

На правах рукописи



БАСКАКОВ Иван Васильевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ
ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Воронеж – 2019

Работа выполнена на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

Научный консультант доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Оробинский Владимир Иванович

Официальные оппоненты: **Завражнов Анатолий Иванович**, доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», главный научный сотрудник;

Ряднов Алексей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», профессор кафедры эксплуатации и технического сервиса машин в АПК;

Алдошин Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Защита состоится 16 апреля 2020 года в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Информация о деятельности диссертационных советов» – «Защиты» – «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=7745>.

Автореферат разослан 14 февраля 2020 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В XXI веке в России наметилась устойчивая тенденция увеличения валового сбора зерновых культур. Из-за этого резко возросла нагрузка на зерноочистительно-сушильные комплексы и элеваторы. Имеющиеся в распоряжении аграриев подобные сооружения уже не справляются с должным качеством обработки всего выращенного урожая. Поэтому сельскохозяйственные производители вынуждены увеличивать производительность зерноочистительных линий, ухудшая показатели эффективности работы оборудования. Из-за недостатка элеваторных мощностей примерно десятая часть всего выращенного урожая частично или полностью портится в процессе послеуборочной обработки и хранения. В России ежегодно вводится в эксплуатацию ряд специализированных зерноочистительных сооружений. Однако темпы их строительства в нашей стране отстают от динамики роста производства зерновых культур. Кроме того, возведение новых элеваторов и зерноочистительно-сушильных комплексов зачастую производится без внедрения прогрессивных методов ведения послеуборочной обработки и хранения зерна. Слабо используется принцип фракционирования при очистке зернового вороха, не интенсифицируется процесс влагоотдачи при сушке убранного урожая, не применяются современные средства обеззараживания и дезинфекции зернохранилищ, не применяются мероприятия по сохранению посевных качеств семян. В сложившихся условиях совершенствование технологии послеуборочной обработки и хранения зерна является важной проблемой, стоящей перед агропромышленным комплексом России.

Особое внимание следует уделять послеуборочной обработке и хранению посевного материала. Семена крайне чувствительны к механическим воздействиям рабочих органов машин, особенно при повышенной влажности. При подготовке посевного материала необходимо применять всевозможные мероприятия, которые будут сохранять его качество. При этом процесс озонирования выступает одним из наиболее перспективных решений. Озонная обработка – это операция, использование которой не приводит к загрязнению атмосферы. При озонировании не образуются различные токсины и прочие вредные вещества внутри зерновки. Озон дезинфицирует, стерилизует, saniрует, дезодорирует, стимулирует семена к росту, способствуя впоследствии увеличению урожайности зерновых культур. Предпосевная обработка посевного материала озоном позволит отказаться от химического протравливания, исключив данную вредную операцию из технологической линии. Причём озонирование можно осуществлять непосредственно в зернохранилище.

Для получения высококачественного посевного материала зерновых культур отечественной агроинженерной науке необходимо обосновать щадящую технологию послеуборочной обработки и хранения зернового материала, в основу которой следует положить применение процесса озонирования с минимизацией механических воздействий рабочих органов на зерновку за счёт совершенствования технических средств для реализации этой технологии.

Диссертационная работа выполнена в ходе реализации следующих программ НИР:

- научно-исследовательской работы агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», которая утверждена учёным советом университета (номер государственной регистрации 01.200.1-003986);

- НИР, выполняемой высшими учебными заведениями, подведомственными Минсельхозу России, за счёт средств федерального бюджета в 2017 году «Разработка высокоэффективной семяочистительной машины».

Степень разработанности темы. Вопросами совершенствования технологии послеуборочной обработки и хранения зерна занимаются многие учёные. Большой вклад в разработку данной проблемы внесли А.П. Тарасенко, В.И. Орбинский, А.М. Гиевский, В.М. Дринча, И.Г. Строна, Ю.И. Ермольев, И.В. Горбачев, Н.И. Косилов, А.З. Бодртдинов и многие другие, но они не рассматривали озонную обработку, как способ повышения эффективности послеуборочной обработки и хранения зернового материала. Процесс озонирования сельскохозяйственной продукции исследовали Г.А. Закладной, Н.В. Ксенз, Д.А. Нормов, Т.П. Троцкая, Н.А. Глущенко, А.В. Голубкович, Г.П. Стародубцева, В.Н. Авдеева, а также ряд зарубежных учёных. Однако в большинстве случаев обработку озоном изучали в рамках достаточно узкоспециализированной проблемы. Комплексных исследований по определению влияния процесса озонирования на эффективность очистки и сушки зернового материала, посевные качества получаемых из него семян, сроки безопасного хранения зерна и урожайность зерновых культур нет.

Цель работы: повышение эффективности послеуборочной обработки и хранения зернового материала за счёт совершенствования технологии, основанной на применении процесса озонирования, и разработки технических средств, реализующих данную технологию.

Поставленная цель может быть достигнута в случае реализации **научной гипотезы**, заключающейся в том, что технология послеуборочной обработки и хранения зернового материала с использованием процесса озонирования повысит эффективность технологического процесса, снизит уровень микротравмирования, уменьшит пагубное воздействие микрофлоры, интенсифицирует работу зерносушилок, улучшит товарные качества зернового материала и посевные качества получаемых из него семян.

С учётом сформулированной цели и выдвинутой научной гипотезы необходимо решить следующие **задачи исследования**:

- обосновать щадящую технологию послеуборочной обработки и хранения зернового материала с применением озонной обработки;
- выявить закономерность изменения концентрации озона в озоновоздушной смеси внутри зернового материала после прекращения озонной обработки;
- изучить влияние предварительного озонирования влажного зернового вороха на эффективность последующей сушки зернового материала и на посевные качества получаемых из него семян;

- установить влияние способа аэрации зерна на его влажность в силосном зернохранилище и посевные качества семян;
- обосновать параметры конструкций и режимы работы оборудования комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала;
- оценить эффективность технологии хранения посевного материала в силосном зернохранилище по выживаемости вредителей зерна и качественным показателям семян.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- разработаны технологические решения послеуборочной обработки и хранения зернового материала, отличающиеся щадящей обработкой с применением озонирования;
- установлена закономерность изменения концентрации озона в озоновоздушной смеси внутри зернового материала после прекращения озонной обработки, отличающаяся учетом концентрации озона на момент отключения озонатора;
- предложен способ сушки зернового материала, отличающийся наличием двух этапов: предварительное озонирование и последующее нагревание;
- получены зависимости для определения количества циклов озонирования и нагревания зернового материала, и процента снятия влаги за один цикл при сушке зернового материала, отличающиеся учетом влажности зерна при предварительной озонной обработке;
- получены зависимости влажности зерна в силосном зернохранилище от способа его аэрации, отличающиеся комплексным учетом количества выпавших осадков, относительной влажности и температуры окружающего воздуха;
- разработаны технические решения и обоснованы режимы работы оборудования комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала, отличающиеся минимизацией механического и термического травмирования зерна.

Теоретическую значимость имеют: закономерность изменения концентрации озона в озоновоздушной смеси внутри зернового материала после прекращения озонной обработки, зависимости влажности зерна в силосном зернохранилище от способа аэрации зернового материала, зависимости для определения количества циклов озонирования и нагревания зернового материала, и процента снятия влаги за один цикл при сушке зернового материала, которые дополняют методики расчетов режимов процессов и параметров конструкций оборудования комплексов послеуборочной обработки и хранения зернового материала.

Практическую значимость имеют: технологические схемы зерновоза, позволяющего провести первичную озонную дезинсекцию во время транспортировки зернового материала, силосного зернохранилища для реализации озонной обработки зернового материала в силосе, комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала с минимальным воздействием рабочих органов оборудования на зерно; технические решения универсальной зерноочистительной машины, решётного модуля зерноочистительной машины и решётного стана, позволяющие усовершенствовать технологическую линию по-

слеуборочной обработки и хранения семян; практические рекомендации по выбору режимов работы очистителя зерна фракционного *ОЗФ-80*, сепаратора вторичной очистки семян *СВС-30*, озонаторной установки и зерносушилки.

Объектами исследования являются: технологический процесс и оборудование комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала с применением озонирования.

Предмет исследования: закономерности изменения параметров зернового материала при его послеуборочной обработке и хранении с применением озонирования.

Методология и методы исследования. В ходе выполнения диссертационной работы использовались методы системного анализа, математического моделирования, математической статистики, планирования эксперимента. Математическое моделирование реализовано на современном персональном компьютере с использованием программного пакета Solid Works. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных и полевых условиях в соответствии с требованиями действующих стандартов и разработанными частными методиками. Обработка экспериментальных данных проводилась на персональном компьютере с использованием программ: Microsoft Excel, Statistica.

Положения, выносимые на защиту:

- технологические решения послеуборочной обработки и хранения зернового материала, позволяющие обеспечить сохранность его качества;
- закономерность изменения концентрации озона в озоновоздушной смеси внутри зернового материала после прекращения озонной обработки, позволяющая обосновать рациональные режимы работы озонатора;
- способ сушки зернового материала, позволяющий снизить вред термического воздействия на зерно и ускорить процесс сушки;
- зависимости для определения количества циклов озонирования и нагрева зернового материала, и процента снятия влаги за один цикл при сушке зернового материала, позволяющие обосновать рациональные режимы работы зерносушильного оборудования с применением процесса озонирования;
- зависимости влажности зерна в силосном зернохранилище от способа его аэрации, позволяющие обосновать рациональный способ хранения семян;
- технические решения и режимы работы оборудования комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала, позволяющие реализовать щадящую технологию послеуборочной обработки и хранения зернового материала с озонированием.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты теоретических исследований согласуются с данными экспериментов. Достоверность выводов и правомерность логических рассуждений достигается использованием общенаучных приёмов и методов исследований. Эмпирическая база работы сформирована на основе опытных данных, полученных в ходе проведения исследований в лабораторных и полевых условиях.

Расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований не превышает 10%, что говорит об адекватности выбранных методов и

достоверности полученных данных, которые не противоречат аналогичным сведениям, опубликованным в специальной литературе.

Основные результаты исследований доложены и обсуждены: на ежегодной международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Инновационные технологии и технические средства для АПК» (Россия, Воронеж, 27-28 марта 2014 г.; 26-27 ноября 2015 г.); на международной научной конференции «Наука и образование в современных условиях» (Россия, Воронеж, 10 марта – 22 апреля 2016 г.); на международной научно-практической конференции «Современные научно-практические решения в АПК» (Россия, Воронеж, 6-7 июня 2017 г.); на международной научно-практической конференции "Agrosmart - Smart Solutions for Agriculture" (Россия, Тюмень, 16-20 июля 2018 г.); на международной научно-практической конференции «Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства» (Макеевка, 26 апреля 2018 г.); на международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения» (Россия, п. Майский Белгородской обл., 19 ноября 2018 г.); на аграрном конгрессе «Актуальные вопросы развития АПК Ростовской области» (Россия, Ростов-на-Дону, 27 февраля – 1 марта 2019 г.); на XI международной научно-практической интернет-конференции «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК» (Россия, п. Правдинский Московской области, 5-7 июня 2019 г.); на конференциях различного уровня, проводимых ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ в период с 2014 по 2019 гг.

Разработанная методика дезинсекции зернового вороха посредством озонирования внедрена и используется сельскохозяйственными предприятиями Липецкой области в технологических линиях зерноочистительно-сушильных комплексов, что подтверждается письмом от 20.11.2019 года № НТ-3696 администрации Липецкой области. Обоснованные режимы работы очистителя зерна фракционного *ОЗФ-80* внедрены и используются ООО НПКФ «Агротех-Гарант Березовский». Способ сушки зернового материала, включающий предварительное озонирование и последующее нагревание, и техническое решение семенного силосного зернохранилища приняты ООО «Воронежсельмаш» за основу при проектировании перспективных технологических линий зерноочистительно-сушильных комплексов и элеваторов. Результаты исследований по повышению эффективности сушки зерна за счёт применения процесса озонирования внедрены в КФХ «Нектар» Красногвардейского района Белгородской области. Озонная обработка посевного материала в период хранения используется учебно-научно-технологическим центром «Агротехнология» ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Результаты диссертационной работы применяются в учебном процессе при подготовке магистров по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия» на агроинженерном факультете ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

Личный вклад соискателя заключается в обосновании актуальности выбранной темы; формулировке цели и задач исследований, научной гипотезы; разработке программы и методики проведения экспериментальных исследований; проведении лабораторных и полевых экспериментов; анализе полученных данных; обосновании щадящей технологии и технических решений комплекса

послеуборочной обработки и хранения зернового материала; определении режимов работы оборудования; подготовке научных публикаций по теме диссертации.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 49 научных работ, в том числе 12 научных статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные результаты докторских диссертаций, две научные статьи – в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных Scopus, одна монография и два учебных пособия. По результатам исследований получено три патента РФ на изобретения и один патент РФ на полезную модель. По результатам двух заявок на изобретения №2019118552 «Способ сушки зернового материала» и №2019118552 «Решётный модуль зерноочистительной машины» приняты положительные решения о выдаче патента. Общий объём публикаций составляет 67,3 п.л., из которых автору принадлежит 35,1 п.л.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы из 255 наименований, 16 приложений. Диссертация изложена на 339 страницах, включая 78 рисунков и 27 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности проблемы, степень разработанности темы, цель, гипотезу, задачи, предмет, объекты и методы исследований. Кроме того, отражены вопросы реализации и апробации полученных результатов, дана общая характеристика выполненных экспериментов, показана научная новизна положений, выносимых соискателем на защиту, а также практическая значимость работы.

В первом разделе «Состояние проблемы послеуборочной обработки и хранения зернового материала» представлен аналитический обзор современного состояния технологии послеуборочной обработки и хранения зерна, а также пути её совершенствования. Рассмотрены особенности конструкции, достоинства и недостатки зерноочистительных агрегатов серии ЗАВ, зерноочистительно-сушильных комплексов типа КЗС, специализированных элеваторов, а также семенных заводов. В целом установлено, что данные сооружения морально устарели и требуют совершенства. В зависимости от назначения зерна и возможностей сельскохозяйственных предприятий сохранность зернового материала обеспечивается по-разному. Рассмотрены особенности, преимущества и недостатки аргентинской, канадской, американской технологий хранения, а также особенности системы «Регас-Изок», метода охлаждения «Granifrigor», применения полиэтиленовых рукавов, зерноскладов, бескаркасных арочных ангаров, шатровых, бетонных и силосных зернохранилищ. Их анализ показал, что наиболее перспективными являются металлические силоса. Вопросам совершенствования послеуборочной обработки и хранения зернового материала посвящены труды А.П. Тарасенко, В.И. Оробинского, А.М. Гиевского, В.М. Дринча, И.Г. Строна, Г.А. Закладного, Ю.И. Ермольева, И.В. Горбачева, Н.И. Косилова и др. Практически все учёные считают фракционную технологию по-

слеуборочной очистки зерна и семян наиболее перспективной с точки зрения снижения количества механических воздействий рабочих органов на зерновку. Однако, для сохранения качественных показателей зернового вороха необходимо вводить мероприятия по улучшению условий хранения.

Создание регулируемой газовой среды внутри зернохранилища позволит существенно улучшить условия хранения. При этом наибольшую эффективность показывает применение озонозооной смеси. Процесс озонирования сельскохозяйственной продукции исследовали Г.А. Закладной, Н.В. Ксенз, Д.А. Нормов, Т.П. Троцкая, Н.А. Глущенко, А.В. Голубкович, Г.П. Стародубцева, В.Н. Авдеева и др. Озон позволяет проводить дезинфекцию, стерилизацию, дезодорацию, санацию, обеззараживание, дезинсекцию зернового материала. Озонная технология показала свою эффективность при сушке зерна, хранении сельскохозяйственной продукции, улучшении качества муки, дезинфекции агропромышленных помещений или оборудования, снижении токсинов в обрабатываемом продукте, повышении эффективности сжигания различных углеводородов в котельных или зерносушилках, предпосевной обработке семян, дезинсекции посевного материала, стимулировании ростовых процессов растений, переработке навоза, терапии животных, создании благоприятной среды в животноводстве и т.д. Однако комплексных исследований явно недостаточно.

Рассмотренные тенденции применения процесса озонирования при подготовке семян позволили сделать вывод, что озонная обработка является одним из основных путей повышения качества посевного материала. Анализ экспериментальных исследований по применению озонозооной смеси при предпосевной обработке зерновых культур, проведенный на основе 63 полевых опытов, поставленных различными учеными, показал, что урожайность вырастает от 1 до 30% в зависимости от почвенно-климатических условий и режимов операции. При этом многие авторы отмечают, что озонная технология наилучший эффект демонстрирует в засушливые годы за счет повышения стабильности формирования урожая. В среднем предпосевное озонирование семян способствует повышению урожайности зерновых культур на 3,35 ц/га или 12,8% относительно контрольных вариантов. При этом выявлено, что озонная обработка способствует повышению энергии прорастания, всхожести и силы роста семян, дезинсекции вредителей, снижению активности грибных инфекций, уменьшению заболеваемости зерновых культур. Стоит отметить, что в процессе озонирования не требуется предварительного затаривания газа. Кроме того, озонная обработка является экологически чистым способом дезинфекции, не загрязняющим окружающую среду. При распаде чаще всего озон разлагается до кислорода.

Несмотря на ряд неоспоримых преимуществ, процесс озонирования имеет несколько недостатков. Основной проблемой при практическом применении озона в сельском хозяйстве выступает опасность высоких концентраций газа для здоровья людей. Процесс озонирования следует проводить в герметичных сооружениях или при отсутствии человека и животных. Согласно ГОСТ 12.1.005-88, в России озон относится к наивысшему первому классу опасности вредных веществ с остроаправленным механизмом действия. В Российской

Федерации уровень ПДК в воздухе составляет $0,1 \text{ мг/м}^3$, а в Европе $0,2 \text{ мг/м}^3$. Для решения данной проблемы необходимо операцию проводить в замкнутой ёмкости без присутствия людей. Согласно ГОСТ 12.1.005-88, для вредных веществ с остронаправленным механизмом действия, коим является озон, должен быть обеспечен непрерывный контроль его концентрации. Данное требование наиболее просто выполняется в металлических силосных зернохранилищах, имеющих достаточную герметичность, систему аэрации и термометрии. Во многих отраслях уже давно удалось «приручить» озон и использовать его во благо человеку. Следовательно, отказываться от применения процесса озонирования в агропромышленном комплексе не стоит. Наоборот, необходимо разработать технологию послеуборочной обработки и хранения семян, в основу которой будет заложена озонная обработка зернового вороха.

Проведённый обзор теоретических исследований по озонной обработке зернового материала показал, что они в основном носят аппроксимативный характер, не позволяющий получить точные значения искомых величин. Как правило, практическое применение данных зависимостей невозможно, они лишь дают представление о природе процесса озонирования.

Проведенный анализ литературных данных показал, что совершенствование технологии послеуборочной обработки и хранения семян следует вести в направлении применения процессов фракционирования и озонирования зернового материала.

Во втором разделе «Обоснование щадящей технологии послеуборочной обработки и хранения зернового материала» представлен анализ состояния зернового материала, поступающего на специализированные объекты обработки. Установлено, что при механизированной уборке кроме зерна основной культуры в ворохе имеются различные засорители, а также зерновки в плёнке, недозрелые, дроблёные, травмированные и щуплые. Причём повреждённые зёрна имеют разные виды травм. В среднем в зерновом ворохе содержится 29,9% зёрен с нарушенной целостностью оболочки эндосперма, 14,3% – с травмированной оболочкой зародыша и эндосперма, 10,1% – дроблёных, 8,44% – с травмированной оболочкой зародыша, 1,64% – с травмированным зародышем, 1,1% – с травмированным эндоспермом, 0,92% – с выбитым зародышем. Следовательно, при подготовке семян 66,4% зернового материала, поступающего на послеуборочную обработку, необходимо выделить при очистке, т.к. его нельзя использовать на семенные цели из-за низкой лабораторной всхожести. При этом любой вид травм снижает лабораторную всхожесть семян от 4,6 до 48,2%. Наиболее пагубно на посевные качества влияют повреждения зародыша и эндосперма. Причём травмированные зерновки являются очагом заражения зернового вороха в период хранения, т.к. именно в них начинают активно развиваться микроорганизмы. Чем глубже травма, тем более благоприятная среда для развития вредителей, т.к. влажность зародыша на 5...10% выше, чем у эндосперма. Поэтому повреждённые зерна необходимо выделять на начальном этапе послеуборочной обработки независимо от его назначения.

Большое значение на качество зерна или семян оказывают засорители, которых в исходном ворохе содержится до 25%, поскольку они, также как и трав-

мированные зерновки, являются очагом заражения. Проведённые исследования показывают, что к моменту уборки основной культуры её влажность колеблется в диапазоне 16...28%. При этом содержание влаги в засорителях имеет большие значения, доходя до 16...52%, а в исключительных случаях до 70%. Повышенную влажность на 8...15%, относительно кондиционных полноценных зёрен имеют недозрелые зерновки. Именно поэтому данный ворох и является более благоприятной средой для развития вредителей. Также установлено, что интенсивность дыхания засорителей в 2,5...4,0 *раза*, а травмированных зёрен в 1,8...1,9 *раза* выше, чем у полноценных зёрен основной культуры. Следовательно, сорные примеси следует удалять из исходного зернового вороха в первую очередь на самом раннем этапе послеуборочной обработки.

Значительное влияние на качество зерна и семян оказывает их исходная влажность при уборке. Повышение содержания влаги в зерновке во время обмолота культуры способствует снижению дробления в 1,55 *раза*, суммарного повреждения в 1,26 *раза*, а приведённого травмирования в 1,33 *раза*. Анализ влияния влажности зерна в момент уборки на количество и виды травм показывает, что лабораторная всхожесть семян с повышением их влажности с 13,4 до 26,7 % снижается с 93,1 до 79,1%, т.к. чаще всего они ещё не дозрели. При этом уменьшаются их суммарное травмирование, повреждение оболочки эндосперма, а также обеих оболочек эндосперма и зародыша. Остальные виды травм варьируют вокруг статистической ошибки. Снижение повреждения зерна в момент уборки хлебостоя с повышенной влажностью объясняется большой упругостью и эластичностью зерновок, что позволяет с меньшим вредом переносить механические нагрузки. Однако убирать недозревший урожай даже на товарные цели нецелесообразно из-за значительно больших затрат на послеуборочную обработку и низкого качества исходного сырья. Кроме того, деформация внутри зерновки, не вызвавшая внешнего вреда, приводит к разрыву внутренних тканей, которые не определяются визуально, но способствуют снижению посевных качеств семян. Следовательно, уборка зерновых культур при повышенной влажности нецелесообразна.

На состав зернового вороха влияет способ уборки. Семенные посевы следует убирать с наивысшими показателями качества зернового вороха. Проведённые исследования показывают, что лабораторная всхожесть семян при двухфазной уборке выше, чем при прямом комбайнировании при любом значении исходной влажности. При этом наилучшие посевные качества прослеживаются при обмолоте зерна с содержанием влаги в диапазоне 14...18%. Обмолот пересохших или переувлажнённых семян приводит к снижению их лабораторной всхожести. Следовательно, для обмолота посевов, предназначенных на семенные цели, следует предпочитать раздельную уборку зерновых культур.

Анализ бункерного вороха показал, что он имеет разный состав и размер компонентов. В зависимости от размерных характеристик основной культуры качественные показатели зерна сильно варьируют. Исследования, проведённые на озимой пшенице сорта «Дон-93» по определению лабораторной всхожести семян и их суммарного травмирования, показали, что на семенные цели следует отбирать материал от сортировальных решет с прямоугольными отверстиями

размером 2,6 мм и более. При этом во фракцию, которую впоследствии можно будет использовать на семена, в среднем выделится около 84% от всех полноценных зёрен. Причём средневзвешенная масса 1000 семян составит 43,3 г, а лабораторная всхожесть семян – 88,25% при суммарном уровне микротравмирования 49,95%. Низкие посевные качества в данном случае объясняются повышенным повреждением. Использование сортировального решета с шириной продолговатого отверстия 2,6 мм приведёт к выделению 35% дроблёного зерна и всех мелких примесей.

Состояние бункерного вороха зависит от типа молотильно-сепарирующего устройства (МСУ) зерноуборочной машины. В подобных исследованиях сравнивались следующие марки комбайнов: «*New Holland CS 660*» с «*New Holland CR 9080*», «*John Deere 9880*» с «*John Deere 9660*», «*PCM-181 Torum 740*» с «*Полесье GS-12*» и другие. Установлено, что зерновой ворох, полученный от роторных МСУ более качественный. После обмолота барабанным комбайном фирмы «*John Deere*» содержание целого зерна на 2,53...4,11% меньше, а дробленого в 2,2...13,41 раза больше по сравнению с роторными аналогами. При этом лабораторная всхожесть семян меньше на 1,7...4,0%. При одинаковой частоте вращения ротора и барабана, составляющей 980 мин⁻¹, целого зерна после барабанного молотильно-сепарирующего устройства было на 3,71% меньше, а зерна в плёнке и дробленого соответственно больше в 1,51 и 2,20 раза, чем у роторных зерноуборочных комбайнов. На всех исследуемых комбайнах полученные результаты свидетельствуют о преимуществах роторных моделей. В диссертации приведены эти данные.

На состав зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку, влияют параметры хлебостоя на корню. Установлено, что наибольшее количественное содержание зерна находится в горизонте 0,7...0,8 м и 0,8...0,9 м, которое соответственно составляет 34,6 и 30,2%. При этом средняя масса колоса с увеличением высоты его расположения с 0,2 до 1,0 м повышается с 0,27 до 1,97 г. Причём масса 1000 семян возрастает с 28,2 до 49,5 г или в 1,76 раза, а содержание клейковины – с 18,0 до 25,0% или в 1,39 раза. Стоит заметить, что посевные качества зёрен, расположенных в верхних горизонтах, также значительно лучше, чем в нижних слоях хлебостоя. Анализ зерна с колосьев, расположенных на стеблях высотой от 0,2 до 1,0 м, показал, что энергия прорастания семян повышается с 28 до 50%, а полевая всхожесть – с 84 до 95%. Следовательно, зерновой материал, расположенный в верхних горизонтах хлебостоя имеет лучшие посевные качества, чем в нижних слоях.

Бункерный ворох кукурузы имеет значительные отличия от других зерновых культур. Это связано с биологическими особенностями растения и поздними сроками уборки. В Центрально-Чернозёмном регионе кукурузу обмолачивают в середине осени, когда выпадает большое количество осадков, и нередко наблюдаются перепады температуры воздуха вокруг нуля градусов. Из-за этого влажность зерна при уборке значительно превышает кондиционные значения, что влечёт за собой потерю части урожая.

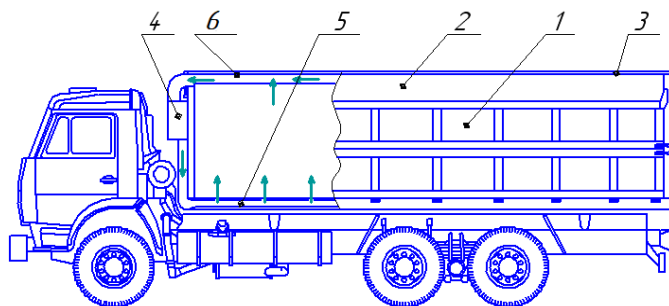
Для определения состава зернового вороха кукурузы были проведены соответствующие исследования, которые показали, что в зависимости от сорта и

природно-климатических условий от 4,2 до 20,2% зерновок уже повреждены на корню. Средняя влажность зерна находилась в диапазоне 25,3...33,5%, с её варьированием по початкам от 18,4 до 39,8%. Масса 1000 семян в зависимости от сорта составила 319...429 г. У поврежденных образцов данный параметр находится в диапазоне 153,0...282,1 г. Один початок содержит от 176 до 338 г зёрен, или в среднем 277,7 г. Механизированная уборка способствовала повышению содержания повреждённых зерновок с 20,2 до 34,0% при содержании сорной примеси в 1,5%. Травмированные зерна имели на 1,9% большую влажность, чем целые, у которых данный показатель составлял 24,7%. При этом содержание влаги в примесях равнялось 19,8%.

Немаловажную роль при послеуборочной обработке и хранении зернового материала играет заражённость вороха, которая слабо коррелирует с наличием засорителей, влажностью зерна и другими рассмотренными факторами. Оказалось, что при уборке до 64% зёрен заселены различными вредителями. В среднем заражённость зернового вороха патогенами колеблется по годам и культурам от 1 до 30%. Ежегодные потери от жизнедеятельности вредителей в мире достигают 15% от всего убранного урожая. В России насекомые уничтожают в среднем 9,3% зерна пшеницы.

Между тем установлено, что озонирование достаточно эффективно уничтожает зернового точильщика, амбарного и рисового долгоносиков, малого мучного и булавоусого хрущака, суринамского мукоеда, мельничную огнёвку. Кроме того, учеными Ставропольского ГАУ выявлено подавление токсиногенных грибов родов «*Alternaria*», «*Aspergillus*», «*Fusarium*», «*Penicillium*», «*Rhizopus*» и некоторых бактерий.

В случае высокой заражённости бункерного вороха необходимо первичную дезинсекцию проводить непосредственно в кузове грузовика. На данный момент подобных грузовых транспортных средств нет. Для решения поставленной задачи был разработан на уровне изобретения зерновоз (рисунок 1), оборудованный системой озонирования. Обоснованы основные конструктивные параметры системы озонирования в кузове грузового транспортного средства, описан технологический процесс работы зерновоза, представлены режимы функционирования. С ними можно ознакомиться в описании патента РФ № 2693139. Это техническое решение достойно промышленного производства, так как обладает доказанными преимуществами перед существующими моделями.

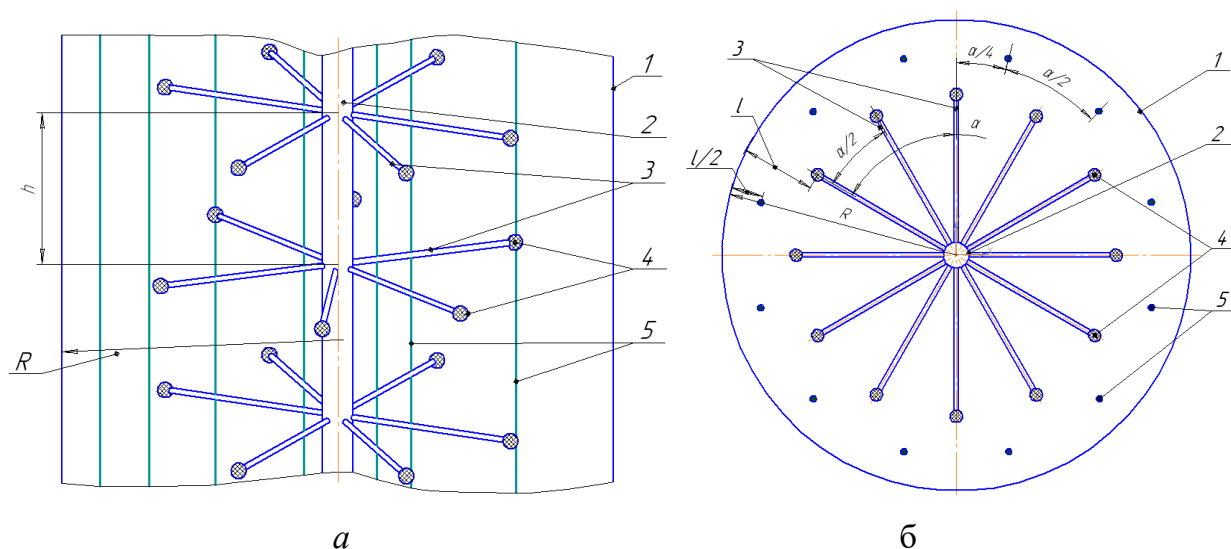


1 – кузов грузового автотранспорта; 2 – надставка кузова; 3 – подвижная крыша с автоматическим приводом; 4 – озонатор; 5 – система подачи озоновоздушной смеси в кузов; 6 – система забора рециркуляционного потока отработавшего рабочего газа

Рисунок 1 – Зерновоз, оборудованный системой озонирования

Как правило, при послеуборочной обработке качество зернового материала по мере его очистки улучшается, а при сушке и хранении – ухудшается. Это связано с повышением травмирования зерна вследствие воздействия рабочих органов транспортного оборудования. Выявлено, что скребковые конвейеры в среднем травмируют 10,5% зерна, загрузочные норы – 4,6%, шнеки – 2,6%, самотечные устройства – 1,6%, ленточные транспортёры – 0,51%. В итоге однократная загрузка силоса приведёт к повреждению примерно 10% зёрн.

Для озонирования зернового материала внутри силоса была разработана конструкция такого хранилища семян (рисунок 2).



a – схема расположения отводящих газопроводов; b – поперечный разрез зернохранилища; 1 – силос с конусным дном; 2 – центральный воздуховод; 3 – отводящие воздуховоды; 4 – электромагнитные клапаны с форсунками; 5 – датчики температуры и влажности зерна; α – угол смещения отводящих воздуховодов; h – шаг между ярусами отводящих воздуховодов; R – радиус силоса; l – расстояние между форсунками и стенками

Рисунок 2 – Схема силосного зернохранилища, оснащённого системой озонирования (патент на изобретение РФ №2659904)

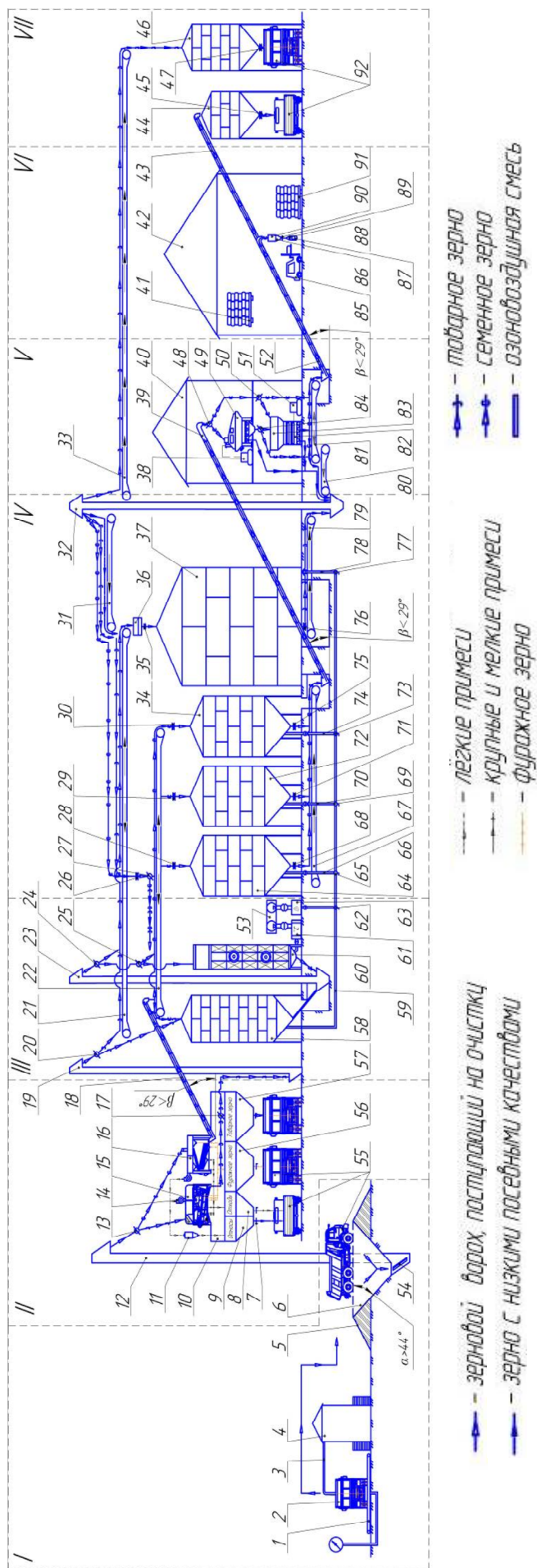
В работе обоснованы основные конструктивные параметры системы озонирования силоса, описан технологический процесс работы зернохранилища. Требования ГОСТ Р 52325-2005 не позволят взять больший силос, поскольку высота насыпи семян будет превышать 5 м, что недопустимо. Следовательно, внутри семенного силосного зернохранилища должно быть не более 3 ярусов отводящих воздуховодов, в каждом из которых установлено не более 3 электромагнитных клапанов с форсунками. При радиусе силоса до 2 м необходимо устанавливать два отвода в одном уровне, смещая их на 90° в следующих рядах. Удалённость форсунок от стенок силосного зернохранилища составит половину радиуса, а датчиков – четверти. При этом сенсоры нужно сместить на угол 45° относительно отводящих воздуховодов.

В третьем разделе «Разработка технологической схемы комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала» представлены недостатки современных линий. Среди них основными являются повешенное повреждение основной культуры рабочими органами оборудования, а также от-

сутствие мероприятий по оздоровлению зерна и повышению эффективности влагоотдачи при сушке влажного вороха. Для устранения выявленных недостатков была спроектирована технологическая схема комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала (рисунок 3). Элеватор состоит из приёмной секции *I*, зерноочистительного агрегата *II*, зерносушильного комплекса *III*, отделения хранения *IV*, отделения подготовки семян *V*, отделения затаривания семян *VI*, участка отгрузки *VII*. В диссертации описана работа комплекса с двумя технологическими линиями. Первая, предназначенная для подготовки семенного материала, должна реализовывать принцип минимального повреждения семян и максимального поддержания их качества. Вторая параллельная технологическая линия должна иметь наивысшую производительность и обеспечивать послеуборочную обработку товарного зерна, а также его хранение с минимальными затратами. При этом очистку исходного зернового вороха следует проводить с использованием фракционной технологии, применив универсальные воздушно-решётные двухаспирационные зерноочистительные машины. В каждой технологической линии необходимо установить специализированную зерноочистительную машину, семенную и товарную, а именно: сепаратор вторичной очистки семян *СВС-30* и очиститель зерна фракционный *ОЗФ-80*. Для интенсификации влагоотдачи следует смонтировать семенную зерносушилку с буферным силосом, который дооборудуется системой озонирования. Для снижения травмирования семян необходимо по возможности заменить загрузочные норы на наклонные ленточные и-образные конвейеры и максимально задействовать самотечные устройства. Для санации, обеззараживания, дезинфекции зернового материала следует установить систему озонирования в плоскодонные и конические силоса.

Две технологические линии с соответствующими фракционными воздушно-решётными двухаспирационными сепараторами позволят обрабатывать как товарное зерно, так и семенной материал. Применение специализированных зерноочистительных машин обеспечит выделение на самой ранней стадии очистки из исходного зернового вороха засорителей, примесей и фуражного зерна. Данные компоненты являются благоприятной средой для развития микроорганизмов, которые ухудшают качественные показатели товарного или посевного материала. Предлагаемая технологическая линия обеспечивает интенсификацию процесса сушки зерна за счёт дооборудования буферного силоса системой озонирования. Это не только повышает эффективность влагоотдачи, но и снижает пагубное влияние температурного воздействия на семена.

В семенной линии обеспечивается минимальное повреждение обрабатываемого материала за счёт применения ленточных и-образных конвейеров и установки пневмосортировального стола во втором уровне над оптическим лазерным сепаратором, сократив количество транспортирующих органов. Применение процесса озонирования обеспечит проведение предпосевной обработки семян непосредственно в силосах. Это позволит исключить из технологической линии операцию протравливания и обслуживающее её транспортное оборудование. Озонная дезинфекция вороха от грибков, бактерий, вредителей увеличит сроки безопасного хранения зернового материала как товарного, так и семенного.



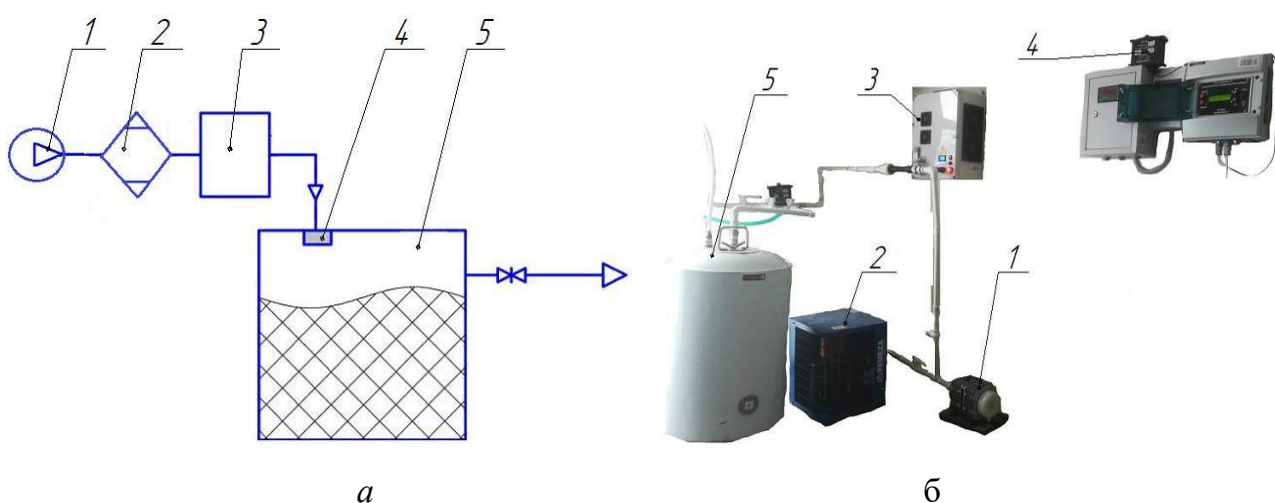
1 – весы; 2, 55, 92 – транспортные средства; 3 – пробоотборник; 4 – лаборатория; 5 – пандусы с автомобилеразгрузчиком; 6 – завальная яма; 7 – выгрузные задвижки; 8 – бункер отходов; 9 – бункер откосов; 10 – платформа на опорах; 11 – циклоны; 12, 19, 23, 32 – нория; 13, 17, 20, 24, 25, 27, 48, 50, 84 – перекидные клапаны; 14 – вентиляторы; 15, 16 – воздушно-решётные двухаспирационные фракционные зерноочистительные машины; 18, 39, 43, 52 – загрузочные ленточные и-образные конвейеры; 21, 31, 33, 36, 79 – скребковые транспортеры; 22, 67, 80, 81 – ленточные транспортеры; 26, 28, 29, 30, 35, 45, 47, 68, 71, 75, 76, 89 – электрифицированные задвижки; 34, 64, 72 – конические силоса; 37 – плоскостонный силос; 38, 51 – компрессорные установки; 40 – двухуровневое помещение; 41, 42 – склад; 44, 46 – экспедиторские силоса; 49 – пневмосортировальный стол; 53 – компрессорная установка; 54 – магнитная пластина; 56 – бункер фуражного зерна; 57 – бункер товарного зерна; 58 – буферный металлический конический силос; 59, 66, 70, 74, 78 – газопроводы; 60 – зерносушилка; 61 – теплогенератор; 62, 65, 69, 73, 77 – трёхходовые краны; 63 – озонатор; 82 – оптический лазерный сепаратор; 83, 90 – промежуточные бункеры; 85 – виброочистительный агрегат; 86 – весовой аппарат; 87 – мешкотара; 88 – мешкозащивочная машина; 91 – поддоны; 1 – приёмная секция; II – зерноочистительный комплекс; III – зерносушильный комплекс; IV – отделение хранения; V – отделение подготовки семян; VI – отделение затаривания семян; VII – участок отгрузки

Рисунок 3 – Технологическая схема комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала

Следовательно, усовершенствованная технологическая линия комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала устраняет основные недостатки современных элеваторов. Её реализация позволит значительно повысить качество посевного материала в РФ.

В четвертом разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» в соответствии с поставленными задачами представлены экспериментальные установки, описаны используемые приборы и оборудование, а также методика получения экспериментальных данных и их обработки.

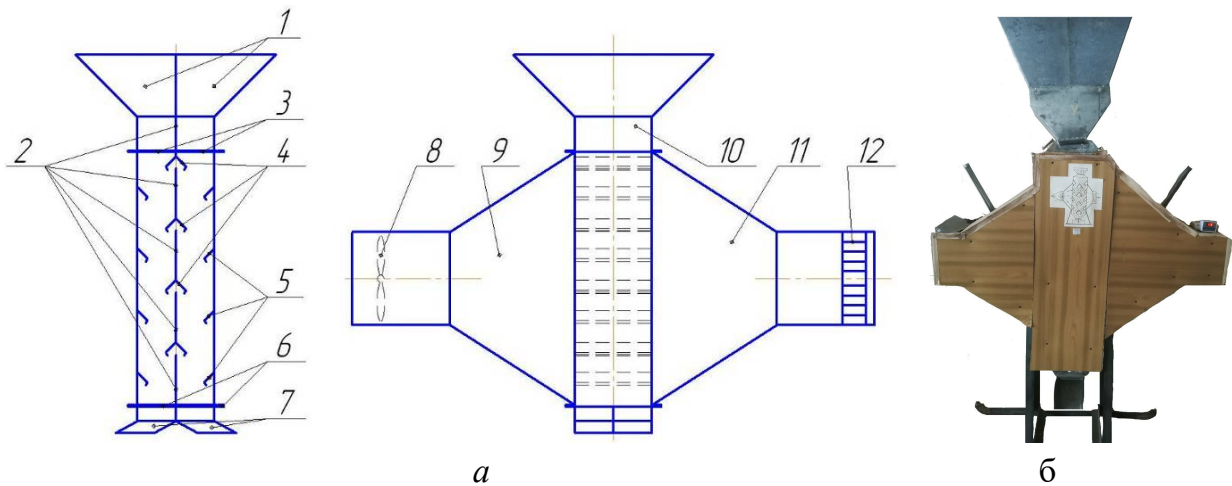
Для проведения озонирования зерна и семян была разработана экспериментальная установка по обработке зернового материала озоновоздушной смесью. Она состоит из воздушного компрессора 1 (рисунок 4), рефрижераторного осушителя воздуха 2, озонатора 3, металлической ёмкости 5 объёмом 50 л с датчиком 4, определяющим концентрацию озона.



а – технологическая схема; *б* – внешний вид; 1 – компрессор; 2 – осушитель воздуха; 3 – озонатор; 4 – датчик озона; 5 – ёмкость

Рисунок 4 –Экспериментальная установка по озонированию зерна и семян

Для выявления целесообразности предварительного озонирования влажного зернового материала перед его сушкой была разработана технологическая схема экспериментальной шахтной зерносушилки. Установка состоит из загрузочного бункера 1 (рисунок 5) и рабочей шахты 10, которые посредством перегородок 2 разделены на два независимых отсека. Это позволяет в равных условиях одновременно производить сушку предварительно озонированного зерна и контрольного образца. Подачу и разгрузку зернового материала обеспечивают загрузочные 3 и выгрузные 6 заслонки, установленные на входе и выходе из всех отсеков рабочих шахт 10. Электрический нагревательный элемент 12 находится в начале камеры 11 горячего воздуха. Поддержание температуры сушильного агента осуществляется посредством применения терморегулятора DM-W3001. На выходе из камеры 9 влажного воздуха установлен вытяжной вентилятор 8. Внутри рабочих шахт 10 в шахматном порядке размещены подводящие 4 и отводящие 5 короба соответственно горячего и отработанного влажного воздуха. Выгрузка высушенного зернового материала осуществляется на две стороны через патрубки 7.



a – технологическая схема; *б* – внешний вид; 1 – двухсекционный загрузочный бункер; 2 – перегородки; 3 – загрузочные заслонки; 4 – подводящие короба горячего воздуха; 5 – отводящие короба отработанного воздуха; 6 – выгрузные заслонки; 7 – отводящие патрубки высушенного зерна; 8 – вытяжной вентилятор; 9 – камера влажного воздуха; 10 – шахта, разделённая на два независимых отсека; 11 – камера горячего воздуха; 12 – электрический нагревательный элемент

Рисунок 5 – Схема экспериментальной шахтной зерносушилki

Установленное на экспериментальную зерносушилku оборудование позволяет регистрировать температуру зернового материала и сушильного агента в рабочих камерах, определять относительную влажность воздуха в конце технологического процесса, а также измерять влажность зерна или семян.

Для выявления целесообразности озонирования зерна и семян во время хранения были спроектированы и изготовлены экспериментальные металлические конусные силоса (рисунок 6).



a – технологическая схема; *б* – внешний вид; 1 – газоход; 2 – штуцер; 3 – переходник; 4 – крыша; 5 – корпус; 6 – отверстия; 7 – дно; 8 – центральный газоход; 9 – заглушка

Рисунок 6 – Экспериментальные металлические силоса с коническим дном

Внутри экспериментальных силосов смонтирован центральный воздуховод 8 (рисунок 6), который снизу загерметизирован заглушкой 9, а сверху посредством переходника 3, штуцера 2 подсоединён к гибкому газоходу 1. Вентиляция хранящегося зернового материала происходит через отверстия 6, увеличивающиеся в диаметре по мере удаления от места подачи газа. Для установления влияния процесса озонирования в период хранения на качественные показатели зерна или семян необходимо не менее трёх подобных силосов. Первый вентилируется озоновоздушной смесью, второй – воздухом, а третий не подвергается никакой обработке и служит в качестве контроля.

У отобранных образцов влажность зерна или семян определяли посредством портативного микропроцессорного электронного влагомера «Wile-65». В процессе определения энергии прорастания и лабораторной всхожести семян использовали электрический термостат суховоздушный ТСО-1/80 СПУ. Массу отобранных образцов в диапазоне 0,5...200 г определяли на лабораторных весах ВМК 202.

В пятом разделе «Экспериментальные исследования процесса озонирования зернового материала» приведены результаты проведённых экспериментальных исследований. Сначала были проведены исследования процесса озонирования зернового вороха. Анализ полученных результатов показал, что параметры зернового вороха влияют на процесс озонирования. В основном, это отражается на времени насыщения зерна озоном и распада его остаточных концентраций. Чем суше зерновой материал, тем меньше его необходимо озонировать и тем более стабильно протекает процесс. В целом для гарантированного насыщения зерна озоном необходимо не менее получаса обрабатывать ворох озоновоздушной смесью. В случае озонирования влажного материала обработку следует проводить в два этапа по 15 мин с интервалом между операциями около 10 мин. Это обеспечит непрерывную обработку зерна озоном и повысит ресурс озонатора.

Статистическая обработка результатов исследований показывает, что снижение концентрации озона в зерновом ворохе от времени после операции без учёта влажности зерна подчиняется экспоненциальной зависимости

$$C_{\text{озон}} = k_0 \cdot e^{k_1 \cdot t_{\text{выкл}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{озон}}$ – концентрация озона в озоновоздушной смеси, мг/м³;

k_0, k_1 – коэффициенты;

$t_{\text{выкл}}$ – время после прекращения озонной обработки, мин.

В зависимости от условий озонирования коэффициент k_0 варьировал в диапазоне 2...20. В большинстве случаев данный множитель был приближен к максимальной концентрации озона в озоновоздушной смеси на момент отключения озонатора. Коэффициент k_1 изменялся от минус 1,41 до минус 0,13. При этом показатель достоверности аппроксимации R^2 изменялся в диапазоне 0,84...0,99, оставаясь на среднем уровне 0,93.

Если при расчёте концентрации озона в воздушной смеси внутри зернового вороха после прекращения озонной обработки в качестве коэффициента k_0

использовать концентрацию озона на момент отключения озонатора, то коэффициент k_1 будет иметь логарифмическую зависимость от времени разложения

$$k_1 = 0,0114 \cdot \ln(t_{\text{выкл}}) - 0,2652. \quad (2)$$

Данная зависимость актуальна при озонировании зернового вороха с концентрацией озона в озоновоздушной смеси в диапазоне $1 \dots 25 \text{ мг/м}^3$. Показатель достоверности аппроксимации R^2 составляет $0,999$. Подставив выражение (2) в зависимость (1), получим

$$C_{\text{озон}} = k_0 \cdot e^{0,0114 \cdot t_{\text{выкл}} \cdot \ln(t_{\text{выкл}}) - 0,2652 \cdot t_{\text{выкл}}}. \quad (3)$$

Следовательно, для определения концентрации озона в зерновом ворохе без учёта его влажности после отключения озонатора необходимо знать время, прошедшее после прекращения обработки, и начальное значение концентрации газа в диапазоне $0 \dots 25 \text{ мг/м}^3$.

Посредством статистической обработки экспериментальных данных в программе «Statistica» получена зависимость концентрации озона в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы от времени разложения газа и влажности зерна, которая представлена на рисунке 7. Статистическая обработка 359 экспериментальных точек показывает, что зависимость концентрации озона ($C_{\text{озон}}$) в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы от времени (t_p) разложения газа и влажности (W) зерна подчиняется квадратичной функции

$$C_{\text{озон}} = 4,9202 - 0,3903 \cdot t_p - 0,11 \cdot W + 0,0023 \cdot t_p \cdot W + 0,0094 \cdot t_p^2 + 0,0015 \cdot W^2, \quad (4)$$

где t_p – время разложения озона, мин;

W – влажность зерна, %.

Анализ рисунка 7 показывает, что при увеличении влажности зерна концентрация озона снижается, поскольку часть газа расходуется на взаимодействие газа с молекулами воды. Однако данное влияние не столь существенное, поэтому при приближённых расчётах можно пренебречь данным фактором.

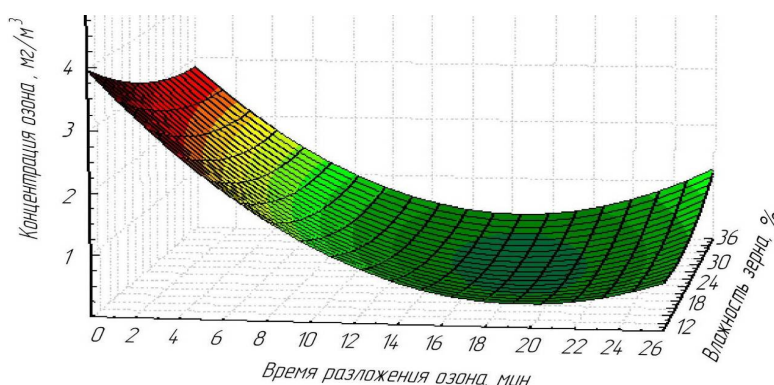


Рисунок 7 – Зависимость концентрации озона в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы от времени разложения газа и влажности зерна

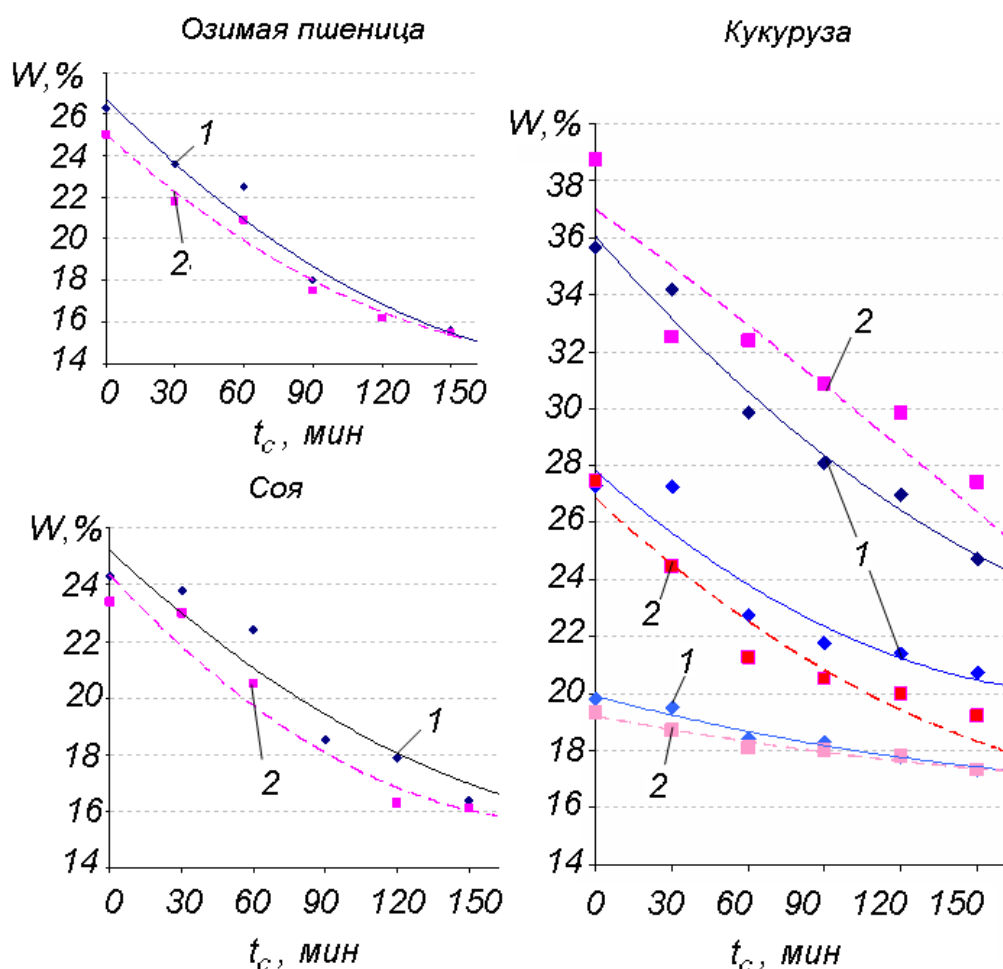
Также концентрацию озона в озоновоздушной смеси после отключения озонатора можно определить по формуле

$$C_{\text{озон}} = 3,8841 - 0,1211 \cdot W - 0,0065 \cdot T_{\text{озон}} - 0,3188 \cdot t_p + 0,0083 \cdot t_p^2, \quad (5)$$

где $T_{\text{озон}}$ – период озонирования (изменяется в пределах $10 \dots 50$ мин), мин.

Таким образом, на основании представленных результатов исследований можно сделать вывод, что для проведения озонирования с концентрацией газа до 25 мг/м^3 необходима обработка зернового вороха в течение не менее получаса. При этом наиболее эффективно проводить операцию поэтапно, по 15 мин каждый с перерывами между обработками 10 мин .

Результаты исследований влияния предварительного озонирования влажного вороха на эффективность последующей сушки зернового материала представлены на рисунке 8.



W – влажность зерна, %; t_c – время сушки, мин; 1 – необработанное зерно (контроль); 2 – предварительно проозонированное зерно или семена

Рисунок 8 – Динамика снижения влажности зерна и семян в зависимости от способа подготовки влажного вороха к сушке

Статистическая обработка результатов исследований, представленных на рисунке 8, показала, что динамика снижения влажности зерна или семян в обоих способах подготовки влажного вороха к сушке подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$W = a \cdot t_c^2 - b \cdot t_c + c, \quad (6)$$

где W – влажность зерна или семян, %;

t_c – время сушки зерна, мин;

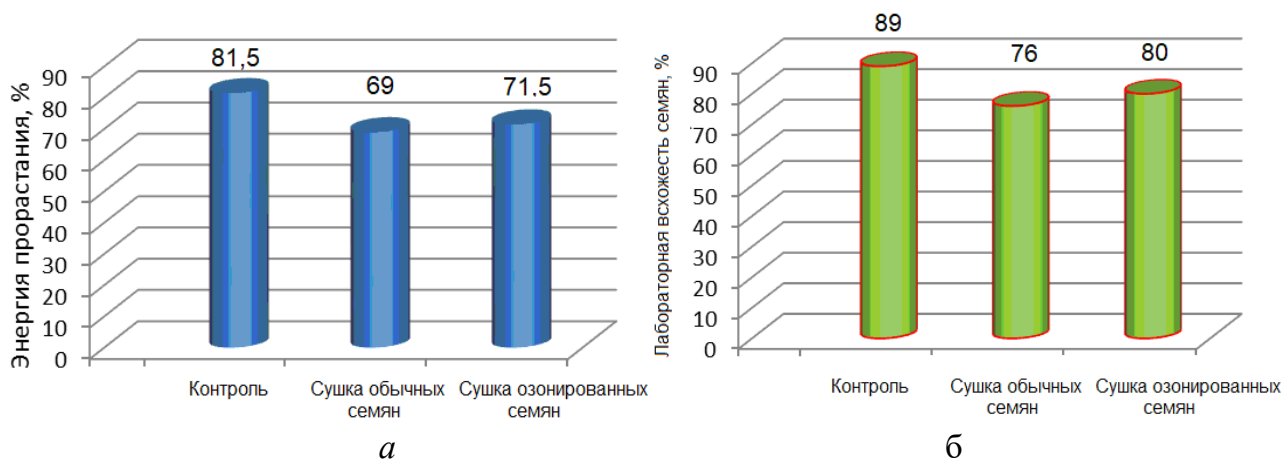
a, b, c – коэффициенты уравнения регрессии, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов уравнения регрессии в зависимости от исходного состояния зерна или семян и способа их подготовки к сушке

Исходная влажность зерна или семян, %	Значения коэффициентов							
	Контрольный образец				Проозонированное зерно			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	детерминации R^2	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	детерминации R^2
Озимая пшеница								
27,3	0,0002	– 0,1118	26,754	0,9756	0,0002	– 0,0985	24,988	0,9854
Соя								
24,3	0,0002	– 0,0784	25,2	0,947	0,0002	– 0,0908	24,308	0,947
Кукуруза								
34,84	0,0002	– 0,102	36,067	0,9864	– 0,00003	– 0,0658	36,998	0,9378
27,3	0,0002	– 0,0783	27,816	0,9202	0,0002	– 0,0818	26,832	0,9609
20,0	0,00004	– 0,0232	19,896	0,9764	0,00003	– 0,0171	19,217	0,9787

Таким образом, эффективность предварительного озонирования влажного зернового вороха перед сушкой прослеживается на всех исследуемых культурах. В зависимости от исходного состояния просушиваемого материала интенсивность влагоотдачи на протяжении первых 30...90 мин процесса у заранее проозонированных зёрен в 1,18...3,4 раза выше, чем в контрольных образцах. Влажный зерновой ворох следует озонировать в течение 1,5...2 часов. При исходной влажности зерна выше 25% озонная обработка приводит к увеличению данного показателя до 4%, поскольку часть избыточной, связанной с органическими компонентами зерновок влаги переходит в свободное состояние. При этом из-за расширения межклеточных мембран и увеличения коэффициента диффузии молекулы воды выходят на поверхность, тем самым, увлажняя ворох. Несмотря на это, поверхностную влагу удалить гораздо проще, поэтому в целом наблюдается повышение эффективности влагоотдачи проозонированных зёрен при их сушке в 1,33...3,4 раза в зависимости от культуры. Следует отметить, что при исходной влажности зерна более 25% снимать более 2...4% за один цикл в шахтных зерносушилках нельзя. Для этого достаточно провести сушку заранее проозонированного вороха в течение 40...60 мин. При исходной влажности зерна менее 25% озонная обработка способствует некоторому снижению данного показателя. Это объясняется тем, что озон способствует ослабеванию химических связей молекул воды с органическими компонентами зерновок, а озоновоздушный поток успевает вынести часть этой влаги, тем самым подсушивая ворох. Следует отметить, что при исходной влажности зерна менее 25% снимать более 4...6% за один цикл в шахтных зерносушилках нельзя. Для этого сушку необходимо проводить на протяжении не менее 60...90 мин. Также следует учитывать, что при снижении исходной влажности зерна эффективность от применения предварительного озонирования снижается. Однако даже при этих условиях интенсивность влагоотдачи проозонированных зёрен на протяжении первых 30...90 мин сушки в 1,18...2,0 раза превышает данный показатель контрольных образцов.

Проведённые исследования по влиянию предварительного озонирования семян перед сушкой на их посевные качества представлены на рисунке 9. В результате установлено, что сушка приводит к снижению энергии прорастания и лабораторной всхожести семян. Предварительная озонная обработка влажного вороха благоприятно сказывается не только на интенсивности влагоотдачи, но и на качестве просушенного посевного материала. Так, энергия прорастания семян в результате трёхчасовой сушки с температурой агента 55...60°C снизилась с 81,5 до 69,0% (рисунок 9а). Предварительная озонная обработка влажного посевного материала увеличила данный параметр на 2,5% до 71,5%.



а – энергия прорастания семян, б – лабораторная всхожесть семян

Рисунок 9 – Влияние процесса сушки в лабораторной шахтной зерносушилке и способа подготовки посевного материала к температурному воздействию на качественные показатели семян соевых бобов

Лабораторная всхожесть семян в результате сушки снизилась с 89 до 76% (рисунок 9б). Предварительная озонная обработка влажного посевного материала увеличила данный параметр на 4% до 80%. Это свидетельствует о том, что предварительное озонирование семян перед сушкой способствует улучшению ростовых процессов и снижению пагубного влияния температурного воздействия. Причем в данном случае повышение лабораторной всхожести до 80% очень важно, поскольку согласно ГОСТ Р 52325 – 2005 это минимально возможный показатель, которому должен соответствовать посевной материал сои. В результате озонная обработка поспособствовала переходу семян из внеклассного состояния в категорию репродукционных семян, предназначенных для производства товарной продукции.

Примерно такие же результаты получены при сушке кукурузы. Так, энергия прорастания семян в результате двукратной сушки снизилось со 100,0 до 94,5% (рисунок 10а). Столь высокое исходное качество посевного материала объясняется ручным вымолотом зерна. Предварительная озонная обработка способствовала увеличению энергии прорастания семян на 2,0% до 96,5%. Лабораторная всхожесть семян кукурузы в результате двукратной сушки снизилась со 100 до 94,5% (рисунок 10б). Предварительная озонная обработка увели-

чила данный показатель на 2,5% до 97,0%. Это свидетельствует о том, что предварительное озонирование влажного посевного материала перед сушкой способствует улучшению ростовых процессов и снижению пагубного влияния температурного воздействия.

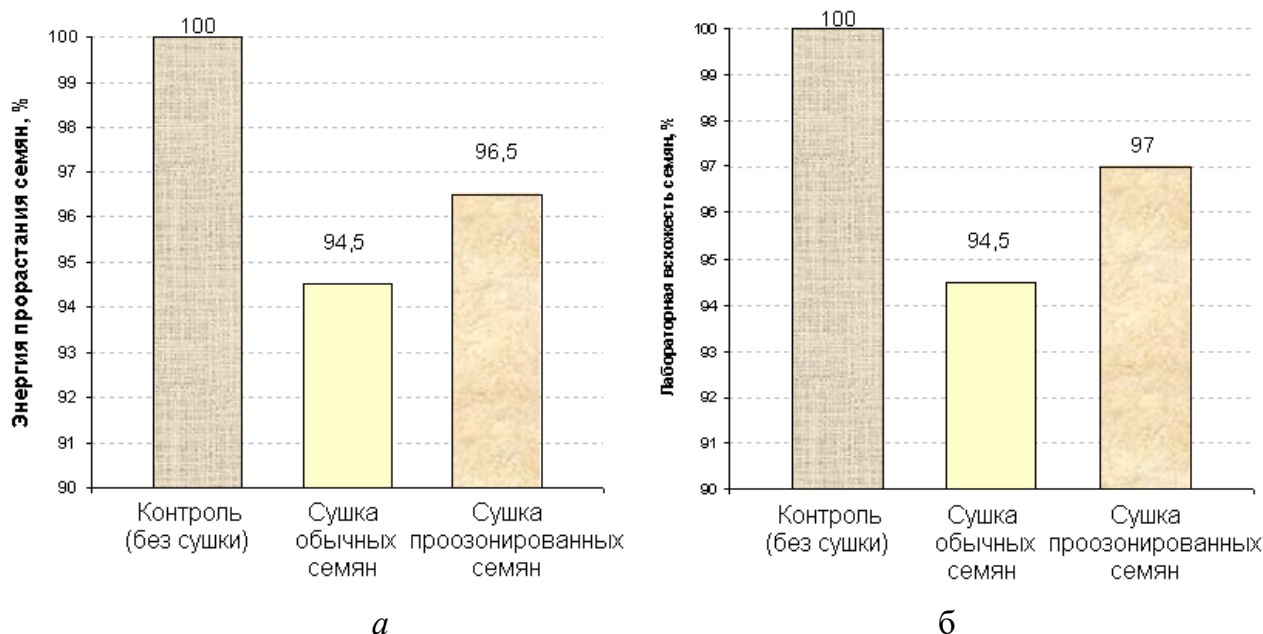


Рисунок 10 – Влияние процесса сушки в лабораторной шахтной зерносушилке и способа подготовки посевного материала к температурному воздействию на качественные показатели семян кукурузы

Таким образом, проводить сушку посевного материала в шахтных зерносушилках не рекомендуется, а если это необходимо, то следует данную операцию проводить в совокупности с предварительным озонированием. Озонная обработка в буферной ёмкости перед зерносушилкой способствует менее пагубному влиянию сушильного агента на качественные показатели просушиваемого вороха. Это позволит увеличить лабораторную всхожесть семян на 2,5...4% и их энергию прорастания на 2,0...2,5% по сравнению с традиционной сушкой. Следовательно, предварительное озонирование влажного зернового вороха целесообразно не только с энергетической точки зрения, но и с позиции сохранения качественных показателей посевного материала.

Исследования по влиянию озонной обработки на выживаемость вредителей зерна представлены в таблице 2. Анализ полученных результатов показывает, что озонирование с концентрацией озона в озоноздушном смеси 5...15 мг/м³ в течение часа эффективно уничтожает наиболее распространённых вредителей зерна. Непосредственно после озонной обработки были парализованы 89,1% особей зерновой моли и 86,1% жуков амбарного долгоносика. Аналитически установлено, что для уничтожения вредителей в преимагинальных стадиях развития необходимы либо большая концентрация озона до значений в 1400 мг/м³, либо большие экспозиции до 2 месяцев.

Таблица 2 – Выживаемость амбарного долгоносика и зерновой моли после часовой озонной дезинсекции вредителей

Вредитель	Время после обработки, час	Всего, %	Парализованные и мёртвые особи, %	Живые особи, %
Амбарный долгоносик	1	100	86,1	13,9
	18		89,1	10,9
	115		97,0	3,0
Зерновая моль	1	100	90,5	9,5
	18		100	0
Гусеницы зерновой моли	1	100	25	75
	18		50	50
	115		75	25

Исследования по влиянию способа хранения посевного материала в силосе на качественные показатели семян представлены в таблице 3.

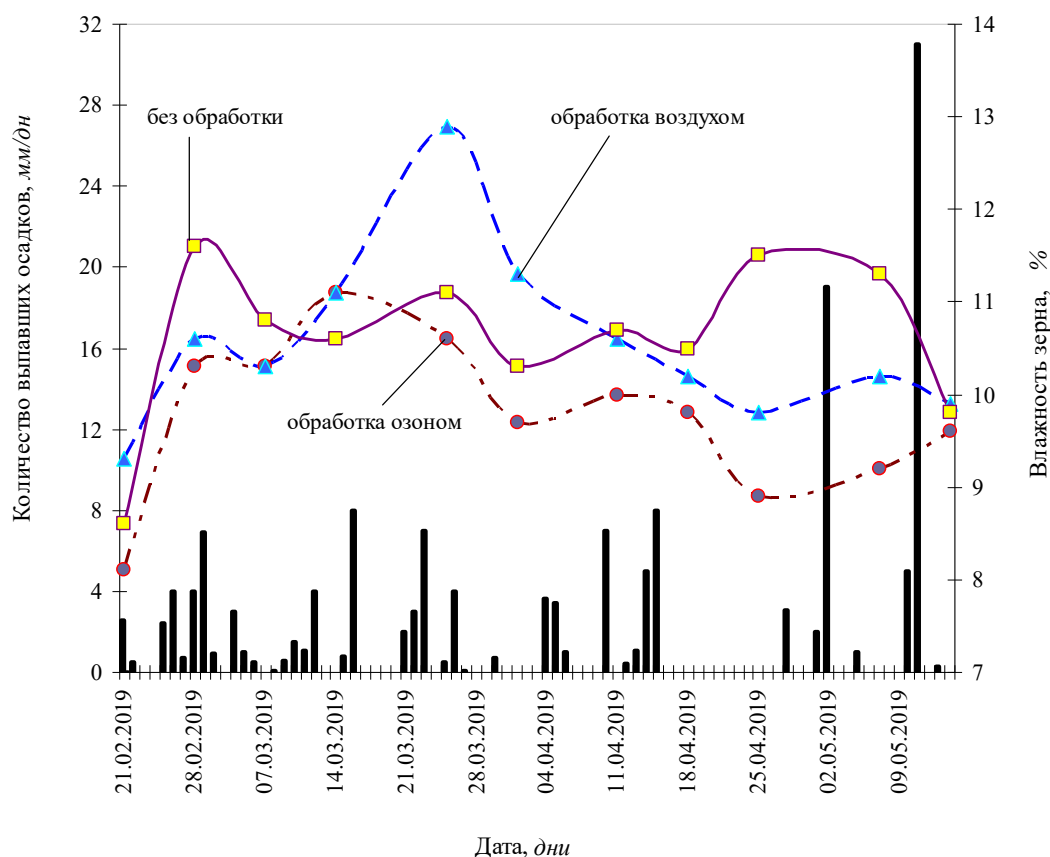
Таблица 3 – Изменение качественных показателей семян кукурузы при их хранении в металлическом силосе в зависимости от способа аэрации

Показатель	Влажность зерна, %			Энергия прорастания семян (4 день), %			Лабораторная всхожесть семян (7 день), %		
	С озон-ном	Воз-духом	Без об-работки	С озон-ном	Воз-духом	Без об-работки	С озон-ном	Воз-духом	Без об-работки
21.02.2019	8,1	9,3	8,6	96,5	96,5	97,5	96,5	97,0	97,5
26.02.2019	Обработка, 1 час, 0,6 м³/ч								
28.02.2019	10,3	10,6	11,6	-	-	-	-	-	-
05.03.2019	Обработка, 1 час, 0,6 м³/ч								
07.03.2019	10,3	10,3	10,8	89,5	95,0	96,5	91,5	95,0	96,5
12.03.2019	Обработка, 1 час, 0,6 м³/ч								
14.03.2019	11,1	11,1	10,6	-	-	-	-	-	-
19.03.2019	Обработка, 1 час, 0,6 м³/ч								
25.03.2019	10,6	12,9	11,1	-	-	-	-	-	-
01.04.2019	9,7	11,3	10,3	90,5	92,5	89,5	92,5	94,5	94,5
11.04.2019	10,0	10,6	10,7	-	-	-	-	-	-
18.04.2019	9,8	10,2	10,5	91,0	92,0	88,5	93,0	94,0	91,5
25.04.2019	8,9	9,8	11,5	-	-	-	-	-	-
07.05.2019	9,2	10,2	11,3	-	-	-	-	-	-
14.05.2019	9,6	9,9	9,8	92,5	91,5	87,5	94,5	92,5	90,5

Анализ полученных результатов показал, что внутри силосного зернохранилища зерновой материал через металлические стенки подвергается воздействию погодно-климатических условий. При выпадении осадков или частых колебаниях температуры воздуха вокруг 0 °С происходит увлажнение хранящегося зерна, а в солнечную погоду наблюдается снижение его влажности. Согласно исследованиям В.И. Бровенко, зерновой материал, находящийся на расстоянии 25 см от стенок силоса, может подвергаться воздействию суточных колебаний погодно-климатических условий. Однако, даже несмотря на влияние внешних

природных факторов на состояние зерна, их влажность на всём протяжении эксперимента находится в диапазоне допустимых значений. Это говорит о том, что силосные зернохранилища позволяют с достаточной эффективностью обеспечивать сохранность заложенного на хранение сухого зернового материала.

Изменение влажности зерна кукурузы внутри силосного зернохранилища в зависимости от способа обработки и количества выпавших осадков представлено на рисунке 11.



■ — количество выпавших осадков, мм/дн; —■— — влажность зерна, хранящегося с аэрацией озонородной смесью, %; —▲— — влажность зерна, хранящегося с вентиляцией воздухом, %; —■— — влажность зерна, хранящегося без обработки, %

Рисунок 11 – Изменение влажности зерна кукурузы внутри силосного зернохранилища в зависимости от способа обработки и периода хранения

Анализ рисунка 11 показал, что на влажность зерна внутри лабораторного силосного зернохранилища влияют погодно-климатические условия. В целом наименьший разброс в 3% между минимальными и максимальными значениями данного параметра наблюдается у материала, хранящегося с озонной аэрацией, а наибольший – при вентилировании атмосферным воздухом. В диссертационной работе также проводится анализ зависимости влажности зерна внутри силоса от относительной влажности воздуха и температуры воздуха. Однако тенденцию изменения влажности зерна в зависимости от одного из данных факторов погодных условий выявить не удалось. Поэтому полученные данные были обработаны с помощью соответствующего программного обеспечения, используя многофакторный анализ. Усреднённые данные погодных условий,

наблюдаемых в период хранения семян кукурузы в экспериментальных конических силосных зернохранилищах, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Усреднённые погодные условия в период хранения семян кукурузы в экспериментальных конических силосных зернохранилищах

Период	Количество выпавших осадков за период, N_{oc} , мм	Средняя относительная влажность воздуха, $W_в$, %	Средняя температура воздуха, $T_в$, °C	Влажность зерна в силосах при хранении, $W_з$, %		
				с озон-ном	с воз-духом	без об-работки
до 21.02.19	-	-	-	8,1	9,3	8,6
с 21.02 по 28.02.19	14,2	81	-3,2	10,3	10,6	11,6
с 01.03 по 07.03.19	12,3	75	-1,4	10,3	10,3	10,8
с 08.03 по 14.03.19	7,3	77	1,2	11,1	11,1	10,6
с 15.03 по 25.03.19	21,3	84	1,7	10,6	12,9	11,1
с 26.03 по 01.04.19	4,8	66	5,1	9,7	11,3	10,3
с 02.04 по 11.04.19	15	65	7,3	10	10,6	10,7
с 12.04 по 18.04.19	14,5	63	9	9,8	10,2	10,5
с 19.04 по 25.04.19	0	34	12,6	8,9	9,8	11,5
с 26.04 по 07.05.19	25,1	58	14	9,2	10,2	11,3
с 08.05 по 14.05.19	36,3	70	17,4	9,6	9,9	9,8

Статистическую обработку, представленных в таблице 4 данных, осуществляли посредством применения программного пакета «Statistica» раздел «Множественная регрессия». В результате выявлено, что при хранении семян кукурузы в экспериментальном силосе их влажность в зависимости от количества выпавших осадков, средних относительной влажности и температуры воздуха за период наблюдений описывается следующими уравнениями

$$W_3^{O_3} = 10,12034 - 0,09026 \cdot T_в + 0,00036 \cdot N_{oc} \cdot W_в, \quad (7)$$

$$W_3^B = 9,565033 - 0,184633 \cdot T_в + 0,001463 \cdot N_{oc} \cdot W_в - 0,011285 \cdot N_{oc} \cdot T_в + 0,005749 \cdot W_в \cdot T_в, \quad (8)$$

$$W_3^{нет} = 17,76372 - 0,26349 \cdot T_в + 0,11447 \cdot N_{oc} - 0,10499 \cdot W_в, \quad (9)$$

где $W_3^{O_3}$ – влажность зерна, хранящегося с периодическим озонированием, %;

$T_в$ – средняя температура воздуха за период наблюдений, °C;

N_{oc} – суммарное количество осадков, выпавших за период наблюдений, мм;

$W_в$ – средняя относительная влажность воздуха за период наблюдений, %;

W_3^B – влажность зерна, хранящегося с вентилированием воздухом, %;

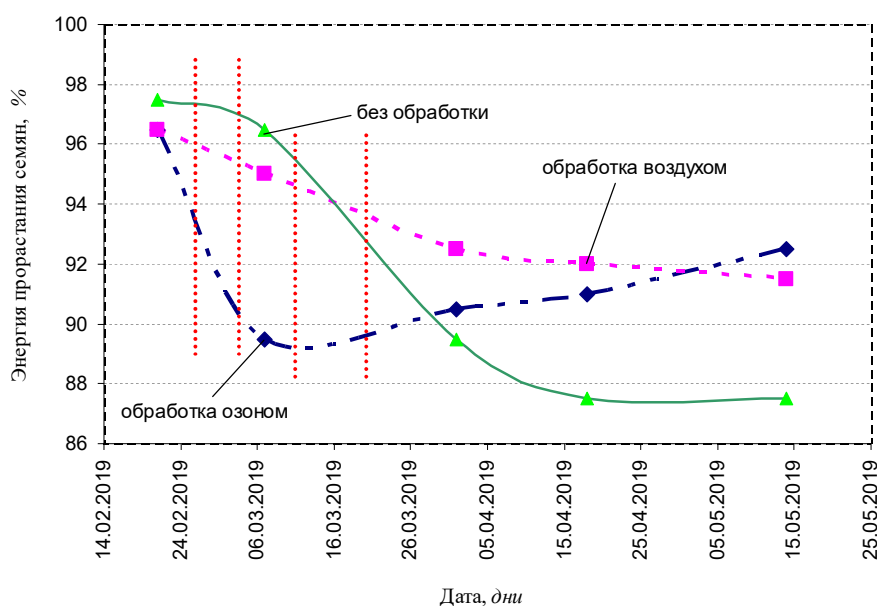
$W_3^{нет}$ – влажность зерна, хранящегося в силосе без аэрации, %.

Коэффициент множественной корреляции R полученных уравнений регрессии (зависимости 7, 8, 9) соответственно составляет 0,9, 0,86 и 0,84.

Анализ уравнений 7-9 показал, что основным фактором является температура воздуха. Данный показатель во всех вариантах опыта оказывает обособленное действие. При хранении зерна без какой-либо аэрации количество выпавших осадков и относительная влажность воздуха также разобщённо воздействуют на влажность хранящегося зерна. Периодическое озонирование способ-

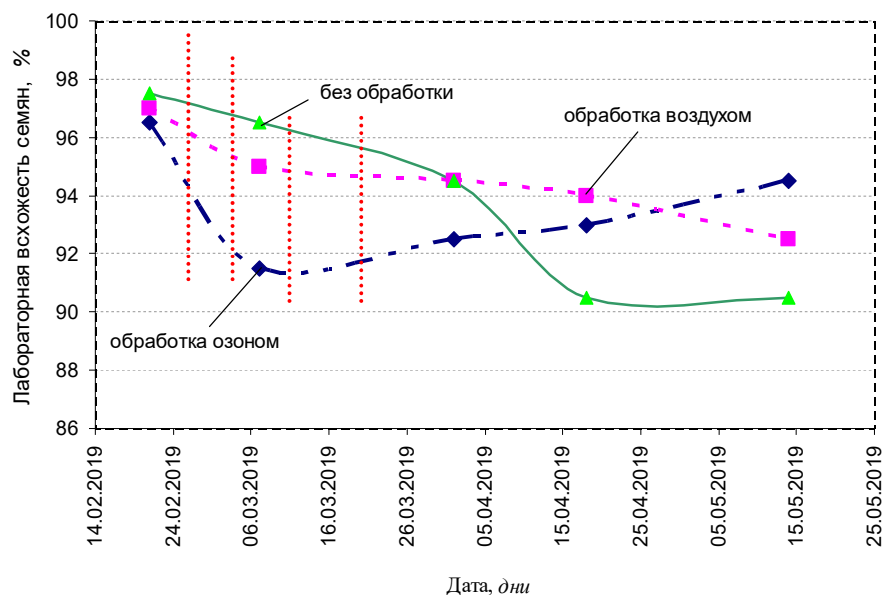
ствуется ослабеванию уровня химических связей молекул воды и как следствие, более слабому влиянию данных параметров на зерновой материал. Поэтому только произведение количества выпавших осадков и относительной влажности воздуха оказывает на влажность зерна статистически значимое воздействие. Вентилирование зернового материала внутри силосного зернохранилища способствует удалению части влаги, поэтому действие обоих факторов – количества выпавших осадков и относительной влажности воздуха – ослабевает. Однако произведение всех исследуемых параметров между собой имеет статистически значимые величины. Обобщая результаты исследований, можно утверждать, что наиболее целесообразным способом аэрации зерна в экспериментальных металлических силосах является его периодическое озонирование, при котором воздействие негативных погодных условий сведены к минимуму, а наибольшее влияние на влажность продукта оказывает температура окружающей среды.

При различных способах аэрации металлических силосов качественные показатели семян с течением времени изменяются по-разному (рисунки 12 и 13). Всего за три месяца наблюдений наибольшее снижение качества зерна зафиксировано в опыте без аэрации, а наименьшее – в варианте с периодическим озонированием. В конечном итоге энергия прорастания проозонированных семян снизилась на 4%, а их лабораторная всхожесть – на 2%. При этом отмечено некоторое увеличение этих показателей по мере отлёжки зерна после озонной обработки. В вентилируемом воздухом силосе энергия прорастания семян за три месяца эксперимента снизилась на 5,5%, а их лабораторная всхожесть – на 4,5%. В необрабатываемом силосе энергия прорастания семян снизилась за тот же период на 10,0%, а их лабораторная всхожесть – на 7%. Следовательно, озонная обработка посевного материала при хранении в металлических силосах более предпочтительна, чем вентиляция воздухом или отсутствие аэрации.



..... – обработка хранящихся семян кукурузы озоновоздушной смесью или воздухом

Рисунок 12 – Изменение энергии прорастания семян кукурузы в зависимости от времени хранения и способа аэрации в экспериментальных силосах



..... — обработка хранящихся семян кукурузы озоново-воздушной смесью или воздухом

Рисунок 13 – Изменение лабораторной всхожести семян кукурузы в зависимости от времени хранения и способа аэрации в экспериментальных силосах

Для подтверждения результатов лабораторных исследований был проведён полевой опыт, результаты которого представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Полевая всхожесть семян кукурузы в зависимости от способа аэрации силосного зернохранилища

Дата	Всхожесть семян, %			Примечание
	Хранение с озоном	Хранение с воздухом	Хранение без обработки	
14.05.19	-	-	-	Закладка опыта
21.05.19	94,5	92,5	90,5	Лабораторная всхожесть
21.05.19	72	72	59	Полевая всхожесть
25.05.19	77	74	64	Полевая всхожесть
27.05.19	78	74	66	Полевая всхожесть
31.05.19	77	72	67	Полевая всхожесть

Анализ таблицы 5 показал, что полевая всхожесть семян значительно отличается от лабораторной. Это объясняется тем, что в реальных условиях посева внешние факторы оказывают существенное влияние на развитие растений. Для лучшего сопоставления результатов исследований первые значения всхожести были определены на 7 сутки согласно ГОСТ 12038-84. В результате выявлено, что через неделю после посева полевая всхожесть семян в зависимости от способа аэрации силоса на 20,5...31,5% ниже лабораторного аналога. В дальнейшем в течение двух недель следили за динамикой появления всходов. Начиная с 11 суток наблюдений, полевая всхожесть семян изменялась незначительно. Некоторые всходы были очень слабые и поэтому практически сразу засохли. В конечном итоге полевая всхожесть семян, хранящихся без аэрации, составила 67%, что на 23,5% ниже лабораторного аналога. Обработка силосов

воздухом способствовала повышению качества посевного материала. Так, полевая всхожесть семян, вентилируемых воздушным потоком в период хранения, составила 72%, что на 20,5% ниже лабораторного аналога. Обработка силосных зернохранилищ озонозовоздушной смесью способствовала дезинфекции посевного материала и активизации ростовых процессов. При этом полевая всхожесть проозонированных в период хранения семян составила 77%, что на 17,5% ниже лабораторного аналога. Следовательно, озонирование силосных зернохранилищ положительно сказывается на качестве хранящегося посевного материала. Полевая всхожесть проозонированных семян на 5% выше, чем у посевного материала, обрабатываемого воздушным потоком и на 10% больше относительно семян, хранящихся без аэрации.

Таким образом, озонная обработка силосных зернохранилищ позволит снизить пагубное воздействие погодных условий в виде выпавших осадков и высокой относительной влажности воздуха на хранящийся зерновой материал. При этом озонирование одновременно повышает энергию прорастания семян на 5%, их лабораторную всхожесть на 4% и полевую всхожесть на 10% относительно посевного материала, хранящегося в силосах без аэрации. По сравнению с простым вентилированием силосных зернохранилищ озонирование семян повышает энергию прорастания на 1%, а лабораторную и полевую всхожесть – на 2 и 5% соответственно.

Отсюда можно сделать вывод, что озонирование позволяет обеспечить лучшую сохранность качественных показателей зерна, чем современные способы хранения зернового материала, предназначенного как для товарных, так и семенных целей.

Результаты исследований по определению влияния способа хранения посевного материала в силосном зернохранилище на урожайность зерна и биологической массы кукурузы представлены в таблице 6.

Анализ таблицы 6 показал, что хранение семян с аэрацией воздухом не оказывает существенного влияния на качество посевного материала. В целом контрольный вариант опыта, в котором не проводились никакие операции при хранении, не уступает обработке воздушным потоком, а чаще даже превосходит её. Способ хранения посевного материала с применением процесса озонирования позволяет значительно улучшить исследуемые показатели. Так, в среднем количество початков на одном растении, выращенном из озонированных семян, составляет 1,28 шт, что на 0,08 шт больше, чем у контрольного варианта. Учитывая норму высева, равную 6 шт/м и междурядье 70 см, на гектаре посевов количество растений составляет 86000 шт. Поэтому озонирование семян в период хранения позволит дополнительно получить 6880 початков с каждого гектара посевов, или на 6,7% больше. При этом биологическая масса у растений, выращенных из озонированных семян, на 28,4% выше, чем в контрольном варианте. Это особенно актуально при выращивании силосных культур. При этом масса стеблей на 40,9% больше, чем в контрольном варианте, а масса початков в листовой обвёртке – на 19,7%. Масса зерна, полученного от растений, чьи семена в период хранения озонировались, на 13,4% превышает соответствующие значения контрольного образца.

Таблица 6 – Результаты исследований по определению влияния способа хранения посевного материала в силосном зернохранилище на урожайность зерна и биологической массы кукурузы

Показатель	Способ хранения семян в силосах				
	Без обработки (контроль)	Аэрация воздухом		Обработка озоно-воздушной смесью	
		Значение	Отклонение от контроля, %	Значение	Отклонение от контроля, %
Количество растений, шт	60	60	0	60	0
Количество початков, шт:	72	73	1,4	77	6,9
из них: полноценных, шт	62	63	1,6	67	8,1
недоразвитых, шт	10	10	0	10	0
Доля недоразвитых (без зерна) початков, %	13,9	13,7	-1,4	13,0	-6,5
Среднее количество початков на одном растении, шт	1,20	1,22	1,7	1,28	6,7
Масса всей биомассы, кг	12,584	12,480	-0,8	16,160	28,4
Масса стеблей, кг	5,158	5,082	-1,5	7,270	40,9
Масса початков в листовой обвёртке, кг	7,426	7,398	-0,4	8,890	19,7
Масса листовой обвёртки, кг	1,148	1,382	20,4	1,363	18,7
Масса початков без листовой обвёртки, кг	6,278	6,016	-4,2	7,527	19,9
Масса стержней початков, кг	1,434	1,618	12,8	2,036	42
Масса зерна, кг	4,844	4,399	-9,2	5,491	13,4
Масса 1000 зёрен, г	315,82	305,82	-3,2	356,10	12,8

В пересчёте на гектар посевов озонирование семян в период хранения позволит дополнительно получить 9,3 ц/га.

Выход дополнительной продукции обусловлен повышением количества початков на 6,7% и большей массой 1000 зёрен на 12,8% и большим выходом крупных фракций на 7,3%.

В шестом разделе «Обоснование параметров и режимов работы комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала» обоснованы режимы работы очистителя зерна фракционного ОЗФ-80, сепаратора вторичной очистки семян СВС-30, озонаторной установки и зерносушилки.

В процессе проведения исследований обоснованы основные конструктивные и режимные параметры очистителя зерна фракционного ОЗФ-80. При первичной обработке товарного зерна пшеницы скорость воздушного потока в канале первой аспирации должна составлять 4,5...4,8 м/с. У сортировальных решёт верхнего решётного стана ячейку следует выбирать прямоугольной формы с шириной 2,4...2,6 мм. В качестве сортировальных решётных полотен нижнего стана целесообразней выбирать решёта с круглыми отверстиями ø 4 мм. У колосовых решёт ячейка должна быть круглой ø 8 мм. Подсевные решётные полотна могут иметь как прямоугольную ячейку шириною 1,7 мм, так и круглое

отверстие $\varnothing 2,5$ мм. Скорость воздушного потока в канале второй аспирации должна составлять $9,5 \dots 9,9$ м/с. В зависимости от состояния зернового вороха данные параметры следует настраивать в каждом конкретном случае с учётом физико-механических свойств обрабатываемого материала. При производительности очистителя ОЗФ-80 равной $41,1$ т/ч потери зерна составляют $0,06\%$.

В процессе проведения исследований обоснованы основные конструктивные и режимные параметры сепаратора вторичной очистки семян СВС-30. При обработке семенного зерна пшеницы скорость воздушного потока в канале первой аспирации должна составлять $7,5 \dots 8,0$ м/с или $0,65 \dots 0,90$ от скорости витания семян. У колосовых решёт ячейка должна быть круглой $\varnothing 7$ или 8 мм. Подсевные решётные полотна могут иметь как прямоугольную ячейку шириною $1,7$ мм, так и круглое отверстие $\varnothing 2,5$ мм. У сортировальных решёт ячейку следует выбирать прямоугольной с размером $2,4$ и $2,6 \times 25$ мм. При этом скорость воздушного потока в канале второй аспирации должна составлять $8,4 \dots 9,0$ м/с или $0,95 \dots 1,05$ от скорости витания семян данной культуры. В зависимости от состояния зернового вороха данные параметры следует настраивать в каждом конкретном случае с учётом физико-механических свойств обрабатываемого материала. У макетного образца выход основной фракции составил $83,7\%$ при содержании в ней полноценного зерна $99,45\%$.

Обоснованы основные режимные параметры озонаторной установки, которая в предлагаемом комплексе послеуборочной обработки и хранения зернового материала используется при выполнении разных операций. При подготовке влажного вороха к сушке озонирование необходимо проводить в буферном силосе при концентрации озона $5 \dots 20$ мг/м³ в течение часа. После этого семенное зерно доводят до кондиционного состояния по влажности ($W_{\text{конд}} = 13\%$) на серийных зерносушилках при температуре сушильного агента не более $60 \dots 70^\circ\text{C}$. В случае превышения содержания влаги в исходном зерновом ворохе ($W_{\text{исх}}$) значения в 19% операции озонирования и сушки необходимо повторять несколько раз. При этом количество циклов определяют по формуле

$$N_{\text{ц}} = \left[\frac{W_{\text{исх}}}{W_{\text{конд}}} + (0,0044 \cdot W_{\text{исх}}^2 - 0,044 \cdot W_{\text{исх}} - 0,9) \right]. \quad (10)$$

При обработке зернового вороха, заражённого вредителями, озонирование необходимо проводить в силосных зернохранилищах при концентрации озона в озоновоздушной смеси $5 \dots 70$ мг/м³ на протяжении $1 \dots 4$ часов. При необходимости операцию повторяют через $5 \dots 7$ дней. Вредителей в преимагинальных стадиях развития (куколка, личинка, яйцо) уничтожают при максимальном режиме озонатора. При концентрации озона свыше 1 г/м³ для дезинсекции необходимо от 40 минут до 9 часов. В случае маленькой озонопроизводительности озонатора дезинсекцию необходимо проводить в течение максимально возможного промежутка времени, вплоть до 55 суток.

При предпосевной озонной обработке семян в силосах хранения концентрация озона должна составлять от $0,2$ до 5 мг/м³, а время проведения операции не превышать 1 часа. При применении больших доз следует увеличивать время отлёжки посевного материала до 1 месяца.

При профилактическом озонировании служебных и рабочих помещений, в которых возможно нахождение людей, концентрация озона должна составлять $10...50 \text{ мкг/м}^3$ с обязательным автоматизированным контролем уровня ПДК равного 100 мкг/м^3 .

При дезинфекции одежды и обуви в специальных шкафах концентрация озона должна варьировать в диапазоне $1...20 \text{ мг/м}^3$, а время – $15...45 \text{ мин.}$ Чем грязнее вещи и стойче запах, тем большую дозу следует применять.

При дезинфекции пустых зернохранилищ и складов, в которых присутствие человека исключено, концентрация озона в озонозовоздушной смеси составляет $40...60 \text{ мг/м}^3$, что позволит уничтожить большинство мелких грызунов, бактерий, вирусов, микроорганизмов и прочих вредителей. При этом время обработки составляет несколько часов.

Во всех случаях с повышением концентрации озона следует уменьшать время обработки. После озонной дезинфекции нет необходимости проведения дополнительных операций.

Для оценки эффективности внедрения комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала был выбран наиболее близкий существующий вариант подобного сооружения. Его модернизация на основе применения предложенных в работе технических средств приводит к увеличению стоимости оборудования и эксплуатационных издержек. Дополнительные капитальные вложения составили $43,65 \text{ млн. руб.}$ Однако за счёт увеличения спектра выполняемых работ и получения более качественного зернового материала годовой экономический эффект от модернизации превысил $12,9 \text{ млн. руб.}$ Срок окупаемости капитальных вложений составил $4,6 \text{ года.}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что предпосевное озонирование семян повышает урожайность зерновых культур до 30% в зависимости от почвенно-климатических условий и режимов обработки. В среднем предпосевное озонирование семян способствует повышению урожайности зерновых колосовых культур на $3,35 \text{ ц/га}$ или $12,8\%$ относительно контрольных вариантов.

2. При сильной заражённости зернового вороха дезинсекцию необходимо проводить на этапе его транспортировки. Разработанная конструкция зерновоза позволяет проводить первичную озонную дезинсекцию в кузове транспортного средства. Для уничтожения большинства вредителей достаточна концентрация озона в озонозовоздушной смеси в диапазоне $5...70 \text{ мг/м}^3$. Для минимизации времени обработки следует выбирать максимально возможный режим озонатора.

3. Оптимальным вариантом для проведения озонной обработки семенного материала является силосное хранилище семян со следующими параметрами: конусное дно, общая высота не более 7 м , столб посевного материала до 5 м , число ярусов отводящих воздухопроводов не более 3 , каждый ярус размещён с расчётным взаимным угловым смещением и имеет не более 3 электромагнитных клапанов с форсунками, а у меньших силосов, с диаметром до 2 метров , целесообразно устанавливать два отвода в одном ярусе, смещая ярусы на 90° .

4. Предложен способ повышения эффективности сушки зернового материала, отличающийся применением предварительного озонирования влажного вороха перед его подачей в серийные зерносушилки. В зависимости от исходного состояния просушиваемого материала и культуры интенсивность влагоотдачи на протяжении первых *30...90 мин* процесса у заранее проозонированных зёрен в *1,18...3,4 раза* выше, чем в контрольных образцах. Влажный зерновой ворох следует озонировать в течение *1,5...2 часов*, а сушить – *60...90 мин*.

5. Сушить семенное зерно в шахтных зерносушилках не рекомендуется из-за снижения энергии прорастания и их лабораторной всхожести на *5,5...13,0%*, но если предварительно озонировать влажный ворох в буферной ёмкости перед зерносушилкой, то это позволит увеличить энергию прорастания семян на *2,0...2,5%*, а их лабораторную всхожесть – на *2,5...4%* по сравнению с традиционной сушкой.

6. Часовая озонная обработка с концентрацией озона *5...15 мг/м³* позволяет истребить *97%* жуков амбарного долгоносика, всю зерновую моль и около $\frac{3}{4}$ её гусениц. Для уничтожения большинства зерновых вредителей озонирование необходимо проводить при содержании данного газа в озоноздушном смеси в диапазоне *5...70 мг/м³* на протяжении от нескольких часов до нескольких суток. С увеличением концентрации озона до *200 мг/м³* время озонирования сокращается в *2...10 раз*. При повышении содержания данного газа в озоноздушном смеси свыше *1 г/м³* экспозиция уменьшается в *100...200 раз* до нескольких десятков минут. Во всех случаях с повышением концентрации озона надо уменьшать продолжительность озонной обработки. Для обеспечения безопасности процесса и увеличения ресурса оборудования целесообразно при наличии достаточного количества времени использовать менее жёсткие режимы озонатора, но большие экспозиции.

7. При хранении семян в силосных зернохранилищах с периодическим озонированием снижается отрицательное влияние погодных условий на их качество и повышается энергия прорастания на *5%*, лабораторная и полевая всхожесть на *4%* и *10%* соответственно по сравнению с хранением в силосах без аэрации. Вентилирование силосных зернохранилищ воздухом также уступает озонной обработке: энергия прорастания семян, хранившихся в них, на *1%* ниже, лабораторная и полевая всхожесть тоже ниже на *2* и *5%* соответственно, чем у посевного материала, хранящегося в силосах с озонированием.

8. Озонирование посевного материала в силосных зернохранилищах позволит увеличить урожайность зерна кукурузы на *13,4%*, или при норме высева *6 шт/м* на *9,3 ц/га*, за счёт повышения количества початков на *6,7%*, большей массы *1000 зёрен* на *12,8%* и большего выхода крупных фракций на *7,3%*. При этом биологическая масса растений увеличивается на *28,4%*.

9. Обоснованы основные конструктивные и режимные параметры наиболее сложного оборудования предложенного комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала, к которым следует отнести очиститель зерна фракционный *ОЗФ-80*, сепаратор вторичной очистки семян *СВС-30*, озонаторную установку и зерносушилку.

При первичной обработке товарного зерна пшеницы сепаратором *ОЗФ-80* скорость воздушного потока в канале первой аспирации должна составлять $4,5 \dots 4,8$ м/с. У сортировальных решёт верхнего решётного стана ячейку следует выбирать прямоугольной формы с шириной $2,4 \dots 2,6$ мм. В качестве сортировальных решётных полотен нижнего стана целесообразно выбирать решёта с круглыми отверстиями $\varnothing 4$ мм. У колосовых решёт ячейка должна быть круглой $\varnothing 8$ мм. Подсевные решётные полотна могут иметь как прямоугольную ячейку шириной $1,7$ мм, так и круглое отверстие $\varnothing 2,5$ мм. Скорость воздушного потока в канале второй аспирации должна составлять $9,5 \dots 9,9$ м/с. В зависимости от состояния зернового вороха данные параметры следует настраивать в каждом конкретном случае с учётом физико-механических свойств обрабатываемого материала. При производительности очистителя *ОЗФ-80* равной $41,1$ т/ч потери зерна составляют $0,06\%$.

При обработке семенного зерна пшеницы сепаратором *СВС-30* скорость воздушного потока в канале первой аспирации должна составлять $7,5 \dots 8,0$ м/с или $0,65 \dots 0,90$ от скорости витания данной культуры. У колосовых решёт ячейка должна быть круглой $\varnothing 7$ или 8 мм. Подсевные решётные полотна могут иметь как прямоугольную ячейку с шириной $1,7$ мм, так и круглое отверстие $\varnothing 2,5$ мм. У сортировальных решёт ячейку следует выбирать прямоугольной с размером $2,4$ и $2,6 \times 25$ мм. При этом скорость воздушного потока в канале второй аспирации должна составлять $8,4 \dots 9,0$ м/с или $0,95 \dots 1,05$ от скорости витания данной культуры. В зависимости от состояния зернового вороха данные параметры следует настраивать в каждом конкретном случае с учётом физико-механических свойств обрабатываемого материала. У макетного образца выход основной фракции составил $83,7\%$ при содержании в ней полноценного зерна $99,45\%$.

10. Озонаторная установка в различных случаях применения должна быть настроена на следующие режимы:

- при подготовке влажного вороха к сушке озонирование необходимо проводить в буферном силосе при концентрации озона $5 \dots 20$ мг/м³ в течение часа, после чего семенное зерно доводят до кондиционного состояния по влажности ($W_{\text{конд}} = 13\%$) на серийных зерносушилках при температуре сушильного агента не более $60 \dots 70^\circ\text{C}$, но в случае превышения содержания влаги в исходном зерновом ворохе ($W_{\text{исх}}$) значения в 19% операции озонирования и сушки необходимо повторять N_u раз, где $N_u = \left[\frac{W_{\text{исх}}}{W_{\text{конд}}} + (0,0044 \cdot W_{\text{исх}}^2 - 0,044 \cdot W_{\text{исх}} - 0,9) \right]$;

- при обработке зернового вороха, заражённого вредителями, озонирование необходимо проводить в силосных зернохранилищах при концентрации озона в озоновоздушной смеси $5 \dots 70$ мг/м³ на протяжении $1 \dots 4$ часов, при необходимости повторения операции её проводят через $5 \dots 7$ дней, а вредителей в преимагинальных стадиях развития уничтожают при максимальном режиме озонатора с концентрацией озона свыше 1 г/м³ на протяжении от 40 минут до 9 часов, но в случае маленькой озонопроизводительности озонатора дезинсекцию необходимо проводить в течение максимально возможного промежутка времени, вплоть до 55 суток;

- при предпосевной озонной обработке семян в силосах хранения концентрация озона должна составлять от $0,2$ до 5 мг/м^3 , а время проведения операции не превышать 1 часа, а если семена получают большие дозы, то им нужен срок отлёжки до 1 месяца;

- при профилактическом озонировании служебных и рабочих помещений, в которых возможно нахождение людей, концентрация озона должна составлять $10...50 \text{ мкг/м}^3$ с обязательным автоматизированным контролем уровня ПДК, равного 100 мкг/м^3 ;

- при дезинфекции одежды и обуви в специальных шкафах концентрация озона должна варьироваться в диапазоне $1...20 \text{ мг/м}^3$, а время – $15...45 \text{ мин}$, при этом чем грязнее вещи и устойчивее неприятный запах, тем большую дозу следует применять;

- при дезинфекции пустых зернохранилищ и складов, в которых присутствие человека исключено, концентрация озона в озонозовоздушной смеси составляет $40...60 \text{ мг/м}^3$, что позволит уничтожить большинство мелких грызунов, бактерий, вирусов, микроорганизмов и прочих вредителей, при этом время обработки составляет несколько часов.

Во всех случаях с увеличением концентрация озона следует уменьшать продолжительность обработки, причём после неё нет необходимости проведения дополнительных операций.

11. Дополнительные капитальные вложения при модернизации существующего комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала с ёмкостью зернохранилищ *50000 тонн* составят *43,653 млн. руб.* Вложенные средства окупятся за *4,6 года*.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Результаты представленных научных исследований могут быть использованы при разработке и создании зерноочистительных комплексов, проектировании и строительстве элеваторов, модернизации существующих зерноочистительных агрегатов.

Перспективой дальнейшей разработки темы являются исследования, связанные с изучением влияния процесса озонирования на различные компоненты зернового вороха с учетом их разного состава. Уточнение режимных параметров озонаторной установки при обработке всех возможных культур. Дальнейших исследований требуют вопросы, связанные с повышением эффективности работы технологических линий зерноочистительно-сушильных комплексов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные результаты докторских диссертаций

1. Тарасенко, А.П. Качественные показатели работы машин для первичной очистки зерна / А.П. Тарасенко, В.И. Орбинский, А.М. Гиевский, И.В. Баскаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – №8. – С. 2-4.

2. Гиевский, А.М. Качественные показатели работы двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины с одним воздушным потоком /

А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – №9. – С. 15-17.

3. Применение процесса озонирования в сельском хозяйстве / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.П. Тарасенко, А.В. Чернышов, О.В. Чернова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. 3(50). – С. 120-126.

4. Обоснование размеров осадочных камер двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины / А.М. Гиевский, В.И. Оробинский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков, Д.С. Тарабрин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. 4 (51). – С. 87-95.

5. Влияние процесса озонирования на эффективность сушки зерна кукурузы / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, Т.Н. Тертычная // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Вып. 4 (59). – С. 127-133.

6. Изменение концентрации озона в ворохе зерна кукурузы / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, А.П. Тарасенко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Вып. 4(59). – С. 134-140.

7. Исследования процесса озонирования при вентилировании зерна / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, В.А. Гулевский, Р.Н. Карпенко // Аграрный научный журнал. – 2019. – №2. – С. 66-72.

8. Снижение травмирования зерна при послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, И.В. Баскаков, А.В. Чернышов, М.К. Харитонов // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – №1(45). – С. 63-68.

9. Исследование эффективности очистки вороха яровой пшеницы на семенные цели воздушно-решетным сепаратором / В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.П. Тарасенко, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Вып. 2 (61). – С. 34-42.

10. Озонирование зерна при транспортировке бункерного вороха / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, В.А. Гулевский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Вып. 2 (61). – С. 67-75.

11. Баскаков, И.В. Влияние озонной обработки на вредителей зерна / И.В. Баскаков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Вып. 3 (62). – С. 41-46.

12. Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность сельскохозяйственных культур / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, А.П. Тарасенко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Вып. 4 (63). – С. 13-19.

Публикации в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных Scopus

13. Improving the mechanization of high-quality seed production / V.I. Orobinsky, A.P. Tarasenko, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov, I.V. Baskakov // Advances in Engineering Research: International Conference on Smart Solutions for Agriculture (Agro-Smart 2018). – 2018. – Vol. 151. – P. 849-852.

14. Seed refinement in the harvesting and post-harvesting process / V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, I.V. Baskakov, A.V. Chernyshov // *Advances in Engineering Research: International Conference on Smart Solutions for Agriculture (Agro-Smart 2018)*. – 2018. – Vol. 151. – P. 870-874.

Патенты на изобретения и полезную модель

15. Патент №2611176 С1 РФ, МПК А01F12/00. Универсальная зерноочистительная машина / А.М. Гиевский, А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков; патентообладатель ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ. – №2015156629; заявлено 28.12.2015; опубл. 21.02.2017. Бюл. № 6. – 7 с.

16. Патент №2659904 С1 РФ, МПК А01С1/00, А01F25/14. Хранилище семян / Р.Л. Чишко, А.П. Тарасенко, И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – №2017111422; заявлено 04.04.2017; опубл. 05.07.2018. Бюл. №19. – 7 с.

17. Патент на полезную модель №189918 U1 РФ, МПК В07В 1/46. Решётный стан / А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, В.И. Оробинский, М.К. Харитонов, И.В. Баскаков; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – №2018135949; заявлено 10.10.2018; опубл. 11.06.2019. Бюл. № 17. – 6 с.

18. Патент №2693139 С1 РФ, МПК В60Р 3/00, А01F 25/00, В65D 88/74. Зерновоз / Р.Л. Чишко, И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, М.В. Степанов; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – №2018100737; заявлено 10.01.2018; опубл. 01.07.2019. Бюл. № 19. – 11 с.

Публикации в других изданиях и материалах конференций

19. Тарасенко, А.П. Совершенствование технологии послеуборочной обработки зерна / А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчалова, И.В. Баскаков // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. – 2009. – Вып. 3 (22). – С. 22-25.

20. Чернышов, А.В. Альтернативные способы хранения зерна в хозяйствах / А.В. Чернышов, И.В. Баскаков // *Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов (Россия, Воронеж, 27-28 марта 2014 г.)*. – Ч. III. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2014. – С. 66-70.

21. Современные технологии хранения зерна в хозяйствах: учебное пособие / А.П. Тарасенко, И.В. Баскаков, А.В. Чернышов, М.Э. Мерчалова. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2014. – 135 с.

22. Современные методы хранения зерна в хранилищах силосного типа / И.В. Баскаков, А.В. Чернышов, Р.Л. Чишко, М.К. Харитонов // *Инновационные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса: материалы науч. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Россия, Воронеж, март – июнь 2015 г.)*. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 15-20.

23. Баскаков, И.В. Преимущества использования процесса озонирования в растениеводстве / И.В. Баскаков, А.П. Тарасенко, Р.Л. Чишко // *Наука и образование в современных условиях: материалы науч. конф. (Россия, Воронеж, 10 марта – 22 апреля 2016 г.)*. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 173-178.

24. Использование процесса озонирования при предпосевной обработке семян / И.В. Баскаков и др. // Наука вчера, сегодня, завтра: материалы науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 5-9 сентября 2016 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 10-23.

25. Озонирование семенного материала – резерв повышения урожайности зерновых культур / И.В. Баскаков и др. // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию А.П. Тарасенко, д-ра техн. наук, заслуженного деятеля науки и техники РФ, проф. каф. с.-х. машин Воронежского гос. аграр. ун-та им. императора Петра I (Россия, Воронеж, 10 января 2017 г.). – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 10-16.

26. Оробинский, В.И. Снижение травмирования зерна при уборке: монография / В.И. Оробинский, И.В. Баскаков, А.В. Чернышов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – 161 с.

27. Проблемы использования процесса озонирования в сельском хозяйстве / И.В. Баскаков и др. // Современные научно-практические решения в АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 6-7 июня 2017 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 41-46.

28. Баскаков, И.В. Зерноочистительные машины и элеваторное оборудование производства ООО «Воронежсельмаш»: учебное пособие / И.В. Баскаков, Р.Н. Карпенко, В.И. Оробинский. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – 307 с.

29. Improving the efficiency of apparatus of exact seeding of small-seeded crops / V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, A.A. Schwartz, I.V. Baskakov, A.V. Chernyshov // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2018. – № 10(5S). – P. 1226-1241.

30. Влияние процесса озонирования на эффективность сушки семян / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А. В. Чернышов // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: материалы V междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского гос. аграр. ун-та им. императора Петра I (Россия, Воронеж, 7-9 ноября 2018 г.). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 34-42.

31. Совершенствование механизации производства качественных семян / В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, И.В. Баскаков, А.В. Чернышов // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: материалы XI междунар. науч.-практ. интернет-конф. «ИнформАгро-2019» (Россия, п. Правдинский, 5-7 июня 2019 г.). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – С. 401-405.

32. Баскаков, И.В. Борьба с вредителями зерна на этапе транспортировки урожая посредством озонирования бункерного вороха / И.В. Баскаков // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 6-7 июня 2019 г.). – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 13-21.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 220.010.04 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю. Телефон (473) 224-39-39; 8-900-924-5638; e-mail: et@agroeng.vsau.ru.



БАСКАКОВ Иван Васильевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ
ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора сельскохозяйственных наук

Подписано в печать 20.12.2019г. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага кн.-журн.
П.л. 2,0. Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ №20332.
Типография ФГБОУ ВО ВГАУ 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1.