения семян о стенки барабана, частоты вращения (режим: перекачивание, каскадирование, центрифугирование), расположения отверстий относительно зоны скатывания слоя.

Таким образом, средняя пропускная способность отверстий барабана определится

$$Q_{\text{вых}} = 3600 \cdot \gamma \cdot (\varphi S_{\Sigma}) \cdot (k_v v_0) \quad (2.38)$$

Подставляя выражения (1.24) и (1.31), получим формулу пропускной способности вращающегося барабана через прямоугольные отверстия

$$Q_{\text{вых}} = 3600 \cdot \gamma \cdot \varepsilon \cdot nbh \cdot k_v \cdot \mu \sqrt{g \frac{bh}{(b+h)}}, \quad (2.39)$$

где $Q_{\text{вых}}$ — массовый расход истечения, т/ч;

γ — насыпная плотность семян, т/м³;

n — число отверстий, шт;

b, h — ширина и высота одного отверстия, м;

ε — коэффициент эффективной площади отверстий;

k_v — коэффициент включённости отверстий в слой при вращении;

μ — коэффициент истечения;

g — ускорение свободного падения, м/с²

Для обеспечения стабильного истечения и предотвращения зависаний (образования сводов) необходимо, чтобы в зоне отверстий материал обладал достаточной подвижностью. На устойчивость истечения существенно влияют влажность семян (при увеличении влажности растут силы сцепления и внутреннего трения, уменьшается μ , а также эффективные φ и k_v), геометрия отверстия, режим вращения. Рассчитаем в программе Mathcad пропускную способность прямоугольных отверстий барабана с соотношением сторон 2:1 (рисунок 2.8).

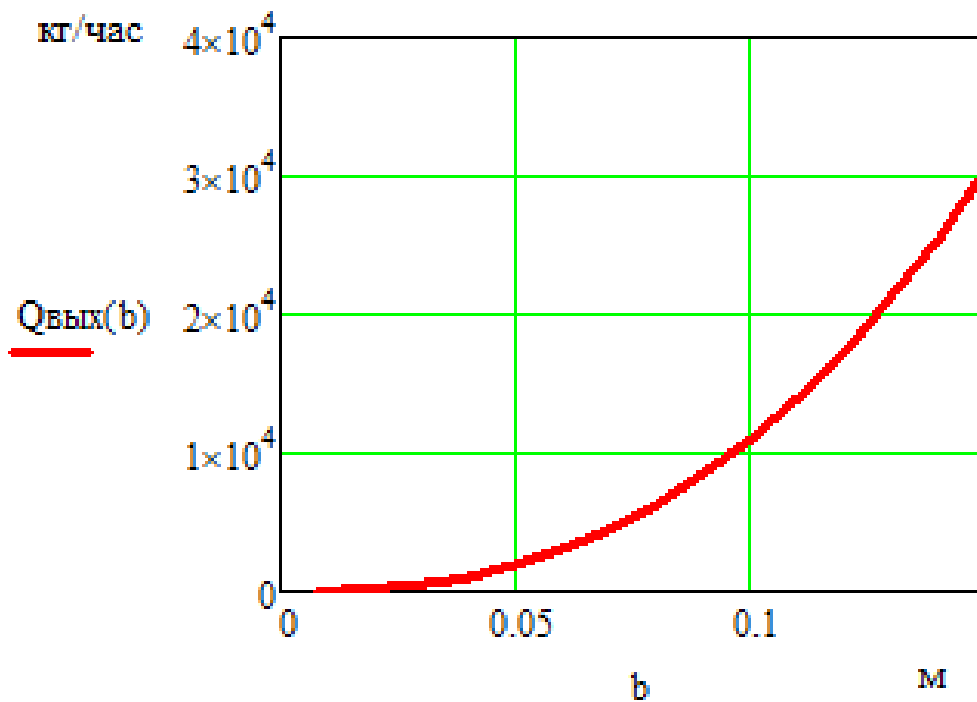


Рисунок 2.8 – График пропускной способности вращающегося барабана через прямоугольные отверстия

Для обеспечения пропускной способности около 10 тонн в час необходимы отверстия размером 0,05 на 0,10 метров при частоте вращения барабана 35-40 оборотов в минуту.

Выводы по 2 главе

По результатам теоретических исследований движения зерна в барабане были сделаны следующие выводы:

1. Конструктивно-технологическая схема установки включает барабан, который работает после камеры нанесения ядохимиката. Выгрузка семян осуществляется через специальные отверстия на прорезиненный ленточный транспортёр. Ключевыми параметрами для управления временем пребывания семян и качеством смешивания определены частота вращения и угол наклона барабана.

3. Теоретическими исследованиями установлено, что движение частиц в конической и цилиндрической частях барабана носит пульсирующий характер и определяется радиусом смесителя, коэффициентом трения и частотой вращения барабана. При заданных параметрах барабана: радиус - 0,35 м, частота вращения 35-40 об/мин, коэффициент трения о барабан значительное влияние оказывает на закон движения.

5. Обоснован вероятностный подход к описанию покрытия семян ядохимикатом, базирующийся на концепции Марковских цепей. Этот метод отличается повышенной практической ценностью, особенно в контексте барабанных смесителей, и открывает возможности для точного прогнозирования пространственного перераспределения частиц и объективной оценки эффективности смешивания. Высокая степень покрытия 1000 семян ядохимикатом достигается при 40 оборотах барабана.

6. Разработана теоретическая зависимость истечения семян через прямоугольные отверстия в задней части барабана. Основные параметры барабана: для достижения производительности около 10 тонн в час необходимы отверстия размером 0,05 на 0,10 метров при частоте вращения барабана 35-40 оборотов в минуту.

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ

3.1 Методика экспериментального обоснования параметров

Для проведения эксперимента использовали следующее оборудование: барабан с возможностью регулирования частоты вращения, цифровой фотоаппарат Sony a58 для фиксации визуальных изменений на поверхности семян после каждого опыта. Фотоснимки делаются при постоянном освещении и фиксированном расстоянии, предпочтительно в разрешении не ниже 5100×2700 пикселей. Снимки анализировали с помощью программы ImageJ с плагином Color Inspector 3D.



1 –барабан; 2 – прибор для измерения угла наклона барабана; 3 – механизм для измерения угла наклона; 4 – электрический привод барабана; 5 – регулятор частоты вращения

Рисунок 3.1 – Общий вид лабораторной установки

Подготовку образцов начинали с отбора партии семенного материала одинаковой влажности и без посторонних примесей. Затем проводили разделение отобранного материала на две равные по весу группы - первая группа подвергается обработке ядохимикатом (имеющий в своём составе красный маркер) в двойной концентрации, вторая группа состоит из необработанных семян. Затем загружали пробу семян 10 литров (5литров окрашенных и 5 литров не окрашенных) и включали лабораторную установку при выбранных параметрах на 10 сек. Полученные пробы разделяли и анализировали.

Для осуществления эксперимента была составлена матрица планирования эксперимента, представленная в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Матрица планирования эксперимента по полноте покрытия и проценту повреждения

Варьируемые параметры эксперимента		Функции оптимизации	
Угол наклона барабана, град	Частота вращения барабана, об/мин	Полнота покрытия семян	Процент повреждения
10	20	ΔP_i	ΔT_i
15	30	ΔP_i	ΔT_i
20	40	ΔP_i	ΔT_i
25	50	ΔP_i	ΔT_i
Интервал варьирования 5	Интервал варьирования 10		

Основные причины повреждений семян при их протравке заключаются в механическом воздействии, которое возникает в процессе работы оборудования и проявляется через трение, сдавливание, а также удары, которые приводят к повреждению поверхности и внутренних тканей семени. Данная методика позволяет количественно определить степень механического повреждения семян, возникающего при их транспортировании рабочими органами протравливателя.

В методике используется следующее оборудование и инструменты: цифровой микроскоп Mustool G1200 с увеличением в 1200 раз, электронные весы, навеска семян ячменя, смесиватель лабораторный, лабораторный стакан, дистиллированная вода, шпатель, пинцет, планшет, сухой краситель индигокармин синий E132 (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Оборудование для оценки повреждения семян

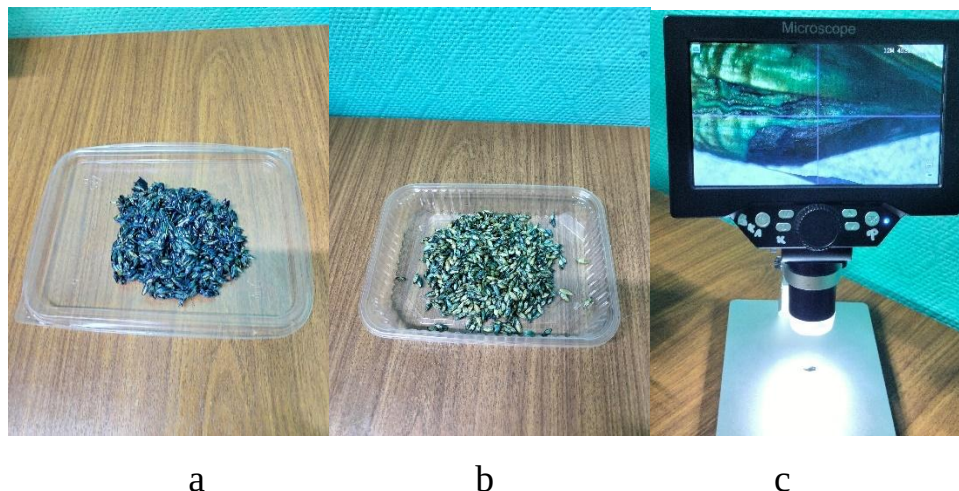
Оценка повреждения семян осуществляется в два этапа, первый до начала прохождения семян через протравливатель и второй после прохождения семян через протравливатель, без рабочего раствора [8,54,61].

Этапы проведения методики оценки повреждения семян:

Отбор проб для оценки повреждения семян в соответствии с ГОСТ 13586.3-2015 [25].

Из отобранных проб сформировать навеску семян массой 50 грамм, что соответствует весу примерно 1000 штук семян ячменя. Навеску (50г) засыпать в лабораторный стакан, добавить раствор красителя (2г в 10г дистиллированной воды) и перемешивать в течение 1 минуты на минимальных оборотах (краситель индигокармин синий E132 задерживается/проникает в трещины и повреждения оболочки, после промывки остаётся в дефектах и облегчает визуальное выявление

травм). Просушить покрытые красителем семена в течении часа распределив их по планшету шпателем (рисунок 3.3а).



а - семена, покрытые красителем E132; b -семена после смыва красителя E132; с – цифровой микроскоп Mustool G1200

Рисунок 3.3- Исследование травм семян с помощью цифрового микроскопа Mustool G1200

Залить в лабораторный стакан 1 литр дистиллированной воды и всыпать покрытые красителем семена, а затем смешать в течении 1 минуты. Полученный смыв с семян слить, а семена с помощью шпателя распределить по планшету и просушить в течении часа (рисунок 3.3b). С помощью пинцета положить семя ячменя на штатив микроскопа и осуществить его осмотр с обеих сторон с фокусировав микроскоп (повторить осмотр для остальных семян) (рисунок 3.3с). Разделить семена на две группы:

- неповреждённые,
- повреждённые (трещины оболочки, сколы, разломы, прочие видимые дефекты) (рисунок 1.3).

Процент поврежденных семян рассчитывали по формуле:

$$\Delta T = \frac{n_{\text{после}} - n_{\text{до}}}{N} \cdot 100 \% \quad (3.1)$$

Где ΔT – процент повреждения, %;

$n_{\text{до}}$ - число повреждённых семян до опыта, шт.;

$n_{\text{после}}$ - число повреждённых семян после опыта, шт.;

N – размер выборки (сколько семян осматривают под микроскопом).

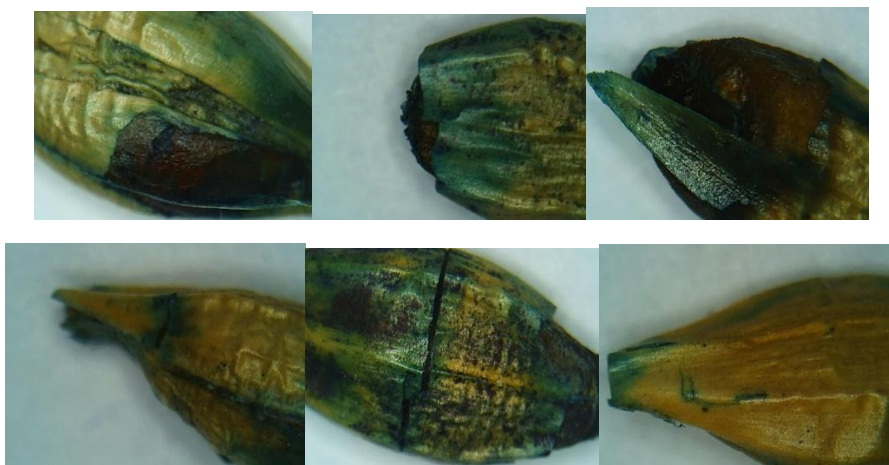


Рисунок 3.4 – Поврежденные семена ячменя, выявленные с помощью цифрового микроскопа Mustool G1200

3.2 Методика исследования физико-механических свойств семян

Коэффициент трения является одним из важных параметров технологического процесса протравливателя. Для определения коэффициента трения был создан прибор, который представляет собой платформу с наклонным желобом, регулируемым подъёмным механизмом и измерительной шкалой для фиксации угла начала и конца движения семян (рисунок 3.5) [35,121,133].



Рисунок 3.5 - Платформа для измерения угла скольжения семян.

Эксперимент начинается с установки желоба на горизонтальной поверхности. Затем на желоб помещаются семена, и постепенно изменяется угол наклона. В момент, когда семена начинают двигаться, фиксируется углы наклона, которые соответствуют началу скольжения и полному сходу семян. Эти углы и будут служить основой для расчёта коэффициента трения. Необходимо учесть, что более влажные семена могут иметь другое поведение при транспортировке по сравнению с сухими, что делает необходимым исследование коэффициента трения для разного уровня влажности.

Коэффициент трения рассчитаем по формуле:

$$f = \operatorname{tg} \alpha \quad (3.2)$$

где α – угол наклона плоскости.

Следует так же рассчитать среднеквадратическое отклонение для оценки степени неоднородности данных. Он покажет, насколько проведённые измерения разбросаны вокруг их среднего значения. Чем меньше это значение, тем более сходными (или точными) были бы проведённые измерения. Для оценки степени колебания показателей относительно среднего значения выборки рассчитаем коэффициент вариации. В статистике принято, что при коэффициенте вариации меньше 10%, степень рассеивания данных считается незначительной, если коэффициент от 10% до 20% - средней, больше 20% и меньше или равно 33% - значительной.

Коэффициент вариации рассчитаем по формуле:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad (3.3)$$

где σ - среднеквадратическое отклонение,

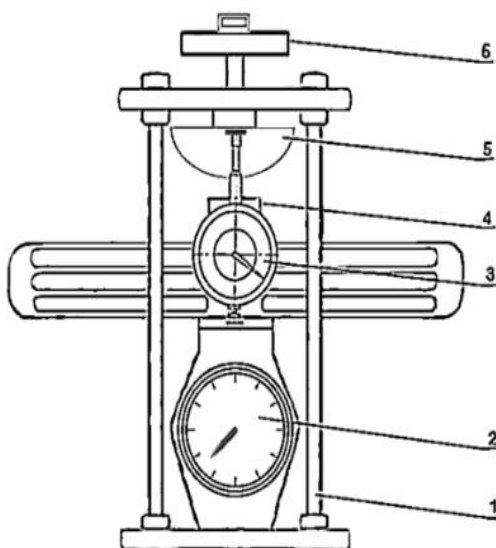
$\bar{x}$ - среднее значение.

Для минимизации повреждений семян при транспортировке крайне важно понять механизмы их разрушения на микроуровне. Для изучения деформации и разрушения семян под статическим сжатием был создан прибор (рисунок 3.6 и 3.7). Он позволяет точно контролировать процесс сжатия, измеряя силу и деформацию. В отличие от стандартных исследовательских машин, данный прибор обеспечивает более равномерное приложение нагрузки, предотвращая

неравномерное давление и скольжение, которые могут исказить результаты. Для сжатия используется пластина, изготовленная из части шнека протравливателя семян [14,95,118].



Рисунок 3.6 - Общий вид прибора для измерения деформации и прочности семян зерновых сельскохозяйственных культур



1- рама; 2 - динамометр сжатия механический ДОСМ-3-0.05; 3 - индикатор часового типа ИЧ 0-10мм; 4 – платформа для семени; 5 - давящая С-образная пластина; 6 – винт давления.

Рисунок 3.7 – Схема прибора для измерения деформации и прочности семян сельскохозяйственных культур

Для проведения исследования необходимо семя уложить на платформу 4 и с помощью винта 6 осуществлялось давление пластиной на семена. Сила давления измеряется с помощью динамометра ДОСМ-3-0.05, а величина деформации семени – индикатором часового типа ИЧ 0-10мм. Семена разной влажности и откалиброванные по размеру подвергаются определению прочности, полученные данные сводятся в единую таблицу для проведения математического и графического анализа.

На основании полученных средних значений деформации семян и силы сжатия определяются их механических свойств. Напряжение рассчитаем по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.4)$$

где σ - Предел прочности при сжатии, Па;

F - максимальная сжимающая нагрузка до разрушения, Н;

A - исходная площадь поперечного сечения образца, м².

Полученные данные позволяют не только установить предел прочности семян, но и проанализировать характер деформации перед разрушением. Это позволит разработать рекомендации по возможности работы транспортирующих механизмов для минимизации механических повреждений семян, что, в свою очередь, положительно скажется на показателях всхожести и развитии сельскохозяйственных растений.

3.3 Методика расчёта производительности барабана

Барабан для семян представляет собой цилиндрическое вращающееся устройство, предназначенное для перемешивания семенного материала [97]. Для определения производительности барабана требуется лабораторная установка.



Рисунок 3.8 – Лабораторная установка для определения параметров производительности барабанного смесителя семян

Производительность барабана определяется количеством семян, проходящих через разгрузочные отверстия за единицу времени, и зависит от следующих основных параметров:

- частота вращения барабана (об/мин) - определяет интенсивность движения семян внутри барабана и скорость их выхода через разгрузочные отверстия.
- угол наклона барабана к горизонту (градусы) - влияет на скорость продвижения семян к выходным отверстиям. С увеличением угла наклона увеличивается и скорость истечения материала через разгрузочные отверстия;
- геометрический размер выходных отверстий - прямо пропорционален объёму семян, выходящих через них в единицу времени. Увеличение площади отверстий способствует повышению производительности;
- плотность семенного материала (кг/м^3) - семена с различной плотностью могут требовать отдельных настроек оборудования для достижения оптимальной производительности [34,100].

Зная объём загруженной партии семян и измеренное экспериментальное время истечения, рассчитывают объёмный поток:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.5)$$

где Q — объёмный поток, м³/с;

V — объём семян, выходящих через отверстие, м³;

t — время истечения семян, с.

Данное выражение показывает отношение полного объёма семенного материала к времени его прохождения через разгрузочные отверстия. Время определяется с помощью видеофиксации процесса истечения семян.

Производительность барабана (масса материала, пропускаемого за час) вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{вых}} = Q \times \gamma \times 3600 \quad (3.6)$$

где $Q_{\text{вых}}$ — производительность, т/ч;

Q — объёмный поток, м³/с;

γ — насыпная плотность семенного материала, кг/м³;

3600 — количество секунд в одном часе (коэффициент пересчёта времени).

Формула может быть записана в развёрнутом виде:

$$Q_{\text{вых}} = \frac{3600 \times V \times \gamma}{t} \quad (3.7)$$

Данная формула преобразует объёмный поток в массовую производительность путём умножения на плотность материала и пересчёта времени из секунд в часы. Все полученные данные по производительности для различных комбинаций режимных параметров заносятся в сводную таблицу. На основе табличных данных строятся графики. Отдельные графики показывают зависимость производительности от скорости вращения и угла наклона для каждого используемого размера отверстий.

Анализ полученных графиков и таблиц позволяет выявить комбинацию параметров, обеспечивающую максимальную производительность барабанного смесителя семян.

3.4 Методика определение покрытия семян ядохимикатами в барабане фотоколориметрическим методом

Эффективность протравливания напрямую зависит от точного соблюдения всех рекомендаций, изложенных в инструкции к препарату. При обработке семян протравливателем важнейшим показателем является полнота протравливания. Этот показатель показывает, насколько фактическое количество использованного препарата соответствует рекомендованной норме расхода. Семена, обработанные недостаточным количеством ядохимиката (ниже 80%), будут уязвимы для болезней и вредителей, что может привести к снижению урожайности и ухудшению качества продукции. С другой стороны, превышение нормы расхода (более 120%) также нежелательно и может привести к негативным последствиям. Избыток пестицидов на семенах может оказывать токсическое воздействие на сами семена, снижая их всхожесть и энергию прорастания. Кроме того, избыточное количество химикатов может накапливаться в почве, загрязняя её и отрицательно влияя на окружающую среду, а также потенциально попадая в пищевую цепочку [119].

Использование фотоколориметра КФК-2 или аналогов – широко применяемый способ количественного определения состава раствора, базирующийся на принципе Ламберта-Бера. Фотоколориметрия позволяет установить концентрацию элемента в жидкости, оценивая насыщенность её цвета.

Процедура измерения включает в себя пропускание светового луча сквозь кювету – специальный контейнер из прозрачного материала, наполненный анализируемым окрашенным раствором. По мере прохождения света через раствор, его интенсивность снижается в соответствии с концентрацией вещества, так как окрашенное соединение поглощает часть световой энергии. Данный ослабленный световой поток регистрируется фотоэлементом, преобразующим световую энергию в электрический сигнал. Величина этого электрического сигнала, зафиксированная гальванометром, прямо связана с интенсивностью прошедшего света и, следовательно, обратно пропорциональна концентрации

вещества в растворе. В итоге, на основе показаний гальванометра можно вычислить содержание исследуемого компонента. Чем интенсивнее окраска раствора, тем меньше света пройдет через него, и тем меньше будет показание гальванометра [45,49,55,105].



1 — микроамперметр; 2 — крышка кюветного отделения; 3 — ручка установки светофильтра; 4 — ручка установки чувствительности прибора; 5 — ручка установки «Грубо»; 6 — ручка установки «100».

Рисунок 3.9 – Фотоколориметр КФК-2

Данная методика позволяет проводить оперативный контроль качества протравливания семян (полноты нанесения ядохимиката) по концентрации ядохимиката в смыве с семян, измеряемой на фотоколориметре КФК-2.

Оборудование, материалы, принадлежности для определения качества протравливания семян фотоколориметрическим методом представлены на рисунке 3.10.

Партии семян отбирали для исследований согласно ГОСТ 12036-2025 [24]. Отбор навески массой 500 грамм осуществляли из подготовленной партии. Приготовление рабочего раствора: используя регулирующую цифровую лабораторную микропипетку Joanlab и следуя инструкции производителя средств защиты растений (СЗР), приготовить рабочий раствор. Для этого смешать дистиллированную воду с ядохимикатом. Обработка семян: в барабане

осуществить смешивание семян с рабочим раствором до получения равномерного покрытия ядохимикатом. После просушивания полученный образец использовался в качестве эталона для определения качества протравливания и определения времени смыва ядохимиката с поверхности семян.



фотоколориметр КФК-2; кювета для КФК-2; шприц + фильтр 0,22 мкм (для фильтрации смыва перед заливкой в кювету); ддистиллированная вода; мерный стакан; весы (для навески семян); барабан (для перемешивания семян с дистиллированной водой при смыве); протравленные семена с концентрацией ядохимиката завода изготовителя СЗР.

Рисунок 3.10 – Инструменты для оценки качества нанесения средств защиты растений

Настройка фотоколориметра КФК-2

Перед измерениями установить:

- Ручка 3 (светофильтр): режим инфракрасного излучения 625–750 нм (соответствует красному цвету);
- Ручка 4 (чувствительность): положение «2»;

- Ручка 6: установить на максимум «100».

Подготовка пробы (навеска и соотношение компонентов)

1. Отобрать навеску 30 г протравленных эталонных семян.
2. Добавить 90 г дистиллированной воды.
3. Перенести смесь (семена + вода) в барабан.

Определение времени смыва (обязательный этап перед контролем партии)

1. Перемешивание смеси протравленных семян с водой в барабанном смесителе в течении 20 секунд.

2. Измерения на фотоколориметре КФК-2 выполняли каждые 20 секунд:

- отобрали небольшую порцию смыва;
- фильтровали порцию через фильтр 0,22 мкм (шприц + фильтр);
- заполняли кювету по метку полученным прозрачным фильтратом;
- выполняли измерения на КФК-2 и зафиксировали показания.

3. Измерения продолжали до момента, когда показания переставали существенно изменяться (достигается “предел” — максимальная концентрация в смыве).

4. Принимали найденное время как стандарт времени смыва для последующих измерений и анализа качества протравливания семян. На основании полученных данных построен график необходимого времени для смыва ядохимиката (рисунок 3.11).

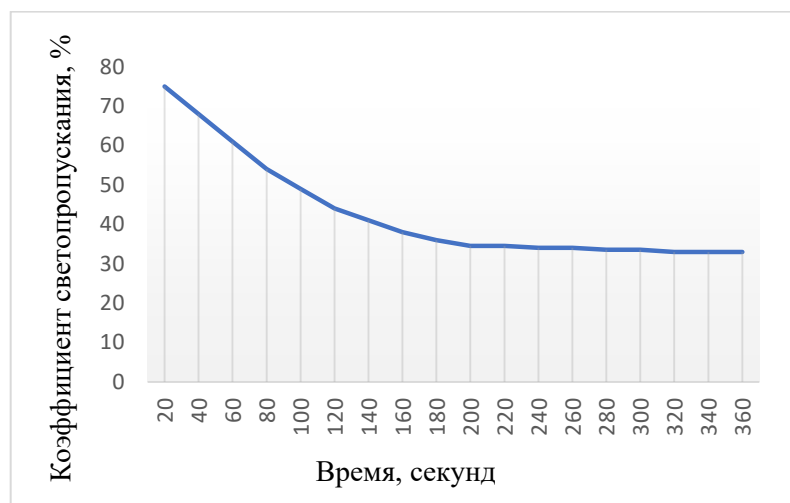


Рисунок 3.11 – Время необходимое для смыва максимального количества ядохимиката с семян

Основная процедура контроля партии семян.

После того как стандартное время смыва было установлено, контроль каждой пробы выполняли одинаково:

1. Взять 30 г протравленных семян.
2. Добавить 90 г дистиллированной воды.
3. Перемешивать в барабанном смесителе согласно установленному времени смыва.
4. Отобрать смыв, профильтровать через микрофильтр 0,22 мкм.
5. Заполнить кювету фильтратом (без пузырьков и взвеси).
6. На КФК-2 выполнить измерение и зафиксировать результат показания прибора.

Полнота протравливания должна находиться в диапазоне: 80–120% от рекомендованной нормы расхода препарата.

3.5 Методика оценки покрытия семян ядохимикатом в барабане

Смешивание представляет собой процесс перераспределения компонентов сыпучих материалов, которые первоначально могут находиться отдельно или быть неравномерно распределены. Этот процесс имеет место только тогда, когда частицы материалов могут перемещаться случайным образом по отношению друг к другу. Исследования процесса смешения можно разделить на две категории: первая сосредоточена на изучении характеристик состояния компонентов, чтобы определить качество смеси; вторая — на описании того, как это качество изменяется со временем. Качество случайно образующейся смеси оценивают статистически, моделируя её как двухкомпонентную. Основной статистической характеристикой здесь выступает содержание ключевого компонента в объемах смеси, соотносимое с законом его распределения, математическим ожиданием, дисперсией или среднеквадратичным отклонением.

Для более точной оценки качества смешивания в барабанных смесителях существует ряд программных продуктов, способных проводить детальный анализ

полученных смесей. Каждое из этих решений обладает уникальными возможностями и предназначено для решения конкретных аналитических задач. Выбор подходящего инструмента определяется сложностью требуемого анализа, поставленными целями и доступностью программного обеспечения.

3.6 Методика оценки покрытия семян в барабане с применением программного комплекса ImageJ

Оценка покрытия семян ядохимикатами — основа фитосанитарной безопасности посевов. Для качественного протравливания необходим равномерный слой препарата на каждом семени, что достаточно трудно и достоверно контролировать визуально. Использование цифрового анализа изображений, в частности с применением программы ImageJ позволяет получить объективные количественные данные о степени покрытия семян ядохимикатом [50,52,90].

Методика ImageJ позволяет получить количественную оценку степени равномерности и полноты нанесения ядохимиката (на примере стробилуринсодержащего препарата «Оплот Трио» с красным маркером) на семена, обработанные в барабане.

Принцип работы метода таков: красящее вещество ядохимиката выступает в роли маркера. По яркости красного цвета на поверхности мы можем судить о качестве нанесения покрытия. Затем, с помощью цифровой фотографии смешанных семян и программы ImageJ, анализируем цветовую и статистическую информацию. Это позволяет нам точно определить, насколько хорошо распределился краситель и сколько семян в итоге оказалось обработанным [53, 67].

Для проведения оценки равномерности распределения ядохимиката применяли следующее оборудование:

- барабан для равномерного перемешивания и нанесения ядохимиката без повреждения семян;

- цифровой фотоаппарат (например, Sony a58): для фиксации визуальных изменений на поверхности семян после каждого цикла перемешивания.

Фотоснимки делали при постоянном освещении и фиксированном расстоянии, предпочтительно в разрешении не ниже 5100×2700 пикселей и анализировали с помощью установленной на ПК программы ImageJ с плагином Color Inspector 3D.



а



б

а – барабан; б – цифровой фотоаппарат со штативом;

Рисунок 3.12 – Общий вид оборудования для оценки нанесения ядохимиката

Подготовку образцов начинали с отбора партии семенного материала одинаковой влажности и бес посторонних примесей. Затем проводили разделение отобранного материала на две равные по весу группы - первая группа подвергается обработке ядохимикатом (имеющий в своём составе красный маркер) в двойной концентрации, вторая группа состоит из необработанных семян. Семена помещали в барабан, одну группу справа, другую слева, относительно друг друга.

Процесс смешивания семян проводили при частоте вращения барабана, составляющей 35 оборотов в минуту. Важным условием является обеспечение полного оборота барабана между каждым этапом фиксации (съемки). После каждого полного оборота барабанного смесителя делали цифровой снимок

смешиваемых семян. Вращение барабана продолжали до полного окрашивания всех семян (не менее 6 оборотов). При фотосъемке расстояние до семян, углы фотокамеры и освещение не меняли. Оценку результатов распределения цветов осуществляли по гистограмме — с нарастанием оборотов количество посторонних оттенков снижается, доминируют оттенки красного.

Равномерное протравливание достигается при максимальной однородности цветового профиля. Преобладание красных оттенков на гистограмме и в LUT свидетельствует о высокой степени покрытия семян.

Методика позволяет гибко оценивать параметры работы барабана и качества протравливания, корректировать технологические режимы (частота вращения, дозировку ядохимиката, продолжительность смешивания) и обеспечивать структуру данных для последующего анализа [56].

3.7 Методика проведения полевых исследований

Основное назначение полевого опыта — объективно выявить и количественно оценить влияние различных факторов (технологий, препаратов, агротехнических приемов) на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур. В рамках данного исследования ставилась задача сопоставить эффективность нового протравливателя с барабаном и стандартным оборудованием (ПС-10) по следующим критериям: всхожесть, развитие растений, поражаемость болезнями, урожайность, качество зерна.

Размер делянок определяется комплексом факторов: особенностями культуры, схемой посева и возможностями используемого оборудования. Минимальная площадь делянки зерновых культур должна быть не менее 50 кв.м. Разделительные полосы - между делянками обязательно предусматриваются специальные разделительные дорожки (обычно шириной 0,5–1 м). Это предотвращает взаимное влияние соседних вариантов и упрощает проведение агротехнических мероприятий, наблюдений и сбор урожая.

На каждом участке должен осуществляться своевременный и высококачественный уход за посевами. Чтобы избежать искажений данных, работы по одному опыту необходимо проводить и завершать в один день. На сплошных посевах выделяют пять площадок размером 50х50 см по диагонали участка. На широкорядных посевах отбирают по 10 растений в пяти точках по диагонали.

Для уборки опытных участков разрабатывается план, предусматривающий использование машин при сборе урожая, и позволяющий максимально приблизить условия эксперимента к производственным [17,46,77]. Процесс уборки производили с помощью комбайна ACROS 585. Учёт урожая по каждому опыту проводили весовым способом с учетом площади каждого участка.

Выводы по 3 главе

Представлен комплексный набор методик экспериментальных исследований, разработанных для уточнения параметров и оценки эффективности работы протравливателя семян. Предложенные методы охватывают весь спектр необходимых исследований от лабораторных анализов до полевых экспериментов.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ И СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ СЕМЯН

4.1 Результаты экспериментального обоснования параметров протравливателя

Обоснование параметров барабана протравливателя проводили на лабораторной установке, представленной на рисунке 3.1. Опыты проводили согласно матрице планирования эксперимента (таблица 3.1). Для проведения эксперимента использовали следующее оборудование барабан с возможностью регулирования необходимой частоты вращения, цифровой фотоаппарат Sony a58 для фиксации визуальных изменений на поверхности семян после каждого опыта. Снимки анализировали с помощью программы ImageJ с плагином Color Inspector 3D.

Данные опытов обрабатывали в программе Statistica v7. На основании данных было построено уравнение регрессии в виде полинома второй степени.

$$\Delta\P = 106 - 0,1626 * n_{\text{б}} - 0,29 * \alpha - 0,0004 * n_{\text{б}}^2 + 0,0168 * n_{\text{б}} * \alpha - 0,03 * \alpha^2 \quad (4.1)$$

где $\Delta\P$ – полнота покрытия семян ядохимикатом, %;

$n_{\text{б}}$ – частота вращения барабана об/мин;

α – угол наклона оси вращения барабана, град.

Адекватность уравнения регрессии опытным данным характеризуется коэффициентом детерминации, который равен $R^2 = 0,99116844$, что свидетельствует о высокой доли вариации, объясняемой независимыми переменными в регрессионной модели. Коэффициент регрессии $R = 0,99557443$ свидетельствует о высокой зависимости уравнения регрессии от опытных данных. Наиболее значимым фактором для полноты покрытия является угол наклона оси вращения барабана (угол наклона барабана), который влияет на время

нахождения семян в барабане. По уравнению регрессии был построен график зависимости полноты покрытия от частоты вращения и угла наклона барабана (рисунок 4.1).

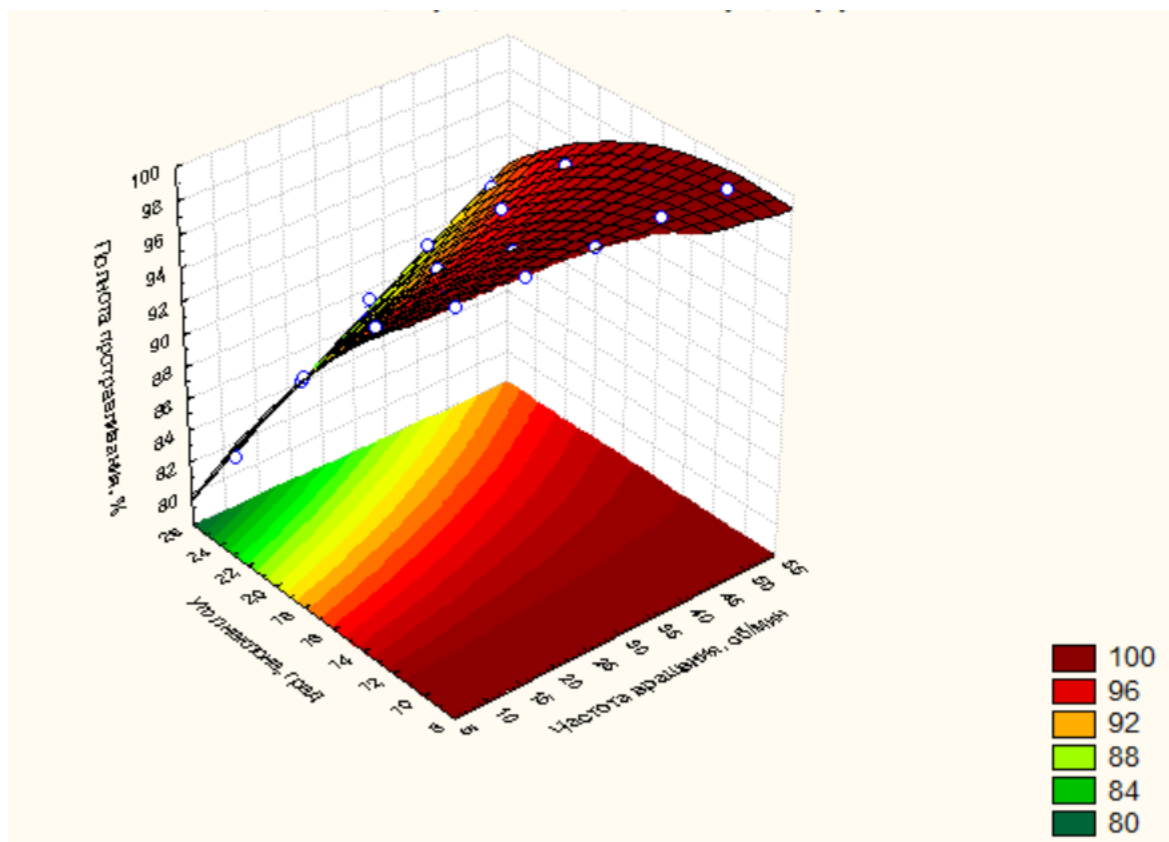


Рисунок 4.1 - График зависимости полноты покрытия от частоты вращения и угла наклона барабана

Анализ рисунка 4.1 показывает, что полнота покрытия близкая к 100% наблюдается при углах наклона барабана около 14 градусов.

Исследования повреждения семян при различных параметрах барабана позволили получить данные, на основе которых построено уравнение регрессии

$$\Delta T = 5,56 - 0,0314 * n_6 + 0,0009 * n_6^2 \quad (4.2)$$

где ΔT – процент повреждения семян в барабане, %;

n_6 – частота вращения барабана об/мин.

Адекватность уравнения регрессии опытным данным характеризуется коэффициентом детерминации, который равен $R^2 = 0,91097308$, что свидетельствует о высокой доли вариации, объясняемой независимыми переменными в регрессионной модели. Коэффициент регрессии $R = 0,9544491$

свидетельствует о высокой зависимости уравнения регрессии от опытных данных. Наиболее значимым фактором для процента повреждения является частота вращения барабана, которая влияет на интенсивность воздействия взаимодействия семян в барабане. По уравнению регрессии был построен график зависимости повреждений семян от частоты вращения и угла наклона барабана (рисунок 4.2).

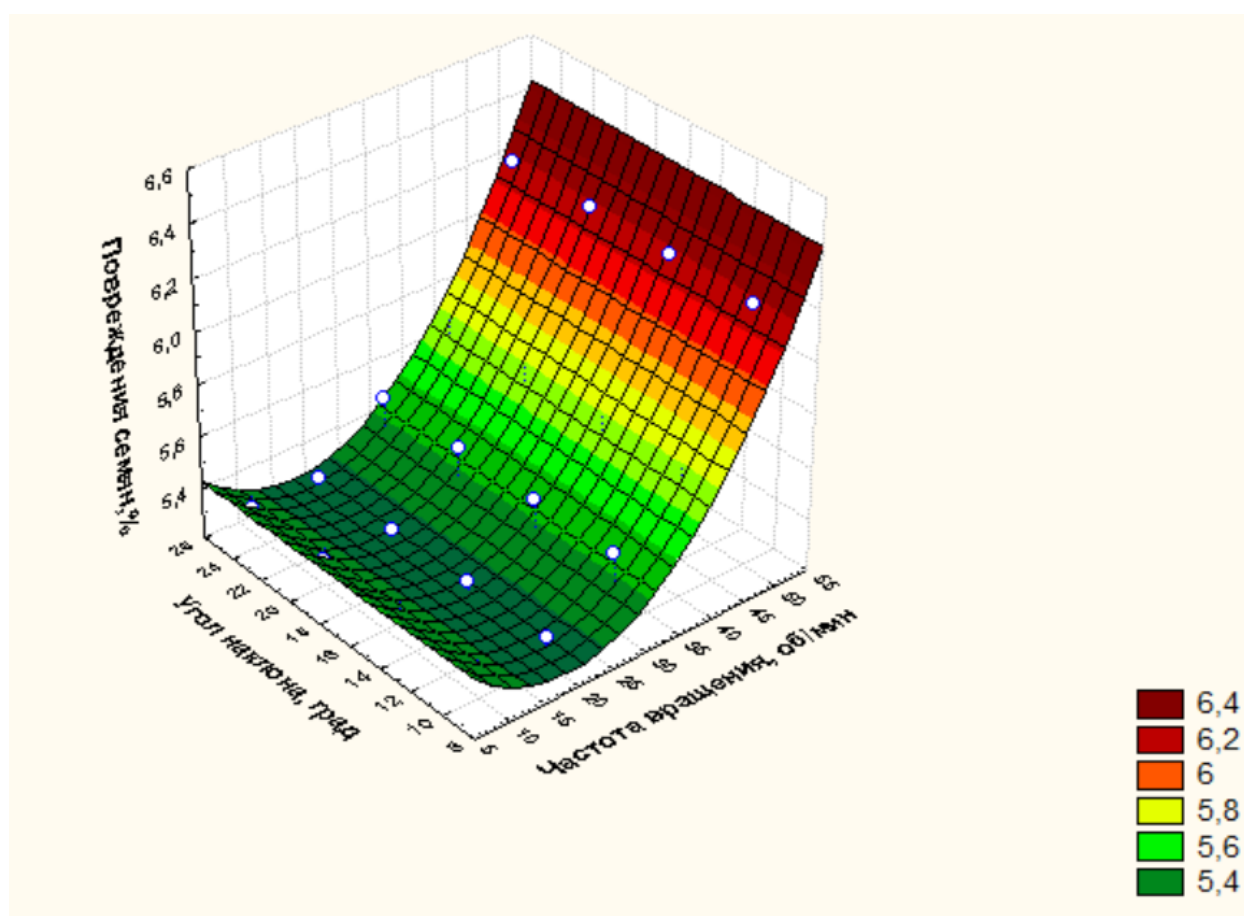


Рисунок 4.2 - График зависимости повреждений семян от частоты вращения и угла наклона барабана

Анализ рисунка 4.2 показывает, что минимальный процент повреждения семян наблюдается при частоте вращения барабана не более 35 об/мин. Низкая частота вращения барабана, несмотря на уменьшение повреждений, снижает производительность протравливателя в целом, поэтому принимаем предельные значения частоты вращения 35 об/мин. Таким образом, в результате многофакторного эксперимента установлено, что рациональными параметрами

барабана протравливателя являются угол наклона оси вращения барабана 14 градусов, частота вращения барабана 35 об/мин.

4.2 Результаты исследования физико-механических свойств семян

Для определения влияния трения на движение семян в барабане была использована экспериментальная установка (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Установка для изучения трения семян

Таблица 4.1 – Результаты определения угла скольжения

№ опыта	Угол наклона платформы, градусов.						
	Влажн ость 9,3%	Влажн ость 12,4%	Влажн ость 14,5%	Влажн ость 16,6%	Влажн ость 18,5%	Влажн ость 20,4%	Влаж ность 22,7%
1	23	25	26	27	28	30	29
2	24	24	25	28	29	29	31
3	23	25	25	26	28	28	30
4	24	23	25	27	28	29	29
5	23	25	26	26	27	28	31
Среднее значение, $\bar{x}$	23,4	24,4	25,4	26,8	28,0	28,8	30,0
Среднеквадратичес кое отклонение σ	0,49	0,80	0,49	0,75	0,63	0,75	0,89
Коэффициент вариации v , %	2,09	3,28	1,93	2,80	2,25	2,60	2,97
Коэффициент трения	0,43	0,45	0,47	0,51	0,53	0,55	0,58

Так партия семян с разной влажностью помещалась на одну сторону платформы. Затем с помощью подъемного механизма ее плавно поднимали до момента начала скольжения семян и полного схода семян. Углы положения

платформы фиксировались по измерительной шкале. Эксперимент в трехкратной повторности проводили с семенами различной влажности.

Значения среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации подтверждают высокую точность и однородность проведенных измерений. Это свидетельствует о минимальном разбросе полученных данных относительно истинного значения.

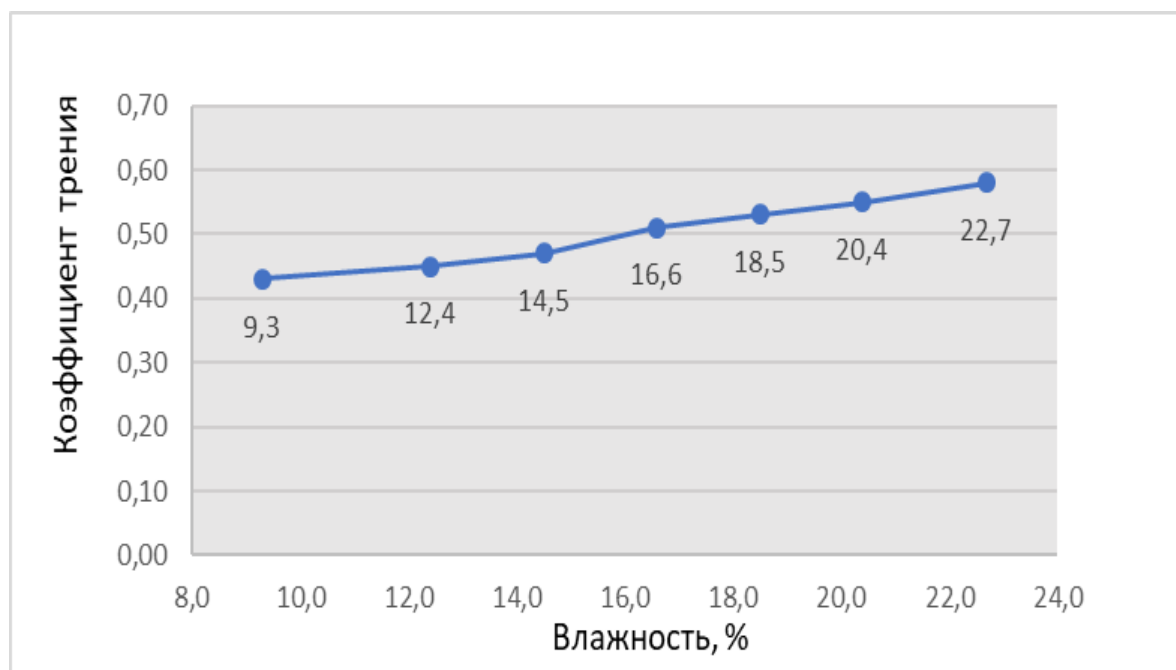


Рисунок 4.4 – Влияние влажности семян на коэффициент трения

Результаты экспериментов однозначно подтверждают существование прямой зависимости между влажностью семян и коэффициентом трения, который они исследуют при взаимодействии с различными поверхностями. Так семена, содержащие 9,3% влаги, показали коэффициент трения, равный 0,43. Это значение говорит о том, что на гладкой металлической поверхности такие семена могут легко скатываться, преодолевая относительно небольшое сопротивление. Интересно, что поверхность этих семян обладает определённой шероховатостью на микроскопическом уровне, что обеспечивает им некоторое сцепление с металлом. Однако, несмотря на это, низкий уровень влажности ограничивает капиллярные силы, которые способствуют более тесному контакту между семенами и металлической поверхностью.

При увеличении влажности семян до 22,7% коэффициент трения возрастает до 0,58. Семена скатываются медленнее. Это подтверждает влияние влажности семян на скорость их транспортировки шнековым транспортёром.



Рисунок 4.5 – Прибор для измерения механических характеристик семян

Для детального изучения механических характеристик семян были измерены их прочность и деформация под действием сжимающей силы. Эксперименты проводились на специально сконструированном приборе. Процесс включал более 200 измерений: каждое семя помещалось на платформу, после чего винтовой механизм приводил в движение пластину для оказания давления. Сила давления фиксировалась динамометром ДОСМ-3-0.05, а величина деформации семени определялась с помощью часового индикатора ИЧ. Все собранные данные были систематизированы и представлены в таблицах для дальнейшего математического и графического анализа.

Таблица 4.2 – Прочность семян чечевицы при влажности 11,7%

Показания динамометра, Н.	Показания индикатора при сжатии семян чечевицы, мм.										Среднее значение, мм.
100	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
200	0,04	0,03	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,05
300	0,08	0,06	0,10	0,11	0,10	0,14	0,08	0,10	0,09	0,05	0,09
400	0,16	0,18	0,18	0,14	0,12	0,18	0,14	0,15	0,11	0,10	0,15
500	0,18	0,20	0,19	0,18	0,15	0,21	0,18	0,20	0,13	0,17	0,18
600	0,19	0,21	0,21	0,20	0,18	0,22	0,20	0,22	0,16	0,19	0,20
700	0,22	0,22	0,23	0,21	0,20	0,23	0,22	0,23	0,19	0,21	0,22

Таблица 4.3 – Прочность семян чечевицы при влажности 15,7%

Показания динамометра, Н.	Показания индикатора при сжатии семян чечевицы, мм.										Среднее значение, мм.
100	0,02	0,03	0,05	0,04	0,02	0,05	0,04	0,02	0,05	0,05	0,04
200	0,06	0,15	0,15	0,15	0,09	0,15	0,13	0,09	0,12	0,18	0,13
300	0,09	0,20	0,19	0,22	0,10	0,25	0,15	0,13	0,20	0,20	0,17
400	0,16	0,30	0,28	0,30	0,12	0,40	0,30	0,15	0,40	0,40	0,28
500	0,23	0,40	0,49	0,43	0,28	0,41	0,39	0,24	0,39	0,35	0,36
600	0,33	0,55	0,65	0,55	0,36	0,62	0,47	0,30	0,51	0,49	0,48
700	0,45	0,65	0,63	0,60	0,45	0,66	0,53	0,38	0,58	0,60	0,55
800	0,52	1,15	1,95	0,75	0,55	0,83	0,65	0,40	0,82	0,97	0,86
900	1,12	1,17	1,96	0,95	0,70	1,04	1,15	0,85	1,05	1,09	1,11

Таблица 4.4 – Прочность семян чечевицы при влажности 18,2%

Показания динамометра, Н.	Показания индикатора при сжатии семян чечевицы, мм.										Среднее значение, мм.
100	0,05	0,06	0,05	0,03	0,06	0,03	0,04	0,07	0,06	0,05	0,05
200	0,08	0,07	0,07	0,06	0,10	0,11	0,08	0,15	0,14	0,10	0,10
300	0,15	0,14	0,13	0,09	0,15	0,16	0,12	0,19	0,18	0,14	0,15
400	0,40	0,40	0,46	0,35	0,47	0,52	0,39	0,42	0,41	0,37	0,42
500	0,55	0,57	0,65	0,60	0,73	0,69	0,56	0,64	0,59	0,61	0,62
600	1,45	1,40	1,90	1,82	1,42	1,51	1,74	1,59	1,62	1,63	1,61
700	1,83	1,80	2,10	2,05	1,96	2,01	1,85	1,79	1,89	1,95	1,72
800	1,94	1,91	2,13	2,11	2,00	2,05	2,02	1,88	1,95	1,99	2,00

Для анализа механических свойств семян используем полученные средние значения деформации и силы сжатия. На их основе будут построены соответствующий график и таблица.

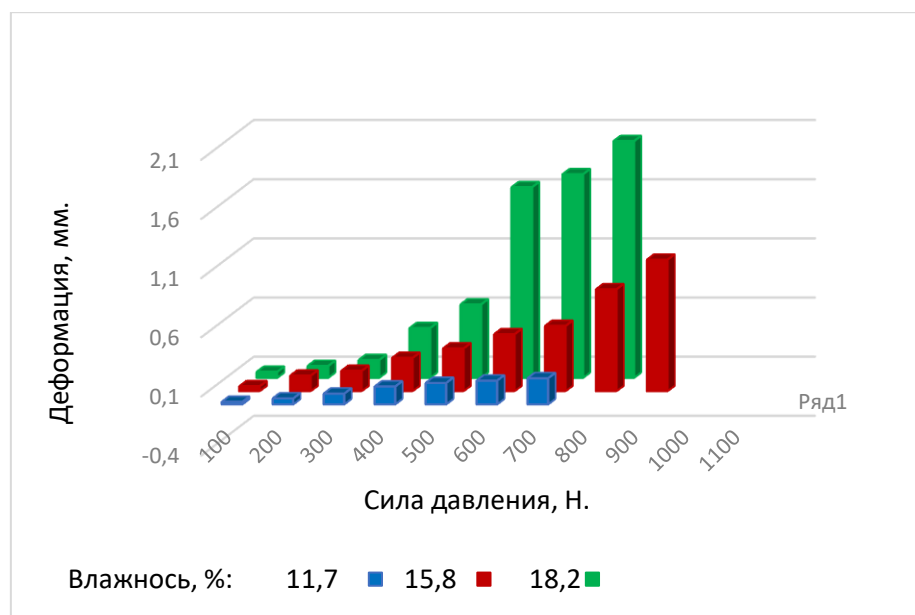


Рисунок 4.6 – Анализ прочности семян с разной влажностью

Таблица 4.5 – Влияние влажности на механические свойства семян.

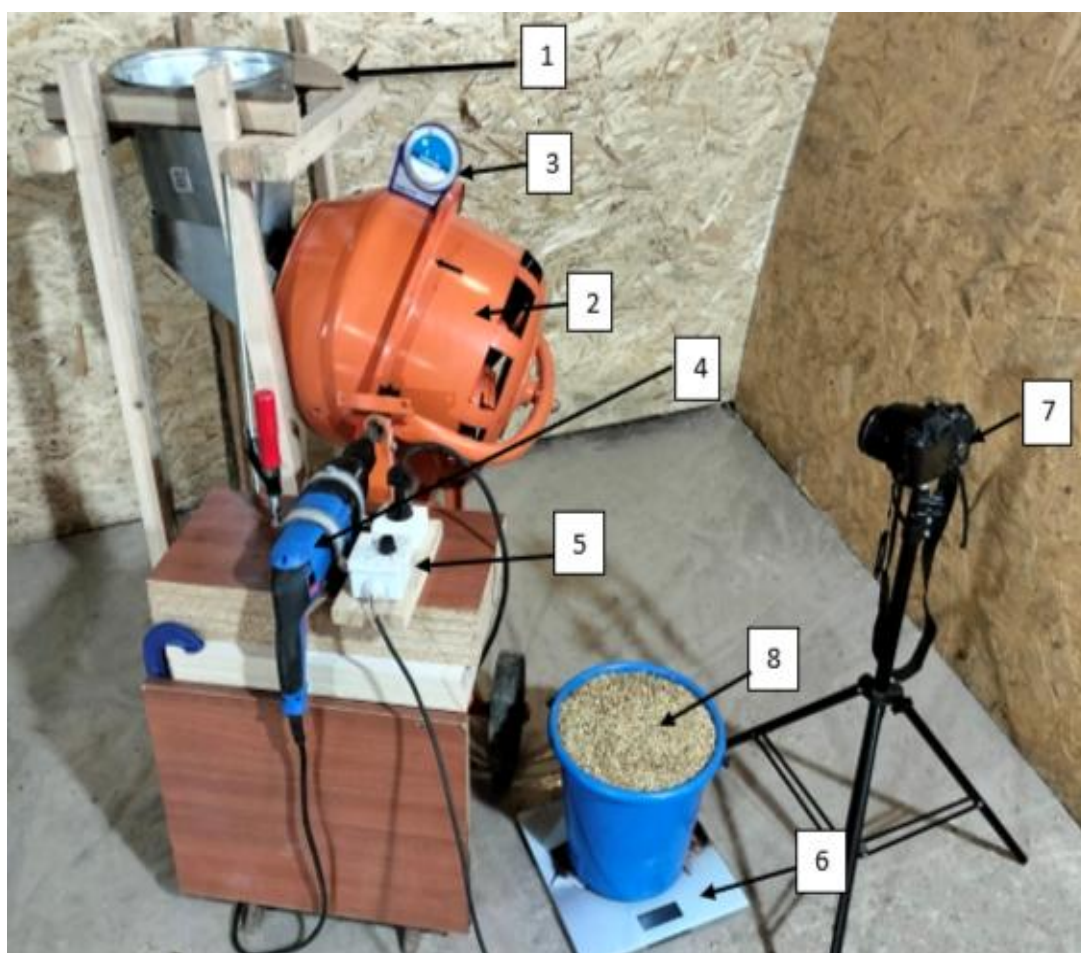
Влажность, %.	Предельное усилие, Н	Деформация, мм.
11,7	700	0,22
15,8	900	1,11
18,2	800	2,00

Согласно данным таблицы 4.5, при влажности семян 11,7% их предельное усилие составляет 700 Н, деформация — 0,22 мм. В этом случае сухие семена оказываются очень хрупкими и подвержены большому разрушению. При увеличении влажности семян до 15,8% их предельное усилие уже возрастает до 900 Н, деформация — до 1,11 мм. Семена становятся значительно прочнее и пластичнее. При дальнейшем росте влажности до 18,2% предельное усилие снижается до 800 Н, деформация достигает 2,00 мм. Таким образом, при избытке влаги в семенах они становятся мягкими и теряют свою прочность. Установлено, что умеренное повышение влажности семян увеличивает их прочность, но превышение оптимального порога ухудшает их механические свойства.

4.3 Результаты исследований определения производительности барабана

Проведем исследование производительности барабана, который будет применяться в новой модели протравливателя семян. Основой для определения производительности послужат экспериментальные данные о времени, за которое определённый объём семян проходит через разгрузочные отверстия барабана. Также мы изучим, как частота вращения барабана, угол его наклона и размеры отверстий влияют на скорость истечения семян. Для этого в установке использовались барабаны с 10 разгрузочными отверстиями размером 3×6 мм; 4×8 мм; 5×10 мм, угол наклона оси барабана варьируется в пределах 10°; 15°; 20°; 25°, а частота вращения барабана составляла от 10 до 50 об/мин. В качестве образца использовался ячмень сорта Грейс с влажностью 12%. Объём одной пробы составил $V = 0,013 \text{ м}^3$ или 9,1кг, а насыпная плотность семян равнялась $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$. Мы переводили объёмный расход семян в массовую производительность для более точных результатов.

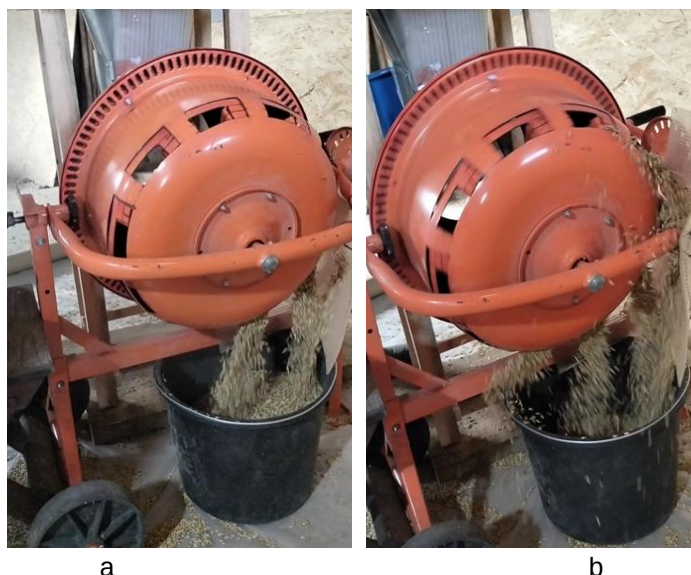
Для начала эксперимента по определению производительности барабана, в его бункер было загружено 9,1 кг предварительно подготовленных семян ячменя. После открытия заслонки на бункере 1, семена ячменя начинали поступать по наклонному лотку в барабан. 2. Здесь они перемешивались и затем высыпались. В ходе экспериментов изменялись несколько ключевых факторов: частота вращения барабана (варьировалась в диапазоне от 10 до 50 оборотов в минуту), угол наклона барабана относительно горизонта (изменялся от 10 до 25 градусов), а размеры разгрузочных отверстий были представлены тремя вариантами: 3х6 см, 4х8 см и 5х10 см. Для точного анализа динамики истечения семян из барабана и определения моментов начала и окончания их движения, весь процесс фиксировался на видео с помощью цифровой фотокамеры Sony-A58.



1 - бункер с заслонкой для семян; 2 – барабан, 3 – угломер; 4 – электропривод; 5 - регулятор оборотов; 6 – электронные весы; 7 - цифровая фотокамера; 8 - семена ячменя

Рисунок 4.7 - Лабораторная установка для оценки производительности смесителя семян

Проводимые исследования выявили критическую скорость вращения для барабана. При частоте вращения 40 об/мин и выше наблюдаются потери семян при их выходе из разгрузочных отверстий (см. рисунок 4.8b), что сопряжено с риском механических повреждений. Напротив, при скорости ниже 40 об/мин процесс выгрузки семян происходит равномерно и без потерь и повреждений (рисунок 4.8a). Следовательно, для минимизации повреждения семян в процессе протравливания, рекомендуется поддерживать частота вращения смесителя в пределах до 35 об/мин.



а

б

а – истечение ячменя: отверстия 3х6 мм, 10 об/мин, наклон 15°, без повреждения семян;
 б – истечение ячменя: отверстия 3х6 мм, 40 об/мин, наклон 15°, с допустимой вероятностью повреждения семян.

Рисунок 4.8 – Процесс смешивания и выгрузки семян из барабана на разных скоростях вращения

На основе полученных расчетов были построены графики, иллюстрирующие зависимость производительности барабанного смесителя от скорости вращения, угла наклона и размера отверстий. Анализ этих графиков дает возможность наглядно оценить влияние каждого из параметров и выявить наиболее эффективные режимы функционирования устройства.

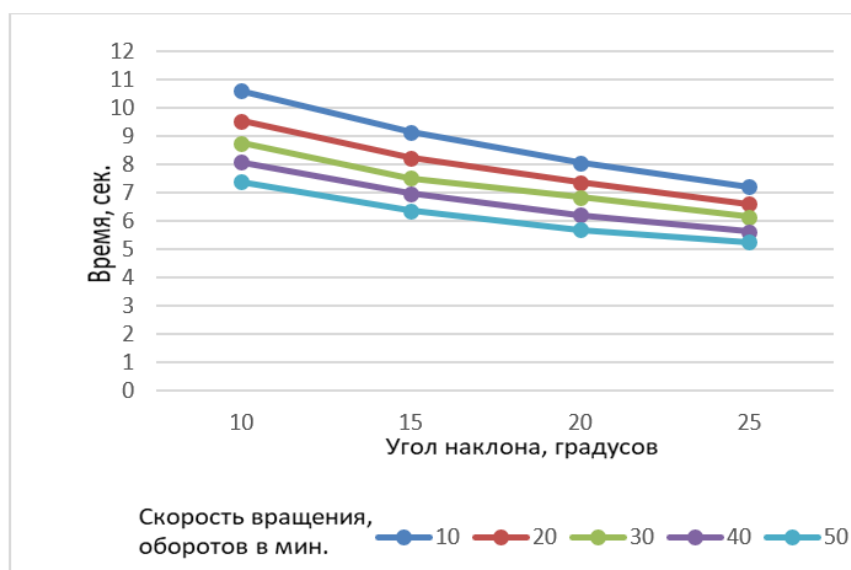


Рисунок 4.9 – Динамика скорости прохождения семян через барабан с отверстиями 3см х 6см.

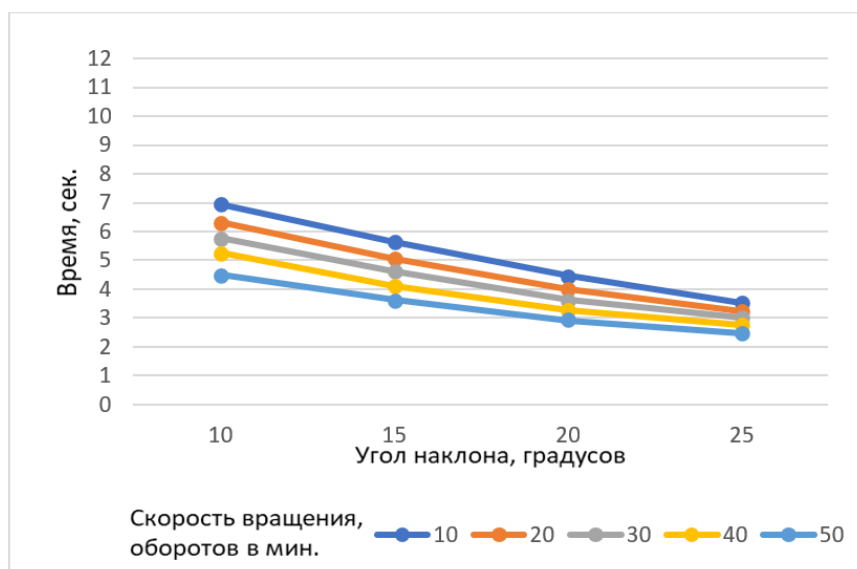


Рисунок 4.10 - Динамика скорости прохождения семян через барабан с отверстиями 4 см x 8 см

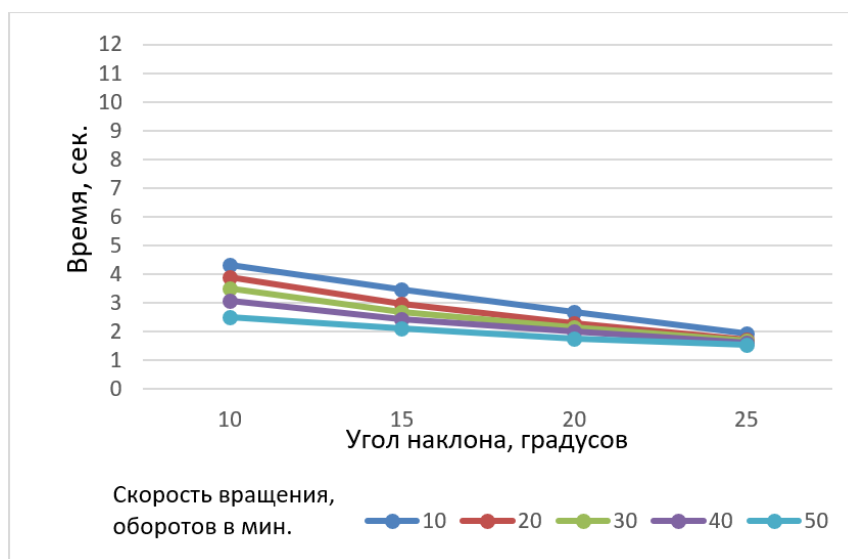


Рисунок 4.11 - Динамика скорости прохождения семян через барабан с отверстиями 5 см x 10 см

Взаимосвязь между скоростью истечения семян ячменя из барабана через отверстия 3x6, 4x8 и 5x10 см и такими параметрами, как угол наклона и частота вращения барабана, представлена на рисунках 4.9, 4.10 и 4.11. Наблюдается прямая зависимость: увеличение частоты вращения барабана и его угла наклона приводит к повышению скорости выхода семян. При этом конфигурация разгрузочных отверстий также оказывает влияние на кинематику движения

семенного материала. Полученные в ходе экспериментальных исследований данные послужат базой для определения производительности барабана [62].

Производительность барабана определяется по формуле:

$$Q_{\text{ВЫХ}} = \frac{3600 \times V \times \gamma}{t} \quad (4.1)$$

где $Q_{\text{ВЫХ}}$ – искомая производительность (т/ч);

V – рассчитанный объемный расход (м³/с);

γ — насыпная плотность семенного материала, кг/м³;

3600 – коэффициент пересчета секунд в час.

Используем экспериментальные данные в расчёте для определения производительности (приложение А табл 1). Для лучшего понимания результатов, весь массив данных будет отображён графиком (рисунок 4.12).

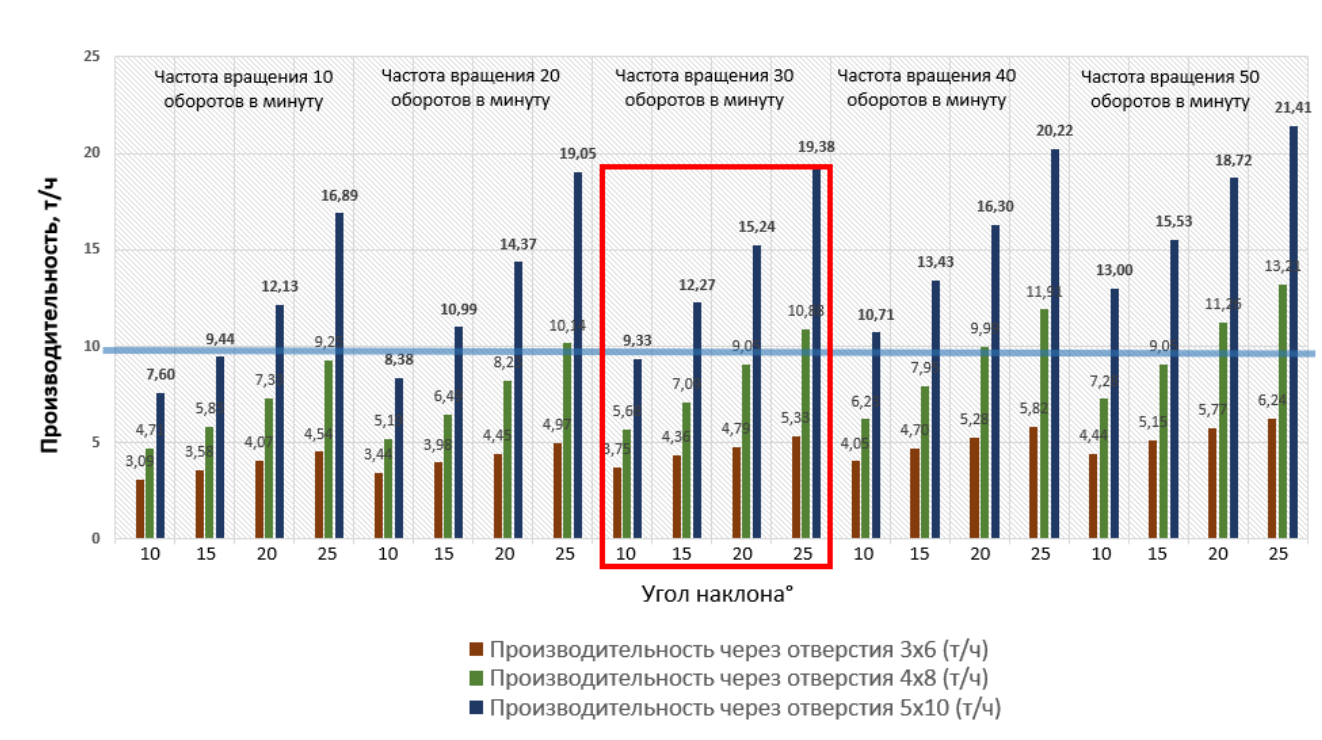


Рисунок 4.12 - Динамика производительности смесителя семян

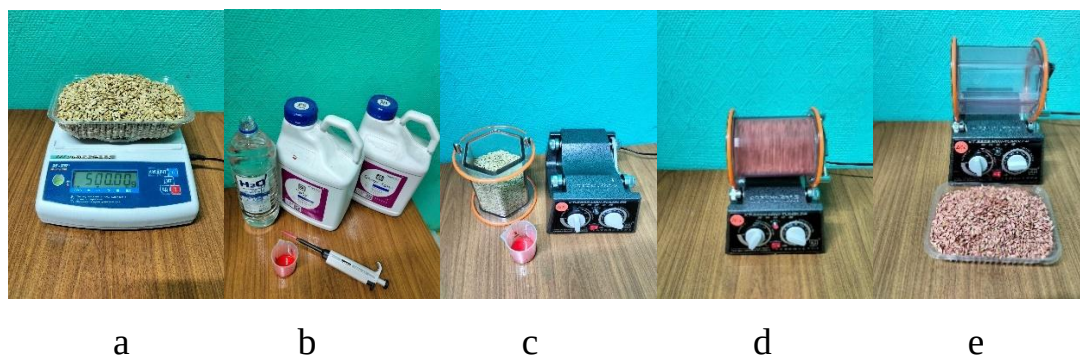
Для достижения требуемой производительности (10 тонн в час) при обработке семян в барабане, определены следующие оптимальные параметры:

- частота вращения барабана 35 оборотов в минуту;

- угол наклона барабана: от 14 до 15 градусов;
- размер выходных отверстий: 5x10 см.

4.4 Результаты исследований протравливания семян в барабане с помощью фотоколориметра КФК-2

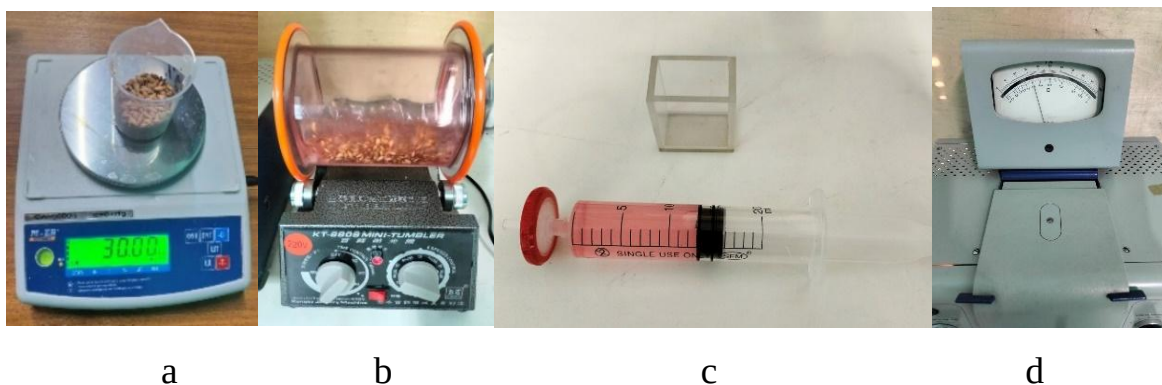
Для оценки эффективности протравливания семян на предприятии ООО «Мир» (Рязанская область, Александро-Невский район, с. Студёнки) и согласно ГОСТ 12036-2025 была отобрана партия семян ячменя сорта «Грейс». Из данной партии взята проба массой 500 грамм. Используя лабораторную микродозировочную пипетку и в соответствии с рекомендациями производителя средств защиты растений, был подготовлен рабочий раствор для протравливания семян. Его компонентами стали дистиллированная вода, ядохимикат «Табу» и «Оплот Трио». После этого в галтовке осуществлялось смешивание подготовленных компонентов [24].



a – взвешивание партии семян; b – подготовка рабочего раствора; c – заполнение барабанного смесителя; d – смешивание семян с рабочим раствором; e – партия протравленных семян.

Рисунок 4.13 – Подготовка протравленного ячменя сорта «Грэйс» согласно требованиям производителя препаратов

Обработанная партия семян далее используется в качестве контрольной группы для анализа.

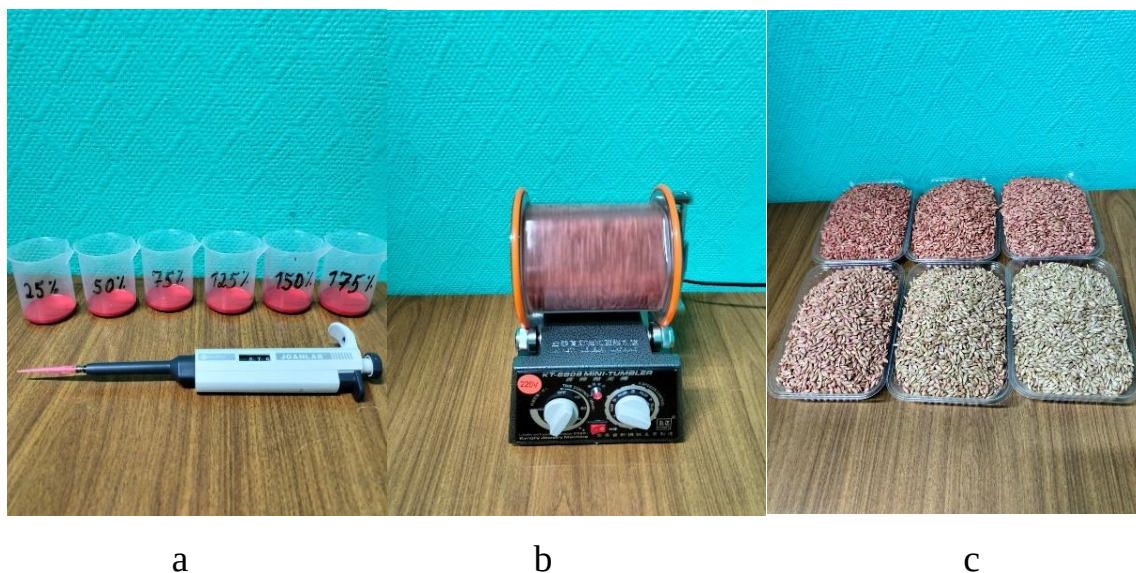


a – взвешивание протравленной пробы ячменя; b – смешивание протравленного ячменя с дистиллированной водой в галтовке; c – заполнение кюветы; d – фотоколориметрическое определение концентрации ядохимиката.

Рисунок 4.14 – Фотоколориметрическое определение концентрации ядохимиката в растворе

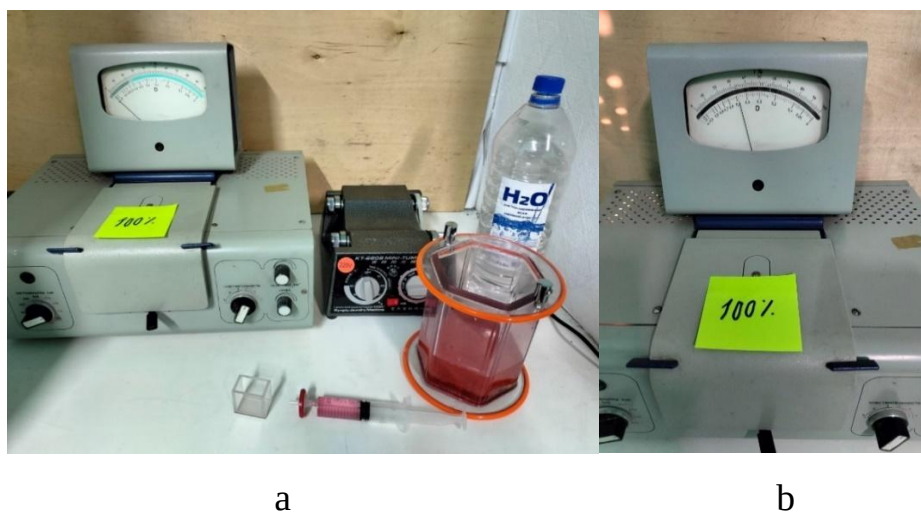
Для определения времени полного смыва ядохимиката с семян (рисунок 4.14), которое потребуется для дальнейших исследований, проведем следующую процедуру: отмеряем 30 грамм протравленного ячменя, подготовленного по инструкции завода-изготовителя средств защиты, и смешиваем его с 90 граммами дистиллированной воды. Затем полученная смесь помещается в барабанную галтовку. В процессе смешивания с интервалом в 20 секунд отбираются пробы для анализа на фотоколориметре. На КФК-2 устанавливаются соответствующие настройки для инфракрасного излучения в диапазоне 625-750 нм. С помощью шприца-дозатора и фильтрующего элемента осуществляем заполнение кюветы фотоколориметра и проводим замеры до полного снижения коэффициента светопропускания. Таким экспериментальным путём были определены оптимальные параметры процедуры смыва. Установлено, что требуемое время для смыва составляет 6 минут.

После просушивания семян с их поверхности были отобраны смывы. Результаты последующего фотоколориметрического исследования позволили оценить содержание ядохимиката на семенах.



а - растворы ядохимикатов разной концентрации; б – смешивание семян с раствором; с - обработанные семена.

Рисунок 4.15 – Подготовка семян, обработанных разной концентрацией ядохимикатов



а – подготовка раствора, предназначенного для проведения анализа; б - данные фотоколориметра

Рисунок 4.16 – Анализ смывов с семян, обработанных ядохимикатами различных концентраций

Полученные данные замеров позволяют сформировать график. На горизонтальной оси отметим значения концентрации ядохимиката, а на вертикальной — показания прибора. Этот график в дальнейшем позволит

определять уровень концентрации защитных средств на обработанных семенах по результатам измерения смывов на КФК-2.

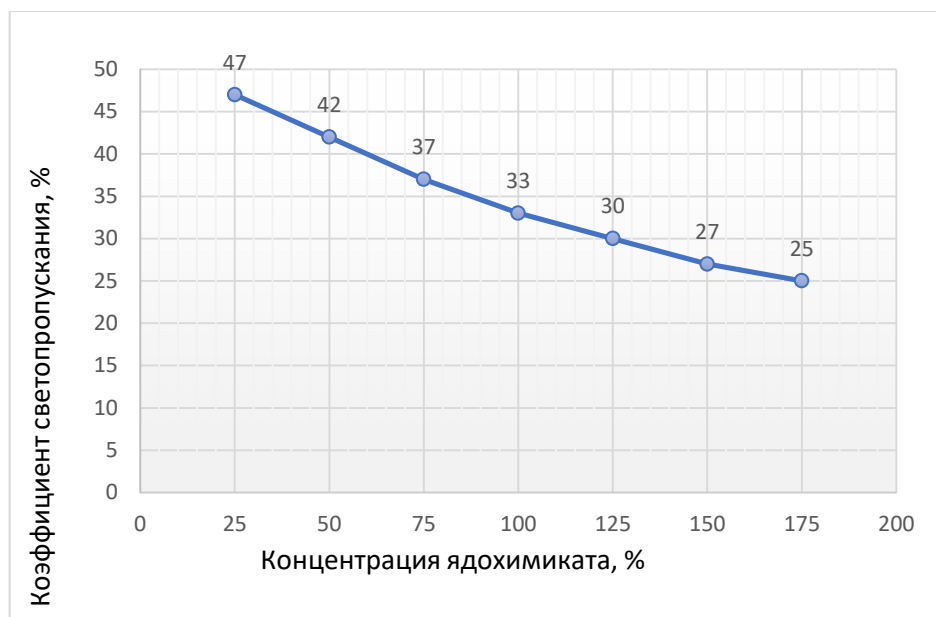


Рисунок 4.17 - Градуировочный график зависимости оптической плотности от концентрации

При проведении посевной кампании в 2025 году на территории сельхозпредприятия ООО «Мир» семена ячменя сорта «Грейс» обработали средствами защиты на ПС-10. Концентрацию полученных смывов ядохимиката с семян оценили фотоколориметрическим методом с корректировкой результатов по градуировочному графику.



Рисунок 4.18 – Отбор семян обработанных на ПС-10



Рисунок 4.19 – Результат анализа смывов концентрации ядохимиката на семенах, обработанных с помощью ПС-10

Оценка уровня ядохимиката на обработанных семенах, проведенного с использованием фотоколориметра и графика, выявил проблему: при светопропускании 37% (рисунок 4.19) концентрация ядохимиката по данным градуировочного графика составила 75%. Это значение оказалось ниже минимально допустимого порога в 80%. Потребовалось скорректировать подачу ядохимиката. Проведенные последующие замеры смывов с протравленных семян показали концентрацию 92%. И этот показатель уже соответствовал нормам обработки от 80 до 120%.

Затем была обработана следующая партия семян ячменя на опытном протравливателе с барабанным смесителем. Из неё были взяты образцы для исследования (рисунок 4.20).



Рисунок 4.20 – Взятие проб семян, протравленных с применением опытного образца



Рисунок 4.21 – Концентрации средств защиты на семенах, прошедших обработку на опытном образце

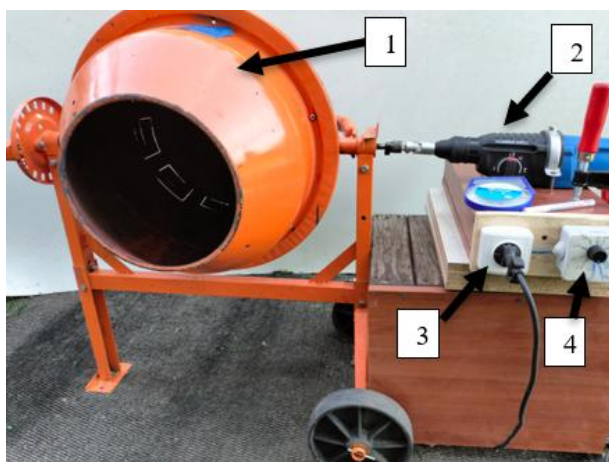
Измеренная на фотоколориметре концентрация светопропускания (рисунок 4.21) по данным градуировочного графика составляет 112%. Этот уровень укладывается в диапазон от 80 до 120%, что позволяет признать протравливание качественным.

Применение фотоколориметрического метода с построением градуировочного графика обеспечивает оперативный и точный контроль качества протравливания семян. Это гарантирует высокое качество обработки, позволяя своевременно выявлять и устранять любые отклонения в параметрах процесса.

4.5 Результаты исследований протравливания семян в барабане с помощью программного комплекса ImageJ

Для определения времени обработки семян в барабане была проведена объективная оценка равномерности и полноты покрытия семян протравливания в барабане с опорой на цветовой маркер и цифровой анализ изображений. В качестве объекта использовали семена ячменя Грейс с влажностью 12%; в качестве препарата для определения повреждений семян — «Оплот Трио» с ярко выраженным красным маркером. Смеситель представлял собой барабан с

электроприводом, вращающийся с частотой 35 об/мин. Для фотофиксации применяли цифровую камеру Sony а58, а для аналитики — программный пакет ImageJ с плагином Color Inspector 3D.



1- барабан; 2 – электропривод; 3 – эл.питание электропривода; 4 - регулятор оборотов

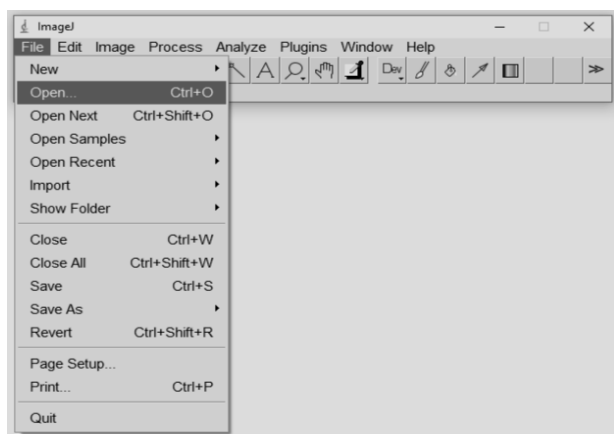
Рисунок 4.22 – Лабораторная установка для смешивания семян в барабане

Эксперимент заключался в смешивании двух равных по массе партий семян (по 3,5 кг каждая). Одна партия состояла из непротравленных семян, другая — из семян, предварительно обработанных ядохимикатом в удвоенной дозе. Целью такого смешивания был перенос части ядохимиката на необработанные семена.

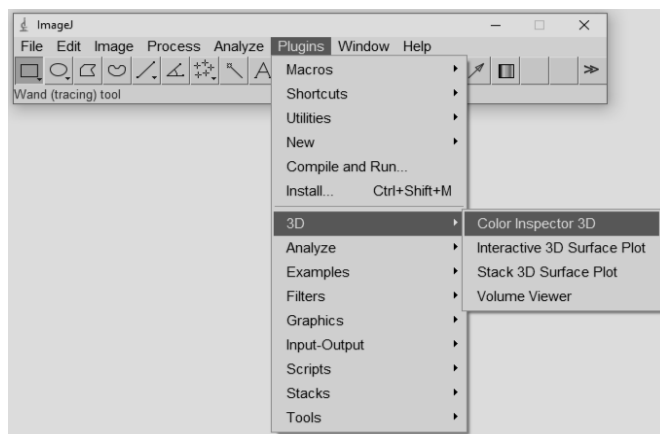


Рисунок 4.23 – Смешивание протравленного и непротравленного ячменя в барабане

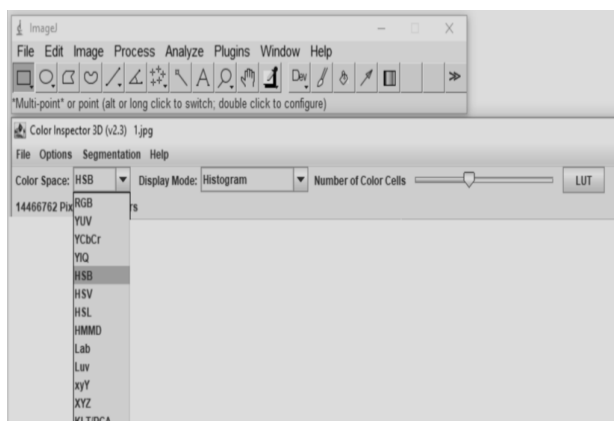
Такой прием смешивания был принципиален: перенос части действующих веществ и красителя с «красной» фракции на «белую» при контакте ускоряет выравнивание покрытия и повышает чувствительность цветового контроля. Смешивание проводили в барабане, чтобы исключить повреждение зерновок, минимизировать локальные зоны переувлажнения и обеспечить равномерное обволакивание за счет перекачивания и скольжения без внутренних мешалок.



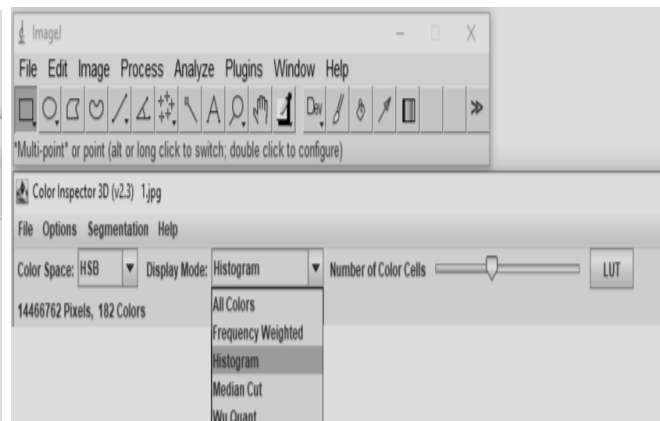
a



b



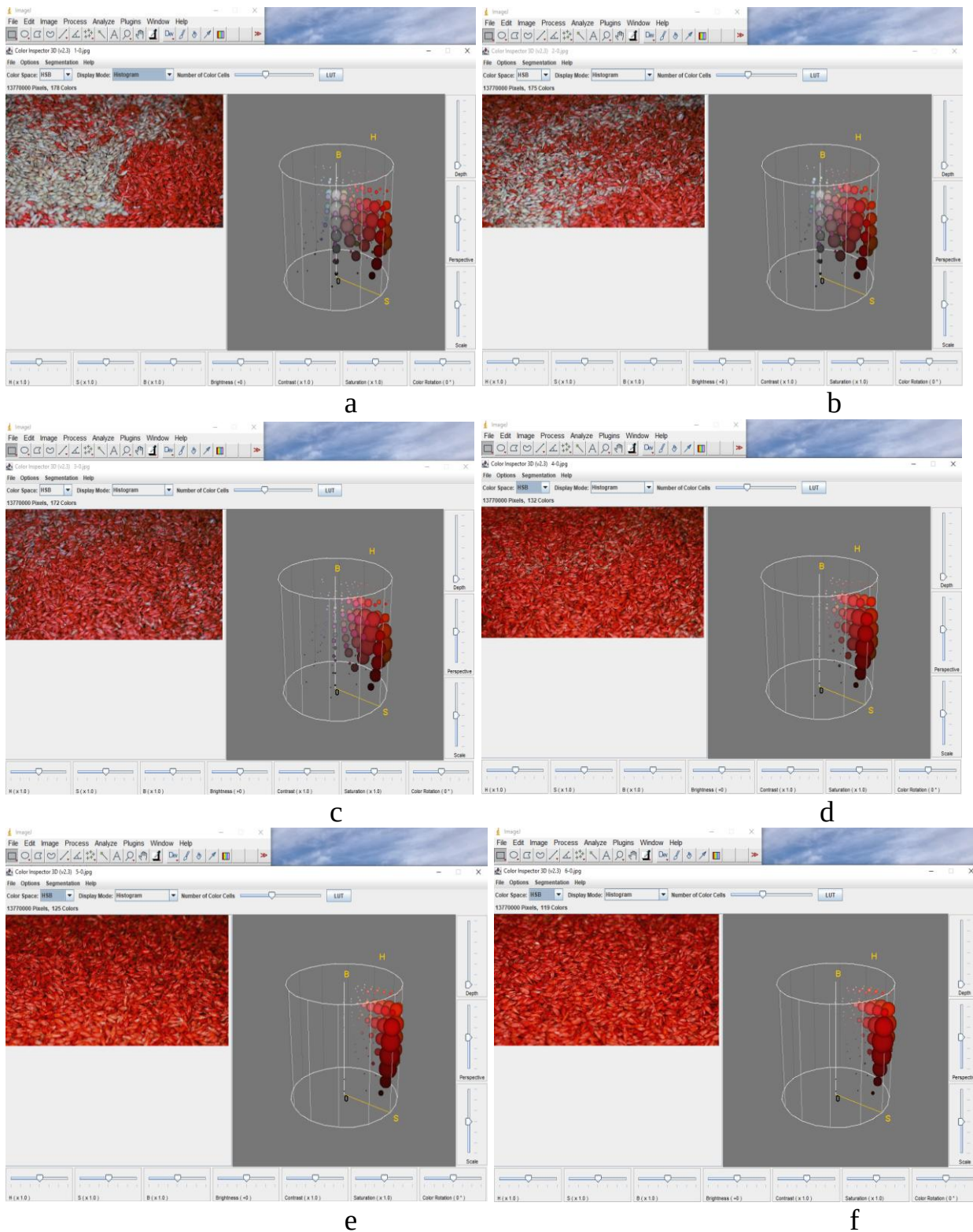
c



d

a – загрузка фотографии; b – открытие инструмент Color Inspector 3D для визуализации и анализа цветовой информации в трехмерном пространстве; c – функция включения Color Space: HSB; d – функция включения Display Mode: Histogram

Рисунок 4.24 – Алгоритм анализа цифровых изображений в ImageJ



a - результат анализа фотографии сделанной после 1 оборота барабанного смесителя семян; b - результат анализа фотографии сделанной после 2 оборота барабанного смесителя семян; c - результат анализа фотографии сделанной после 3 оборота барабанного смесителя семян; d - результат анализа фотографии сделанной после 4 оборота барабанного смесителя семян; e - результат анализа фотографии сделанной после 5 оборота барабанного смесителя семян; f - результат анализа фотографии сделанной после 6 оборота барабанного смесителя семян.

Рисунок 10 - Обработка цифровых изображений в ImageJ

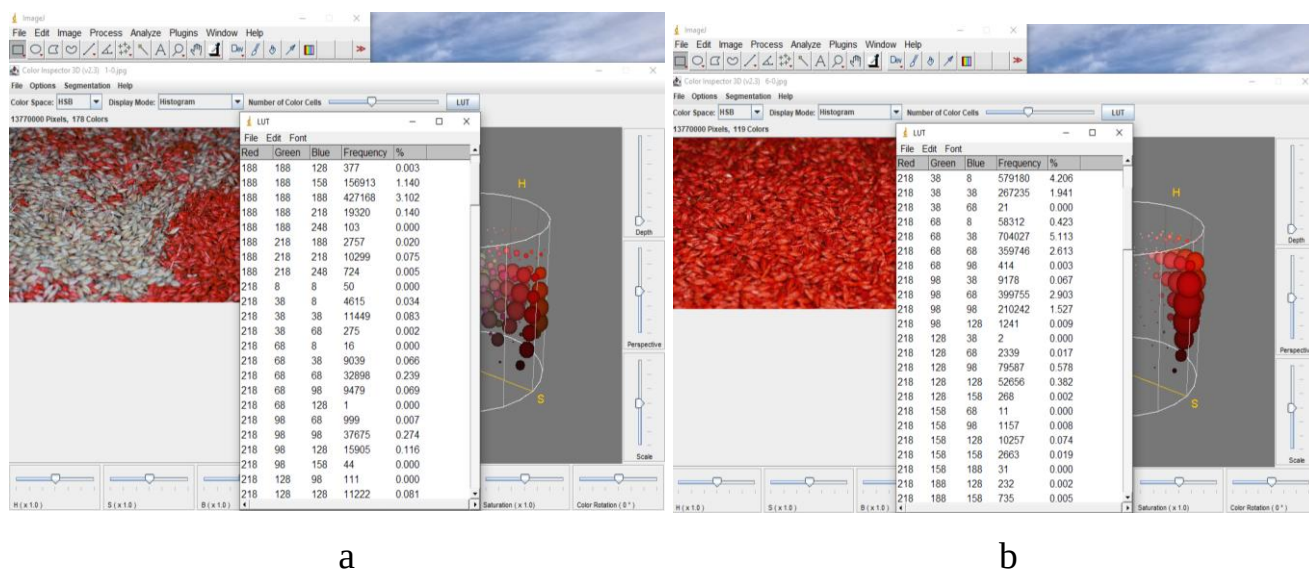
Съемка смеси семян выполнялась строго после каждого полного оборота барабана и до достижения визуально полного покрытия. В ходе серий фотосъёмок выдерживалось постоянное расстояние до слоя семян, ракурс и экспозиционные параметры, чтобы исключить геометрические и световые искажения. Полученные снимки поэтапно (после 1-го, 2-го ... 6-го оборота) загружались в программный комплекс ImageJ.

Анализ проводили в двух взаимодополняющих плоскостях: в Color Inspector 3D выбирали цветовое пространство HSB и режим Histogram для оценки сужения палитры и смещения оттенков к единому тону; параллельно изучали LUT в RGB, что позволяло количественно подтвердить доминирование красного цвета над зелёным и синим. Такой комбинированный подход давал как наглядную, так и числовую картину выравнивания окраски.

Критериями качества служили сужение цветовой палитры на гистограммах (тенденция к одному доминирующему красному тону), снижение количества уникальных цветов между последовательными кадрами, а также рост доли красной компоненты RGB относительно зелёной и синей. Уже после первого оборота фиксировалась смешанная палитра с частичным превосходством красного канала, что отражало начавшийся перенос красителя. К шестому обороту наблюдалось выраженное смещение гистограммы к практически монотонному красному, количество уникальных цветов уменьшилось с 178 до 119, а доля красного канала в LUT достигала примерно 99,99% по отношению к зелёному и синему.

При визуальном анализе поверхность семян выглядела очень равномерно окрашенной, почти без различий в оттенках. Это важно, потому что такое единообразие говорит о том, что цвет стал одинаковым, а пленка ядохимиката легла ровно и однородно.

Таблицы функций LUT в приложении Б и В иллюстрируют формирование цветовой палитры в процессе смешивания семян после первого и шестого оборотов барабанного смесителя соответственно.



а - таблица соответствий LUT после 1 оборота барабанного смесителя семян; б - таблица соответствий LUT после 6 оборота барабанного смесителя семян

Рисунок 4.26 - Таблица соответствий, иллюстрирующая работу LUT

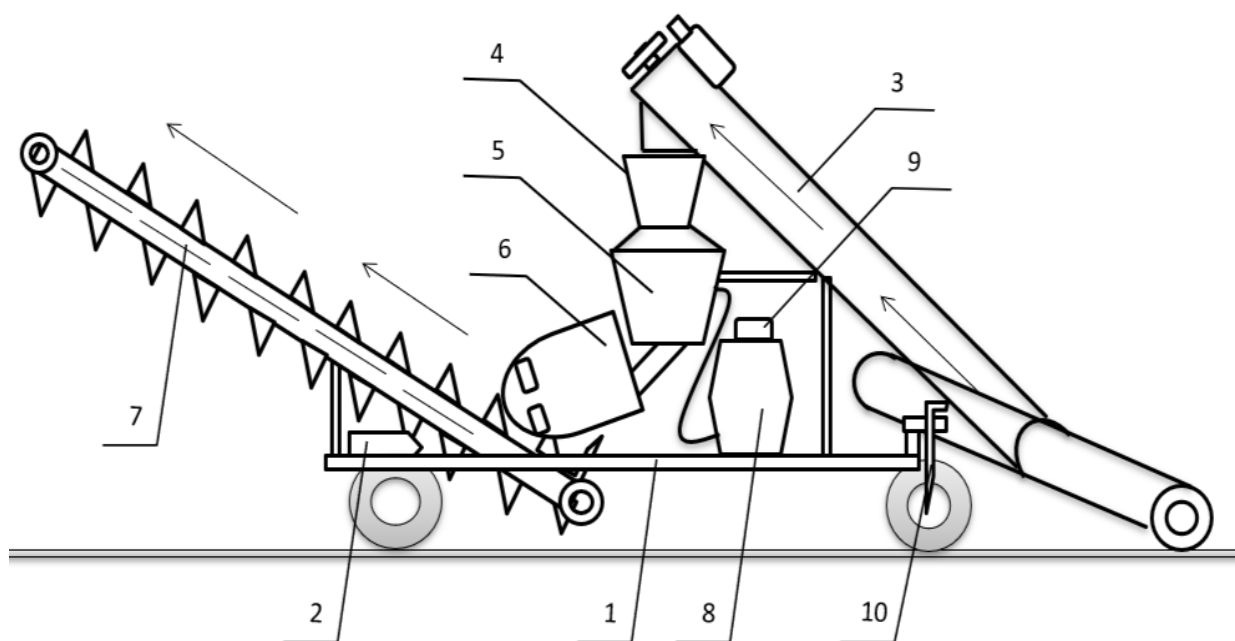
Анализ, представленный в приложении Б, демонстрирует, что после первого оборота в RGB-палитре наблюдается преобладание зеленого (Green) и синего (Blue) цветов над красным (Red). Зеленый цвет превышает красный на 39 единиц, а синий – на 37 единиц.

Ситуация кардинально меняется к шестому обороту, как показано в приложении В красный компонент (Red) становится практически абсолютным, занимая 99,99% палитры и значительно опережая зелёный (Green) и синий (Blue).

Цифровой анализ изображений в ImageJ обеспечивает воспроизводимую и технологичную методику. Она позволяет гибко настраивать параметры протравливания (скорость, время, загрузку, концентрацию), документировать результаты и сравнивать различные режимы. Благодаря объективному критерию цветовой однородности, риск недопротравливания значительно снижается. Практическим преимуществом также является наличие яркого красного маркера в протравливателе семян. Это упрощает идентификацию обработанных семян и служит надежным индикатором равномерности нанесения при контроле качества.

4.6 Результаты полевых исследований протравливателя семян с барабаном

Полевые исследования протравливателя семян с барабаном проводились в сельхозпредприятии ООО «Мир» Александро-Невского района, Рязанской области. Данный агрегат предназначен для обработки семян перед севом средствами защиты на водной основе.



1 - рама с колесами, 2 - механизм самопередвижения, 3 - загрузочное устройство, 4 - бункер семян, 5 - камера протравливания, 6 – барабан, 7 – прорезиненный ленточный транспортёр, 8 - резервуар ядохимикатов, 9 - дозатор ядохимикатов, 10 - поворотный механизм.

Рисунок 4.27 - Схема устройства протравливателя семян с барабанным смесителем

Производительность такого протравливателя составляет 10 тонн в час. Габариты составляют 4,5м в длину, 2м в ширину и 1,7м в высоту. Масса 420 килограммов. Максимальная потребляемая мощность 6,5кВт/ч. Емкость бака для рабочего раствора составляет 130 литров.



Рисунок 4.28 – Опытный образец протравливателя семян с барабанным смесителем

Параметры опытного протравливателя семян обеспечивают его высокую маневренность на складах сельскохозяйственного предприятия, позволяют проводить протравливание семян в сжатые сроки и 100% покрытием семян защитными средствами.



а



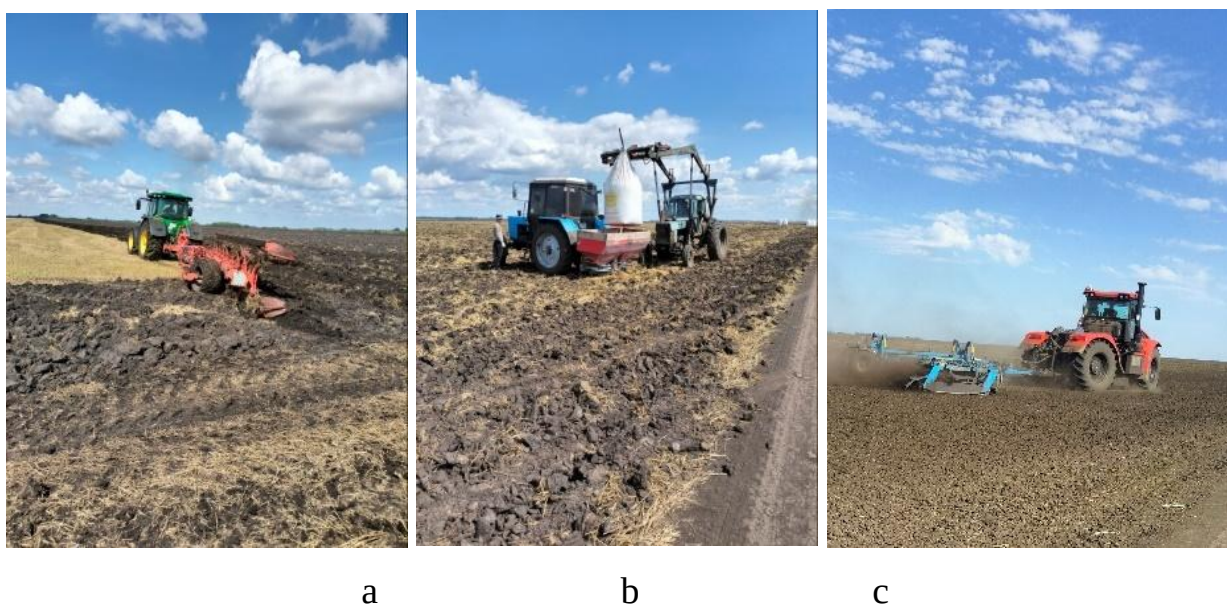
б

а – протравливание семян ячменя на протравливателе семян с барабаном; б - протравливание семян ячменя на протравливателе семян ПС-10.

Рисунок 4.29 – Обработка семян протравливателем

С целью изучения эффективности барабана при протравливании семян был проведён полевой эксперимент с пивоваренным ячменём сорта «Грейс». Семена из одной партии разделили на две группы: первую обработали на опытном протравливателе, а вторую — на протравливателе ПС 10, после чего произвели посев. (рисунок 4.29).

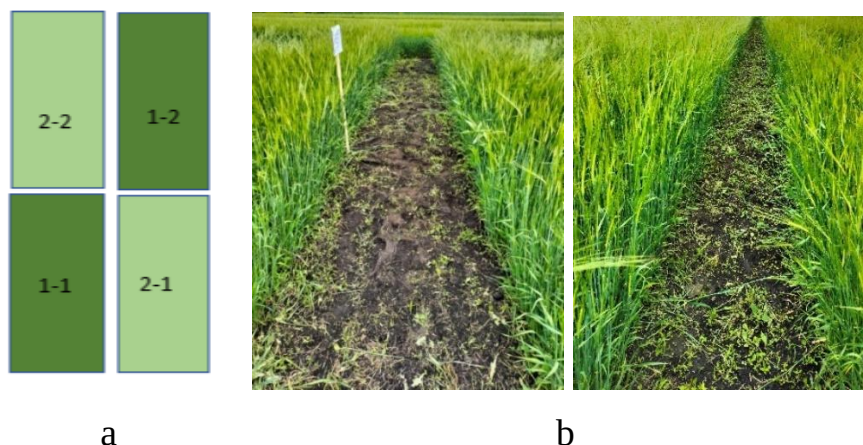
Для проведения полевого эксперимента был выбран участок с однообразной почвой, который был предварительно подготовлен: проведена глубокая вспашка, боронование, а затем культивация для создания оптимальной структуры почвы. На участке было внесено удобрение, подобранное в зависимости от потребностей растений и свойств почвы (рисунок – 4.30) [23,51,103].



а - вспашка почвы; б – внос удобрений; с - культивация

Рисунок 4.30 – Подготовка почвы

Опытный участок был разбит в прямоугольные группы в два яруса: в первой группе семена были подготовлены на протравливателе с барабанным смесителем, а во второй — на машине ПС-10 (рисунок 4.31). Размер одного участка был 12х465 метров или 0,558га, общая площадь четырёх опытных участков составила 2,232 га. Сев был осуществлён в оптимальные агрометеорологические условия, с учётом прогноза погоды на ближайшие дни.



а - схематический план полевого опыта; б – разделяющие деланки дорожки

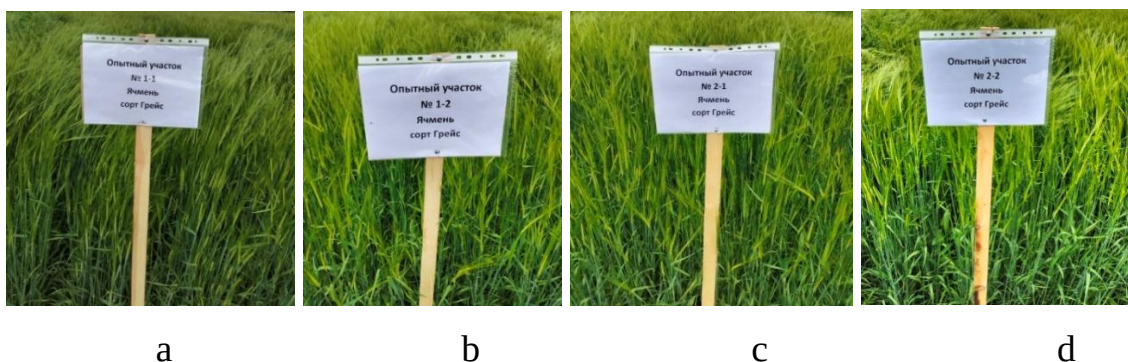
Рисунок 4.31 – Расположение опытных участков

Каждая группа семян была посеяна с соблюдением рекомендованных норм и глубины заделки, что должно было обеспечить равномерное распределение семян по площади и максимальную эффективность их прорастания. Также между деланками были предусмотрены разделяющие дорожки шириной 50 см.



а – затаривание семян ячменя сорта Грейс в посевной комплекс Vaderstad Rapid; б – сев опытных участков посевным комплексом Vaderstad Rapid

Рисунок 4.32 – Сев семян ячменя сорта Грейс на опытных участках



a – опытный участок №1-1 сева ячменя пивоваренного, сорт Грейс, обработанных на протравливателе семян с барабаном; b – опытный участок №1-2 сева ячменя пивоваренного, сорт Грейс, обработанных на протравливателе семян с барабаном; c – опытный участок №2-1 сева ячменя пивоваренного, сорт Грейс, обработанных на протравливателе семян ПС-10; d – опытный участок №2-2 сева ячменя пивоваренного, сорт Грейс, обработанных на протравливателе семян ПС-10;

Рисунок 4.33 – Опытные участки.



a – сравнение высоты растений семян ячменя сорта Грейс на участках №1-1, 1-2 и № 2-1, 2-2; b – рамка 100x100мм для оценки густоты и развития растений; c – наличие растений ячменя, поражённых твёрдой головнёй на опытных участках №2-1 и 2-2; d – колосья ячменя поражённые твёрдой головнёй на опытных участках №2-1 и 2-2; e – корневая система ячменя поражённого твёрдой головнёй имеющая поврежденные семена на опытных участках №2-1 и 2-2; f - корневая система ячменя отстающего в росте с некачественным протравливанием семян на опытных участках №2-1 и 2-2.

Рисунок 4.34 – Оценка развития ячменя сорта Грейс на опытных участках.

В течение всего периода вегетации за участками велось тщательное наблюдение. Отмечались различные параметры: скорость прорастания, состояние растений, наличие вредителей и болезней, а также влияние погодных условий. Участки с семенами, подготовленными на протравливателе с барабаном, показали более высокую скорость всходов и лучшее развитие растений.

В конце вегетационного периода был проведён тщательный анализ результатов роста и развития ячменя, который позволил получить данные о высоте растений, выращенных из семян, подготовленных с использованием различных агрегатов для протравливания. В частности, ячмень, полученный из семян, обработанных на протравливателе с барабаном, продемонстрировал высоту от 40 до 70 сантиметров. В то же время, растения, выращенные из семян, подготовленных на протравливателе ПС-10, показали меньшую высоту, варьирующуюся от 30 до 60 сантиметров (Рисунок 4.34а).

Для более детального анализа было использовано специальное оборудование, а именно рамка размером 100 на 100 см, с помощью которой удалось определить плотность растений. В результате подсчётов было установлено, что на одном квадратном метре в среднем располагается 1530 растений на участках №1-1, 1-2, а на участках №2-1 и 2-2 количество растений в среднем составило 1480.

На участках №2-1 и 2-2 были зафиксированы случаи поражения растений твёрдой головнёй, что является довольно серьёзной проблемой для сельского хозяйства (рисунок 4.34). Споры этого патогена, находящиеся в почве, начинают прорастать сразу после посева семян, образуя базидии, которые в свою очередь производят базидиоспоры. Эти споры развиваются в первичный мицелий, а затем формируют гифы, способные заражать растения ещё в почве. Существуют определённые условия, способствующие развитию этого патогена: высокая влажность почвы и высокая температура воздуха. Всё это может привести к серьёзным потерям урожая.

Семена, которые были повреждены или недостаточно обработаны ядохимикатом, становятся особенно подверженными заражению твёрдой

головнёй. Это заболевание негативно сказывается на общем состоянии растений, угнетая их развитие и снижая урожайность. По результатам исследований, количество поражённых растений на опытном участке составило всего 0,4%, что, тем не менее, является значительным показателем (Рисунок 4.34е). Кроме того, растения, выросшие из семян с неполным покрытием ядохимикатом перед севом, также отстают в своём развитии. Недостаточная обработка семян приводит к снижению их иммунитета, что делает растения более восприимчивыми к заболеваниям (рисунок 4.34f) [4,137].

Также была проведена оценка урожайности семян. Валовой сбор ячменя на участках №1-1 и 1-2 составил 43 центнера, что соответствует 38,5 центнера на гектар. В то же время, на двух других участках №2-1 и 2-2 валовый сбор составил 38 центнеров, или 34,05 центнера на гектар.



а



б

а – выгрузка из комбайна семян ячменя с обмолоченных участков; б – взвешивание на весах автомашины с семенами ячменя.

Рисунок 4.35 – Уборка опытных участков



a

b

c

a – вес тары (автомобиля); b - вес семян ячменя с опытных участков №1-1, №1-2; c - вес семян ячменя с опытных участков №2-1, №2-2.

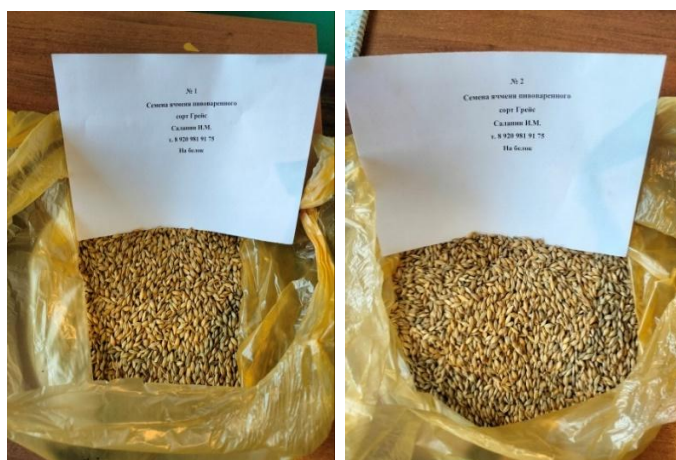
Рисунок 4.36 – Результаты взвешивания на электронных весах

Таким образом, урожайность на участках, где использовался протравливатель с барабаном, оказалась выше на 11,5%. Данная разница в урожайности семян ячменя объясняется несколькими факторами, связанными как с особенностями обработки семян, так и с агрономическими условиями на опытных участках, которые влияют на развитие растений. Протравливатель с барабаном обеспечивает более равномерное распределение протравливающего вещества по поверхности семян, что в свою очередь, способствует более эффективной защите от болезней и вредителей, кроме того, данный агрегат не повреждает семенной материал.

Одним из самых важных показателей пивоваренного ячменя это содержание белка в зерне, которое согласно ГОСТ 5060-2021 должно находиться в пределах не выше 12%, что считается положительным показателем для достижения высококачественного продукта. Однако степень изменчивости биохимических показателей качества зерна зависит от множества факторов. К ним относится не только генетический аспект, связанный с конкретным сортом, но и влияние природных катаклизмов, технологии возделывания, а также состав плодородного слоя почвы [27].

Одним из значимых факторов, влияющих на качество зерна, является обработка семян перед их высевом и степень их повреждения. Некачественное протравливание семян и наличие поврежденных семян могут создавать

стрессовые условия для растений, что негативно сказывается на их росте и развитии. В таких условиях растения могут столкнуться с трудностями, что в конечном итоге приводит к снижению их общей продуктивности [20,21].



а

б

а - отбор проб семян ячменя с опытных участков № 1-1 и 1-2; б - отбор проб семян ячменя с опытных участков № 2-1 и 2-2;

Рисунок 4.37 – Проведение исследований семян ячменя сорта Грейс на белок

Синтез и накопление белков в зерновках злаковых культур, таких как ячмень, осуществляется в основном за счет оттока азотистых веществ, преимущественно аминокислот, из вегетативных органов. Это происходит потому, что после цветения поглощение минерального азота корнями значительно сокращается, и растения начинают использовать запасы, накопленные ранее. В условиях стресса, вызванного некачественной обработкой семян или повреждениями, может привести к увеличению содержания белка в зерне. Таким образом, несмотря на возможное снижение урожайности, содержание белка может возрасти. Это создает интересный парадокс: некачественная обработка семян и наличие поврежденных семян могут способствовать повышению содержания белка, что может негативно сказаться на конечном результате.

Согласно данным, полученным в ходе исследований, проведенных ФГБУ «Росагрохимслужба», содержание белка в ячмене сорта Грейс с опытных участков 1-1 и 1-2 составило 11,58%. Этот показатель соответствует требованиям,

предъявляемым к пивоваренному ячменю, что говорит о его высоком качестве. Белок ячменя с опытных участков 2-1 и 2-2 составил 15,67%, что не соответствует стандартам пивоваренного ячменя.

Выводы по 4 главе

1. В результате двухфакторного эксперимента установлено, что рациональными параметрами барабана протравливателя являются радиус барабана 0,70 м, угол наклона оси вращения барабана 14 градусов, частота вращения барабана 35 об/мин.

2. Результаты исследований коэффициента трения показали существование зависимости между влажностью семян и коэффициентом трения, который они исследуют при взаимодействии с различными поверхностями. Так семена, содержащие 9,3% влаги, показали коэффициент трения, равный 0,43. Низкий уровень влажности ограничивает капиллярные силы, которые способствуют более тесному контакту между семенами и металлической поверхностью. При увеличении влажности семян до 22,7% коэффициент трения возрастает до 0,58. Семена становятся значительно прочнее и пластичнее. Установлено, что при избытке влаги в семенах они становятся мягкими и теряют свою прочность. Установлено, что умеренное повышение влажности семян увеличивает их прочность, но превышение оптимального порога ухудшает их механическую прочность.

3. Для достижения требуемой производительности (10 тонн в час) при обработке семян в барабане, определены следующие оптимальные параметры:

- частота вращения барабана 35 оборотов в минуту;
- угол наклона барабана: от 14 до 15 градусов;
- размер выходных отверстий: 5x10 см.

4. Применение фотокolorиметрического метода с построением градуировочного графика обеспечивает оперативный и точный контроль качества

протравливания семян. Это гарантирует высокое качество обработки, позволяя своевременно выявлять и устранять любые отклонения в параметрах процесса.

5. Цифровой анализ изображений в ImageJ обеспечивает воспроизводимую и технологичную методику. Она позволяет гибко настраивать параметры протравливания (скорость, время, загрузку, концентрацию), документировать результаты и сравнивать различные режимы. Благодаря объективному критерию цветовой однородности, риск недопротравливания значительно снижается.

6. Экспериментальными исследованиями установлено, что урожайность на участках, где использовался протравливатель с барабаном, оказалась выше на 11,5%. Протравливатель с барабаном обеспечивает более равномерное распределение протравливающего вещества по поверхности семян, что в свою очередь, способствует более эффективной защите от болезней и вредителей, кроме того, данный агрегат не повреждает семенной материал.

ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ СЕМЯН

Анализ и обоснование экономической целесообразности инвестиций в данную технологию. Результаты экономической оценки позволят принять обоснованное решение о внедрении современного оборудования, способствующего повышению рентабельности производства зерновых культур, а также укреплению конкурентных позиций предприятия [9,10,76].

Расчет экономической эффективности нового барабанного протравливателя семян проведем из расчёта площади сева 200га.

1. Время, необходимое для выполнения годового объема протравливания семян (T_{Γ}), ПС-10 и модернизированного протравливателя:

$$T_{\Gamma} = Q/R \quad (5.1)$$

где - $Q = 20$ т обрабатываемых семян для сева 200га.;

$R = 10$ т/ч установленная производительность протравливателя семян ПС-10 и модернизированного протравливателя.

$$T_{\Gamma_пс} = 20 / 10 = 2 \text{ ч}$$

$$T_{\Gamma_мп} = 20 / 10 = 2 \text{ ч}$$

2. Затраты труда в год (L):

$$L = T_{\Gamma} \times n \quad (5.2)$$

где - $n = 2$ человека (количество обслуживающего персонала).

$$L_{_пс} = 2 \times 2 = 4 \text{ чел.ч}$$

$$L_{_мп} = 2 \times 2 = 4 \text{ чел.ч}$$

3. Трудозатраты на тонну семян ($L1$):

$$L1 = L / Q \quad (5.3)$$

$$L1_{_пс} = 4 / 20 = 0.2 \text{ чел.ч/т}$$

$$L1_{_мп} = 4 / 20 = 0.2 \text{ чел.ч/т}$$

4. Годовые прямые затраты на выполнение работ ($Пз$):

$$Пз = Зп + Зэ + Зтор + Ао + Спр \quad (5.4)$$

- где - Зп – зарплата;
 - Зэ – энергозатраты;
 - Зтор –ТОиР;
 - Ао – Амортизация;
 - Спр – цена средств защиты.

4.1 Расчет энергетических издержек (Зэ)

$$Зэ = Q \times Ээл \times Цэл \quad (5.5)$$

где - $Q = 20$ т;

- $Ээл = 0.65$ кВт/т (энергоемкость);
 - $Цэл = 12$ руб/кВт.ч (стоимость 1 кВт.ч).

$$Зэ_{\text{пс}} = 20 \times 0.65 \times 12 = 156 \text{ руб.};$$

$$Зэ_{\text{мп}} = 20 \times 0.65 \times 12 = 156 \text{ руб.}$$

4.2. Заработная плата обслуживающего персонала (Зп)

Основная заработная плата (Зо):

$$Зо = n \times L \times \text{Стар} \quad (5.6)$$

где - Стар = 300 руб/ч (тарифная ставка).

$$Зо_{\text{пс}} = 2 \times 4 \times 300 = 2400 \text{ руб.}$$

$$Зо_{\text{мп}} = 2 \times 4 \times 300 = 2400 \text{ руб.}$$

Дополнительная премия (Здоп) устанавливается в размере 30% от суммы основного заработка:

$$Здоп = Зо \times 0.3 \quad (5.7)$$

$$Здоп_{\text{пс}} = 2400 \times 0.3 = 720 \text{ руб.}$$

$$Здоп_{\text{мп}} = 2400 \times 0.3 = 720 \text{ руб.}$$

Налоги (Зот) составляют 30.2% от суммы основной и дополнительной заработной платы:

$$Зот = (Зо + Здоп) \times 0.302 \quad (5.8)$$

$$Зот_{\text{пс}} = (2400 + 720) \times 0.302 = 942.24 \text{ руб.}$$

$$Зот_мп = (2400 + 720) \times 0.302 = 942.24 \text{ руб.}$$

Итоговая заработная плата с налогами (Зп):

$$Зп = Зо + Здоп + Зот \quad (5.9)$$

$$Зп_пс = 2400 + 720 + 942.24 = 4062.24 \text{ руб.}$$

$$Зп_мп = 2400 + 720 + 942.24 = 4062.24 \text{ руб.}$$

4.3. Затраты на амортизацию (Ао):

$$Ао = Б \times А \quad (5.10)$$

где - А = 16.7% (норма амортизации)

- Бпс = 470000 руб. (балансовая стоимость ПС-10)

- Бмп = 390000 руб. (балансовая стоимость опытного образца)

$$Ао_пс = 470000 \times 0.167 = 78490 \text{ руб.}$$

$$Ао_мп = 390000 \times 0.167 = 65130 \text{ руб.}$$

4.4. Затраты, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием (Зто):

$$Зто = Б \times Нот \quad (5.11)$$

где - Б – балансовая стоимость;

- Нот = 6.8% (установленный норматив затрат на ТО и ремонт).

$$Зто_пс = 470000 \times 0.068 = 31960 \text{ руб.}$$

$$Зто_мп = 390000 \times 0.068 = 26520 \text{ руб.}$$

4.5. Стоимость препарата (Спр):

$$Спр = Цпр \times Qпр \times Q \quad (5.12)$$

где - Цпр = 2300 руб/л (стоимость препарата за 1 литр);

- Qпр = 0.4 л/т (расход препарата на 1 тонну);

- Q = 20 тонн;

$$Спр_пс = 2300 \times 0.4 \times 20 = 18400 \text{ руб.};$$

$$Спр_мп = 2300 \times 0.4 \times 20 = 18400 \text{ руб.}$$

4.6. Итоговые прямые затраты (Пз):

$$Пз_пс = 156 + 4062.24 + 78490 + 31960 + 18400 = 133068.24 \text{ руб.}$$

$$Пз_мп = 156 + 4062.24 + 65130 + 26520 + 18400 = 114268.24 \text{ руб.}$$

5. Стоимость дополнительной продукции (Сдоп_мп):

$$Сдоп_оп = Цп \times Н \times S_{пос} \quad (5.13)$$

где - Цп = 13000 руб/т (цена продажи единицы продукции);

- Н = 11.5% (увеличение урожайности, предполагается в тоннах на га, для расчета принимаем среднюю урожайность 3,4 т/га, итого Н = 0,39 т/га);

- Sпос = 200 га (площадь посева).

$$Сдоп_мп = 13000 \times 0,39 \times 200 = 1\,014\,000 \text{ руб.}$$

6. Для определения годового экономического эффекта (Эг) используем формулу, учитывающая разницу в затратах и стоимость дополнительной продукции:

$$Эг = Пз_пс - Пз_мп + Сдоп_мп \quad (5.14)$$

Эг = 133068.24 - 114268.24 + 1 014 000 = 1 032 800 руб. – в такой сумме оценивается годовой экономический эффект.

7. Экономический эффект на 1 тонну семян (Э1):

$$Э1 = Эг / Q \quad (5.15)$$

$$Э1 = 1\,032\,800 / 20 = 51640 \text{ руб/т. - прибыль от каждой тонны семян.}$$

8. Для оценки скорости возврата инвестированного капитала используется показатель (Т), рассчитываемый как отношение дополнительных капитальных вложений к годовому экономическому эффекту:

$$Т = С_{кв} / Эг \quad (5.16)$$

$$Т = 390\,000 / 1\,032\,800 \approx 0.38 \text{ года.}$$

Таким образом, ожидаемый срок окупаемости составляет около 4.56 месяца, что можно округлить до 5 месяцев.

Таблица 5.1 - Результаты расчета экономической эффективности модернизированного протравливателя

Показатель	ПС-10	модернизированный протравливатель
Производительность, т/ч	10	10
Балансовая стоимость, руб	470000	390000
Затраты труда, чел.ч/т	0.2	0.2
Удельная энергоемкость, кВт.ч/т	0.65	0.65
Расход препарата, л/т	0.4	0.4
Годовой экономический эффект (посев 200га), руб	-	1 032 800
Экономический эффект на 1 тонну семян, руб/т	-	51640
Ожидаемый срок окупаемости капитальных вложений, мес.	-	5

Расчет чистого дисконтированного дохода (ЧДД) от применения модернизированного протравливателя.

ЧДД является одним из основных показателей эффективности инвестиционных проектов и применяется для:

- оценки целесообразности инвестирования;
- выбора между альтернативными проектами;
- анализа чувствительности проекта к изменению параметров;
- определения критических значений ставок дисконтирования.

1. Формула расчёта ЧДД:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+E)^t} \quad (5.17)$$

где CF_t — чистый денежный поток в году t (тыс. руб.);

E — норма дисконтирования (ставка требуемой доходности), выраженная в долях единицы;

t — номер года (0, 1, 2, ..., n);

n — последний год расчётного периода;

$(1 + E)^t$ — коэффициент дисконтирования для года t .

2. Формула коэффициента дисконтирования:

$$\alpha_t = (1 + E)^t \quad (5.18)$$

Этот коэффициент показывает, во сколько раз будущая денежная сумма меньше эквивалентной ей текущей суммы при заданной ставке дисконтирования E .

3. Норма дисконтирования (ставка дисконтирования) (E)

Норма дисконтирования (E) — это минимально приемлемая ставка возврата на инвестированный капитал. Она отражает:

1. Макроэкономические факторы (безрисковая ставка и инфляция);
2. Секторальные риски (специфика сельскохозяйственного производства);
3. Микроуровневые факторы (состояние хозяйства).

Формула расчета:

$$E = R_0 + I + R_{\text{кл}} + R_{\text{вн}} \quad (5.19)$$

где R_0 — безрисковая ставка;

I — уровень инфляции;

$R_{\text{кл}}$ — премия за природно-климатические риски;

$R_{\text{вн}}$ — премия за специфические риски АПК (0-20%).

Компоненты нормы дисконтирования.

- безрисковая ставка (r_0) = 16% - отражает текущую ключевую ставку ЦБ РФ на момент оценки. Это минимальная доходность, которую инвестор может получить без риска, инвестируя в государственные ценные бумаги;

- уровень инфляции (i) = 6,27% - по данным минэкономразвития РФ. необходима для пересчета номинальных денежных потоков в реальную стоимость и обеспечения сопоставимости расчётов в условиях инфляционной среды;

- премия за природно-климатические риски ($p_{\text{клим}}$) = 0% - для регионов с благоприятными климатическими условиями или при отсутствии специфических природно-климатических угроз. может быть увеличена для зон рискованного земледелия;

- премия за специфические риски апк ($p_{\text{внутренние}}$) = 2-14% - компенсирует риски, связанные с:

- состоянием материально-технической базы хозяйства;

- структурой каналов сбыта продукции;
- уровнем и стабильностью урожайности;
- квалификацией управленческого персонала.

Сценарии для агрегата протравливания семян

Сценарий 1: Консервативный ($E = 24,27\%$)

$$E_1 = 16\% + 6,27\% + 0\% + 2\% = 24,27\% \quad (5.20)$$

Условия применения:

- хозяйство имеет современное материально-техническое оснащение (модернизация в течение последних 2 лет);
- развита собственная сеть распределения или долгосрочные договоры сбыта;
- текущая урожайность выше среднерегиональной;
- квалифицированный управленческий персонал.

При таких условиях инвестиция в новый протравливатель семян имеет низкий риск. Хозяйство способно:

- обеспечить своевременное техническое обслуживание оборудования;
- полностью реализовать потенциальный прирост урожайности на 11,54%;
- получить стабильный доход от прироста продукции;
- быстро окупить инвестиции.

Применимость - для крупных сельскохозяйственных предприятий с хорошей организацией производства.

Сценарий 2: Базовый ($E = 30,27\%$)

$$E_2 = 16\% + 6,27\% + 0\% + 8\% = 30,27\% \quad (5.21)$$

Условия применения:

- модернизация техники не проводилась в течение последних 5 лет;
- наличие долгосрочных контрактов на поставку продукции (гарантированный сбыт);
- урожайность на уровне среднерегиональной;
- среднее состояние производственной базы.

При средних показателях - увеличивается неопределённость в реализации полного потенциала инвестиции:

- возможны задержки с реализацией прироста урожайности (11,54%);
- необходимы дополнительные затраты на обучение персонала;
- риск технических сбоев при эксплуатации нового оборудования;
- наличие контрактов снижает риск, но не исключает его полностью.

Применимость - для средних хозяйств с устойчивым положением и гарантированным сбытом.

Сценарий 3: Агрессивный ($E = 36,27\%$)

$$E_3 = 16\% + 6,27\% + 0\% + 14\% = 36,27\% \quad (5.22)$$

Условия применения:

- техника не модернизировалась более 5 лет (высокий риск технических проблем);
- сбыт продукции осуществляется по факту производства (отсутствие контрактов, высокие ценовые колебания);
- урожайность ниже среднерегиональной (слабая организация производства);
- возможны управленческие проблемы.

При таких условиях - инвестиция сопряжена с высокими рисками:

- неопределённость в получении планируемого прироста урожайности (11,54%);
- риск невозможности полной амортизации оборудования при низкой рентабельности;
- нестабильный сбыт может не позволить монетизировать прирост урожайности;
- высокий риск морального и физического износа оборудования при слабом уходе.

Применимость - для малых хозяйств и фермерских хозяйств с нестабильным положением.

Использование дифференцированных ставок дисконтирования позволяет:

- адекватно оценить риски конкретного хозяйства при внедрении агрегата;
- учесть макроэкономический контекст (инфляция);
- провести анализ чувствительности инвестиции к изменению условий;
- обосновать управленческое решение о целесообразности инвестиции.

Таблица 5.2 - Расчет Чистой Дисконтированной Доходности с уровнем инфляции $\delta=0,056$ и норме доходности $E=0,2427$

Показатели	Годы					
	0	1	2	3	4	5
Капиталовложения, тыс. руб.	-390					
Прибыль от увеличения урожайности, тыс.руб.		578	578	578	578	578
Денежные потоки	-390	578	578	578	578	578
Коэффициент дисконтирования, α_m	1	1,2427	1,5444	1,9198	2,3855	2,9661
Дисконтированный годовой доход, тыс. руб.	-390	465,3	374,5	301,3	242,4	195,1
ЧДД, тыс. руб.						1188,6

При норме дисконтирования 24,27% чистая дисконтированная стоимость проекта составляет 1188,6 тыс. руб., что значительно превышает нулевое значение. Это означает, что проект:

Превышает минимальные требования к доходности — доходность проекта выше требуемых 24,27%.

Рекомендуется к реализации — инвестиция в проект целесообразна и выгодна.

При норме дисконтирования 30,27% (применяемой для типичных сельскохозяйственных проектов) чистая дисконтированная стоимость составляет 1009,8 тыс. руб.

Таблица 5.3 - Расчет Чистой Дисконтированной Доходности с уровнем инфляции $\delta=0,056$ и норме доходности $E=0,3027$

Показатели	Годы					
	0	1	2	3	4	5
Капиталовложения, тыс. руб.	-390					
Прибыль от увеличения урожайности, тыс.руб.		578	578	578	578	578
Денежные потоки	-390	578	578	578	578	578
Коэффициент дисконтирования, α_m	1	1,3027	1,6970	2,2112	2,8824	3,7577
Дисконтированный годовой доход, тыс. руб.	-390	443,6	340,6	261,3	200,5	153,8
ЧДД, тыс. руб.						1009,8

Таблица 5.4 - Расчет Чистой Дисконтированной Доходности с уровнем инфляции $\delta=0,056$ и норме доходности $E=0,3627$

Показатели	Годы					
	0	1	2	3	4	5
Капиталовложения, тыс. руб.	-390					
Прибыль от увеличения урожайности, тыс. руб.		578	578	578	578	578
Денежные потоки	-390	578	578	578	578	578
Коэффициент дисконтирования, α_m	1	1,3627	1,8571	2,5297	3,4469	4,6970
Дисконтированный годовой доход, тыс. руб.	-390	424,3	311,2	228,6	167,6	123,0
ЧДД, тыс. руб.						864,7

При норме дисконтирования 36,27% (соответствующей высокорискованным сельскохозяйственным проектам) чистая дисконтированная стоимость составляет 864,7 тыс. руб.

Это свидетельствует о том, что:

Проект сохраняет экономическую эффективность — даже при значительном увеличении требуемой доходности (на 6 процентных пункта по сравнению с Таблицей 2) ЧДД остаётся положительной и существенной.

Запас прочности сокращается, но остаётся адекватным — снижение ЧДД на 144,4 тыс. руб. (с 1009,8 до 864,7) свидетельствует о росте инвестиционного риска, однако проект продолжает генерировать положительную стоимость.

Проект рекомендуется к реализации — экономическая целесообразность инвестиций достаточная.

Выводы по 5 главе

1. Конкурентное преимущество протравливателей семян с барабаном заключается в гарантии высокого качества обработки семян средствами защиты, сохраняя их целостность и обеспечения максимальной эффективности протравливания. Урожайность при использовании протравливателя с барабаном, выше на 11,5%, а содержание белка в зерне соответствует ГОСТ 5060-2021, не выше 12% [27].

2. Анализ экономической эффективности применения протравливателя семян с барабаном показал, что ключевым источником дохода является повышение урожайности. Проведён расчёт Чистого дисконтированного дохода для различных сценариев экономической ситуации – консервативный, базовый, агрессивный. Снижение ЧДД со 1188,6 тыс. руб. (при норме доходности 24,27%) до 864,7 тыс. руб. (при норме доходности 36,27%) демонстрирует прямую зависимость инвестиционной привлекательности проекта от требуемой нормы доходности. Проект остается жизнеспособным и привлекательным для инвестора во всех трех сценариях.

3. Применение опытного барабанного протравливателя по подготовке семян для площади сева 200 гектаров является экономически эффективным, и капитальные вложения окупятся примерно за 5 месяцев. Ежегодная экономическая выгода составит 1 032 800 рублей, или 51 640 рублей с одной тонны семян. Основным фактором, способствующим экономическому эффекту, является увеличение урожайности на 11,5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ машин для протравливания семян показал, что, они не дают стопроцентного покрытия семенного материала защитными средствами, а их транспортирующие и смесительные устройства наносят различные механические повреждения семенам. Предложено внедрение барабанных протравливателей для обеспечения полноценного покрытия семян ядохимикатом и снижения повреждений.

2. Получена теоретическая зависимость истечения семян через прямоугольные отверстия в задней части смесителя. Основные параметры смесителя: для достижения производительности около 10 тонн в час необходимы отверстия размером 0,05х0,10 метра, угол наклона барабана от 10 до 15 градусов при частоте вращения смесителя 35-40 оборотов в минуту.

3. В результате многофакторного эксперимента установлено, что рациональными параметрами барабана протравливателя являются радиус барабана 0,35 м, угол наклона оси вращения барабана 14 градусов, частота вращения барабана 35 об/мин.

4. Экспериментальными исследованиями для требуемой производительности (10 тонн в час) обработки семян в барабане определены следующие рациональные параметры частота вращения барабана 35 оборотов в минуту, угол наклона барабана: от 14-15 градусов, размер выходных отверстий: 0,05х0,10 м.

5. Сравнительный анализ и полевые исследования показали, что использование протравливателя семян с барабаном обеспечивает более равномерное покрытие защитными средствами, снижает повреждения семян. В результате урожайность увеличивается на 11,5% по сравнению с протравливателем ПС-10. Применение опытного барабанного протравливателя по подготовке семян для площади сева 200 гектаров является экономически эффективным, и капитальные вложения окупятся примерно за 5 месяцев.

Ежегодная экономическая выгода составит 1 032 800 рублей, или 51 640 рублей с одной тонны семян.

Предложения производству

Для повышения эффективности протравливания и снижения повреждений семян необходимо применять барабанный протравливатель с планчатым резиновым транспортёром.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейшей перспективе научных исследований необходимо продолжить работу в направлении модернизации барабанных протравливателей с уточнением параметров и режимов работы с помощью искусственного интеллекта.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Абеленцев, В. И. От чего зависит качество обработки семян / В.И. Абеленцев // Защита и карантин растений. -2005. -№ 1. -46 с.
- 2 Антонов, С. И. Механические процессы и аппараты химической технологии. Смещение сыпучих материалов: учебно-методическое пособие / С. И. Антонов, Е. П. Аристова, Н. Н. Лясникова, Г. А. Малков. - РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2017. -62 с.
- 3 Ахматов, А. А. Совершенствование процесса распределения зернового вороха по ширине рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Ахматов. - Воронеж, 2017. -155 с.
- 4 Ахматов, А.А. Травмирование зерна шнековым питающим устройством / А.А. Ахматов, В.И. Оробинский, В.Н. Солнцев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. -2015. -№ 4 (47). -С. 98-101.
- 5 Байгускаров, М.Х. Совершенствование барабанного протравливателя для предпосевной обработки семян биопрепаратами: дис. канд. техн. Наук: 05.20.01 / М.Х Байгускаров. -Уфа. -2011. -143 с.
- 6 Бакин, И.А. Разработка смесительного агрегата для переработки сыпучих материалов с небольшими добавками жидкости: Автореферат диссертационной работы кандидата технических наук: 05.18.04 / И.А. Бакин. - Кемерово. -1998. -10 с.
- 7 Баруча-Рид, А.Т. Элементы теории марковских процессов и их приложения / А.Т. Баруча-Рид. -М.: Наука. -1969. -225 с.
- 8 Барышев, Д.Д. Методы диагностики травмированных семян пшеницы / Д.Д.Барышев, Н.Н. Барышева, С.П. Пронин // Ползуновский альманах. -2019. -№ 4. -С. 121-123.
- 9 Бердникова, Т.Б. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия: Учебное пособие / Т.Б. Бердникова. -М.: ИНФРА -М. - 2013 -413 с.

- 10 Бочаров, В.В. Финансовый анализ / В.В Бочаров. Краткий курс. 2-е изд. -СПб.: Питер. -2009 -240 с.
- 11 Бурмистров, А.Н. Современные протравливатели семян зерновых культур / А. Н. Бурмистров, В.А. Вялых // АРК News. -2024. -№72. -С. 46-48.
- 12 Бытев, Д.О. Описание процесса смешения сыпучих материалов в центробежном аппарате непрерывного действия/ Д.О Бытев, В.А. Копейкин, А.И. Зайцев // Ярославский политехнический институт. -1984, -11 с.
- 13 Валуйский, Б.Я. О неравномерности продвижения частиц сыпучего материала через наклонный вращающийся барабан. / Б.Я. Валуйский // Изв. вузов: Пищевая технология. -1965. -№2. -С. 127 -131.
- 14 Воробьев, Н.А. К вопросу об исследовании разрушения зерна при динамическом и статическом сжатии / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд, Л.Г. Ванькович, Т.В. Паромчик // Минск. -БГАТУ. -2015. -С. 153-156.
- 15 Вялых, В.А. Природоохранная технология применения средств защиты растений по замкнутому циклу /В.А. Вялых [и др.]/ / Труды 2- й Международной научно- практической конференции по проблеме дифференцированного применения удобрений в системе координатного земледелия/ Машинные технологии дифференцированного применения удобрений и мелирантов. -Рязань. -2001. -С. 238- 239.
- 16 Вялых, В.А. Совершенствование технологического процесса протравливания семян / В.А. Вялых, С.Н. Савушкин // Защита и карантин растений. -2011. -С. 39-42.
- 17 Габдрахманов, И.Х. Рекомендации по обеспечению качества уборки хлебов, послеуборочной обработки зерна и семян зерновых, зернобобовых и крупяных культур /И.Х. Габдрахманов, Э.Г. Нуруллин Ю.В. Еров, Д.З. Салахияев, и др. -Казань: Издательско - полиграфическая компания. -2011.
- 18 Галкин, В.Д. Технологии, машины и агрегаты послеуборочной обработки зерна и подготовки семян / В.Д.Галкин, А.Д.Галкин. -Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова. - 2021. - 234 с.

- 19 Гардинер, К.В. Стохастические методы в естественных науках / К.В. Гардинер. -М.: Мир. -1986. -528 с.
- 20 Гимадиев, А.М. Технология обеспечения сохранности зерна / А.М. Гимадиев // Международный журнал экспериментального образования. - 2010. - № 7. - С. 117-117.
- 21 Гимадиев, А.М. Травмирование семян / А.М. Гимадиев. -Агроинформ. -2010. -№6. -С. 18-19.
- 22 Гольтянин, В.Я. Машины и оборудование для производства и послеуборочной обработки зерна / В.Я. Гольтянин. -Москва: Росинформаготех. - 2013. -96 с.
- 23 Гончаров, П.Л. Методические основы селекции растений / П.Л. Гончаров, Н.П. Гончаров. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. Ун-та. -1993. -312 с.
- 24 ГОСТ 12036-2025 Семена сельскохозяйственных растений. Правила приемки и методы отбора проб – М.: Стандартиформ. -2025. -24с.
- 25 ГОСТ 13586.3-2015 Зерно. Правила приемки и методы отбора проб – М.: Стандартиформ. -2025. -24с.
- 26 ГОСТ 13586.5-2015 Зерно. Метод определения влажности (с Поправками) – Введ. 2016-07-01. – М.: Стандартиформ. -2019. -14 с.
- 27 ГОСТ 5060-2021 Ячмень пивоваренный. Технические условия – М.: Стандартиформ. -2021. -10с.
- 28 ГОСТ Р 52325 – 2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия: -Стандартиформ. – 2005. – 20 с.
- 29 ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М.: Стандартиформ -2008. –11 с.
- 30 ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. -Стандартиформ. - 2008. -61 с."
- 31 ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки – М.: Стандартиформ. -2009. – 20 с.

- 32 Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры / А.М. Григорьев. -М., Машиностроение. -1972. -184 с.
- 33 Груздев, Г.С. Химическая защита растений. Учебник для вузов / Г.С. Груздев. -М.: Агропромиздат. -1987. -415 с.
- 34 Демин, О.В. Совершенствование методов расчета и конструкций лопастных смесителей: Автореферат диссертации канд. техн. Наук: 05.02.13 / О.В. Демин -ТГТУ. -2003. -17 с.
- 35 Димитов, В.П. Методические указания для выполнения практической работы «Однофакторный эксперимент. Определение коэффициента трения семян» по дисциплине «Основы теории эксперимента» / В.П. Димитров, Е.М. Зубрилина, И.А. Маркво, В. И. Новиков. -Ростов-на-Дону. - ДГТУ. -2018. -29 с.
- 36 Дозоров, А. Влияние предпосевной обработки семян пектином и микроэлементами на качество урожая озимой пшеницы, гороха и сои / А. Дозоров, В. Исайчев, Н. Андреев // Зерновое хозяйств. -2001. -№ 1(4). -С. 31-33.
- 37 Долженко, В.И. Протравливание семенного материала / В.И. Долженко, Г.Ш. Котикова, С.Д. Здрожевская и др. -М. -2003. -62 с.
- 38 Дондоков, Ю.Ж. Концептуальные вопросы сохранения качества семян при послеуборочной обработке и хранении / И.Н. Аммосов, В.М. Дринча, А.З. Платонова, А.С. Филатов // ВЕСТНИК АГАТУ. -2024. -№ 4 (16) -С. 55-66.
- 39 Дондоков, Ю.Ж. Физические свойства семян и разработка технологий их подготовки / Ю.Ж. Дондоков, Ш.Т. Юсупов, В.М. Дринча, И.Н. Аммосов // ВЕСТНИК АГАТУ. -2024. -№ 1(13). -С. 14-27.
- 40 Дорогов, Е. Тест-драйв протравливателей / Евгений Дорогов // Новый аграрный журнал. - март-май -2011. -№2(2). – С. 36–47.
- 41 Дринча, В. М. Мобильная установка для предпосевной микробной обработки овса жидкими биопрепаратами в условиях Центральной Якутии / В. М. Дринча, Ю. Ж. Дондоков, А. З. Платонова, Н. П. Тарабукина, М. П. Неустроев, В. В. Осипова, В. В. Пахомов // Кормопроизводство. -2023. -№10. -С. 17-20.
- 42 Дринча, В. М. Особенности предпосевной обработки семян с применением микробных препаратов / В.М. Дринча, Ю.Ж. Дондоков, А.З.

Платонова, И.Н. Аммосов, В.В. Пахомов // ВЕСТНИК АГАТУ. -2023. -№ 3 (11). С 16-27.

43 Дринча, В.М. Исследование сыпучести зерновых материалов в условиях стесненности / И.Н. Аммосов, С.С. Ямпиллов, Ю.Ж. Дондоков, В.М. Дринча // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. -2024. -№ 3 (76). -С. 145-155.

44 Дурнев, А.С. Применение теории цепей Маркова к моделированию процесса смешивания в гладком вращающемся барабане / А.С. Дурнев, В.Ф. Першин / Вестник ТГТУ. - 2013. - Том 19. № 4. - С. 783-791.

45 Ермакова, Т.А. Фотоколориметрический метод анализа / Т.А. Ермакова В.В. Акатьев Е.С. Дрючков. -ВолГУ. -2020. -44 с.

46 Жалнин, Э.В. Снижение механических повреждений зерна при уборке и обработке: рекомендации / Э.В. Жалнин, А.А.Майстренко. -М.: Агропромиздат. -1998. -24 с.

47 Зайнутдинов И.Р. Экспериментальное исследование производительности пневмозагрузочного устройства для протравливателей семян / И.Р. Зайнутдинов, Э.Г. Нуруллин // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. -2019. - № 21. -С. 516-519.

48 Ключков, А.В. Машины и оборудование в растениеводстве. Протравливатели семян: методические указания по выполнению лабораторной работы / А.В. Ключков и др. -Горки: БГСХА. -2021. -24 с.

49 Комова, В.И. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа: учебно-методическое пособие для высшего профессионального образования / В.И. Комова. -ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК». -2015. -107 с.

50 Коновалов, В.В. Моделирование качества смешивания сыпучих материалов барабанным смесителем / В.В. Коновалов, Н.В. Димитриев, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. -2013. -№ 9, т. 1 -С. 77-85.

51 Коновалова, Л.И. Частная селекция полевых культур / Ю.Б. Коновалов, Л.И. Долгодворова, Л.В. Степанова. -М.: Агропромиздат. -1990. -270 с.

52 Конюхов, А.Л. Руководство к использованию программного комплекса ImageJ для обработки изображений / А.Л. Конюхов. -ТУСУР. -2012. - 105 с.

53 Косарева, А.А. Использование плагинов пакета ImageJ для обработки КТ-снимков / А.А. Косарева // Электронные системы и технологии, 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. -2019. - 326 с.

54 Костенко, М.Ю. Исследование травмирования семенного зерна в протравителе пс-10 / М.Ю Костенко, И.М. Салапин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. -2025. -№ 207. -С. 356-372.

55 Костенко, М.Ю. Определение качества протравки семян ячменя фотоколориметрическим методом / М.Ю Костенко, И.М. Салапин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета

56 Костенко, М.Ю. Оценка качества протравливания семян в барабанном смесителе / М. Ю. Костенко, И.М. Салапин, М.Н Чаткин // Вестник рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. КОСТЫЧЕВА. -2025. -Том 17. №4. -С 141-150.

57 Кузнецов, В.В. Пути уменьшения травмирования семян при эксплуатации зерноочистительных агрегатов / В.В. Кузнецов // Сб. Пути снижения травмирования семян с.-х. машинами и повышения их качества. Воронеж. - 1983. - С. 121-132.

58 Купреенко, А.И. Анализ рабочего процесса шнекового транспортёра-распределителя / А.И. Купреенко, В.Ф. Комогорцев // 21 век: фундаментальная наука и технологии: матер. XVI междунар. науч.-практич.конф. 25 -26 июня 2018 г. North Charleston, USA. -С. 80- 81.

59 Лаврик, И.П. Особенности послеуборочной обработки зерна и хранения зерновых культур / И.П. Лаврик, А.Г. Мякинков, Т.И. Поморцева, В.И. Загоскина // Защита и карантин растений. -2003. -№ 25. -С. 45-46.

60 Личко, Н.М. Стандартизация и подтверждение соответствия сельскохозяйственной продукции / Н.М. Личко. -М.: ДеЛи плюс. - 2019. -512 с.

61 Манойлина, С.З. Совершенствование методики определения микротравмирования зерна при послеуборочной обработке: автореф. дис. кандидат. с/х наук: 05.20.01 / С.З. Манойлина. -Воронеж. -2010. -22 с.

62 Матвейкин, В.Г. Математическое моделирование процесса движения сыпучего материала в гладких вращающихся барабанах / В.Г. Матвейкин, С.В. Фролов // Теоретические основы химической технологии. -1997. -т31. - № 3. -С. 318-323.

63 Мачнева, О.Ю. Результаты исследований по обоснованию конструктивных параметров камерного протравливателя в полевых условиях / О.Ю. Мачнева, О.Н. Кухарев, А.В. Мачнев, В.А. Мачнев, П.Н. Хорев // Нива Поволжья. -2019. -№ 3. -С. 162-170.

64 Мерданов, Ш.М. Машины непрерывного транспорта: учебное пособие / Ш.М. Мерданов, Н.И. Сморлин, А.А. Иванов, В.В. Шефер. -ТюмГНГУ. -2010. - С. 208.

65 Мизонов, В.Е. Применение теории марковских цепей к моделированию механических процессов химической технологии / В.Е. Мизонов, Е.А. Баранцева, Н. Berthiaux // Изв. вузов. Химия и химическая технология. -2001. -Т.4. -вып.3.

66 Минаева, О.М. Биопрепараты для защиты растений: оценка качества и эффективности: учебное пособие / Минаева О.М., Акимова Е.Е., Зюбанова Т.И., Терещенко Н.Н. -Издательский Дом Томского государственного университета. - 2018. -130 с.

67 Моргун, А.В. Использование пакета программного комплекса «ImageJ / FIJI» для обработки изображений / А. В. Моргун, Е. Д. Хилажева, Е. Б. Бойцова. -ФГБОУ ВО КрасГМУ. -2018. -72 с.

68 Мотовилин, А.А. Протравливание должно быть окупаемым / А.А. Мотовилин, Л. Н. Назарова, Л.Г. Корнева // Защита и карантин растений. -2006. - № 2.

69 Мударисов С.Г., Методы проектирования пневматических систем / С.Г. Мударисов, А.В. Шарафутдинов, И.М. Фархутдинов // Вестник БГАУ. -2024. -№ 3 (71). -С. 134-139.

70 Мударисов С.Г., Обзор параметров и моделей контактов для моделирования семян и гранулированных удобрений методами дискретных элементов / С.Г. Мударисов, А.М. Мухаметдинов, И.М. Фархутдинов // КубГАУ. - 2024. -№ 197. -С. 58-85.

71 Нафиков, М.З. Ударное взаимодействие семенного материала и рабочей поверхности сельскохозяйственных машин / М.З. Нафиков, Э.Р. Хасанов, В.А. Павленко, И.И. Загиров // Вестник аграрной науки Дона. -2024. -Т. 17. № 4 (68). -С. 17-25.

72 Нуруллин Э.Г. Методика расчета пневмосистемы загрузочного устройства протравителя семян зерновых культур / Э.Г. Нуруллин, И.Р. Зайнутдинов // Компрессорная техника и пневматика. -2019. -№ 2. -С. 33-37.

73 Нуруллин Э.Г. Пневмозагрузочное устройство для мобильных протравливателей семян зерновых культур / Э.Г. Нуруллин, И.Р. Зайнутдинов, Р.А. Файзуллин // Нива Поволжья. -2021. -№ 3 (60). -С. 142-151.

74 Нуруллин Э.Г. Экспериментальное исследование травмирования семян в сельскохозяйственных машинах / Э.Г. Нуруллин, Р.А. Файзуллин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. -2022. -Т.17. № 2 (66). -С. 99-105.

75 Нуруллин Э.Г., Теоретическое обоснование места и угла установки распылителя рабочей жидкости пневмомеханического протравливателя / Э.Г. Нуруллин, И.М. Салахов И.М. // Вестник Казанского технологического университета. -2014. -Т. 17. № 15. -С. 207-209.

76 Оськин, С.В. Экономическое обоснование организационно технических мероприятий в курсовых и дипломных проектах: учебное пособие /

С.В. Оськин, В.Я. Хорольский, О.А.Гончарова, А.И. Вандтке. -Краснодар: Изд-во КГАУ. -2008. -108 с.

77 Павлищев, А.А. Предпосевная обработка семян / А.А. Павлищев, Л.И. Мельникова // Механизация и электрификация с/х. -1988. -№3. - С.14

78 Панов, А.А. Механические микроповреждения семян зерновых культур при послеуборочной обработке / А.А. Панов // Вестник с/х науки. -1982. - №5. -С. 66-67.

79 Панов, А.А. Травмирование семян в результате трения / А.А. Панов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. -1980. -№ 11. -С. 18-19.

80 Патент на изобретение № RU2 795706С1, Россия. МПК: А01С 1/00. Скарифikator / Э.Р. Хасанов, М.М. Ямалетдинов, Р.Р. Мирзаматов, заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Башкирский государственный аграрный университет" - заявлено 19.10.2022; опубликовано 11.05.2023. Бюл. № 14.

81 Патент на изобретение № RU2135052С1, Россия. МПК: А23N17/00, В28С5/34. Б.и. №24. Устройство для смешения сыпучих материалов / Зайцев А.И., Зайцев И.А., Таршис М.Ю., Мурашов А.А., Миронов Б.А., Бытев Д.О., заявитель и патентообладатель ЯГТУ - заявлено 30.06.1998; опубликовано 27.08.1999.

82 Патент на изобретение № RU2147921С1, Россия. МПК: В01F3/18, 11/00. Б.и. №12. Смеситель / Зайцев А.И., Миронов Б.А., Зайцев И.А., Бытев Д.О., Таршис М.Ю., Капранова А.Б., Бибииков В.В., заявитель и патентообладатель ЯГТУ - заявлено 05.04.1999; опубликовано 27.04.2000.

83 Патент на изобретение № RU231280U1. Россия. МПК: А23N 17/00 В01F 27/00. Смеситель сыпучих кормов / Р.Р. Лукманов, И.Р. Нафиков, Б.Г. Зиганшин, Д.Т. Халиуллин, А.В. Дмитриев, И.И. Кашапов, М.А. Лушнов, Р.К. Хусаинов, Б.М. Сабиров, И.Х. Гайфуллин, С.А. Синицкий, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Казанский ГАУ- заявлено 01.11.2024; опубликовано 21.01.2025 Бюл. № 3.

84 Патент на изобретение № RU2508937С1, Россия. МПК: В01F 9/02 Б.и. №10 Барабанный смеситель / Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Комаров С.С.,

заявитель и патентообладатель ФБГОУВПО КТИПП - заявлено 03.07.2012; опубликовано 10.03.2014. Бюл. №7

85 Патент на изобретение № RU2692642C1, Россия. МПК: A01C 1/08. Протравливатель семян / Э.Г. Нуруллин, И.Р. Зайнутдинов, Р.А.Файзуллин, заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет" - заявлено 02.07.2018; опубликовано 25.06.2019 Бюл. № 18.

86 Патент на изобретение № RU2808241C1, Россия. МПК: A01C 1/06. Протравливатель семян / Р.А. Файзуллин, Э.Г. Нуруллин, заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет" - заявлено 04.10.2023; опубликовано 28.11.2023 Бюл. № 34.

87 Патент на изобретение RU2819240C1, Россия. МПК: A01C 1/06. Устройство для предпосевной обработки семян / В.М. Дринча, Ю.Ж. Дондоков, Н.П. Александров, И.Н. Аммосов, Д.А. Герасимов, заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Арктический государственный агротехнологический университет" - заявлено 13.07.2023; опубликовано 15.05.2024. Бюл. № 14

88 Патент на изобретение RU2829360C1 Россия. МПК: A01C 1/06. Устройство для предпосевной обработки семян в поле / В.М. Дринча, Ю.Ж. Дондоков, И.Н. Аммосов, А.З. Платонова, В.В. Пахомов, заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Арктический государственный агротехнологический университет" - заявлено 13.07.2023; опубликовано 30.10.2024. Бюл. № 31

89 Першин, В.Ф. Энергетический метод описания движения сыпучего материала в поперечном сечении гладкого вращающегося цилиндра / В.Ф. Першин // Теоретические основы химической технологии. -1988. -Т. 22, № 2. -С. 255 - 260.

90 Петрова, С.С. К вопросу определения качества смеси у барабанного смесителя / С.С. Петрова, С.А. Кшникаткин, Н.В. Димитриев // Известия Самарской ГСХА. -2012. -№3. -С. 67-72.

91 Пехальский, И.А. Травмирование внутренних структур зерновок как фактор снижения продуктивности семян зерновых культур / И.А. Пехальский, В.М. Кряжков, А.А. Артюшин, В.Ф. Сорочинский // Научный журнал КубГАУ. - 2016. - №117(03).

92 Пикушова, Э.А. Обработка семян сельскохозяйственных культур пестицидами против вредителей и болезней: учебно-методическое пособие / Э.А. Пикушова, Е.Ю. Веретельник, И.В. Бедловская, Л.А. Шадрина. -Краснодар. - 2012. -79 с.

93 Протравливание семян. Устройство и регулировки протравителя ПС-10 [Электронный ресурс]. - Режим доступа - URL: <https://studfile.net/preview/5356643/page:3/>

94 Протравливатель семян камерный ПСК-15. Руководство по эксплуатации ПСК-15.00.00.000 РЭ. -Барань: ООО НПП «БЕЛАМА ПЛЮС». - 2019. -37 с.

95 Протравливатель семян ПС-20. Руководство по эксплуатации ИЯПБ.10.00.00.000 РЭ. -Горки: ООО «Ремком». -2019. -29 с.

96 Савельев, В.А. Предпосевная обработка семян зерновых культур: монография / В.А. Савельев. -Саратов: Вузовское образование. -2014. -197 с.

97 Савельева, Л.Н. Расчетно-теоретические предпосылки к обоснованию технологических параметров барабанного смесителя непрерывного действия / Л. Н. Савельева, Е. А. Евентьева // Молодой ученый. - 2008. - № 1. - С. 32-36.

98 Салапин, И.М. Травмирование семян при движении по шнековому транспортёру / И.М. Салапин, М.Ю Костенко // Сборник: Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 85-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007) "Инженерные решения для АПК". Рязань. -2024. -С. 42-45.

99 Салахов, И.М. Энергосберегающий протравливатель семян / Салахов И.М., Нуруллин Э.Г. // Сельский механизатор. -2013. -№ 11. -С. 16-17.

100 Селиванов, Ю.Т. Расчет и проектирование циркуляционных смесителей сыпучих материалов без внутренних перемешивающих устройств / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин. -Машиностроение-1. - 2004. -120 с.

101 Скворцова, Ю.Г. Влияние травмирования семян озимой пшеницы на их посевные качества / Ю.Г. Скворцова, Е.В. Ионова // Аграрный вестник Урала. - 2015. -№11(141). -С. 16-19.

102 Скворцова, Ю.Г. Посевные качества семян озимой мягкой пшеницы / Ю.Г. Скворцова, Е.В. Ионова // Научно - производственный журнал “Зернобобовые и крупяные культуры”. -2014. -№4(12). -С. 104-107.

103 Смиловенко, Л.А. Семеноводство с основами селекции полевых культур: учебное пособие / Л.А. Смиловенко. -Ростов-на-Дону: Издательский центр МарТ. -2004. -240 с.

104 Солнцев, В.Н. Повреждения зерна при уборке и послеуборочной обработки / В.Н. Солнцев, А.А. Ларченко, А.А. Ахматов // Лесотехнический журнал. -Воронеж. -2015. -С. 131-135.

105 Стифатов, Б.М. Фотометрический анализ: методические указания к лабораторным работам / Б.М. Стифатов. -ФГБОУ ВО СамГТУ. -2017. -34 с.

106 Суббота, Т.В. Посевные качества зерна озимой пшеницы в зависимости от степени механических повреждений / Т.В. Суббота // Зерновые, зернобобовые и крупяные культуры. -1986. -№3. -С. 18-20.

107 Суханова М.В., Преимущества использования высокоэластичных рабочих органов встряхивающего воздействия в сельскохозяйственных смесителях и машинах для предпосевной обработки семян / М.В. Суханова // Научный альманах. -2019. -№ 8-1 (58). -С. 146-149.

108 Суханова М.В., Сравнительный анализ воздействия поверхности различной жесткости рабочих органов сельскохозяйственной техники на твердую частицу сыпучего тела / М.В. Суханова, В.П. Забродин // Вестник аграрной науки Дона. -2017. -№ 2 (38). -С. 19-22.

109 Таланов, И.П. Влияние стимулирующих препаратов на урожайность и качество зерна пшеницы / И.П. Таланов, Т.Т. Тухватуллин // Зерновое хозяйство. - М. -2001. -№4(7). -С. 21- 22.

110 Тарасенко, А.П. Совершенствование механизации производства семян зерновых культур: рекомендации / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Георгиевский и др. -М.: ФГБНУ «Росинформагротех». -2014. -60 с.

111 Тарасенко, А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко. -ФГОУ ВПО ВГАУ. -2003. -331 с.

112 Тарасенко, А.П. Совершенствование средств механизации для получения качественного зерна / А. П. Тарасенко, В И. Оробинский, А. М. Гиевский, М. Э. Мерчалова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – № 3. – С. 109–115.

113 Тарасенко, А.П. Совершенствование технологии получения качественных семян и продовольственного зерна / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова, Н.Н. Сорокин // Лесотехнический журнал. -2014. - №1. -С. 36-41.

114 Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб, для вузов. 12-е изд. / С.М Тарг. - М.: Высш. Шк. -1998. -416 с.

115 Теплинский, Н.И. Снижение травмирования семян в самотечных устройствах зерноочистительных агрегатов / Н.И. Теплинский // Сб. науч. тр. Воронежского СХИ. -1986. -С. 60-64.

116 Технология протравливания семян зерновых культур [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: https://orda-adm.ru/upload/pages/110366/dat_148661601923.pdf?ysclid=lxh7ypjl39669776208

117 Тимошенко, С.И. Оценка работы протравливателей семян / С.И. Тимошенко // Техника АПК. -1997. -№4. -С. 17.

118 Тишанинов, Н.П. Прибор для исследований деформации и разрушения зерновок при статическом сжатии / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, С.В. Емельянович // Наука в Центральной России. -2023. -Т.61, №1. -С. 14-22.

119 Тришкин, Д.С. Справочник агронома по вопросам протравливания семян зерновых культур. Рекомендации для качественного протравливания / под ред. к.б.н. Д.С. Тришкина. -М. -2006. -44 с.

120 Трофимов, А.В. Исследование движения сыпучих материалов во вращающихся барабанах без внутренних устройств / А.В. Трофимов. -МИХМ, -1973. -140 с.

121 Тупольских, Т.И. Определение статического коэффициента внешнего трения массивов сыпучих продуктов / Т.И. Тупольских, О.Р. Кирищев, Д.Н. Савенков, Н.В. Гучева, Ю.О. Кирищев // Инженерный вестник Дона. - 2019. - №1. -С. 343-346.

122 Устройство и работа протравителя ПС-10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа - URL: https://studbooks.net/2460875/tehnika/opisat_ustroystvo_rabotu_protravitelya?ysclid=lxh9gq5oai881876255

123 Файзуллин Р.А. Экспериментальное исследование травмирования семян зерновых культур в протравочной машине / Р.А. Файзуллин, Э.Г. Нуруллин, А.А. Залялов // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. -2023. -№ 2 (18). -С. 4-19.

124 "Файзуллин, Р.Т. Разработка загрузочного устройства барабанного протравливателя семян

/ Р.Т. Файзуллин, Э.Р. Хасанов, Р.З. Ахунов // Сборник: Агропромышленный комплекс в условиях современной реальности. Сборник трудов международной научно-практической конференции. Тюмень. -2023. -С. 159-164."

125 Федоренко, В.Ф. Перспективные технологии послеуборочной обработки и хранения зерна / В.Ф. Федоренко, В.Я. Гольдяпин. - Москва: Юрайт. - 2022. -194 с.

126 Хамидуллова, М.Т. Эффективность производства зерновых культур в российской федерации / М.Т. Хамидуллова, Н.М. Асадуллин // Вектор экономики. -2018. -4(22). -С. 84-90.

127 Хасанов Э.Р. Разработка и обоснование конструктивно - технологических параметров машины для предпосевной обработки семян / Э.Р. Хасанов, И.Р. Багаутдинов, Ф.Н. Галлямов, М.М. Ямалетдинов // Сборник: Инновационные технологии как фактор развития. материалы международной научно-практической конференции в рамках XXXIV Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2024». Уфа. -2024. -С. 173-178.

128 Хасанов, Э.Р. Инкрустация семян зерновых культур и разработка конструкции барабанного протравливателя-инкрустатора семян / Э.Р. Хасанов // Вестник БГАУ. -2012. -№ 1. -С. 52-55.

129 Хасанов, Э.Р. Компьютерная модель технологического процесса устройства для обработки семян химическими и биологическими препаратами на основе комбинации методов дискретных элементов и двухфазных течений "газ - частицы" / Э.Р. Хасанов, Р.Р. Мирзаматов, Р.Т. Файзуллин, А.М. Якупов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. -2025. -№ 2 (74). -С. 124-132.

130 Хасанов, Э.Р. Научное обоснование и разработка технологических процессов и технических средств предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур : дис. докт. техн. наук: 05.20.01 / Э.Р. Хасанов. - Уфа. -2015. -294 с.

131 Хасанов, Э.Р. Применение метода дискретных элементов при моделировании движения семян в протравливателе барабанного типа / Э.Р. Хасанов, А.Ш. Галимов, Ф.Н. Галлямов, Р.Т. Файзуллин, И.Р. Багаутдинов // Вестник аграрной науки Дона. -2025. -Т. 18. № 2 (70). -С. 4-16.

132 Хасанов, Э.Р. Разработка и обоснование скарификатора с конусным диском для семян бобовых культур / Э.Р. Хасанов, Р.Р. Мирзаматов, А.М. Якупов, М.М. Ямалетдинов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. -2023. -Т.18. № 3 (71). -С. 102-110.

133 Хижняк, В.И. Проектирование и расчёт пропашных сеялок: учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В.И. Хижняк, А.Ю. Несмиян, Ф.В. Авраменко. -Зерноград: ФГБОУ ВПО ДГАУ. -2015. -114с.

134 Хилевский, В.А. Протравливание семян - значительный профилактический прием в защите зерновых культур /В.А. Хилевский // Инновационная наука. -2015. -№11. -С. 86-88.

135 Черпицкий, С.Н. Исследование процесса смешивания сыпучих материалов в барабанно-лопастном смесителе / С. Н. Черпицкий, М. Ю. Таршис, Л. В. Королев, А. Б. Капранова // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2020. -№ 1. -С. 3-10.

136 Черпицкий, С.Н. Математическое моделирование процесса смешивания сыпучих материалов в барабанно-лопастном смесителе / С.Н. Черпицкий, Л. В. Королев, М. Ю. Таршис // Изв. вузов. Химия и хим. технология. - 2022. -Т. 65. С. 112-120.

137 Чудин, И.А. Влияние механических повреждений семян яровой пшеницы на урожай и его качества / И.А. Чудин // Сибирский вестник с.-х науки. -1981. -№ 6. -С. 21-25.

138 Шамаев, Г.П. Механизация защиты сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней / Г.П. Шамаев, С.Д Шеруда. -М., Колос. -1978. -256 с.

139 Шатохин, И.В. Снижение потерь зерна при послеуборочной обработке за счет совершенствования норий / И.В. Шатохин, Алексей Парфенов, Дмитрий Алфеев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. -2011 . -№4 . -С. 76-78.

140 Шатохин, И.В. Факторы и причины, определяющие травмирование зерна нориями / И.В. Шатохин, В.Б. Пименов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. -2010. -№ 4 (27). -С. 46-49.

141 Шнековый транспортер. Паспорт, руководство по эксплуатации. - Казань: ООО “ТТС Инжиниринг”. -2020. -27 с.

142 Якупов А.М., Разработка дополнительных устройств к барабанному протравливателю семян / А.М. Якупов, Р.З. Ахунов, Р.Т. Файзуллин // Российский электронный научный журнал. -2023. -№ 2 (48). -С. 114-123.

143 Feizollah Shahbazi. Mechanical damage to wheat and triticale seeds related to moisture content and impact energy / Feizollah Shahbazi // *Agricultural Engineering International*. -2012. -№ 14(4). -C. 150-155

144 Richard W. Smiley. Diseases which Challenge Global Wheat Production—Root, Crown, and Culm Rots / Richard W. Smiley, David Backhouse, Philippe Lucas, Timothy C. Paulitz // *Wheat Science and Trade*. -2009. -C. 125-153

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 - Расчётные показатели производительности барабана

Скорость (об/мин)	Угол наклона (°)	Время истечения через 3х6 t, (с)	Время истечения через 4х8 t, (с)	Время истечения через 5х10 t, (с)	Объём партии семян V, м³	Объёмный поток 3х6 Q, м³/с	Объёмный поток 4х8 Q, м³/с	Объёмный поток 5х10 Q, м³/с	Производи- тельность через 3х6 (т/ч)	Производи- тельность через 4х8 (т/ч)	Производит- ельность через 5х10 (т/ч)	Полнота протравливан- ия по агротехничес- ким требованиям, %	Оценка покрытия семян протравителем до начала смешивания, программны м комплексом ImageJ, % отверстия 5х10	Оценка покрытия семян протравителем после смешивания, программны м комплексом ImageJ, % отверстия 5х10	Степень травмирован- ных семян до начала смешивания, % отверстия 5х10	Степень травмирован- ия семян после смешивания, % отверстия 5х10
10	10	10,59	6,96	4,31	0,013	0,00123	0,00187	0,00302	3,09	4,71	7,60	80-100	75	100	5,3	5,3
10	15	9,14	5,62	3,47	0,013	0,00142	0,00231	0,00375	3,58	5,83	9,44		75	96	5,3	5,3
10	20	8,05	4,47	2,7	0,013	0,00161	0,00291	0,00481	4,07	7,33	12,13		75	90	5,3	5,3
10	25	7,21	3,54	1,94	0,013	0,00180	0,00367	0,00670	4,54	9,25	16,89		75	82	5,3	5,3
20	10	9,53	6,31	3,91	0,013	0,00136	0,00206	0,00332	3,44	5,19	8,38		75	100	5,3	5,3
20	15	8,23	5,05	2,98	0,013	0,00158	0,00257	0,00436	3,98	6,49	10,99		75	96	5,3	5,3
20	20	7,36	3,98	2,28	0,013	0,00177	0,00327	0,00570	4,45	8,23	14,37		75	93	5,3	5,3
20	25	6,59	3,23	1,72	0,013	0,00197	0,00402	0,00756	4,97	10,14	19,05		75	85	5,3	5,3
30	10	8,74	5,77	3,51	0,013	0,00149	0,00225	0,00370	3,75	5,68	9,33		75	100	5,3	5,5
30	15	7,52	4,62	2,67	0,013	0,00173	0,00281	0,00487	4,36	7,09	12,27		75	97	5,3	5,5
30	20	6,84	3,62	2,15	0,013	0,00190	0,00359	0,00605	4,79	9,05	15,24		75	93	5,3	5,5
30	25	6,15	3,01	1,69	0,013	0,00211	0,00432	0,00769	5,33	10,88	19,38		75	87	5,3	5,5
40	10	8,08	5,26	3,06	0,013	0,00161	0,00247	0,00425	4,05	6,23	10,71		75	100	5,3	5,5
40	15	6,97	4,12	2,44	0,013	0,00187	0,00316	0,00533	4,70	7,95	13,43		75	97	5,3	5,5
40	20	6,2	3,28	2,01	0,013	0,00210	0,00396	0,00647	5,28	9,99	16,30		75	95	5,3	5,5
40	25	5,63	2,75	1,62	0,013	0,00231	0,00473	0,00802	5,82	11,91	20,22		75	90	5,3	5,5
50	10	7,38	4,5	2,52	0,013	0,00176	0,00289	0,00516	4,44	7,28	13,00		75	100	5,3	6,2
50	15	6,36	3,62	2,11	0,013	0,00204	0,00359	0,00616	5,15	9,05	15,53		75	98	5,3	6,2
50	20	5,68	2,91	1,75	0,013	0,00229	0,00447	0,00743	5,77	11,26	18,72		75	96	5,3	6,2
50	25	5,25	2,48	1,53	0,013	0,00248	0,00524	0,00850	6,24	13,21	21,41		75	92	5,3	6,2

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 2 - Цветовая модель RGB, иллюстрирующая работу функции LUT при смешивании семян в течение одного оборота смесителя

Цветовая модель RGB			Количество пикселей в данном цвете	Процентное соотношение пикселей относительно общего количества
Интенсивность красного компонента цвета Red	Интенсивность зелёного компонента цвета Green	Интенсивность синего компонента цвета Blue		
158	158	158	847593	6,155
98	38	8	759574	5,516
128	128	128	750028	5,447
128	98	98	705765	5,125
128	38	8	603522	4,383
158	38	38	580417	4,215
128	38	38	562086	4,082
158	128	128	513406	3,728
98	68	68	498911	3,623
188	188	188	427168	3,102
158	38	8	413512	3,003
128	8	8	402477	2,923
98	98	98	387791	2,816
68	8	8	385553	2,800
98	38	38	356147	2,586
188	68	68	343846	2,497
98	8	8	340412	2,472
188	38	38	338238	2,456
128	68	68	322818	2,344
158	158	128	312635	2,270
158	68	68	280729	2,039
68	38	38	218286	1,585
158	8	8	213494	1,550
158	98	98	203061	1,475
68	68	68	184011	1,336
188	188	158	156913	1,140
128	128	98	153140	1,112
68	38	8	149967	1,089
158	188	188	132427	0,962
188	38	8	124147	0,902
188	158	158	119761	0,870
188	98	98	105844	0,769
98	68	38	99503	0,723
38	8	8	94328	0,685
158	128	98	92674	0,673
98	98	68	90223	0,655
128	98	68	86455	0,628
188	68	98	85330	0,620
188	68	38	71750	0,521

128	68	38	63272	0,459
158	158	188	62203	0,452
128	158	158	61763	0,449
158	68	38	57605	0,418
128	98	128	54002	0,392
128	128	158	49774	0,361
188	8	8	46829	0,340
188	128	128	46047	0,334
158	98	128	45014	0,327
68	68	38	44477	0,323
158	188	158	43733	0,318
188	98	128	43288	0,314
158	68	98	42888	0,311
38	38	38	41450	0,301
158	128	158	40240	0,292
218	98	98	37675	0,274
98	68	98	33248	0,241
218	68	68	32898	0,239
158	38	68	32703	0,237
128	68	98	28877	0,210
98	98	128	24031	0,175
188	38	68	23576	0,171
128	38	68	20636	0,150
188	188	218	19320	0,140
188	158	128	19127	0,139
128	158	128	18922	0,137
188	128	158	18396	0,134
158	98	68	16701	0,121
218	98	128	15905	0,116
98	128	128	12479	0,091
8	8	8	11864	0,086
218	38	38	11449	0,083
68	38	68	11487	0,083
218	128	128	11222	0,081
188	158	188	10705	0,078
188	218	218	10299	0,075
218	68	98	9479	0,069
68	68	98	9355	0,068
218	68	38	9039	0,066
98	38	68	6497	0,047
218	128	158	5842	0,042
38	38	8	5591	0,041
218	38	8	4615	0,034
188	98	68	4096	0,030
38	8	38	3828	0,028
188	218	188	2757	0,020
158	188	218	2813	0,020
188	128	98	2383	0,017
128	158	188	1995	0,014
218	158	158	1737	0,013

68	98	98	1725	0,013
98	128	98	1761	0,013
218	188	188	1498	0,011
218	218	218	1513	0,011
38	38	68	1574	0,011
158	8	38	1541	0,011
158	158	98	1351	0,010
68	8	38	1300	0,009
218	98	68	999	0,007
188	98	158	988	0,007
188	218	248	724	0,005
218	158	188	756	0,005
128	8	38	705	0,005
8	8	38	560	0,004
188	188	128	377	0,003
98	128	158	447	0,003
188	8	38	442	0,003
218	38	68	275	0,002
218	218	188	225	0,002
38	68	68	247	0,002
68	98	68	183	0,001
158	128	68	198	0,001
188	128	188	156	0,001

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица 3 - Цветовая модель RGB, иллюстрирующая работу функции LUT при смешивании семян в течении шести оборотов смесителя

Цветовая модель RGB			Количество пикселей в данном цвете	Процентное соотношение пикселей относительно общего количества
Интенсивность красного компонента цвета Red	Интенсивность зелёного компонента цвета Green	Интенсивность синего компонента цвета Blue		
158	8	8	2030243	14,744
128	8	8	1798499	13,061
188	8	8	1446186	10,502
188	38	8	1183024	8,59
158	38	8	904681	6,57
188	38	38	868063	6,304
98	8	8	751409	5,457
218	68	38	704027	5,113
218	38	8	579180	4,206
188	68	38	430382	3,126
218	98	68	399755	2,903
128	38	8	384427	2,792
218	68	68	359746	2,613
158	38	38	307555	2,234
188	68	68	275768	2,003
218	38	38	267235	1,941
218	98	98	210242	1,527
68	8	8	165416	1,201
218	8	8	97090	0,705
98	38	8	96519	0,701
218	128	98	79587	0,578
218	68	8	58312	0,423
218	128	128	52656	0,382
158	68	38	48089	0,349
128	38	38	43448	0,316
188	98	68	33661	0,244
188	98	98	31279	0,227
158	68	68	18691	0,136
38	8	8	18639	0,135
248	128	98	13598	0,099
248	98	68	12929	0,094
218	158	128	10257	0,074
218	98	38	9178	0,067
248	128	128	9139	0,066
188	128	98	8660	0,063
248	98	98	7921	0,058

248	68	38	5482	0,04
188	128	128	4496	0,033
248	158	128	3951	0,029
188	68	8	3982	0,029
128	68	38	3771	0,027
188	158	128	2654	0,019
218	158	158	2663	0,019
68	38	8	2631	0,019
98	38	38	2575	0,019
218	128	68	2339	0,017
158	98	68	2252	0,016
248	158	158	1661	0,012
248	68	68	1414	0,01
218	98	128	1241	0,009
158	98	98	1256	0,009
188	68	98	1280	0,009
218	158	98	1157	0,008
248	98	38	1000	0,007
218	188	188	765	0,006
128	68	68	873	0,006
218	188	158	735	0,005
248	68	8	492	0,004
218	68	98	414	0,003
218	218	218	354	0,003
248	38	38	389	0,003
188	98	128	438	0,003
188	158	158	338	0,002
188	188	158	287	0,002
218	128	158	268	0,002
218	188	128	232	0,002
248	38	8	255	0,002
158	128	98	316	0,002
188	38	68	261	0,002
188	98	38	341	0,002
188	128	68	274	0,002
218	218	188	147	0,001
248	128	68	159	0,001

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«АГРОХИМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА РОССИИ»**

*Подольский филиал ФГБУ «РосАгрохимслужба»
Адрес: 390502, Рязанская обл., с. Подолье, ул. Сидомая, д.13, тел/факс (4912) 26-62-49
e-mail: agrohim_62_2@mail.ru*

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 821 от 11 ноября 2025 г.

№ (инифр) образца 821

Дата поступления: 11.11.2025 г.

Заказчик: Салапин Илья Михайлович

Адрес заказчика: Рязанская область, Александров-Невский район

Наименование продукции (ГОСТ, ТУ): ячмень пшеницеобразный, ГОСТ 5060-2021

Дата выработки, объем: 2025 г., сорт Грейс, образец №2

Место отбора (при необходимости): -

Количество образцов, масса: Подлин., 2кг.

Сопроводительный документ: акт отбора от 11.11.2025 г.

Цель отбора: для подтверждения соответствия ПД

Сроки проведения испытаний: 11.11.2025 г.

На соответствие требованиям (по согласованию с заказчиком): ГОСТ 5060-2021

Результат испытаний:

Наименование анализируемого показателя, (ед.измерен.)	Наименование ГОСТа, МУ и др. ПД по методам испытаний	Результат испытаний образца	Допустимый уровень
Белок, % (в пересчете на абсолютно сухое вещество)	ГОСТ 10846-91	15,67	не более 12,0
Влажность, %	ГОСТ 13586.5-2015	11,2	1 класс не более 14,5

Климатические условия проведения испытаний:

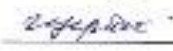
Относительная влажность воздуха - 70 %

Температура воздуха - 20 °С

Директор Подольского филиала
ФГБУ «РосАгрохимслужба»

 Н.П. Алексеев
(подпись)

Ответственный за оформление протокола

 Т.М.Щербакова
(подпись)



Настоящий протокол касается только образца, подвергнутого
испытаниям

Настоящий протокол не может быть частично или полностью
воспроизведен без разрешения испытательской лаборатории.

протокол исследований ячменя с опытных участков № 1-1 и 1-2;

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«АГРОХИМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА РОССИИ»**

Подольский филиал ФГБУ «РосАгрохимслужба»

*Адрес: 390502, Рязанская обл., с. Подольск, ул. Садовая, д.13, тел/факс (4912) 26-62-49
e-mail: agrohim_62_2@mail.ru*

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 820 от 11 ноября 2025 г.

№ (шифр) образца 820

Дата поступления: 11.11.2025 г.

Заказчик: г.л.Соловьев Илья Михайлович

Адрес заказчика: Рязанская область, Александров-Невский район

Наименование продукции (ГОСТ, ТУ): зерно пшеницы硬粒, ГОСТ 5060-2021

Дата выработки, объем: 2025 г., сорт Грейс, образец №1

Место отбора (при необходимости): -

Количество образцов, масса: 1(один), 2кг.

Сопроводительный документ: акт отбора от 11.11.2025 г.

Цель отбора: для подтверждения соответствия НД

Сроки проведения испытаний: 11.11.2025 г.

На соответствие требованиям (на соответствие с заявителем): ГОСТ 5060-2021

Результат испытаний:

Наименование анализируемого показателя, (единицы измерения)	Наименование ГОСТа, МУ и др. НД на метода испытаний	Результат испытаний образца	Допустимый уровень
Белок, % (в пересчете на абсолютно сухое вещество)	ГОСТ 10846-91	11,58	не более 12,0
Влажность, %	ГОСТ 13586.5-2015	13,1	1 класс не более 14,5

Климатические условия проведения испытаний:

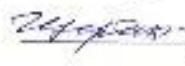
Относительная влажность воздуха – 70 %

Температура воздуха – 20 °С

Директор Подольского филиала
ФГБУ «РосАгрохимслужба»

 И.П. Алексеев
(подпись)

Ответственный за оформление протокола

 Т.М.Щербакова
(подпись)



Настоящий протокол действителен только для образцов, подвергнутых испытанию.

Настоящий протокол не может быть частично или полностью воспроизведен без разрешения испытательной лаборатории.

протокол исследований ячменя с опытных участков № 2-1 и 2-2.

«УТВЕРЖДАЮ»
 Директор ООО «Мир»
 «Мир» Александрово-Невский район
 Рязанской области
 Игнатов Н.А.
 «15» сентября 2025 года

Акт

о проведении внедрения протравливателя семян с барабаном

Мы, нижеподписавшиеся представители ООО «Мир» Александрово-Невского района Рязанской области главный инженер Будылин В.А., главный агроном Дадиани Э.Р. и представители ФГБОУ ВО РГАТУ заведующий кафедрой ТМ и РМ д.т.н., профессор Рембалович Г.К., профессор кафедры ТМ и ТС д.т.н., профессор Костенко М.Ю., аспирант кафедры ТМ и РМ Салапин И.М. составили настоящий акт в том, что с апреля по август 2025 года в ООО «Мир» Александрово-Невского района Рязанской области проходили хозяйственные испытания протравливателя семян с барабаном.

Оценивалась эффективность протравливателя семян с барабаном на семенах пивоваренного ячменя сорта Грейс. В ходе испытаний протравливателя семян оценивалась степень покрытия семян протравителем, а также параметры и режимы работы барабанного смесителя.

Основные технические характеристики протравителя:

- производительность: от 3 до 10 тонн в час;
- габариты: 4,5м x 2м x 1,7м.
- масса: 420 кг.
- мощность (мак): 6,5кВт/ч.
- емкость бака: 130л.
- барабанный смеситель семян: 0,071 м³.
- разгрузочный ленточный транспортёр: 2,5м.
- самоход: вперед и назад.
- управление: электронный пульт.

Оценка эффективности обработки семян защитными средствами определялась по показателям роста, развития и урожайности культуры. Так применение протравителя с гладким барабанным смесителем для предпосевной обработки семян защитными средствами в хозяйстве ООО «Мир» позволило повысить урожайность опытных участков на 11,5% или с 34 ц/га до 38 ц/га, тем самым увеличив выручку с 1 гектара на 6400 рублей.

Внедрение барабанного протравливателя семян является эффективным инвестиционным решением. Технология обеспечивает небольшое снижение прямых затрат на протравку, а основной экономический результат формируется за счет повышения урожайности. Короткий срок окупаемости делает решение привлекательным для предприятия и способствует росту рентабельности производства зерновых культур.

Применение протравителя семян с барабанным смесителем при подготовке ячменя для сева на площади 200 га обеспечивает:

- снижение прямых затрат на протравку на 18,8 тыс. руб./год (за счет меньшей амортизации и ТОиР);
- дополнительную выручку от прибавки урожая 1,014 млн руб;
- суммарный годовой экономический эффект — 1,033 млн руб;
- экономический эффект в расчете на 1 т семян — 51 640 руб/т;
- окупаемость вложений — около 5 месяцев.

Гл. агроном

Дадиани Э.Р.

Гл. инженер

Будылин В.А.

Заведующий кафедрой ТМ и ТС в АПК

д.т.н., профессор

Рембалович Г.К.

Профессор кафедры ТМ и ТС в АПК

д.т.н., профессор

Костенко М.Ю.

Аспирант кафедры ТМ и ТС в АПК

Салапин И.М.



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Белгородский государственный
аграрный университет имени В.Я. Горина»

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

**Салапин
Илья Михайлович**

занимавший

II место

во II этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную
работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых
аграрных образовательных и научных организаций
России

номинация «Машины и оборудование для АПК»
(среди аспирантов и молодых ученых)

И.о. проректора
по научной работе
и инновациям



Е.А. Пархомов

г. Белгород, 2026 г.



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БашГАУ

ДИПЛОМ

Дипломанта

*III этапа Всероссийского конкурса
на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов
и молодых ученых аграрных образовательных и научных
организаций России
в номинации «Машины и оборудование для АПК»*

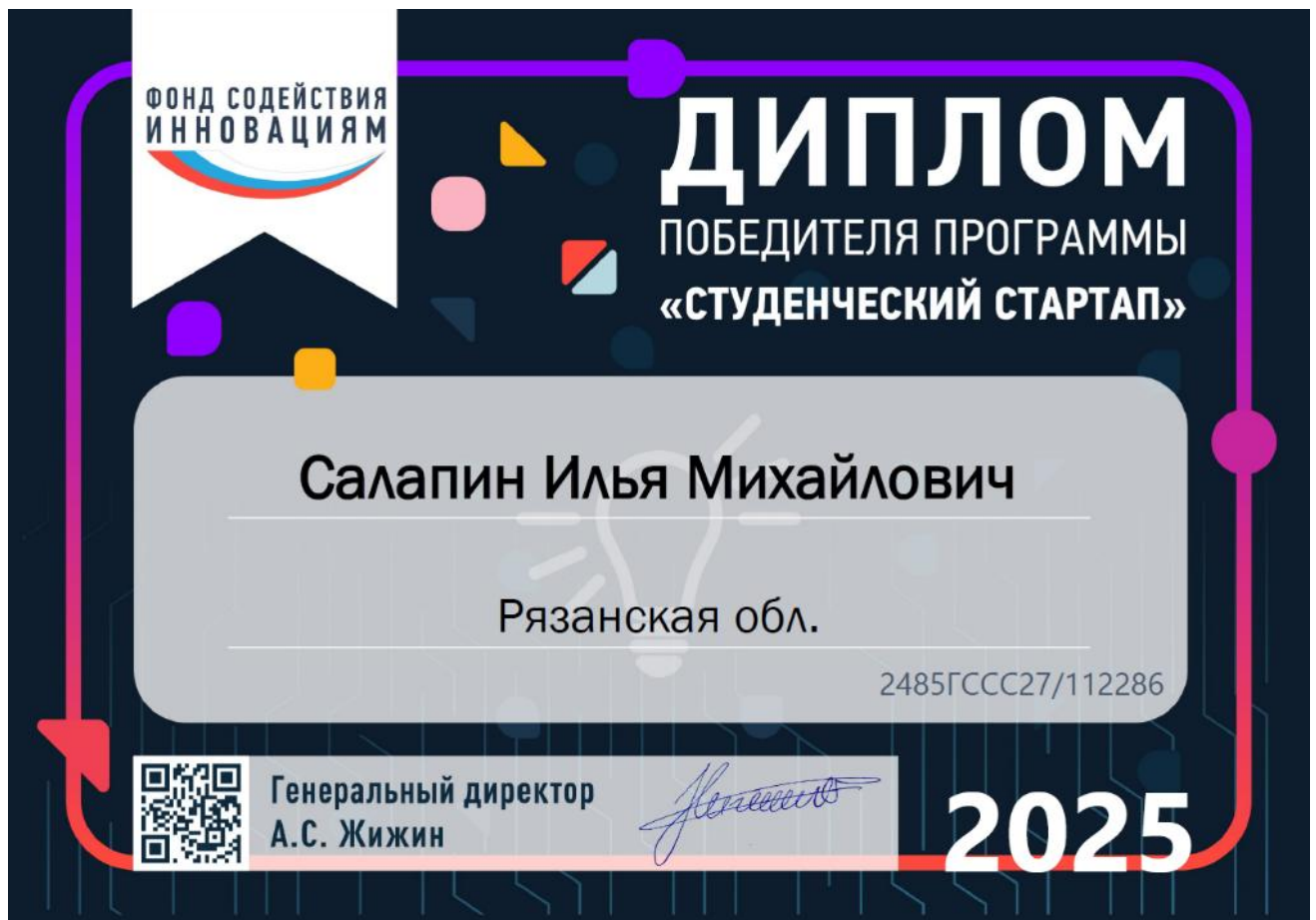
награждается

Салапин Илья Михайлович

*(научный рук. – д.т.н., профессор Костенко М.Ю.)
обучающийся ФТБОУ ВО Рязанский ГАУ
имени П.А. Костычева*



Уфа, 15-16 мая 2025 г.











МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БашАГУ

СЕРТИФИКАТ

выдан

**Салапину
Илье Михайловичу**

ФТБОУ ВО Рязанский ГАПУ

за участие в III этапе Всероссийского конкурса на лучшую
научную работу среди студентов, аспирантов и молодых
ученых аграрных образовательных и научных
организаций России

**НОМИНАЦИЯ
«МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АПК»**



Проректор
по научно-производственной
деятельности
И. Г. Асылбаев

г. Уфа, 14 мая 2026 г.