

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I»

На правах рукописи

БАСКАКОВ Иван Васильевич

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

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация на соискание учёной степени
доктора сельскохозяйственных наук

Научный консультант –
доктор сельскохозяйственных наук
Оробинский В.И.

Воронеж – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА.....	16
1.1 Современное состояние и пути совершенствования послеуборочной обработки и хранения зернового материала	16
1.2 Современные тенденции применения процесса озонирования при обработке зернового материала как одного из путей повышения его качества.....	41
1.3 Проблемы применения процесса озонирования в сельском хозяйстве и пути их решения	59
1.4 Краткий обзор теоретических исследований по озонированию зернового материала	62
1.5 Выводы	72
2 ОБОСНОВАНИЕ ЩАДЯЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА	74
2.1 Анализ состояния зернового материала, поступающего на послеуборочную обработку и хранение	74
2.2 Снижение заражённости зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку и хранение	86
2.3 Изменение качественных показателей зерна и семян в процессе послеуборочной обработки и хранения.....	96
2.4 Совершенствование технологии и технических средств линии послеуборочной обработки и хранения зернового материала за счёт применения процесса озонирования	106
2.5 Выводы	114

3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КОМПЛЕКСА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА	116
3.1 Недостатки современных линий послеуборочной обработки и хранения зернового материала.....	116
3.2 Технологическая схема проектируемого комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала	119
3.3 Выводы	137
4 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	139
4.1 Программа экспериментальных исследований	139
4.2 Экспериментальные установки, приборы и оборудование	140
4.2.1 Экспериментальная установка по обработке зернового материала озонозвоздушной смесью.....	140
4.2.2 Экспериментальная шахтная зерносушилка	142
4.2.3 Экспериментальные металлические конусные силоса	145
4.2.4 Приборное обеспечение, используемое при проведении экспериментов	147
4.3 Методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных	149
4.3.1 Общая методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных	149
4.3.2 Методика проведения эксперимента по обработке зернового материала озонозвоздушной смесью	150
4.3.3 Методика проведения эксперимента по определению влияния предварительного озонирования влажного зернового вороха на эффективность его сушки	151

4.3.4 Методика проведения эксперимента по определению влияния озонной дезинсекции на выживаемость вредителей зерна.....	152
4.3.5 Методика проведения эксперимента по определению влияния способа хранения посевного материала на качественные показатели семян.....	153
4.3.6 Методика проведения эксперимента по определению влияния способа хранения посевного материала на урожайность зерна и биологической массы	154
5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЗОНИРОВАНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА	156
5.1 Исследование процесса озонирования при вентиляции зернового вороха.....	156
5.2 Влияние предварительного озонирования влажного зернового вороха на эффективность последующей сушки зерна и семян.....	165
5.3 Влияние предварительного озонирования семян перед сушкой на их посевные качества	179
5.4 Влияние процесса озонирования на выживаемость вредителей зерна	186
5.5 Влияние способа хранения посевного материала в силосном зернохранилище на качественные показатели семян.....	190
5.6 Влияние способа хранения посевного материала в силосном зернохранилище на урожайность зерна и биологической массы кукурузы	205
5.7 Выводы	208
6 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА	211
6.1 Обоснование основных конструктивных и технологических параметров очистителя зерна фракционного ОЗФ-80	211

6.2 Обоснование основных конструктивных и технологических параметров сепаратора вторичной очистки семян СВС-30	221
6.3 Обоснование технологических параметров работы комплекса по озонированию и сушке зернового материала.....	233
6.4 Экономическая эффективность внедрения комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала	239
6.5 Выводы	251
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	254
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	260
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	268
ПРИЛОЖЕНИЕ А	299
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	302
ПРИЛОЖЕНИЕ В	303
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	304
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	305
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	326
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	327
ПРИЛОЖЕНИЕ З.....	328
ПРИЛОЖЕНИЕ И	329
ПРИЛОЖЕНИЕ К	331
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	334
ПРИЛОЖЕНИЕ М	335
ПРИЛОЖЕНИЕ Н	336
ПРИЛОЖЕНИЕ О	337
ПРИЛОЖЕНИЕ П	338
ПРИЛОЖЕНИЕ Р.....	339

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. В XXI веке в России наметилась устойчивая тенденция увеличения валового сбора зерновых культур [24]. 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 [23]. 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 [67, 138, 230], не интенсифицируется процесс влагоотдачи при сушке убранных урожая [20, 38, 217], не применяются современные средства обеззараживания и дезинфекции зернохранилищ [23, 187], не применяются мероприятия по улучшению посевных качеств семян [22]. 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 [131, 145, 185, 205, 207]. Семена крайне чувствительны к механическим воздействиям рабочих органов сельскохозяйственных машин, особенно при повышенной влажности [136, 160, 200]. Уборку зерновых культур, предназначенных для семенных целей, следует проводить только роторными зерноуборочными комбайнами, максимально возможно минимизируя в последующем контактирование зерновок с рабочими элементами зерноочистительного и элева-

торного оборудования [12, 14, 130, 177, 179, 208, 229, 248, 252]. При подготовке семян необходимо использовать всевозможные средства и методы, повышающие посевные качества материала или хотя бы снижающие пагубное воздействие рабочих органов сельскохозяйственных машин. При этом процесс озонирования выступает одним из наиболее перспективных решений по улучшению показателей семенной ценности зернового материала. Озонная обработка – это операция, использование которой не приводит к загрязнению атмосферы. При озонировании не образуются различные токсины и прочие вредные вещества внутри зерновки [25, 111, 164]. Озон при разных концентрациях дезинфицирует, стерилизует, saniрует, дезодорирует, стимулирует семена к росту, способствуя впоследствии увеличению урожайности зерновых культур [83, 127, 190]. Предпосевная обработка посевного материала озоном позволит отказаться от химического протравливания, исключив данную вредную операцию из технологической линии. Причём озонирование можно осуществлять непосредственно в зернохранилище.

Дальнейшее применение морально устаревших технологий подготовки семенного материала с использованием пестицидов и большого количества зерноочистительных машин снижает его посевные качества. В результате хозяйства часто бывают вынуждены использовать некондиционные по всхожести семена, превышая их норму высева [138, 206]. Это не только требует дополнительных затрат на производство зерновых культур, но и истощает почву, поскольку растения, отстающие в развитии, также поглощают питательные вещества, но они не успевают дать урожай к моменту уборки основного массива [129]. Озонирование позволит повысить качество семян, снизив потребление вредных для здоровья человека пестицидов, одновременно улучшив интенсификацию процесса сушки зерна и увеличив сроки безопасного хранения материала. Современное состояние техники позволяет реализовать предлагаемый относительно недорогой вариант озонной обработки без существенного риска для здоровья человека.

Анализ многочисленных исследований свидетельствует о том, что для получения высококачественного посевного материала зерновых культур отечественной агроинженерной науке необходимо обосновать щадящую технологию послеуборочной обработки и хранения зернового материала, в основу которой сле-

дует положить применение процесса озонирования с минимизацией механических воздействий рабочих органов на зерновку за счёт совершенствования технических средств для реализации этой технологии. Таким образом, тема настоящей диссертационной работы актуальна.

Диссертационная работа выполнена в ходе реализации следующих программ НИР:

- НИР 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»;

- грантов ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ» в 2017 году «Исследование процесса озонирования при подготовке семян и хранении зерна» и в 2018 году «Исследование влияния обработки зерна озоном на процесс его сушки».

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. Оробинский, 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 решетного стана, позволяющие усовершенствовать технологическую линию послеуборочной обра-

ботки 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 нагревания 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 следующих конференциях:

- 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 научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов «Инновационные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса» (Россия, Воронеж, март – июнь 2015 г.);
- на международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I «Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства» (Россия, Воронеж, 25 декабря 2015 г.);
- на ежегодной международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках «Актуальные проблемы аграрной

науки, производства и образования» (Россия, Воронеж, апрель 2016 г., апрель 2017 г., апрель 2018 г., апрель 2019 г.);

- на международной научной конференции «Наука и образование в современных условиях» (Россия, Воронеж, 10 марта – 22 апреля 2016 г.);

- на научно-практической конференции «Наука вчера, сегодня, завтра» (Россия, Воронеж, 5-9 сентября 2016 г.);

- на международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию А.П. Тарасенко, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора кафедры сельскохозяйственных машин Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I «Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве» (Россия, Воронеж, 10 января 2017 г.);

- на международной научно-практической конференции «Современные научно-практические решения в АПК» (Россия, Воронеж, 6-7 июня 2017 г.);

- на международной научно-практической конференции, посвящённой 105-летию ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Роль аграрной науки в развитии АПК РФ» (Россия, Воронеж, 1-2 ноября 2017 г.);

- на международной научно-практической конференции «Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства» (Украина, Макеевка, 26 апреля 2018 г.);

- на международной научно-практической конференции "Agrosmart - Smart Solutions for Agriculture" (Россия, Тюмень, 16-20 июля 2018 г.);

- на V международной научно-практической конференции, посвящённой 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I «Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности» (Россия, Воронеж, 7-9 ноября 2018 г.);

- на международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения», посвящённой 40-летию Белгородского ГАУ (Россия, п. Майский Белгородской обл., 19 ноября 2018 г.);

- на международной научно-практической конференции «Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» (Россия, Воронеж, 26-27 ноября 2018 г.);

- на национальной научно-практической конференции Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I «Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК» (Россия, Воронеж, 26 февраля 2019 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 международной научно-практической конференции «Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе» (Россия, Воронеж, 6-7 июня 2019 г.);

- на пленарном заседании научной и учебно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Теория и практика инновационных технологий в АПК» (Россия, Воронеж, 5 марта 2019 г.).

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 (Приложение П). Обоснованные режимы работы очистителя зерна фракционного *ОЗФ-80* внедрены и используются ООО НПКФ «Агротех-Гарант Березовский» Рамонского района Воронежской области (Приложение О). 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 (Приложение Н). Результаты исследований по повышению эффектив-

ности сушки зерна за счёт применения процесса озонирования внедрены в КФХ «Нектар» Красногвардейского района Белгородской области (Приложение Л). Озонная обработка посевного материала в период хранения используется учебно-научно-технологическим центром «Агротехнология» ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (Приложение М). Результаты диссертационной работы применяются в учебном процессе при подготовке магистров по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия» на агроинженерном факультете ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (Приложение Р).

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 РФ №2019118552 «Способ сушки зернового материала» и №2019118552 «Решётный модуль зерноочистительной машины» приняты положительные решения о выдаче патента.

Структура и объём работы. Диссертация представлена в виде рукописи, которая включает все обязательные элементы [62]: титульный лист, оглавление, введение, шесть разделов, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы из 255 наименований, приложения. Диссертация изложена на 339 страницах, включая 78 рисунков, 27 таблиц и 16 приложений.

1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

1.1 Современное состояние и пути совершенствования послеуборочной обработки и хранения зернового материала

Согласно агротехническим требованиям зерновой ворох, поступающий с полей от зерноуборочных комбайнов, в зависимости от способа уборки должен содержать не менее 95...96% зерна основной культуры [222, 225]. Однако анализ материала перед очисткой показывает, что содержание в нём засорителей может достигать 15%. Многие авторы [100, 104, 138, 210] отмечают, что чистота бункерного вороха варьируется в диапазоне 85...98%. Засорители, как правило, имеют повышенную влажность и заражённость, поэтому именно они послужат очагом для порчи всего убранного урожая. В связи с этим, послеуборочная обработка зернового вороха, поступающего от зерноуборочных комбайнов, является необходимой технологической операцией, позволяющей довести зерно до кондиционного состояния. Особенное внимание следует уделять зерновому материалу, предназначенному для семенных целей, т.к. от качества семян зависит урожайность сельскохозяйственных культур. При этом послеуборочная обработка должна обеспечить требуемую чистоту зерна с сохранением его жизнеспособности, соответствующей посевным стандартам в соответствии с ГОСТ Р 52325-2005 [59, 100].

От технологии послеуборочной обработки зерна и технических средств, её реализующих, напрямую зависит качество конечного продукта. В современных условиях наибольшее распространение получила очистка зернового вороха посредством зерноочистительных агрегатов серии ЗАВ, зерноочистительно-сушильных комплектов типа КЗС или специализированных элеваторов [16, 23]. Все они включают отделение послеуборочной обработки зерна, которое предназначено для доведения материала до кондиционного состояния по чистоте. Необходимость появления подобных агрегатов и комплексов вызвана невозможностью выделения всех примесей одним мобильным сепаратором и чрезмерной протяжённостью «напольной» технологической линии.

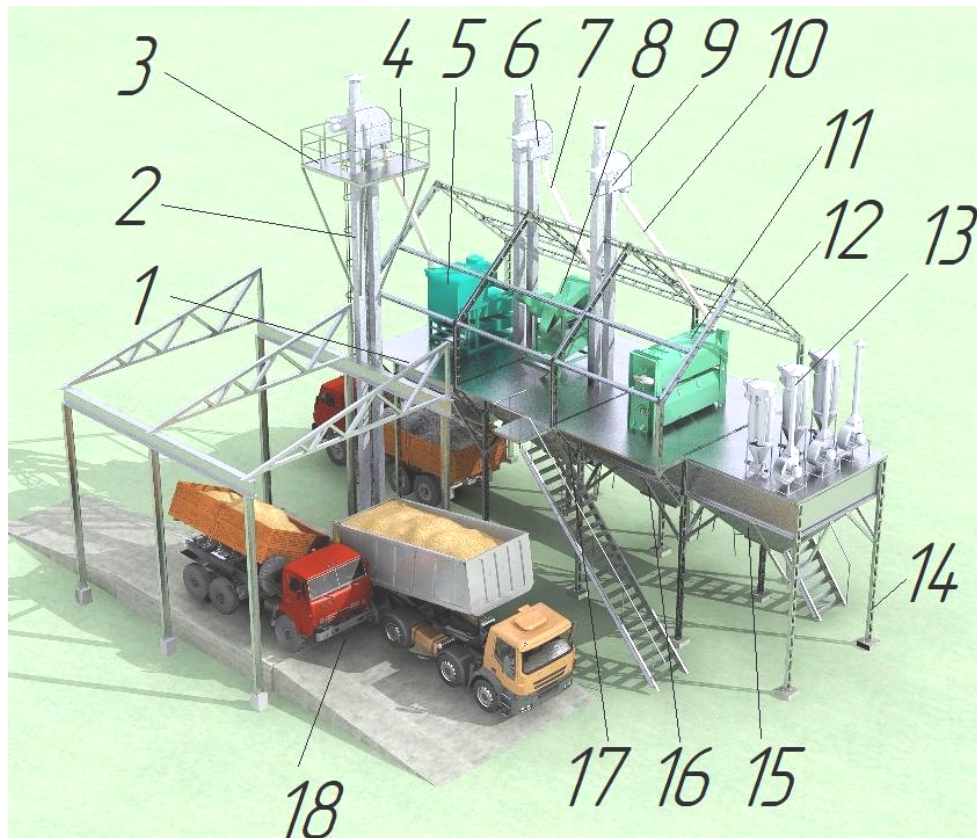
Зерноочистительный агрегат серии *ЗАВ* представляет собой набор специализированных машин и оборудования, который предназначен для механизированной разгрузки, очистки и сортировки зерна. Одним из первых идея объединять различные сепараторы в единую технологическую линию пришла сотрудникам ООО «Воронежсельмаш». Благодаря этому данные сооружения получили аббревиатуру *ЗАВ*, что расшифровывается так «зерноочистительный агрегат Воронежсельмаша» [23, 223, 253]. Цифра в маркировке указывает на часовую производительность всего комплекса машин. В настоящее время широко используется ряд подобных агрегатов: *ЗАВ-20*, *ЗАВ-25*, *ЗАВ-40*, *ЗАВ-50*, *ЗАВ-100*. Ранее использовались технологические линии и с меньшей производительностью, но на данный момент они утратили свою актуальность.

Несмотря на индивидуальность каждого зерноочистительного агрегата серии *ЗАВ*, все они имеют общие характерные элементы конструкции. Можно выделить следующие основные части [23, 41, 66, 141, 171, 210, 213]:

- приёмный бункер или завальная яма, которые оборудованы приспособлениями для въезда, выгрузки и выезда грузового автотранспорта, привозящего зерновой ворох на очистку;
- норрии, или вертикальные ковшовые подъёмные устройства;
- самотечные транспортирующие зернопроводы;
- горизонтальные ленточные или скребковые транспортёры;
- сепаратор предварительной очистки зерна;
- сепаратор первичной очистки зерна;
- опционально при необходимости подготовки высококачественного материала устанавливаются сепаратор вторичной очистки зерна или специализированная машина подготовки семян;
- аспирационная система отработанного запылённого воздуха;
- накопительные бункера основного продукта и промежуточных фракций;
- капитальное крытое сооружение, смонтированное на высоких опорах, объединяющее всё оборудование в единый объект и позволяющее производить самотечную разгрузку содержимого бункеров в грузовой автотранспорт.

Всё оборудование смонтировано в технологическую линию, обладающую высокой степенью механизации и согласованную по производительности. Управление зерноочистительным агрегатом осуществляется дистанционно. Иногда оборудование объединяется в две технологические линии, функционирующие одновременно и независимо друг от друга.

Экспликация оборудования зерноочистительного агрегата *ЗАВ-20* представлена на рисунке 1.1 [23] .



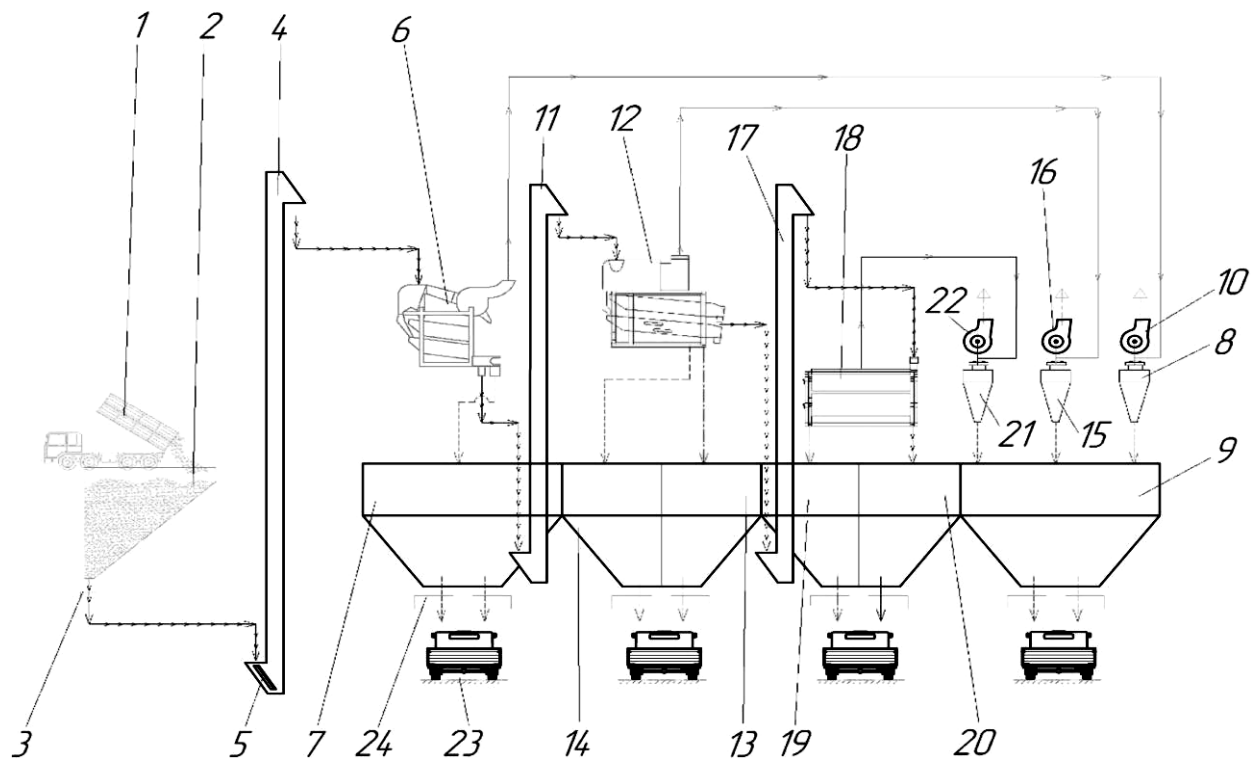
1 – бункер отходов; 2, 6 и 9 – нория вертикальная серии *НВ*; 3 – площадка обслуживания; 4, 7, 10 – самотечный зернопровод; 5 – очиститель вороха стационарный *ОВС-25С*; 8 – машина первичной очистки зерна *ЗВС-20М*; 11 – сепаратор триерный *СТ-12*; 12 – металлоконструкция крыши; 13 – аспирационная система; 14 – опорная металлоконструкция; 15 – бункер аспирационных отнсов; 16 – бункер чистого зерна; 17 – бункер фуража; 18 – завальная яма с пандусами для проезда самосвала и автомобилеразгрузчиком

Рисунок 1.1 – Экспликация оборудования зерноочистительного агрегата *ЗАВ-20*

Зерноочистительный агрегат *ЗАВ-20* состоит из завальной ямы 18 (рисунок 1.1) с пандусами для проезда самосвала, автомобилеразгрузчиком и навесом, за-

грузочной норией 2 с площадкой обслуживания 3, самотечных зернопроводов 4, 7, 10, стационарного очистителя вороха 5 марки *ОВС-25С*, работающего в режиме предварительной очистки, ковшовых вертикальных норий 6, 9 серии *НВ*, машины 8 первичной очистки зерна *ЗВС-20М*, сепаратора триерного 11 модели *СТ-12*, аспирационной системы 13, опорной металлоконструкции 14 с лестницами и крышей 12, бункеров 1, 15, 16, 17, оборудованных ручными задвижками, предназначенными для накопления и выгрузки полученных фракций.

Технологический процесс работы данного зерноочистительного агрегата *ЗАВ-20* представлен на рисунке 1.2.



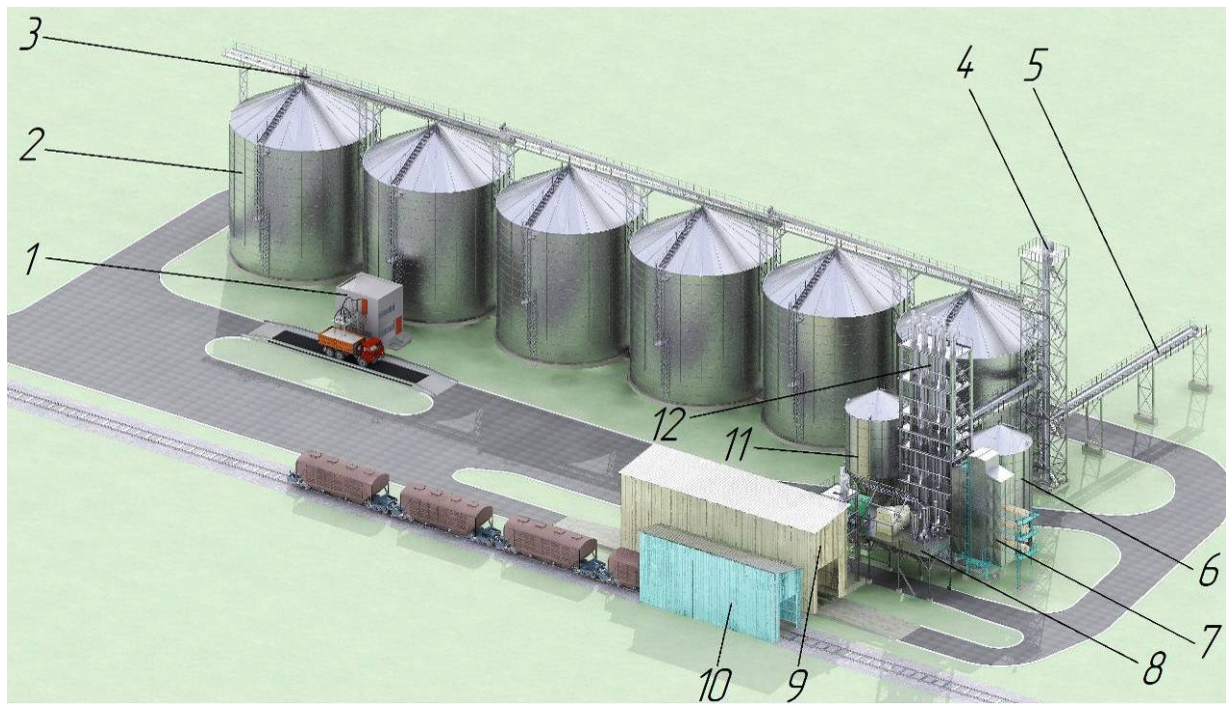
1 и 23 – грузовой автотранспорт; 2 – завальная яма; 3 и 24 – задвижка с ручным управлением; 4, 11 и 17 – ковшовая вертикальная нория типа *НВ*; 5 – магнитная пластина; 6 – очиститель вороха стационарный *ОВС-25С*; 7 – бункер отходов; 8, 15 и 21 – система аспирации с циклонами; 9 – бункер аспирационных отходов; 10, 16 и 22 – вентиляторы; 12 – машина первичной очистки зерна *ЗВС-20М*; 13 – бункер крупных примесей; 14 – бункер фуража; 18 – триерный сепаратор марки *СТ-12*; 19 – бункер трудноотделимых примесей; 20 – бункер чистого зерна

Рисунок 1.2 – Схема технологического процесса агрегата *ЗАВ-20*

Анализ технологического процесса современного зерноочистительного агрегата *ЗАВ-20* [23] показал, что он спроектирован на основе предшествующих конструкций, разработанных более полувека назад [67, 170, 233, 235]. По данной причине протяжённость линии очистки зерна имеет чрезмерное значение. Из-за этого рабочие органы специализированного оборудования зерноочистительного агрегата многократно воздействуют на зерновку, повреждая её. При полном цикле очистки конструкцией *ЗАВ-20* предусмотрен трёхкратный вертикальный подъём зерна ковшовыми нориями, что также приведёт к значительному его травмированию. Кроме того, данный зерноочистительный агрегат не содержит зерносушилки, из-за чего послеуборочная обработка влажного зернового вороха невозможна. Следовательно, современные зерноочистительные агрегаты серии *ЗАВ* морально устарели, они требуют модернизации не только оборудования, но и технологии.

Зерноочистительно-сушильный комплекс серии *КЗС* отличается от зерноочистительного агрегата *ЗАВ* наличием зерносушилки и буферных ёмкостей, связанных между собой посредством транспортного оборудования. Цифра в маркировке указывает на часовую производительность технологической линии. В настоящее время широко используется ряд подобных зерноочистительно-сушильных комплексов: *КЗС-20*, *КЗС-25*, *КЗС-40*, *КЗС-50*, *КЗС-100*. На современном этапе развития сельского хозяйства применение агрегатов серии *ЗАВ* без зерносушилки нерационально, поскольку не позволяет обрабатывать зерновой ворох повышенной влажности. Зерноочистительно-сушильные комплексы типа *КЗС* могут применяться как самостоятельно, так и в составе элеваторов, отличающихся наличием зернохранилищ и большего разнообразия транспортного оборудования.

Рассмотрим конструкцию зерноочистительно-сушильного комплекса серии *КЗС* в составе элеватора (рисунок 1.3), который дополнительно имеет шесть силосных зернохранилищ, рассчитанных на одновременное хранение 18000 тонн зерна, контрольно-пропускной пункт с автомобильными весами, лабораторию с автоматическим пробоотборником, отделение отгрузки конечной продукции и прочие вспомогательные сооружения.

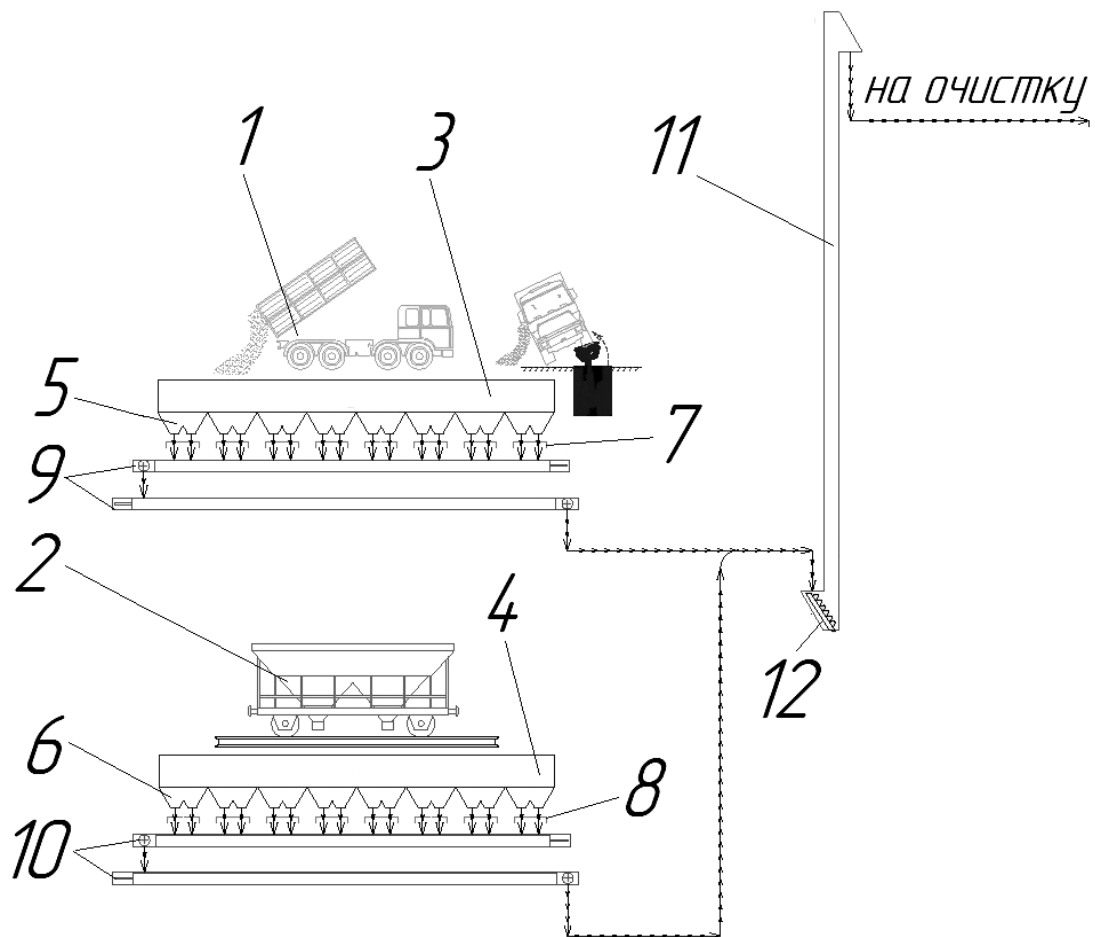


1 – лаборатория с пробоотборником и автомобильными весами; 2 – плоскостонные силоса хранения; 3 – эстакада надсилосных скребковых транспортёров; 4 и 12 – норийные вышки; 5 – отгрузочный скребковый конвейер; 6 – буферный силос сухого зерна с коническим дном; 7 – зерносушилка; 8 – зерноочистительный агрегат серии ЗАВ; 9 – приёмное устройство с автотранспорта; 10 – приёмное устройство с железнодорожного транспорта; 11 – буферный силос влажного зерна с коническим дном

Рисунок 1.3 – Экспликация зданий и сооружений элеватора на 18000 тонн единовременного хранения зерна

Элеватор состоит из лаборатории 1 (рисунок 1.3) с пробоотборником и автомобильными весами, силосов хранения 2 с плоским днищем, транспортных эстакад 3, 5 со скребковыми транспортёрами, норийных вышек 4, 12, буферных силосов 6, 11 с коническим дном, зерносушилки 7, зерноочистительного агрегата 8, приёмных устройств 9, 10 соответственно с автомобильного и железнодорожного транспорта.

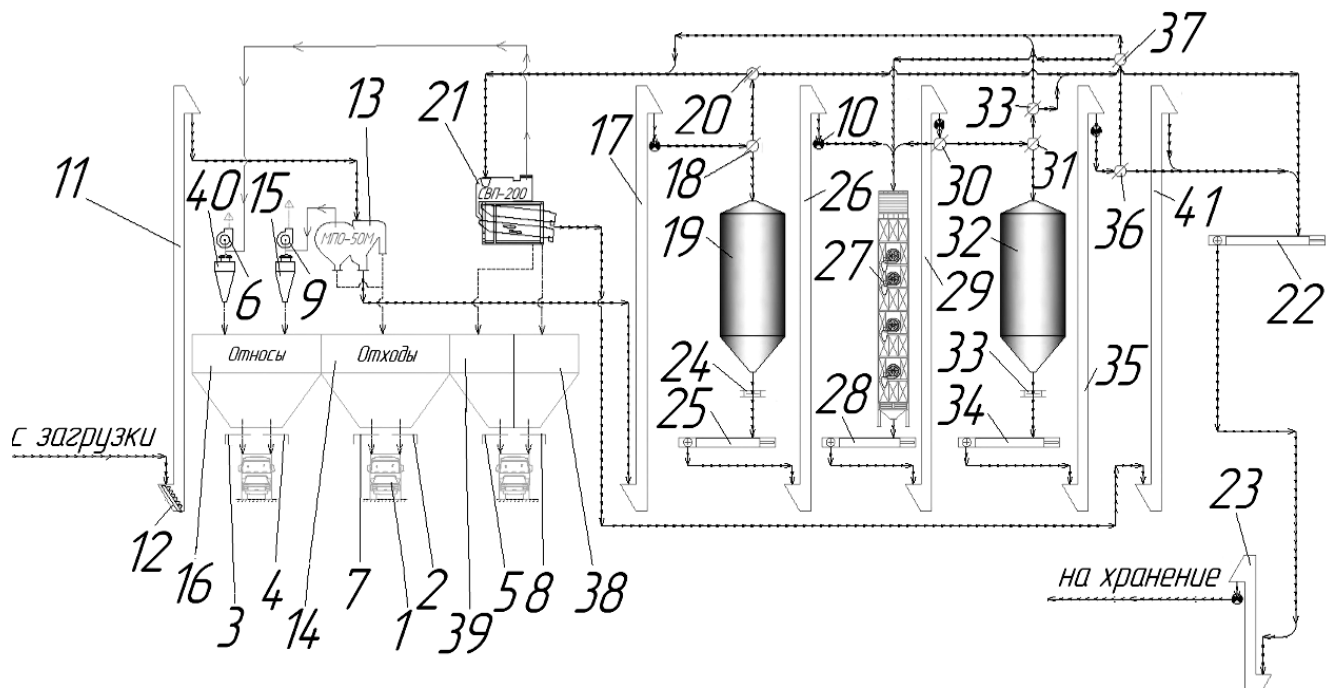
Зерно на территорию элеватора доставляется на грузовых автомобилях 1 (рисунок 1.4) или железнодорожном транспорте 2. Сначала зерновой материал направляют на взвешивание и обор проб. После оценки качества партии зерна выдается заключение о его приёмке или браковке. В случае принятия положительного решения транспорт отправляется на разгрузку.



1 – грузовой автомобиль; 2 – железнодорожный транспорт; 3 и 4 – завальная яма; 5 и 6 – приёмные бункера; 7 и 8 – задвижки; 9 и 10 – скребковые транспортёры; 11 – загрузочная вертикальная нория; 12 – магнитная пластина

Рисунок 1.4 – Технологическая схема отделения приёмки зерна

Для удаления из исходного зернового вороха посторонних примесей на каждом элеваторе предусмотрена установка различных зерноочистительных сепараторов, соответствующих специализации конкретного предприятия. Задача зерноочистительно-сушильного комплекса *КЗС* состоит в доведении зерна до требуемых кондиций по чистоте и влажности. На первом этапе необходимо выделить из вороха крупные и лёгкие примеси, которые наиболее вредны для сохранности зерновой массы, так как имеют повышенную заражённость вредителями и высокое содержание влаги. Схема технологического процесса зерноочистительно-сушильного комплекса *КЗС* на элеваторе представлена на рисунке 1.5.



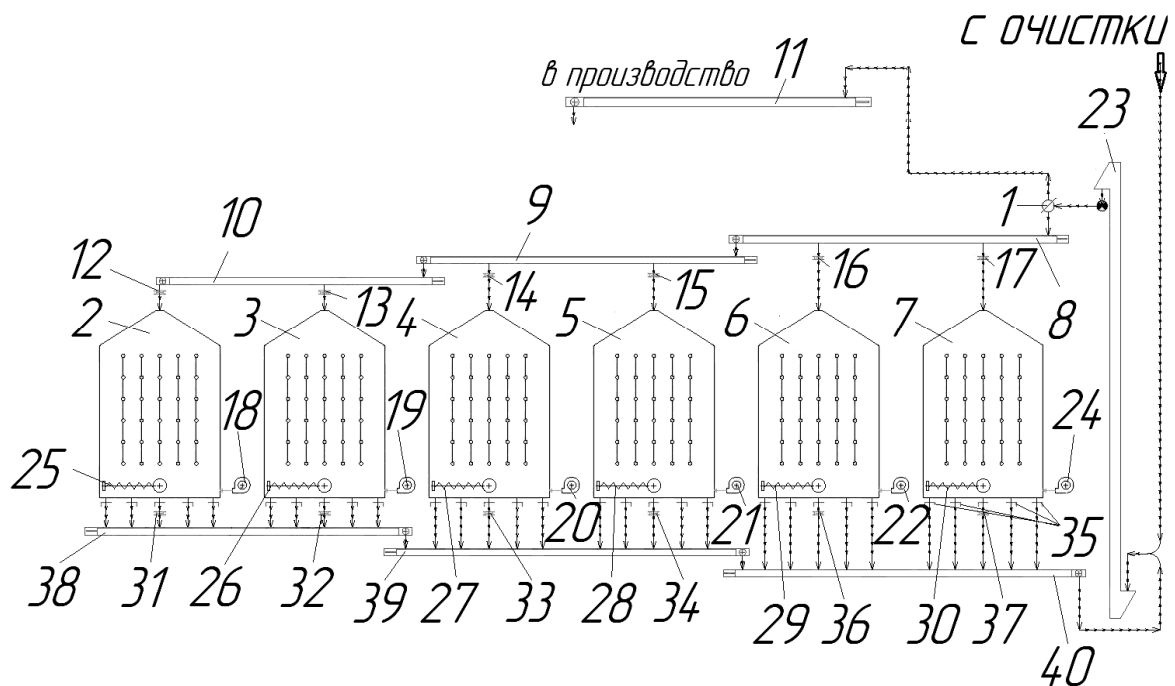
1 – автотранспорт; 2, 3, 4, 5, 7, 8, 24 и 33 – задвижка; 6 и 9 – вентилятор; 10 – огнепреграждающее устройство; 11 – нория загрузочная; 12 – магнитная пластина; 13 – машина предварительной очистки зерна МПО-50М; 14, 16, 38 и 39 – бункер; 15 и 40 – система аспирации отработанного воздуха; 17, 23, 26, 29, 35 и 41 – нория вертикальная серии НВ; 18, 20, 30, 31, 33, 36 и 37 – перекидной клапан; 19 – силос влажного зерна с конусным дном; 21 – сепаратор вороха СВП-200; 22, 25, 28 и 34 – скребковый конвейер типа КСВ; 27 – зерносушилка типа СВМ; 32 – силос сухого зерна с конусным дном типа СМК

Рисунок 1.5 – Технологическая схема зерноочистительно-сушильного комплекса КЗС на элеваторе

Анализ [23] технологического процесса зерноочистительно-сушильного комплекса КЗС показал, что ему присущи практически все недостатки зерноочистительных агрегатов серии ЗАВ. По сути, он является модернизацией, позволяющей производить послеуборочную обработку при повышенной влажности зерна. Наличие зерносушилки позволяет производить очистку позднесозреваемых культур, например кукурузы или подсолнечника. Однако протяжённость технологической линии от этого только увеличивается, а воздействие рабочих органов специализированного оборудования усугубляется. Следовательно, современные зерноочистительно-сушильные комплексы типа КЗС также морально устарели, они требуют модернизации не только оборудования, но и технологии.

Хранение зернового материала, очищенного посредством применения зерноочистительных агрегатов серии *ЗАВ* или зерноочистительно-сушильных комплексов типа *КЗС*, может осуществляться в герметичных полиэтиленовых рукавах, специализированных шатрах, различных зерноскладах, арочных ангарах, силосных металлических ёмкостях, полимерных силосах, железобетонных резервуарах элеваторов и т.д. [189, 228]. В зависимости от климатических условий, особенностей зернопроизводства, целевого назначения зерна, финансового состояния предприятия применяется та или иная технология.

В настоящее время наиболее популярна технология хранения зернового материала в сборно-металлических силосах. Как правило, расширение действующих и проектировка будущих элеваторов ведётся за счёт установки силосных зернохранилищ (рисунок 1.6).

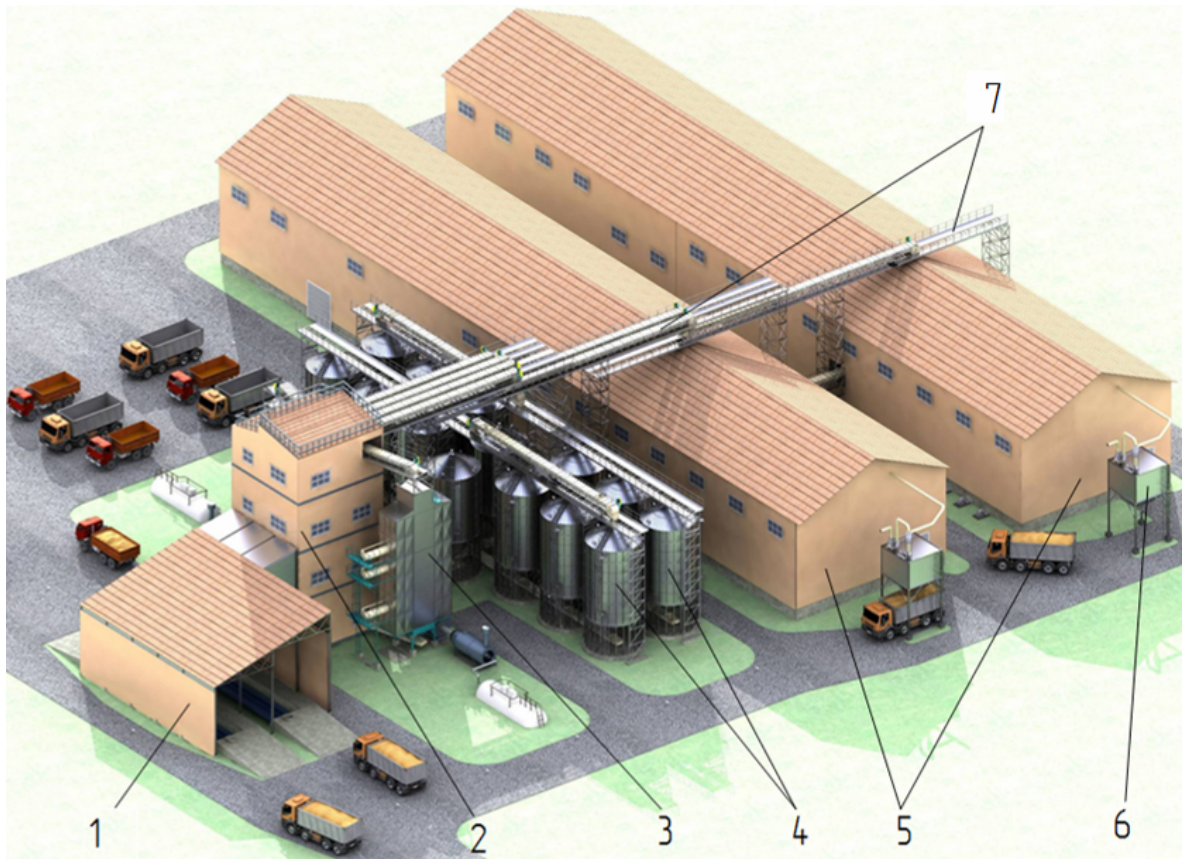


1 – перекидной клапан; 2, 3, 4, 5, 6 и 7 – плоскодонные силоса хранения; 8, 9, 10, 11, 38, 39 и 40 – скребковый конвейер; 12, 13, 14, 15, 16, 17, 31, 32, 33, 34, 36, 37 – задвижка с электроприводом; 18, 19, 20, 21, 22, 24 – система аэрации с термометрией; 23 – нория вертикальная; 25, 26, 27, 28, 29 и 30 – зачистной шнек; 35 – реечные задвижки

Рисунок 1.6 – Технологическая схема отделения загрузки силосов, хранения зерна и разгрузки зернохранилища силосного типа на элеваторе

Анализ [23] конструкции современных элеваторов показал, что силосные зернохранилища могут использоваться как при хранении товарного зерна, так и семенного материала. Существенным недостатком рассмотренных технологических линий является то, что для очистки семян используются те же машины, что и при послеуборочной обработке остального зернового вороха. Это приводит к снижению посевных качеств обрабатываемого материала, поскольку в зерноочистительных агрегатах серии *ЗАВ* и зерноочистительно-сушильных комплексах типа *КЗС* зерновка подвергается многократному воздействию рабочих органов сепараторов, а также транспортного оборудования. Нередко для доведения зерна до требований посевного стандарта ГОСТ Р 52325-2005 [53, 100] требуется несколько пропусков материала через всю технологическую линию. Это вызывает чрезмерное травмирование семян и значительно снижает их качество. Для подготовки семенного материала следует использовать специализированные мини-элеваторы и усовершенствованные технологии хранения.

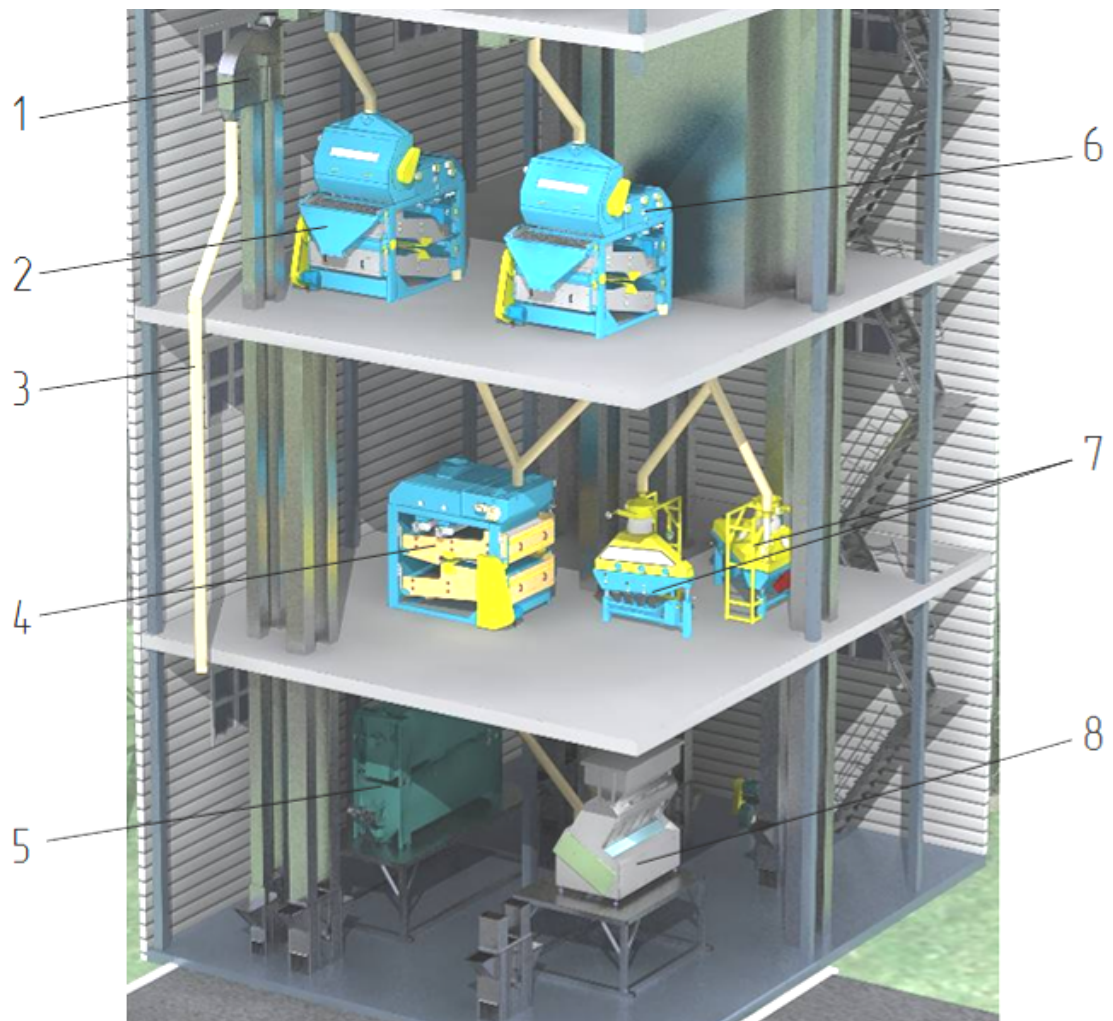
Известны [23] специализированные линии послеуборочной обработки семян, предназначенные для одновременного приёма, очистки, сушки, дражирования, инкрустирования, хранения, отгрузки семенного материала нескольких культур. Кроме силосных зернохранилищ, в такой линии установлены склады готовой затаренной продукции. Производительность семенной линии составляет *10 т/ч* [41]. Её конструкция включает пункт приёма *1* (рисунок 1.7) обрабатываемого вороха, участок очистки *2* зернового материала с набором необходимого транспортного оборудования, модульную жалюзийную сушилку *3*, силоса *4* с конусным дном серии *СМК*, склады *5* готовой продукции, хопперы *6*, скребковые конвейеры *7* типа *КСВ* и прочее оборудование. Доставка бункерного вороха осуществляется автотранспортом. После взвешивания и отбора проб лаборатория даёт заключение о соответствии исходного материала товарному или семенному назначению. Пункт приёмки и разгрузки унифицирован с подобными устройствами на агрегатах *ЗАВ*, *КЗС* или элеваторах (рисунок 1.4). Для одновременного приёма нескольких культур технологическая линия оснащается двумя параллельно работающими завальными ямами.



1 – пункт приёма исходного материала; 2 – участок очистки обрабатываемого материала; 3 – жалюзийная сушилка семенного вороха; 4 – силосы с конусным дном типа *СМК*; 5 – склады готовой продукции; 6 – экспедиторский силос; 7 – скребковые конвейеры

Рисунок 1.7 – Экспликация зданий и сооружений семенной линии, спроектированной ООО «Воронежсельмаш»

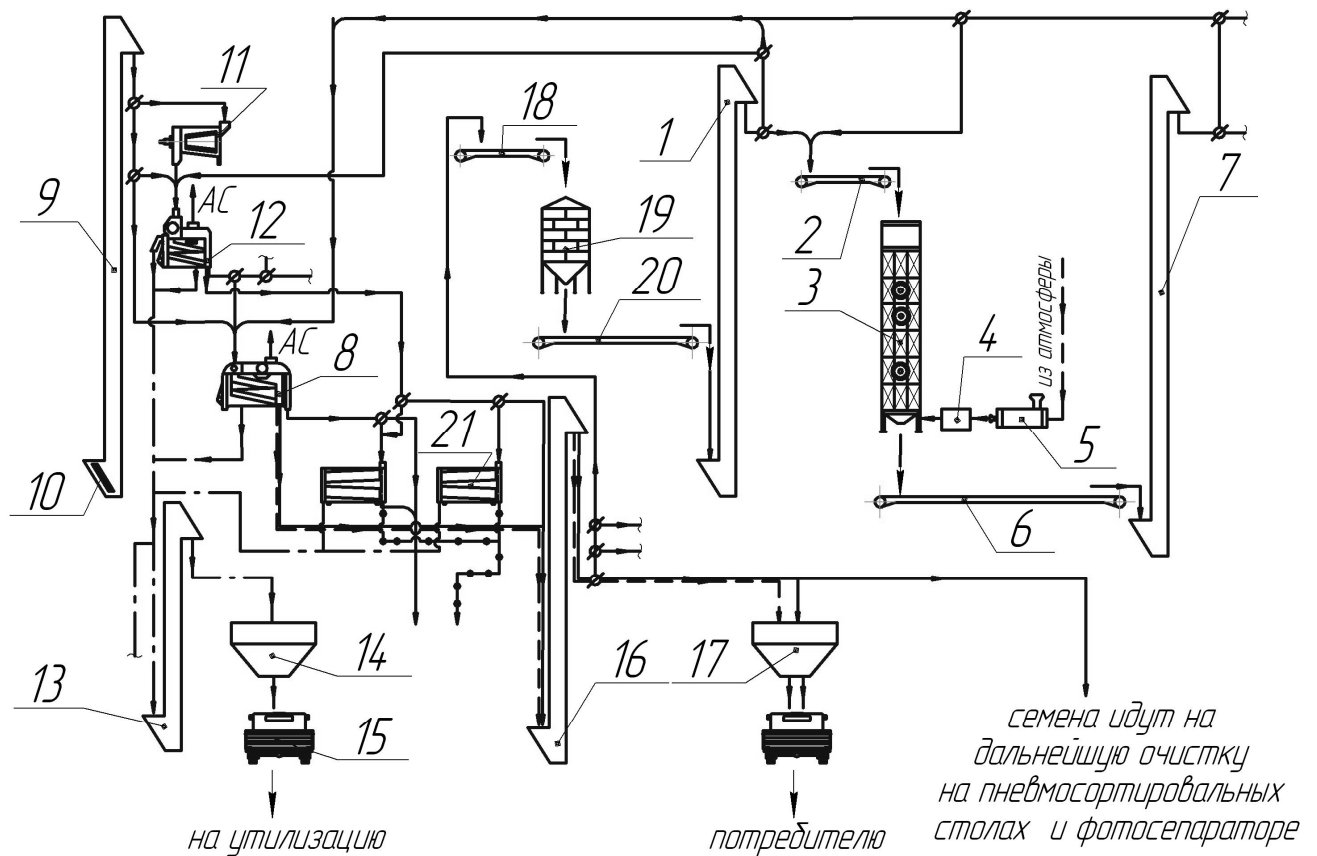
Практический интерес представляет собой участок очистки 2 (рисунок 1.7) семенного вороха, представляющий собой многоярусное размещение зерноочистительного оборудования. При обработке мелкосеменных культур перед сепараторами предварительной очистки 2, 6 (рисунок 1.8) марки *МОВ-1,0*, работающими параллельно, устанавливается машина для вытирания семян из коробочек *МВС-0,5*. В представленной технологической схеме данное оборудование отсутствует. В качестве сепаратора основной очистки семян 4 используется машина *МОС-0,5*. Она установлена в среднем ярусе, где также монтируются два пневмосортировальных стола 7 марки *СПУ-0,5*. Внизу участка очистки расположен триерный блок 5 модели *СТ-12*. Также в нижнем ярусе смонтирован фотосепаратор 8 типа Φ или лазерный оптоволоконный сепаратор серии *СВ*.



1 – нория; 2 и 6 – машины предварительной очистки семян *МОВ-1,0*; 3 – самотечный зернопровод; 4 – машина основной очистки семян *МОС-0,5*; 5 – триерный блок *СТ-12*; 7 – пневмосортировальный стол *СПУ-0,5*; 8 – оптоволоконный лазерный сепаратор *СВ-4*

Рисунок 1.8 – Участок очистки семенного материала

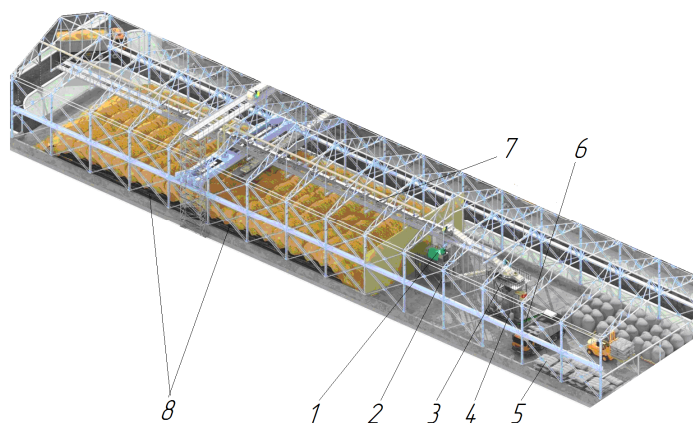
Технологическая схема отделения послеуборочной очистки и сушки семян представлена на рисунке 1.9. Анализ [23] процесса работы данной линии показал, что многоярусное расположение сепараторов представляет несомненный интерес, поскольку отпадает необходимость многократного подъёма очищаемого продукта. Это существенно снизит механическое воздействие рабочих органов транспортного оборудования. Однако применяемые зерноочистительные машины не позволяют за один проход подготовить семена должного качества. Поэтому следует модернизировать данный участок очистки путём совершенствования схемы размещения сепараторов.



1, 7, 9, 13 и 16 – норрии вертикальные серии *НВ*; 2, 6, 18, 20 – конвейер скребковый; 3 – семенная сушиллка вороха; 4 – вентилятор; 5 – теплогенератор; 8 – машина основной очистки семян *МОС-0,5*; 10 – шипованный магнитный блок; 11 – машина вытирания семян *МВС-0,5* из коробочек; 12 – машина очистки вороха *МОВ-1,0*; 14 – бункер отхода; 17 – бункер отгрузки зерна; 19 – силос с конусным дном *СМК*; 21 – триерные блоки

Рисунок 1.9 – Технологическая схема участка очистки семян с многоярусным расположением сепараторов на элеваторе

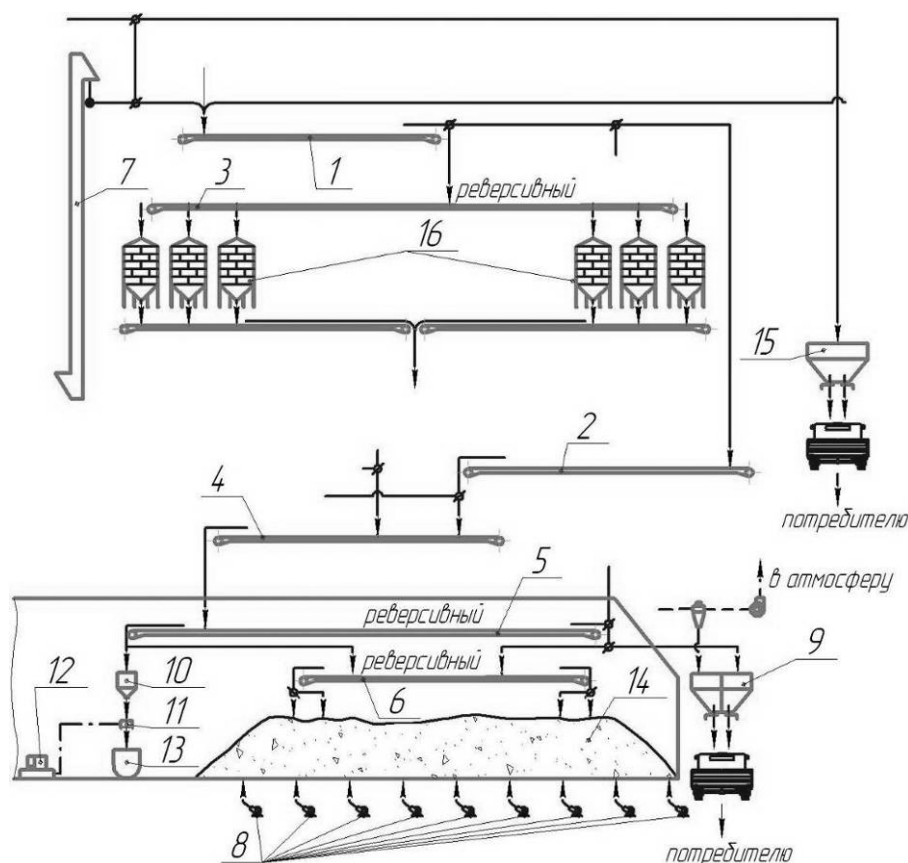
Хранение готовой продукции осуществляется в складах 5 (рисунок 1.7) насыпью на вентилируемых полах. В данном помещении установлена машина 1 (рисунок 1.10) дражирования семян *МДС-0,25*, которая работает в комплексе со специализированной сушилкой 2 марки *СДС-0,25*. Инструктирование посевного материала позволяет эффективно провести предпосевную обработку [153]. Кроме того, в ангаре имеется отделение затаривания, которое включает в себя промежуточный бункер 3, весы 4, пункт загрузки 6 мешкотары 5, конвейеры 7, аспирационную систему 8. В складе смонтированы кран-балки, пневмотранспортёры, оборудование для растаривания, поддоны, стеллажи и т.д.



1 – машина дражирования семян *МДС-0,25*; 2 – сушиллка семян *СДС-0,25*; 3 – бункер; 4 – весы; 5 – мешкотара; 6 – пункт затаривания; 7 – конвейеры; 8 – система аэрации

Рисунок 1.10 – Напольный склад готовой продукции семенной линии

Технологическая схема процесса закладки семян на хранение представлена на рисунке 1.11.



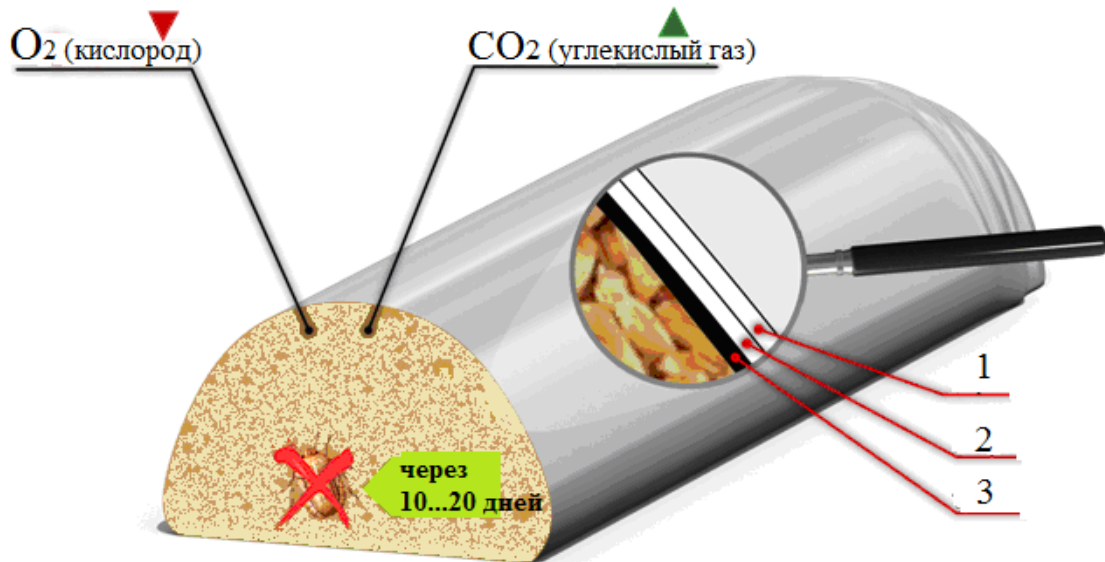
1, 2, 3, 4, 5 и 6 – конвейер; 7 – нория; 8 – вентиляторы; 9, 10 и 15 – бункер; 11 – весовой аппарат; 12 – компрессор; 13 – мешки «БИГ-БЭГ»; 14 – склад; 16 – конические силоса

Рисунок 1.11 – Технологическая схема процесса закладки семян на хранение

Анализ представленной линии послеуборочной обработки и хранения семян показал, что она имеет чрезмерную протяжённость [23]. Это отрицательно скажется на качестве готовой продукции из-за многократного механического воздействия транспортирующих рабочих органов. Кроме того, в технологической линии не предусмотрены мероприятия по санации посевного материала и повышению эффективности влагоотдачи при его сушке, которая отрицательно сказывается на всхожести семян. Несомненным достоинством данной конструкции является многоярусное расположение зерноочистительных сепараторов, которое следует применять при разработке современных семенных мини-элеваторов.

Известны несколько зарубежных, альтернативных технологий хранения зерна и семян [189, 228]. Изначально в каждой стране проблема сохранности произведенной зерновой продукции решалась обособленно с учётом специфики национального аграрного комплекса. Поэтому выделяют американскую, аргентинскую, канадскую и прочие технологии хранения зерна, которые имеют свои преимущества и недостатки.

В конце XX века в Аргентине зародилась наиболее дешёвая технология хранения зерна в герметичных полиэтиленовых рукавах. Их вместимость достигает 250 тонн. Основа технологии заключается в создании изолированной среды за счёт полной герметизации рукава. При этом внутри зернохранилища создаются неблагоприятные условия для развития насекомых и грибов. За счёт дыхания зерна внутри герметичного рукава снижается уровень кислорода, одновременно повышается содержание углекислого газа, который является консервантом. В результате за 10...20 дней хранения деятельность микроорганизмов сводится к минимуму. При этом зерно переходит в стадию анабиоза. С целью предотвращения попадания внутрь зернохранилища ультрафиолетовых лучей полимерные рукава имеют трёхслойную структуру. Внешние слои 1 и 2 (рисунок 1.12) окрашены в белый цвет, чтобы лучше отражать солнечные лучи и тепловые излучения. Для обеспечения должной функциональности и достаточной прочности в полимер плёнки вносят специальные присадки. Внутренний слой 3 рукава окрашен в черный цвет, который предотвращает попадание солнечных лучей на зерно.



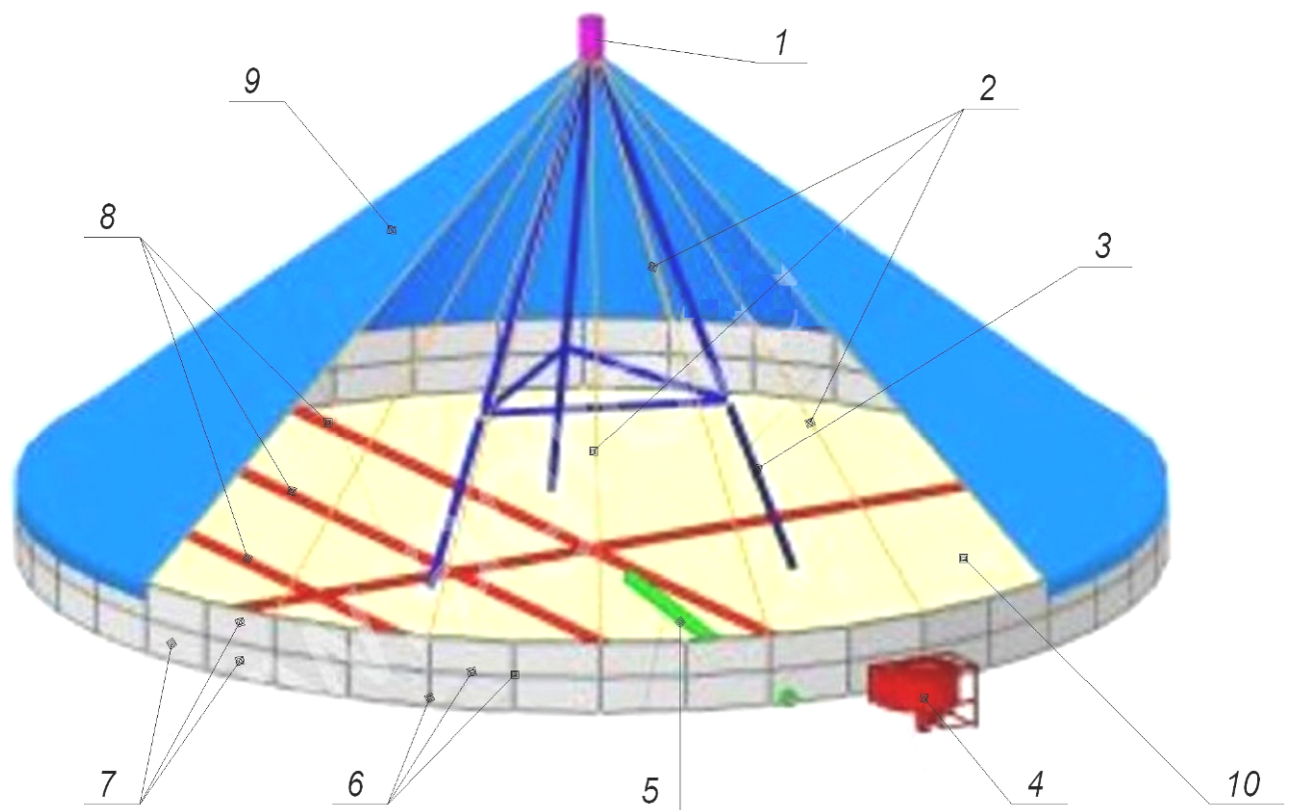
1 – первый белый слой; 2 – второй белый слой; 3 – третий черный слой

Рисунок 1.12 – Схема технологического процесса хранения зерна в герметичных полиэтиленовых рукавах

Анализ аргентинской технологии хранения зерна показал, что она является самой простой и наиболее дешёвой, поскольку нет необходимости в постройке стационарного объекта. В сравнении с элеватором затраты снижены в *4,6 раза*. Однако она имеет ряд недостатков. Для загрузки и выгрузки зерна необходимо покупать специализированные машины – соответственно беггер и экстрактор [189]. Продолжительное хранение влажного зернового материала невозможно. Повышение температуры окружающего воздуха с *минус 10* до *плюс 30°C* снижает сроки безопасного содержания зерна в рукавах *1,3...2,3 раза*. Даже кратковременное хранение зернового материала влажностью более *20%* возможно только при морозах. Содержание зерна в анаэробных условиях, воздействие рабочих органов беггеров и экстракторов снижают их посевные качества. Кроме того, рукав легко повреждается не только сельскохозяйственной техникой, но и животными, что существенно повышает риски порчи хранящегося продукта. Заплаты прорывов посредством специального скотча еще менее надёжны и не исключают попадание влаги внутрь зернохранилища. Автоматизация процесса мониторинга за состоянием зернового вороха невозможна и производится вручную, как и весь остальной уход за ними. Рукава одноразовые и вторично по санитарным нормативам приме-

няться не могут. Подобное зернохранилище следует обеспечить охраной не только от животных, но и от людей. Максимальная продолжительность хранения зерна при влажности 12% и температуре окружающего воздуха $\text{минус } 10^{\circ}\text{C}$ составляет 16 месяцев. При потеплении на каждые 10°C и увеличении содержания влаги в зерновом ворохе на 2% данный показатель снижается примерно на 30 дней. Следовательно, применение аргентинской технологии хранения является нецелесообразным при заготовке посевного материала, поскольку не гарантирует полной сохранности семян и их качества.

Альтернативным, относительно недорогим вариантом хранения зерна в хозяйствах является канадская технология применения быстровозводимых шатровых зернохранилищ (рисунок 1.13). Для их возведения не требуется разрешительная документация. Это позволяет возвести данное зернохранилище на любом удобном для хозяйства месте.



1 – загрузочное отверстие; 2 – тросы; 3 – стойка; 4 – вентилятор; 5 – выгрузное устройство; 6 – рёбра жесткости; 7 – обшивка; 8 – вентиляционная система; 9 – тент; 10 – днище

Рисунок 1.13 – Зернохранилище для реализации канадской технологии

Основа конструкции представляет собой металлическое кольцевое ограждение, состоящее из рёбер жесткости 6 (рисунок 1.13) и оцинкованных металлических листовых обшивок 7. На дне зернохранилища монтируется система воздухопроводов 8, укрываемая полимерным материалом и соединённая с несколькими нагнетающими вентиляторами 4. В центре конструкции устанавливаются стойки 3, соединённые тросами 2 с металлическим ограждением. Сверху зернохранилище укрывается тентом 3. Загрузка зернового материала осуществляется по центру через специальное отверстие 1 посредством применения ленточных или шнековых транспортёров. Диаметр шатровых зернохранилищ составляет 6...33 м, что позволяет хранить до 3200 тонн зерна [189].

Анализ канадской технологии хранения зерна показал, что она является достаточно доступной, поскольку нет необходимости в постройке стационарного объекта. Шатровое зернохранилище можно возвести за 1...2 дня. Срок его службы составляет 5...7 лет. Для каждой культуры необходимо возводить отдельное шатровое зернохранилище необходимой ёмкости. Однако канадская технология хранения зерна имеет несколько недостатков. Сохранность зернового материала гарантировано обеспечивается лишь на протяжении 10 месяцев. Влажность зерна, закладываемого на хранение, не должна превышать 15%. Для проведения активного вентилирования требуется электричество, а значит построить данное зернохранилище в любом месте нельзя. Для предотвращения развития вредителей необходимо регулярно применять специализированные дымовые шашки, что способствует загрязнению хранящегося продукта ядохимикатом. Мониторинг за состоянием зернового вороха осуществляется вручную путём отбора проб через специальные клапаны в полимерном тенте. Поэтому полностью исключить попадание влаги извне невозможно. Шатровое зернохранилище необходимо обеспечить охраной не только от животных, но и от людей. Разгрузка зернохранилища является трудоёмкой операцией, а применение шнековых транспортёров приводит к чрезмерному повреждению зерна. Следовательно, применение канадской технологии хранения зернового вороха является нецелесообразным при заготовке посевного материала, поскольку не гарантирует полной сохранности семян и их посевных качеств.

Не требуется разрешительная документация на строительство системы «Регас-Изок», которая предусматривает хранение зерна в полимерных ёмкостях марки *ЕСР-115* (рисунок 1.14) в регулируемой газовой среде. При этом зернохранилище должно быть полностью герметичным. Ёмкости изготавливаются из армированного гибкого полимера. Под днище зернохранилища, оборудованного шнековым выгрузным устройством и диффузорами, помещают геополотно, исключаящее образование грязи и рост сорняков. Низ полимерного силоса дополнительно защищают металлическим кольцевым ограждением. Для обеспечения работоспособности системы необходимы самоходная машина загрузки и выгрузки зерна модели *МУПЗ*, холодильная установка *ХМ-15*, вентиляторы высокого давления, комплект воздуховодов. Каждая полимерная ёмкость *ЕСР-115* имеет объём в 160 м^3 и массу около 150 кг . Срок эксплуатации данного силоса составляет 5 лет. Суть системы «Регас-Изок» схожа с хранением зерна в полимерных герметичных рукавах, только в отличие от аргентинской технологии углекислый газ выделяется не за счёт физиологических процессов зерновой массы, а принудительно. Кроме того, влажный материал на первом этапе не сушат, а охлаждают до температуры 5°C . Данный зерновой ворох можно хранить до 6 недель. После этого посредством конденсационного блока *ХТ-2900* снижают влажность зерна до кондиционного состояния прямо внутри полимерного силоса.

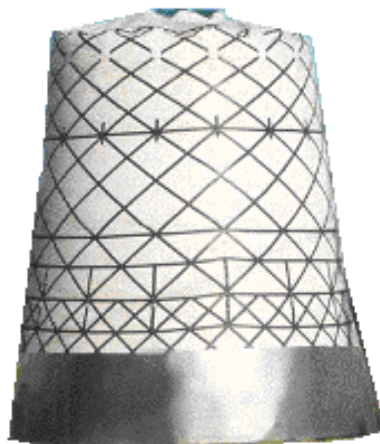
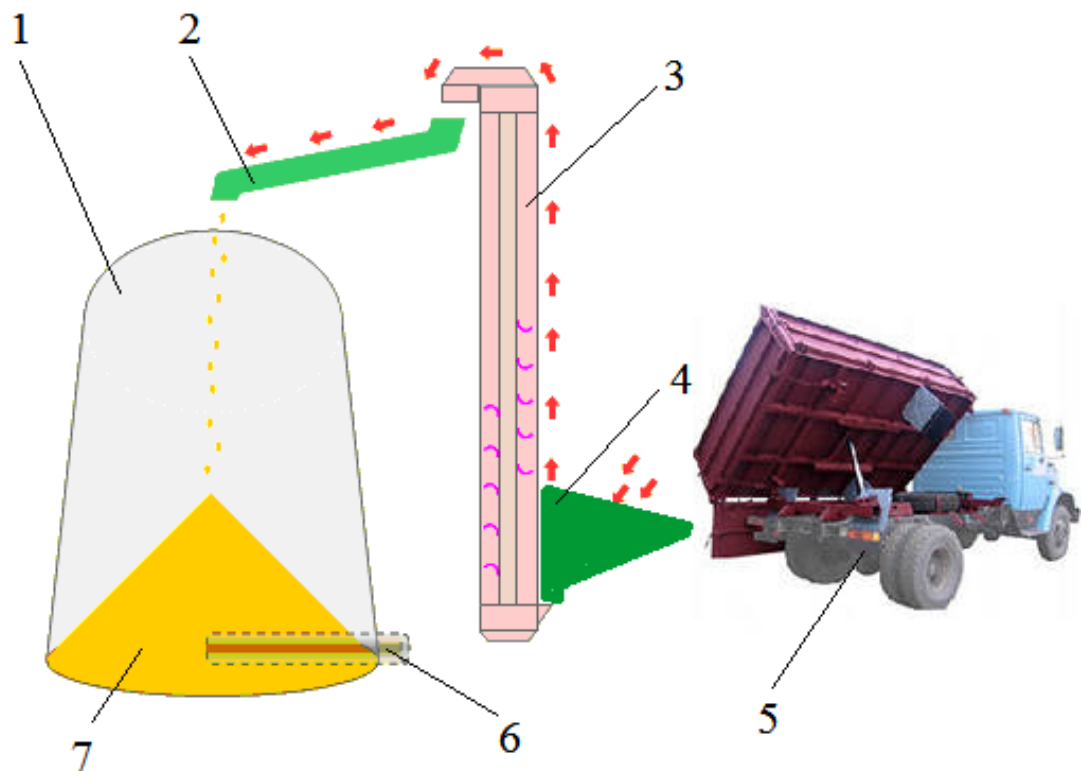


Рисунок 1.14 – Полимерная ёмкость *ЕСР-115*, используемая при хранении зерна в регулируемой газовой среде по системе «Регас-Изок»

Загрузка полимерных ёмкостей модели *ЕСР-115* производится через верх посредством применения мобильной установки перевалки зерна *МУПЗ*. При этом зерно 7 (рисунок 1.15) выгружают самосвальным автотранспортом 5 в приёмный бункер 4 машины, где установлен шнек, который подаёт зерновой материал в норию 3. Далее девятиметровый вертикальный транспортёр 3 загружает зернопровод 2 с виброприводом. Зерно 7 через центр полимерного силоса 1 заполняет зернохранилище. Разгрузка ёмкости осуществляется посредством шнекового устройства 6, которое подаёт материала в бункер 4. При этом зернопровод 2 устанавливают над кузовом самосвала 5.



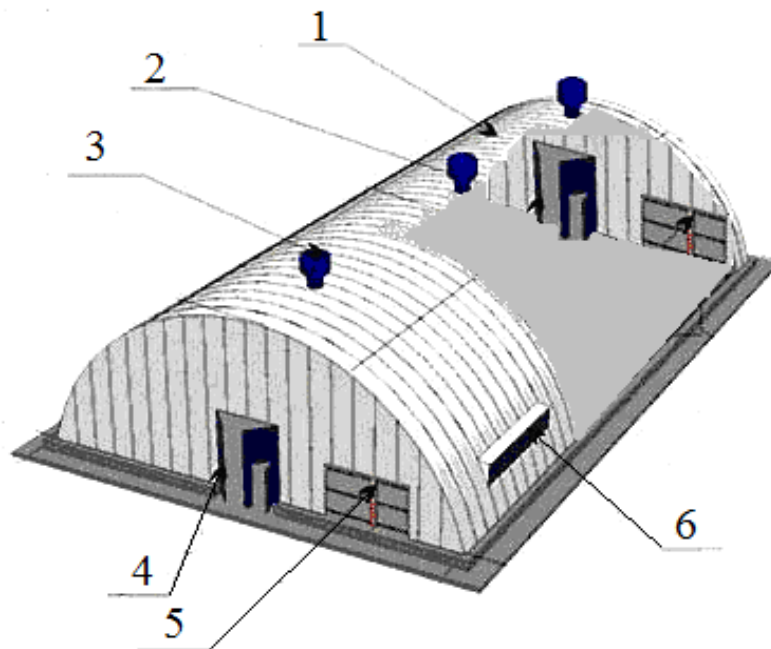
1 – полимерный силос *ЕСР-115*; 2 – зернопровод; 3 – нория вертикальная; 4 – приёмный бункер со шнеком; 5 – транспортное средство; 6 – шнек разгрузки; 7 – зерновой материал

Рисунок 1.15 – Схема технологического процесса загрузки полимерной ёмкости *ЕСР-115* мобильной установкой перевалки зерна *МУПЗ* по системе «Регас-Изок»

Анализ технологической схемы работы системы хранения зерна «Регас-Изок» показал, что данная технология позволяет осуществлять непрерывный мониторинг за состоянием зернового вороха и влиять на его качественные показатели.

ли, предупреждая порчу хранящегося продукта. Кроме того, оборудование мобильное и не требует разрешительной документации на строительство. Однако средний расход энергии за цикл, включающий загрузку материала, создание газовой среды, охлаждение, разгрузку одной ёмкости превышает $125 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. В зависимости от внешних условий через 4...6 недель необходимо провести повторную обработку. Это потребует около $60 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ энергии. Поэтому разместить систему «Регас-Изок» можно только вблизи линии электропередач, имеющих достаточный запас мощности, и получив разрешение от соответствующего надзорного органа. Нарушение целостности полимерного зернохранилища приведёт к порче хранящегося продукта. Затраты на внедрение данной технологии превышают *10 млн. рублей*. Содержание зерна в анаэробных условиях, воздействие рабочих органов нории и шнеков снижают его посевные качества. Следовательно, применение системы «Регас-Изок» при хранении семян является нецелесообразным, поскольку не гарантирует сохранение семенной ценности материала.

Альтернативой дорогостоящим складам и ангарам являются бескаркасные зернохранилища (рисунок 1.16), или американская технология хранения зерна.



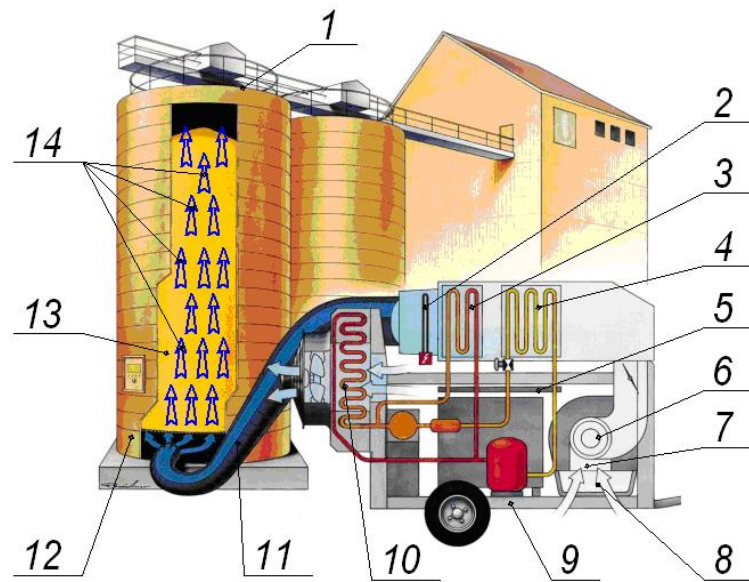
- 1 – оцинкованный металлический профнастил; 2 – арки; 3 – система вентиляции;
4 – ворота с дверью; 5 – торцевые стойки; 6 – оконные проёмы

Рисунок 1.16 – Схема бескаркасного арочного зернохранилища

Бескаркасные зернохранилища изготавливаются путём соединения произведённых непосредственно на стройплощадке арочных самонесущих профилей в арки ангара посредством специальной завальцовочной машины, обеспечивающей требуемую герметичность. При этом монтаж опорных балок и ферм не требуется, что значительно сокращает затраты на строительство, а также вес конструкции. Для изготовления профилей используются высококачественные оцинкованные металлические листы толщиной 0,8 и 1,5 мм. Бескаркасные зернохранилища устанавливаются на фундамент в течение нескольких недель. Ангараы оснащаются вентиляцией 3 (рисунок 1.16), воротами 4, оконными проёмами 6, системой мониторинга за состоянием хранящегося продукта. Длина зернохранилища не ограничена, а высота зерновой насыпи внутри него не должна превышать 2,5 м. Бескаркасные сооружения стоят в 2...3 раза дешевле, чем каркасные аналоги и в 4 раза меньше подобных капитальных железобетонных конструкций.

Анализ американской технологии хранения зерна в бескаркасных зернохранилищах показал, что она позволяет обеспечить сохранность хранящегося продукта. Для этого ангараы необходимо оборудовать перфорированными полами и системой вентиляции. Производство зернохранилища можно наладить в кратчайшие сроки непосредственно на месте строительства при условии бесперебойной поставки металлических листов и наличия специализированной дорогостоящей машины. Однако американская технология имеет несколько недостатков. Прежде всего, малейшее отклонение качества листовой стали от нормативов или технологии производства профилей приведёт к снижению прочности конструкции и последующему выходу из строя всего сооружения. Возможное нарушение фальцевого соединения из-за некачественной завальцовки или температурных перепадов воздуха. Слабым звеном американской технологии хранения зерна является отсутствие автоматизированной загрузки и разгрузки хранящегося продукта. Из-за этого необходимо применять мобильные транспортёры, которые, чаще всего, имеют механические рабочие органы, значительно повреждающие зерновой материал. Следовательно, применение американской технологии при хранении семян является нецелесообразным, т.к. приводит к снижению их качества.

В большинстве зернохранилищ, оборудованных системой вентиляции и имеющих достаточную герметичность, можно реализовать технологию консервации зерна методом охлаждения «Granifrigor». Зерновой материал с низкой положительной температурой имеет пониженную интенсивность дыхания, меньшую активность микрофлоры, длительный срок хранения. Поскольку зерно имеет низкую теплопроводность, то нет необходимости в постоянном проведении операции охлаждения. Технологическая схема консервации зернового материала посредством применения системы «Granifrigor» в силосном зернохранилище представлена на рисунке 1.17.



1 – дыхательный клапан; 2 – датчик температуры воздуха; 3 – устройство «Нугромат»; 4 – испаритель; 5 – конденсатор влаги; 6 – вентилятор высокого давления; 7 – фильтр; 8 – впускное окно; 9 – охлаждающая установка «Granifrigor»; 10 – калорифер; 11 – воздуховод; 12 – металлический силос; 13 – зерно; 14 – воздушный охлаждённый поток

Рисунок 1.17 – Технологическая схема консервации зерна методом охлаждения «Granifrigor» в силосном металлическом зернохранилище

Технологический процесс консервации зерна посредством применения мобильной установки 9 (рисунок 1.17) фирмы «Granifrigor» происходит следующим образом. Атмосферный воздух всасывается вентилятором 6 высокого давления через впускное окно 8 с фильтрующим элементом 7. При этом воздушный поток, очищенный от механических примесей, подаётся в испаритель 4, в котором он охлаждается. Далее воз-

дух поступает в устройство 3, называемом «Hygromat», где он обезвоживается посредством нагревания. Выделившаяся влага отправляется в конденсатор 5 и накапливается там. Поскольку в установке «Granifrigor» наряду с охлаждением применяется и нагрев, то круговорот энергии не требует дополнительных расходов. Калорифер 10 окончательно обезвоживает воздушный поток, который подаётся в воздуховод 11, подсоединяемый к системе вентиляции зернохранилища 12. За температурой охлаждающего агента следит датчик 2. Пронизывая зерновой ворох 13, обезвоженный охлаждённый воздух 14 забирает с собой влагу и тепло. Отработанный воздушный поток поступает в атмосферу через дыхательные клапаны 1, которые установлены в крыше силосного зернохранилища 12.

Анализ технологии консервации зерна методом охлаждения «Granifrigor» показал, что она позволяет продлить срок безопасного хранения зернового материала. Для применения данного способа необходимо, чтобы зернохранилище было достаточно герметичным, а также имело систему вентиляции. Однако в технологии консервации зерна методом охлаждения есть несколько недостатков. Прежде всего, это не истребление вредных микроорганизмов, а лишь снижение их активности. При высокой заражённости зернового вороха развитие патогенов будет способствовать повышению токсичности зерна. Разгерметизация зернохранилища или несоблюдение режимов обработки приведёт к активизации деятельности микроорганизмов и, как следствие, к порче хранящегося урожая. Из-за низкой теплопроводности зерна для его охлаждения требуются значительные энергозатраты, а повышение температуры окружающей среды увеличит их в несколько раз. Кроме того, мероприятия по повышению семенной ценности зернового материала в данной технологии не реализуются, что будет способствовать снижению его качества при хранении. Причём для протравливания семян необходимо производить ряд вспомогательных операций, что приведёт к дополнительному их травмированию. Следовательно, применение технологии консервации зернового вороха методом охлаждения «Granifrigor» при подготовке семенного материала является нецелесообразным, поскольку снижает его качество.

Обобщая проведённый в данном разделе анализ, можно прийти к выводу, что на данный момент все технологии послеуборочной обработки и хранения зер-

нового материала имеют те или иные недостатки. Зерноочистительные агрегаты серии *ЗАВ* или комплексы типа *КЗС* морально устарели и требуют глубокой модернизации. Многоуровневая схема размещения сепараторов в семенной линии является перспективной, но требует совершенствования в подборе сепараторов с целью минимизации механических воздействий рабочих органов на зерновку. При этом протяженность современных технологических линий послеуборочной обработки зернового вороха является чрезмерной, её следует сокращать. Также необходимо отметить, что в зерноочистительных линиях не предусмотрены мероприятия по снижению заражённости зерна, за исключением низкоэффективного механического способа. Кроме того, применяемые на данный момент технологии очистки зернового вороха, как правило, не реализуют принцип фракционирования, эффективность которого доказана учёными Воронежского государственного аграрного университета [40, 130, 133, 134, 138, 159, 204, 230]. Среди технологий хранения зерна и семян можно выделить силосные зернохранилища как наиболее перспективные сооружения для дальнейшего совершенствования технологии. Силоса обеспечивают автоматизированный мониторинг за состоянием зернового материала, гарантируют его сохранность, достаточно конкурентоспособны по финансовым соображениям при допустимых сроках постройки. Модернизация силосных зернохранилищ позволит усовершенствовать технологию послеуборочной обработки и хранения семян, а также повысить их качество. Консервация зерна посредством применения метода охлаждения, использования герметичных рукавов или силосов, специализированных шатров, складов, ангаров, железобетонных сооружений имеют массу недостатков, что не позволяет их использовать по разным причинам при подготовке семенного материала. Таким образом, на данном этапе развития сельского хозяйства совершенствование технологии послеуборочной обработки и хранения зернового материала за счёт разработки технических средств для её реализации является актуальной, жизненно необходимой задачей агроинженерной науки. Для этого нужно заменить существующее оборудование более перспективными конструктивными и технологическими решениями, устранив отмеченные недостатки.

1.2 Современные тенденции применения процесса озонирования при обработке зернового материала как одного из путей повышения его качества

Агропромышленный комплекс постоянно совершенствуется. Технологии, применяемые 10...15 лет назад, устаревают и массово выводятся из производства. Отставание российских аграриев от современных мировых методов ведения сельского хозяйства приведёт к стагнации отрасли. Анализ состояния послеуборочной обработки и хранения зернового материала, проведённый в предыдущем разделе, показал, что данные технологические линии, основываются на технологиях 70...80 годов прошлого века. Среди современных способов дезинфекции, стерилизации, дезодорации, санации, обеззараживания, дезинсекции зернового материала можно выделить процесс озонирования, который в отечественном сельском хозяйстве практически не применяется. В то время как в ряде западных стран озонные технологии твёрдо закрепились в ряде отраслей. Например, министерство здравоохранения и социальных служб США «United States Department of Health and Human Services» сертифицировала озон как дезинфицирующее средство, которое разрешено применять без ограничений [20, 38].

Озон представляет собой аллотропную модификацию кислорода, состоящую из трёх атомов и обозначаемую в химии молекулярной формулой O_3 . При обычных условиях данный химический элемент является газообразным веществом с резким специфическим запахом, благодаря которому он и получил своё название. Греческое слово «ὄζον» переводится на русский язык как пахнуть, что и позволило немецкому учёному Шейнбейну в 1785 году назвать данный химический элемент [164]. Основные преимущества озона заключаются в хорошей растворимости газа в воде, в его мощных окислительных свойствах, в восстановлении чистоты воздуха, в отсутствии токсинов в обрабатываемом материале, в дезинфицирующих, фунгицидных, бактерицидных действиях данного вещества, которые уничтожают большинство бактерий, вирусов, грибов.

Однако, несмотря на то, что первое оборудование, вырабатывающее озон, было разработано в далёком 1857 году немецким изобретателем Эрнстом Вернером фон Сименсом [109] и даже запатентовано в 1896 году всемирно известным

учёным Николой Тесла [164], до начала XXI века широкого практического внедрения в сельское хозяйство данные установки не получили. Основным сдерживающим фактором являлась себестоимость производства газа, которая в последнее время сократилась во много раз. Технический прогресс способствовал созданию относительно недорогих, компактных озонаторов, что позволило пересмотреть отношение к озонным технологиям [165].

В последние несколько десятилетий в России изучением процесса озонирования в сельском хозяйстве занимаются много учёных, среди которых можно отметить: В.Н. Авдееву, С.В. Вербицкую, И.В. Горского, Г.А. Закладного, Н.В. Ксенза, Д.А. Нормова, Е.К.М. Саеда, М.А. Сигачёву, А.Н. Сорокина, Г.П. Стародубцеву, В.Ф. Сторчевого, И.В. Шестерина, Р.И. Штанько, Р.С. Шхалахова и других [10, 31, 50, 78, 96, 118, 180, 181, 191, 195, 197, 234, 237, 238].

Неоспоримым преимуществом озона перед другими веществами является возможность получения газа непосредственно из воздуха. Поэтому нет необходимости в его хранении или затаривании. Озон получают на месте потребления посредством применения специализированного оборудования, называемого озонатором, разнообразие которых на данный момент достаточно широкое. Внедрение процесса озонирования в агропромышленный комплекс позволит значительно сократить производство, транспортировку и хранение различных стимуляторов роста, антибиотиков, ядохимикатов, которые пагубно влияют на здоровье людей. Кроме того, применение озонной обработки снизит поступление химических препаратов в почву и растительное сырьё, что положительно повлияет на экологию, загрязнение окружающей среды, чистоту продуктов питания [80, 167, 174, 251].

Обзор литературных источников множества авторов [10, 31, 50, 71, 94, 95, 96, 109, 111, 148, 164, 180, 174, 181, 197, 218, 234, 237, 238, 243] показал, что ареал изучения процесса озонирования в сельском хозяйстве достаточно широкий. Озонную технологию исследовали 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, переработки навоза, терапии животных, создании благоприятной среды в животноводстве и т.д.

Предпосевной обработке семян посредством озонирования посвящено наибольшее количество научных трудов [8, 25, 28, 29, 31, 35, 46, 50, 63, 83, 118, 124, 127, 181, 192, 199, 220, 234]. При этом исследовали влияние обработки посевного материала озоном на энергию прорастания, всхожесть, силу роста, урожайность растений, уничтожение вредителей, подавление грибных инфекций, развитие болезней, содержание клейковины в зерне и т.д.

И.В. Шестерин [234] установил, что озонная предпосевная обработка семян яровой пшеницы сорта «Саратовская-64» наиболее эффективна при концентрации озона $0,5 \text{ г/м}^3$ в озоновоздушной смеси и времени экспозиции $10...60 \text{ мин}$. Выявлено, что на вторые сутки энергия прорастания проозонированного материала варьировалась в диапазоне $43,5...45,2\%$, что на $29,5\%$ выше, чем в контрольном варианте. На третий день данный показатель вырос до $63,3...71,7\%$. Это более чем в два раза (на $52,7\%$) превышало аналогичные значения в контроле [25].

Озонная предпосевная обработка семян овса сорта «Мирный» наилучшую эффективность продемонстрировала при небольшой концентрации озона $0,05 \text{ г/м}^3$ в озоновоздушной смеси на максимальной экспозиции 60 мин [234]. На третьи сутки энергия прорастания проозонированного материала составила 42% , что на 12% выше, чем в контрольном варианте. На четвёртый день, данный показатель вырос до 82% . Это на 66% превышало аналогичные значения в контрольном образце [25].

Д.А. Нормов [118] установил, что озонная предпосевная обработка семян кукурузы повышает их энергию прорастания. В результате исследований получено соответствующее уравнение множественной регрессии

$$E = 3,66 - 4,9 \cdot t_{\text{озон}} - 7,96 \cdot T_o + 1,84 \cdot t_{\text{озон}} \cdot T_o + 1,6 \cdot C_{\text{озон}} \cdot T_o - 1,04 \cdot t_{\text{озон}} \cdot C_{\text{озон}} \cdot T_o + \\ + 19,6 \cdot t_{\text{озон}}^2 + 7,56 \cdot C_{\text{озон}}^2 + 31,44 \cdot T_o^2 - 14,8 \cdot t_{\text{озон}}^3 - 7,52 \cdot C_{\text{озон}}^3 - 23,84 \cdot T_o^3, \quad (1.1)$$

где E – энергия прорастания семян, %;

$t_{\text{озон}}$ – время озонирования, мин;

$C_{\text{озон}}$ – концентрация озона, мг/м^3 ;

T_o – время отлёжки посевного материала до посева, *дни*.

Анализируя полученное уравнение множественной регрессии, можно выявить, что наибольшая энергия прорастания семян кукурузы наблюдается при предпосевной обработке озоновоздушной смесью с концентрацией озона $24...36 \text{ мг/м}^3$ в течение 7 мин и после 20-дневной отлёжки проозонированного посевного материала [118].

В некоторых случаях, в основном при озонировании высококачественных семян, учёными не зарегистрировано повышения их энергии прорастания. Однако отмечается, что ростовые процессы у обработанных озоном зёрен прослеживались раньше на 40...90%. Подобное явление наблюдалось у семян ярового ячменя сорта «Нутанс-642» [234]. И.В. Горский [50] отмечает, что всхожесть пшеницы ускоряется на сутки при предпосевной обработке посевного материала озоном.

И.В. Шестерин [234] отмечает, что при предпосевной обработке семян с практически одинаковой эффективностью можно использовать высокую концентрацию озона (в районе 1 г/м^3) в озоновоздушной смеси при небольших экспозициях (около 1 мин) или, наоборот, применять низкую концентрацию газа (примерно $20...40 \text{ мг/м}^3$) при большой длительности озонирования (приблизительно 30...60 мин). При этом результаты исследований получаются достаточно схожими между собой. Поэтому, В.Н. Авдеева [7] советует применять понятие доза озона ($\text{г}\cdot\text{с/м}^3$), которое можно определить путём произведения времени обработки в секундах на концентрацию газа в г/м^3 .

Выявлена оптимальная доза озона $12,6...18,9 \text{ г}\cdot\text{с/м}^3$, при которой происходит стимулирование ростовых процессов семян озимой пшеницы сорта «Ермак» [10].

Известны случаи, когда повышение энергии прорастания семян не приводило к увеличению их всхожести. Подобный результат был зарегистрирован у овса сорта «Мирный», яровой пшеницы сорта «Саратовская-64» и ячменя сорта «Нутанс-642» [234]. Однако в большинстве случаев предпосевная обработка семян озоном способствовала увеличению их посевных качеств. Так, озонирование семенного материала яровой пшеницы сортов «Людмила», «Ник», «Саратовская

58», «Саратовская 59», «Саратовская 64» «Саратовская 66», повышало лабораторную всхожесть в среднем на 3,5%, а максимально до 8% по сравнению с контрольными образцами [25, 234]. Зачастую предпосевная обработка низкосортных семян озоном способствует повышению их классности. Так, озонирование увеличило лабораторную всхожесть озимой пшеницы сорта «Имени Рапопорта» с 85 до 95,7%, что соответствует 1 классу [180]. Другие зерновые культуры также положительно отзываются на озонную предпосевную обработку посевного материала. Проозонированные семена ржи сорта «Восход-2» повышали лабораторную всхожесть с 72,7 до 88,3%, тритикале сорта «Виктор» – с 91,0 до 98,7%, овса – с 70,0 до 86,7%, ярового ячменя сорта «Зазерский 85» – с 64,0 до 79,3%, озимой пшеницы сорта «Мироновская 808» – с 96,7 до 99,0%, а сорта «Заря» – с 94,0 до 98,7% [180]. В.Н. Авдеева [10] отмечает, что в диапазоне доз озона $2,1 \dots 29,7 \text{ г} \cdot \text{с} / \text{м}^3$ обработка озоном оказывает положительное действие на данный параметр. Анализ представленных данных свидетельствует о том, что лабораторная всхожесть семян повышается в зависимости от сорта и культуры от 2,3 до 16,7% [25].

Д.А. Нормов [118] выявил влияния предпосевого озонирования семян кукурузы на лабораторную всхожесть и получил соответствующее уравнение множественной регрессии

$$B_{\text{л}} = 52,9 - 9,96 \cdot t_{\text{озон}} + 10,64 \cdot C_{\text{озон}} - 1,12 \cdot t_{\text{озон}} \cdot C_{\text{озон}} + 1,56 \cdot t_{\text{озон}} \cdot T_o + 1,4 \cdot C_{\text{озон}} \cdot T_o + 30,72 \cdot t_{\text{озон}}^2 - 9 \cdot C_{\text{озон}}^2 + 6 \cdot T_o^2 - 22,64 \cdot t_{\text{озон}}^3 - 0,38 \cdot C_{\text{озон}}^3 - 7,16 \cdot T_o^3 \quad (1.2)$$

где $B_{\text{л}}$ – лабораторная всхожесть семян, %;

Анализируя полученное уравнение множественной регрессии, можно выявить, что наибольшее повышение лабораторной всхожести семян кукурузы на 15% наблюдается при предпосевной обработке озоновоздушной смесью с концентрацией озона $32 \text{ мг} / \text{м}^3$ в течение 6 мин и после 20-дневной отлёжки проозонированного посевного материала [118].

Следовательно, большинство учёных отмечает, что предпосевное озонирование посевного материала повышает энергию прорастания и лабораторную

всхожесть семян, при этом достаточно использовать умеренные концентрации озона и экспозиции обработки.

Выявлено [234], что традиционная предпосевная химическая обработка пагубно сказывается на лабораторной всхожести семян яровой пшеницы сортов «Людмила», «Ник», «Саратовская 58», «Саратовская 59», «Саратовская 64», «Саратовская 66» в отличие от их озонирования. Например, фунгицид «Колфуго» снижал данный показатель до *минус 5%*, препарат «Дивиденд» изменял его от *минус 17* до *плюс 2%*, а «Витарос» – от *минус 17* до *плюс 6%* в зависимости от сорта по сравнению с контрольными участками. Следовательно, химическая обработка чаще угнетающе действует на посевной материал. Так, фунгицид «Дивиденд» снижал лабораторную всхожесть семян в среднем на *7,5%*, «Витарос» – на *5,5%*, «Колфуго» – на *2,5%*. В то время как озонирование посевного материала повышало данный параметр в среднем на *3,5%*.

Следовательно, анализ представленных данных свидетельствует о том, что предпосевное озонирование посевного материала зерновых культур не всегда повышает их лабораторную всхожесть, но практически гарантировано улучшает ростовые процессы семян, что ускоряет появление всходов. Наилучший эффект прослеживается у зёрен, которые первоначально не соответствовали посевному стандарту, т.е. были внеклассные. В современных российских реалиях это особенно актуально, поскольку в нашей стране достаточно часто посев производится некондиционными семенами. Многие учёные отмечают, что предпосевное озонирование посевного материала является менее пагубной операцией по сравнению с их протравливанием фунгицидами.

Д.А. Нормов [114, 118] выявил влияние предпосевного озонирования семян кукурузы на повышение их силы роста на *25...30%* и получил соответствующее уравнение множественной регрессии

$$F = 23,8 + 7,08 \cdot T + 9,48 \cdot t_{\text{озон}}^2 + 23 \cdot C_{\text{озон}}^2 - 9,96 \cdot t_{\text{озон}}^3 - 5,16 \cdot T^3, \quad (1.3)$$

где F – сила роста семян кукурузы, %.

Анализируя полученное уравнение множественной регрессии, можно выявить, что наибольшее повышение силы роста семян кукурузы в 6% наблюдается при предпосевной обработке озонозвоздушной смесью с концентрацией озона 32 мг/м^3 в течение 6 мин и после 20-дневной отлёжки проозонированного посевного материала [118].

М.А. Сигачёва [181] выявила, что предпосевное озонирование семян положительно влияет на развитие корневой системы растений. При этом уточняется, что наибольшее значение в данном случае оказывает концентрация озона, а не экспозиция обработки. И.В. Шестерин [234] отмечает, что всходы у проозонированных семян появляются раньше контрольных вариантов из-за лучшего развития корневой системы растений.

Предпосевное озонирование семян оказывает благоприятное действие на параметры формирования колоса. Отмечается повышение числа зёрен на 4...22% и средней их массы на 17...19%. При этом зарегистрировано увеличение длины колоса на 1...10% [25, 181].

Многие учёные изучали влияние озонирования зерна на его качество. В большинстве случаев обнаружить взаимосвязь не удалось. И.В. Шестерин [234] установил, что содержание белка и клейковины после озонирования незначительно варьирует вокруг контрольных значений. Е.К.М. Саеед [180] также не выявил влияние 9-часовой озонной обработки в концентрации озона $0,8 \text{ г/м}^3$ на количество глютена, хоть и отметил некоторое повышение его качества. В.Н. Авдеева [2, 3] не смогла установить взаимосвязь между процессом озонирования в диапазоне доз $28...380 \text{ г·с/м}^3$ и количеством клейковины. М.А. Сигачёва [181] выявила влияние предпосевной озонной обработки семян яровой пшеницы сорта «Мариинка» на увеличение содержания глютена на 5...15% в зерне будущего урожая. При этом было отмечено, что озонирование способствовало повышению эффективности накопления растениями аминокислот, углеводов, белков, что отразилось на элементарном составе зерновки. Следовательно, озонная обработка семян не оказывает значительного положительного влияние на качество зерна, но и, как минимум, не ухудшает его. Это имеет существенное значение, т.к. применение тра-

диционных технологий производства зерновых культур способствовало снижению содержания клейковины с уровня 23...24%, регистрируемого в начале 90-х годов, до величины 21% [25].

Озонирование зернового вороха снижает его токсичность [10, 117, 195]. Часовая обработка зерна озоном снижала содержание в нём токсинов на 9%. Дальнейшая дезинфекция уменьшала данный показатель ежечасно на 3...7% [118]. Г.П. Стародубцева, Ю.А. Безгина и В.Н. Авдеева определили оптимальную дозу озона при обработке заражённого зернового вороха равную $378 \text{ г} \cdot \text{с} / \text{м}^3$, которая позволила уменьшить индекс токсичности, определённый прибором «Биотестер-2», на 42...46% [195]. Следовательно, озонирование способствовало переводу зерна с умеренного разряда токсичности к допустимому уровню.

Озонная предпосевная обработка семян угнетает ряд заболеваний зерновых культур [25, 118, 124, 234]. Например, при озонировании зёрен яровой пшеницы сортов «Саратовская 58», «Саратовская 59», «Саратовская 64», «Саратовская 66», «Людмила», «Ник» с концентрацией озона $0,5 \text{ г} / \text{м}^3$ в озоновоздушной смеси болезнь пыльную головню удалось полностью нейтрализовать при 5...10 минутной экспозиции. При тех же условиях от бурой ржавчины и мучнистой росы избавиться в полной мере не получилось. Заболеваемость в зависимости от сорта варьировала в диапазоне от *минус* 22 до *плюс* 3%. Необходимо заметить, что фунгициды «Колфуго», «Дивиденд», «Витарос» ещё хуже справились с бурой ржавчиной и мучнистой росой. В результате заболеваемость колебалась в диапазоне от *минус* 25 до *плюс* 8% [234]. В.Н. Огнев [124] установил, что озонная обработка семян ярового ячменя способствует снижению корневых гнилей на 2...12%. Следовательно, предпосевное озонирование посевного материала успешно борется с заболеваемостью зерновых культур, не уступая по эффективности химическим препаратам, но значительно превосходя их с экологической точки зрения.

Озонная обработка зернового вороха благоприятно сказывается на угнетении деятельности микроорганизмов. Получасовое озонирование с концентрацией озона в озоновоздушной смеси $2 \text{ мг} / \text{м}^3$ стерилизует большинство зерновых культур от зараженности [25]. Е.К.М. Саеед [180] выявил, что озонная 9 часовая обра-

ботка зерна способствует подавлению 95% мезофильных, анаэробных и прочих микроорганизмов при содержании газа в воздухе $0,8 \text{ г/м}^3$. Также отмечается, что озон разрушает плазму микробов, что до нуля снижает вероятность возврата вредителей к жизни. В отличие от применения ядохимикатов, действующих в основном на оболочку микроорганизмов, озонирование гарантирует нарушение их репродуктивной функции и отсутствие потомства. Следовательно, озонная обработка эффективно обеззараживает зерновой ворох.

Озонная обработка подавляет большинство грибных инфекций, развивающихся в зерне [10, 25, 31, 180, 247]. В.Н. Авдеева [10] рекомендует использовать дозу озона равную $28,8 \text{ г·с/м}^3$ для подавления грибов рода «*Alternaria*», «*Aspergillus*», «*Fusarium*», «*Penicillium*», «*Rhizopus*». На седьмые сутки эксперимента снижение заражённости составило 33...89%, а на 14 день – 65...96,4%. Стоит отметить, что токсиногенные грибы родов «*Alternaria*», «*Penicillium*», «*Rhizopus*» оказались достаточно устойчивы к озону, их количество сократилось на 65...70%. R. Gammon [247] установил, что некоторые грибные инфекции и бактерии в стадии логарифмического роста проявляют резистентность к озонированию. Е.К.М. Сае-ед [180] отмечает, что наиболее устойчивы к озонной обработке оказались грибы вида «*Aspergillus glaucus*». Девятичасовое озонирование при концентрации озона в озоновоздушной смеси $0,8 \text{ г/м}^3$ позволило сократить грибные инфекции на 70%, а наличие споровых бактерий – на 30%. Подобные результаты получены С.В. Вербицкой [31], которой удалось за счёт озонной обработки до 65% снизить заражённость семян фитопатогенной микрофлорой. Попытки скомбинировать озонирование с другими видами дезинфекции существенного эффекта не дали, а только усложнили технологию [25]. Следовательно, озонная обработка не гарантирует полного уничтожения грибов и бактерий, но существенно сокращает их наличие в зерновом ворохе. При этом озонирование не уступает по эффективности альтернативным способам дезинфекции.

Озонная обработка уничтожает большинство вредителей зерна [21, 31, 50, 180]. Амбарный и рисовый долгоносик, суринамский мукоед, зерновой точильщик, малый мучной хрущак при воздействии озона парализуются, а затем погибают. От-

мечено, что озонирование позволяет уничтожить большинство вредителей в преимагинальных стадиях развития, таких как личинка, яйцо или куколка. Наилучшую эффективность показывают высокие концентрации озона, но отмечено, что и меньшее содержание газа (около 20 мг/м^3) способно продезинфицировать зерно, но за гораздо большее время ($14...46$ суток) [180]. Лучше уничтожаются вредители обитаемые не в зерновке, а в межзерновом пространстве. Даже не продолжительное озонирование (30 мин) зернового вороха с концентрацией озона в озон-воздушной смеси $0,07 \text{ г/м}^3$ снижало количество потомков амбарного и рисового долгоносика на 19 и 46% соответственно [180]. Парализованные жуки потомства не давали, а у оставшихся особей отмечалась пониженная способность к репродукции. Повышенная влажность зерна отрицательно сказывается на действии озона на вредителей. При кондиционном состоянии часовая озонная обработка с концентрацией газа $0,07 \text{ г/м}^3$ способствовала полному уничтожению рисового долгоносика. Повышение влажности зерна до 18% снизило смертность данного вредителя до 78% [180]. С повышением температуры поражающее действие озона увеличивается. Следовательно, вредители наиболее устойчивы к озонной обработке во влажном ворохе в осенне-весенний период. При постоянной концентрации озона с понижением температуры на каждые 10°C следует увеличивать время обработки вдвое [180].

Предпосевная озонная обработка посевного материала оказывает благоприятное действие на коэффициент выживаемости, который вычисляется путём деления числа растений перед уборкой культуры на количество всхожих семян после посева. Озонирование способствовало повышению данного показателя по сравнению с контрольными вариантами в среднем на $0,04$. При этом коэффициент выживаемости у обработанных озоном семян яровой пшеницы сортов «Саратовская 58», «Саратовская 59», «Саратовская 64», «Саратовская 66», «Людмила», «Ник» варьировал в диапазоне $0,86...0,97$. При обработке данного посевного материала фунгицидами получены примерно такие же результаты. Препарат «Витарос» повышал коэффициент выживаемости в среднем на $0,04$, «Колфуго» – на $0,03$, а «Дивиденд» – на $0,05$ [25, 234]. Следовательно, озонирование по данному

параметру не уступает в эффективности фунгицидам, но является гораздо более экологически безопасной операцией.

М.А. Сигачева [181] установила, что озонирование способствует повышению продуктивности кустистости яровой мягкой пшеницы на 2...14%. И.В. Горский [50] отмечает, что данный показатель у зерновых культур при проведении предпосевной озонной обработке изменяется в диапазоне 10...15%.

Эффективность предпосевной озонной обработки семян повышается, если посевной материал отлежится в течение некоторого времени [10, 118, 234]. И.В. Шестерин [234] установил, что наилучшие показатели от озонирования у семян яровой пшеницы сорта «Саратовская 64» фиксировались после одних суток выдержки, а у ярового ячменя сорта «Нутанс-642» – по прошествии 5...7 дней. В.Н. Авдеева [10] отмечает, что наибольшая лабораторная всхожесть зерновых культур при предпосевной озонной обработке наблюдалась на 7...14 день отлёжки. Д.А. Нормов [118] считает, что семена кукурузы после озонирования должны не менее 20 дней выдерживаться до посева.

Анализ вышеописанных результатов исследований позволяет констатировать, что предпосевная озонная обработка семян благоприятно влияет на целый спектр показателей. Причём озонирование семенного материала не уступает по эффективности химическому протравливанию, а зачастую даже превосходит её. Озонная предпосевная обработка семян с экологической точки зрения значительно безопаснее фумигации. В отличие от химических препаратов, озонирование не угнетает развитие культурных растений, а наоборот, стимулирует ростовые процессы. Поэтому следует максимально возможно заменить экологически опасную операцию протравливания семян на их озонную обработку.

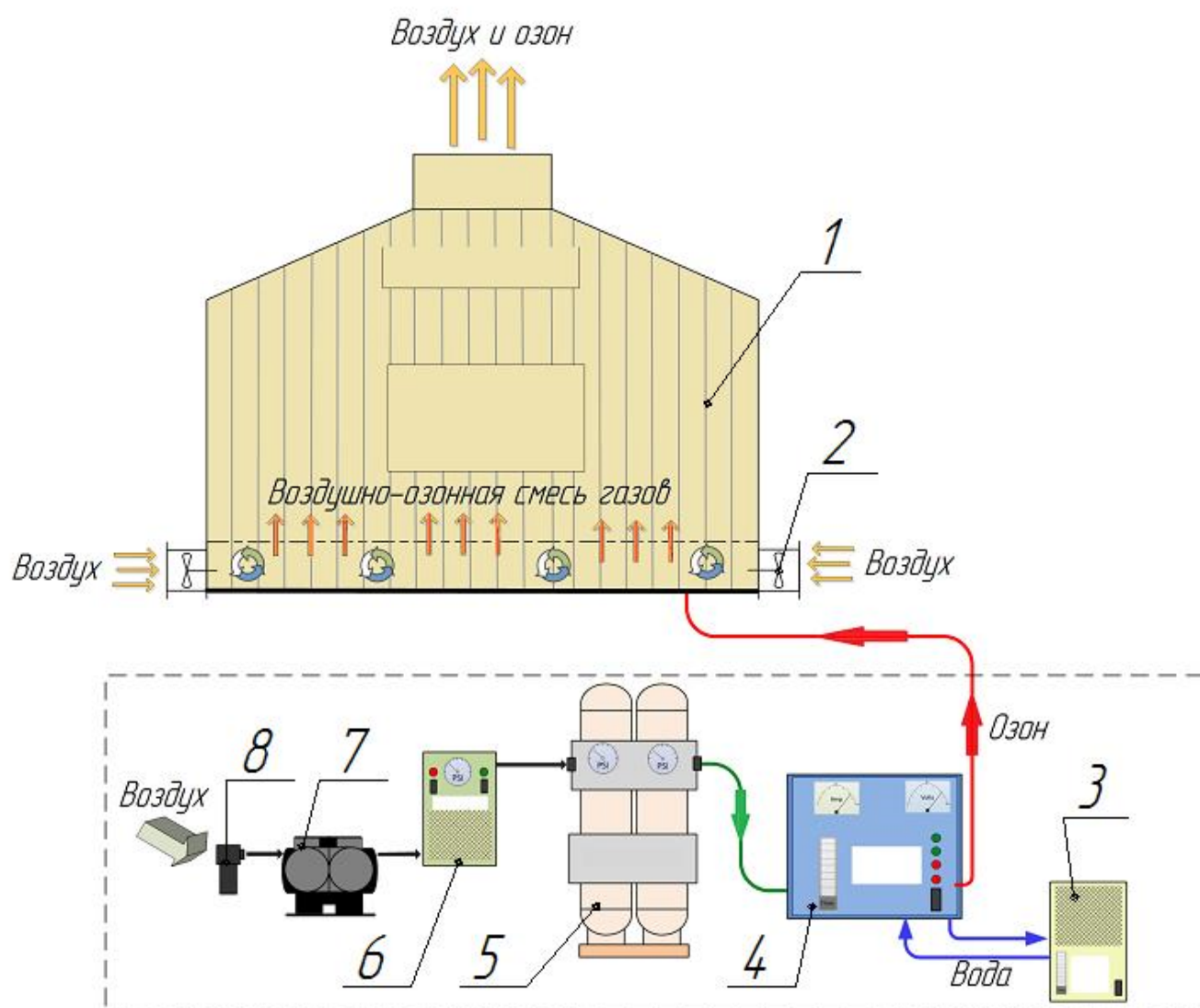
Озонирование зерна влияет на его электропроводность. Это явление объясняется активизацией клеточных мембран посредством воздействия озона. Озонирование семян с дозой газа $14,7 \text{ г} \cdot \text{с} / \text{м}^3$ снизило электропроводность [4]. Также В.Н. Авдеева отмечает, что наблюдается упрочнение клеточных мембран.

Озонная обработка повышает эффективность процесса сушки зернового вороха [82, 96, 146, 147, 194, 217, 237]. Это объясняется тем, что озон способствует

ослабеванию химических связей молекул воды с зерновкой. При этом уменьшается время сушки, сокращается расход энергетических ресурсов на $15...20\%$ и возрастает процент снятия влажности за один пропуск зернового вороха через зерносушилку [165]. Использование озонозовоздушной смеси с концентрацией озона $2,4 \text{ мг/м}^3$ и $8,2 \text{ мг/м}^3$ при сушке зерна ярового ячменя сорта «Скороход» способствовало уменьшению времени операции на $1,0...1,5$ часа по сравнению с использованием атмосферного воздуха [237]. Процент снятия влаги в озонной технологии был выше аналогичного показателя в традиционном способе на протяжении пяти часов наблюдений. Причём увеличение концентрации озона не оказывало существенного влияния на процесс. Использование озонозовоздушной смеси в бункерах активного вентилирования *БВ-40* в $1,2$ раза ускоряло время доведения зерна до кондиционного состояния по влажности. Следовательно, озонирование повышает эффективность влагоотдачи зерновым ворохом, но применение озона в пожароопасной операции сушки, большая неравномерность распределения озона внутри потока зерна, отсутствие рекомендаций по режимам работы сушильных установок сильно осложняют практическое внедрение озонной технологии в зерноочистительно-сушильные комплексы.

Озонирование способствует увеличению сроков безопасного хранения зернового материала в $1,2...2,0$ раза [11, 82, 165]. Схема зернохранилища, оборудованного системой озонной обработки американской фирмы «Oxidation Technologies», представлена на рисунке 1.18. Система озонирования функционирует следующим образом. Атмосферный воздух из окружающей среды через фильтр 8 всасывается в компрессор 7, откуда под давлением подаётся в осушитель 6. При этом из воздушного потока удаляются механические примеси и влага. Далее обезвоженный «сжатый» воздух поступает в концентратор 5, который отделяет азот и другие газы. В результате в воздушном потоке концентрация чистого кислорода составляет 93% , что обеспечивает большую производительность генератора 4 озона. В процессе работы озонаторной установки происходит её нагрев, поэтому оптимальный температурный режим поддерживается посредством водяного охладителя 3. Озон, вырабатываемый в озонаторе 5, под давлением подаётся в зерно-

хранилище 1, оборудованное системой вентиляции. Вентиляторы 2, расположенные по периметру, создают воздушный поток, который за счёт турбулентности смешивается с окислителем, образуя озонозудную смесь. Газ равномерно распределяется в зерновом ворохе, дезинфицируя его. Озонозудная смесь проходит сквозь зерно и выводится из зернохранилища 1 в окружающую среду через крышу. Поскольку молекула озона крайне нестабильна, то она быстро распадается до кислорода, обогащая воздух [22].



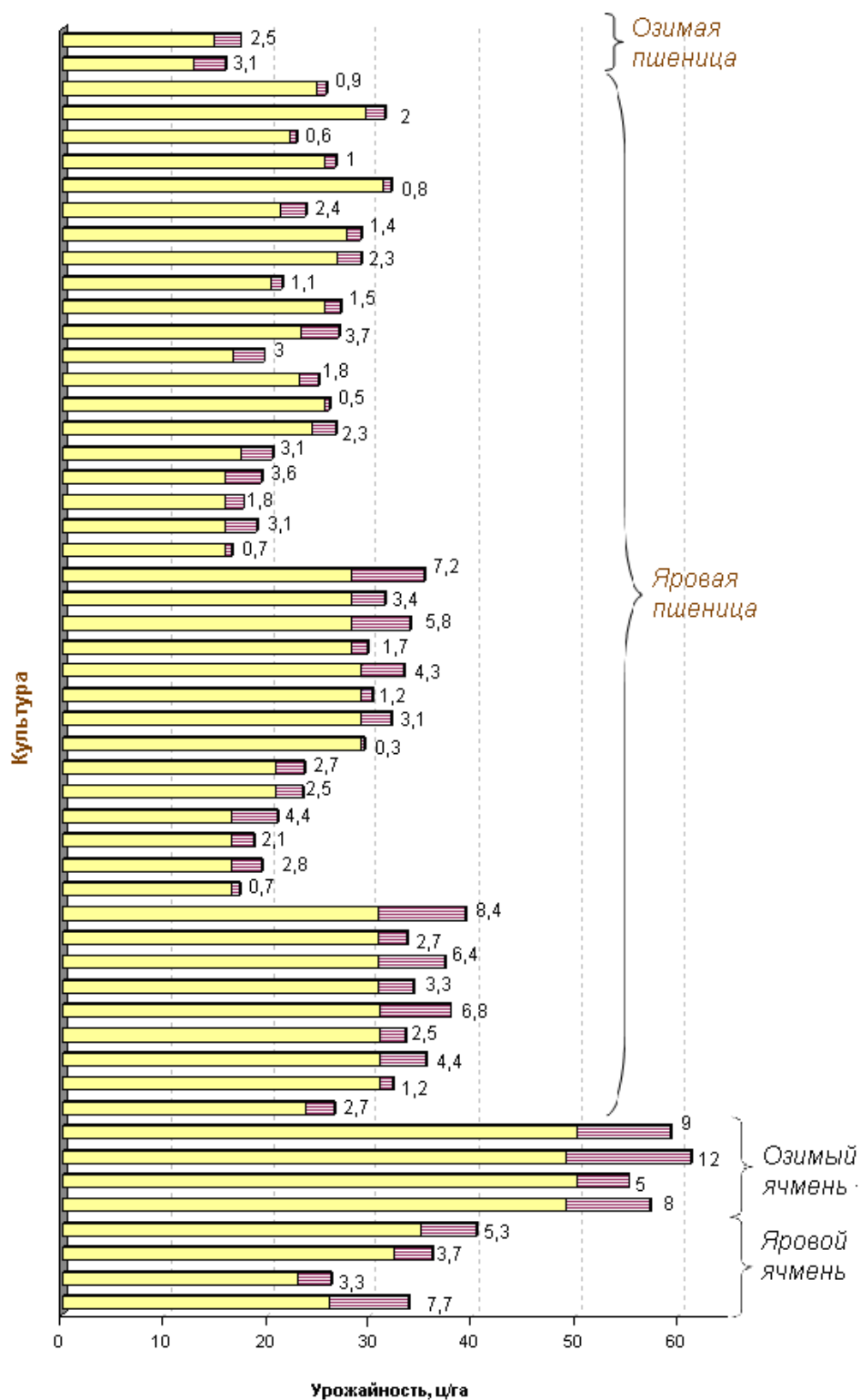
1 – зернохранилище; 2 – вентилятор; 3 – охладитель воды; 4 – генератор озона; 5 – концентратор кислорода; 6 – осушитель воздуха; 7 – воздушный компрессор; 8 – фильтр

Рисунок 1.18 – Система озонирования зернохранилища американской фирмы «Oxidation Technologies»

Озонная обработка зернохранилища позволяет не только увеличить срок безопасного хранения зернового материала, но и надёжно предотвращает заражение вороха вредителями, устраняет неприятные запахи, отпугивает птиц, грызунов и т.д.

В зерновом ворохе озон проявляет большую живучесть, распределяясь по всему объёму зернохранилища. Ежедневное озонирование в течение *30 мин* поверхности насыпи зерна приводило к накоплению газа внутри бурта. Причём озон проник в зерновой ворох на глубину до *3 м* и впоследствии распадался там на протяжении недели наблюдений. Продувание сквозь зерновой слой озоновоздушного потока приводило к обнаружению данного газа на расстоянии до *2 м* от источника озонирования. Установлено, что озонная обработка вороха с концентрацией озона 50 мг/м^3 приводит к содержанию *15 мкг* данного вещества в килограмме зерна после прекращения операции. При этом дегазация в течение недели уменьшила содержание остаточного газа до 7 мкг/кг , а двухдневная выдержка — до $0,7 \text{ мкг/кг}$ [180]. Следовательно, озон способен мигрировать по зерновой массе, накапливаясь в ней и благоприятно действуя на качественные показатели зерна или семян в течение длительного периода времени.

Предпосевное озонирование семян способствует повышению урожайности растений [46, 63, 124, 127, 181, 199, 240]. Поскольку условия проведения предпосевной озонной обработки посевного материала, типы почв, доступность влаги и прочие неизвестные сильно разнились, то и полученные результаты имеют некоторые расхождения. Однако практически во всех экспериментах выявлено повышение урожайности зерновых культур при проведении предварительного озонирования семян. На основе исследований О.Г. Долговых, В.Н. Огнева, Н.В. Ксенза, К.Х. Попандопуло, Б.Н. Сорокина, И.Г. Сидорцова, М.А. Сигачёвой, Г.В. Тарана, В.И. Голота, В.П. Петренковой, И.В. Шестерина проведён анализ эффективности предпосевной озонной обработки посевного материала с точки зрения получения дополнительной продукции. Результаты многочисленных экспериментов, проведённых в разнообразных почвенно-климатических условиях, на различных сортах зерновых культур, в разных странах представлены на рисунке 1.19 и таблице 1.1.



— урожайность зерновых культур на контрольных участках;

— прибавка урожайности за счёт предпосевного озонирования семян

Рисунок 1.19 – Повышение урожайности зерновых культур за счёт применения предпосевного озонирования семян

Таблица 1.1 – Изменение урожайности зерновых культур при применении озонной предпосевной обработки семян

Культура	Сорт	Урожайность, т/га		Отклонение, %
		Контрольная	При предпосевном озонировании	
1	2	3	4	5
Озимый ячмень	Скороход [240]	5,00	5,50	10,00
		4,90	5,70	16,33
		5,00	5,90	18,00
		4,90	6,10	24,49
Яровой ячмень	Звершения [199]	3,23	3,60	11,46
		3,49	4,02	15,19
		2,59	3,36	29,73
		2,27	2,60	14,54
Озимая пшеница	Саратовская	1,47	1,72	17,01
	Волгоградская	1,27	1,58	24,41
Яровая пшеница	Харьковская 27 [46, 199]	2,36	2,63	11,44
	Маринка [181]	3,09	3,21	3,88
		3,09	3,53	14,24
		3,09	3,34	8,09
		3,09	3,77	22,01
		3,08	3,41	10,71
		3,08	3,72	20,78
		3,08	3,35	8,77
		3,08	3,92	27,27
		1,64	1,71	4,27
		1,64	1,92	17,07
		1,64	1,85	12,80
		1,64	2,08	26,83
	Ирень [181]	2,89	2,92	1,04
		2,89	3,20	10,73
		2,89	3,01	4,15
		2,89	3,32	14,88
		2,80	2,97	6,07
		2,80	3,38	20,71
		2,80	3,14	12,14
		2,80	3,52	25,71
		1,57	1,64	4,46
		1,57	1,88	19,75
		1,57	1,75	11,46
		1,57	1,93	22,93
	Людмила [234]	2,30	2,48	7,83
	Саратовская 58 [234]	2,20	2,26	2,73
		2,94	3,14	6,80
		2,46	2,55	3,66

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
Яровая пшеница	Саратовская 59 [234]	1,65	1,95	18,18
		2,31	2,68	16,02
		2,54	2,69	5,91
	Саратовская 64 [234]	2,02	2,13	5,45
		2,66	2,89	8,65
		2,75	2,89	5,09
	Саратовская 66 [234]	2,11	2,35	11,37
		3,12	3,20	2,56
		2,54	2,64	3,94
	Ник [234]	1,72	2,03	18,02
		2,41	2,64	9,54
		2,54	2,59	1,97
	Лада [63]	2,07	2,32	12,08
		2,07	2,34	13,04
В среднем			+ 0,335 т/га	12,8 %

Анализ рисунка 1.19 и таблицы 1.1 показывает, что предпосевное озонирование семян зерновых культур увеличивает их урожайность от 1 до 30% в зависимости от почвенно-климатических условий и режимов обработки. Причём многие учёные отмечают, что озонная технология наилучший эффект демонстрирует в засушливые годы за счёт повышения стабильности формирования урожая, количества колосков, большего числа и массы 1000 зёрен [36, 127, 165, 234]. В среднем предпосевное озонирование семян способствует повышению урожайности зерновых культур на 3,35 ц/га или 12,8% относительно контрольных вариантов.

Сравнение предпосевного озонирования семян зерновых культур с аналогичным применением фунгицидов «Витарос», «Дивиденд» и «Колфуго» показало, что использование озонной обработки предпочтительнее химического протравливания. Урожайность яровой пшеницы сортов «Саратовская 58», «Саратовская 59», «Саратовская 64», «Саратовская 66», «Людмила», «Ник», посевной материал которых был проозонирован перед посевом, варьировала в диапазоне от минус 0,4 до плюс 12,4%. Обработка этих же семян фунгицидами снижала урожай на 0,05...1,8% [165, 234]. Следовательно, предпосевное озонирование влияет на урожайность зерновых культур благоприятнее химического протравливания, т.к. ядохимикаты эффективно обеззараживают посевной материал, но при этом угнетают ростовые процессы, а озон их активизирует.

В Российской Федерации зерновые культуры возделываются на площади свыше 47 млн. га, прибавка в их урожайности за счёт применения процесса озонирования в среднем на 3,35 ц/га позволит получить более 15,7 млн. тонн дополнительной продукции, что существенно увеличит экспорт зерна.

Экономическая эффективность применения процесса озонирования на разных этапах производства семян вместо ядохимикатов доказала целесообразность озонных технологий. Предпосевная обработка посевного материала озоном обеспечила повышение условно-чистого дохода на 275 руб/га [234]. Аналогичные исследования показали, что замена фунгицида «Фостоксин» на озонирование семян способствует получению экономического эффекта в 946 руб/т [180]. Предпосевная озонная обработка посевного материала кукурузы обеспечила годовой дополнительный эффект в 10700 руб/га [118]. Озонирование семян в подвижном слое снизило эксплуатационные затраты в 5,3 раза, а приведённые – в 3,78 раза [50]. Чистый доход от применения процесса озонирования при предпосевной обработке посевного материала составил 1800,5 руб [10]. Следовательно, озонные технологии имеют экономическую эффективность.

Таким образом, применение процесса озонирования при послеуборочной обработке семян и хранении зернового материала имеет огромные перспективы развития. Озонная обработка способствует повышению энергии прорастания, всхожести, силы роста, урожайности культурных растений, дезинсекции вредителей, снижению активности грибных инфекций, уменьшению заболеваемости зерновых культур и т.д. В процессе озонирования не требуется предварительного затаривания газа. Кроме того, озонная обработка является экологически чистым способом дезинфекции, не загрязняющим окружающую среду. Однако исследований по использованию озона при послеуборочной обработке и хранении зернового материала явно недостаточно. Поэтому они не позволяют дать практические рекомендации по применению инновационной технологии в современных зерноочистительно-сушильных комплексах. Для внедрения процесса озонирования в зернопроизводство необходимо провести комплексные исследования.

1.3 Проблемы применения процесса озонирования в сельском хозяйстве и пути их решения

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 Российской Федерации озон относится к наивысшему первому классу опасности вредных веществ с остронаправленным механизмом действия [51]. Человек ощущает запах данного газа при его содержании $0,01 \dots 0,05$ мг в кубическом метре воздуха. У людей раздражение дыхательных путей начинается при концентрации озона в озоновоздушной смеси 1 мг/м^3 . В природе газ образуется при грозовом разряде, но его содержание не превышает $0,1$ мг в кубическом метре воздуха, что не только не оказывает вредного воздействия на человека, но даже производит незначительное терапевтическое действие. Люди и животные без последствий переносят нахождение в озоновоздушной смеси, если содержание озона в ней не превышает $0,2 \text{ мг/м}^3$. Поэтому именно это значение было выбрано в качестве предельно-допустимой концентрации (ПДК) в большинстве зарубежных стран. В России уровень ПДК озона в воздухе ниже и составляет $0,1 \text{ мг/м}^3$ [51]. Выбрасывать данный газ в атмосферу выше концентрации $3,3 \text{ мкг/м}^3$ озоновоздушной смеси нельзя [215]. В населённых пунктах среднесуточный уровень ПДК озона в атмосферном воздухе не должен превышать значения в $0,03 \text{ мг/м}^3$. Максимальная разовая предельно-допустимая концентрация газа при озонировании, которую может получить человек без вреда для здоровья, составляет $0,16 \text{ мг/м}^3$ [165].

Именно вредное влияние озона на здоровье человека служит основным фактором, сдерживающим внедрение процесса озонирования в производство. На многих предприятиях, где нет достаточной вентиляции и автоматизации, присутствие рабочих в непосредственной близости от специализированного оборудования приводило к ухудшению самочувствия людей. Первым признаком отравления

человека озоном является сладковатый вкус в ротовой полости, при появлении которого необходимо немедленно покинуть помещение и остановить процесс.

Решение данной проблемы заключается в автоматизации процесса озонирования и его осуществления в замкнутом контуре без присутствия людей. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 для вредных веществ с остронаправленным механизмом действия должен быть обеспечен непрерывный контроль за их концентрацией [51]. Поэтому для предотвращения отравления персонала озоном следует рабочую зону оператора оснастить сигнализаторами превышения уровня ПДК. При этом необходимо контролировать концентрацию опасного газа не только внутри оборудования, но и снаружи его. Тем самым можно предотвратить распространение озона за пределы допустимой зоны. В местах возможных утечек следует предусмотреть конструкцией наличие специализированных катализаторов расщепляющих озон до кислорода. Желательно, чтобы комплекс озонирования имел замкнутый контур, позволяющий вторично использовать остаточный газ в технологическом процессе. Автономность оборудования, система сигнализации, наличие деструктора позволит в полной мере реализовать безопасность операции. Современный уровень технического прогресса предоставляет такую возможность.

Устранить недостаток в виде пагубного действия высоких концентраций озона на здоровье человека проще всего реализовать в достаточно герметичном силосном зернохранилище. Его профильные листы соединены между собой посредством болтовых соединений и резиновых прокладок. Стыки дополнительно обрабатывают герметиком. Для озонирования семян необходимо использовать силоса с конусным дном на металлических опорах, т.к. у них самотечная разгрузка и отсутствуют подсилосные галереи, где может накапливаться остаточный озон, который тяжелее воздуха. При этом отработанную озоновоздушную смесь, ранее выбрасываемую в атмосферу через крышные вентиляторы, следует вернуть обратно в технологический процесс. Наиболее вероятные точки утечек остаточного озона, которые расположены в местах загрузки и разгрузки материала, необходимо оборудовать катализаторами, предотвращающими попадание газа в окружающую среду. Вокруг силоса нужно создать санитарную зону, оснащённую дат-

Для того чтобы остаточный озон не вступал в нежелательные химические реакции, его необходимо, предварительно очистив, возвращать обратно в технологический процесс. Это не только предотвратит образование влаги, но и снизит вероятность попадания опасного газа в рабочую зону оператора, а также повысит производительность озонатора, уменьшив себестоимость процесса озонирования. Наличие катализаторов в возможных местах утечек позволит разложение остаточного озона сделать контролируемым и безопасным.

Анализируя представленные сведения можно сделать вывод, что полностью исключить попадание озона в атмосферу невозможно, но снизить его концентрацию до допустимых безопасных значений современный уровень развития техники позволяет. Выявленные проблемы применения процесса озонирования при послеуборочной обработке и хранении семян существенного влияния на отказ от использования экологически чистой технологии оказать не могут. 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, а также технические средства для её реализации, в основу которых будет заложена озонная обработка зернового во-роха.

1.4 Краткий обзор теоретических исследований по озонированию зернового материала

Процесс озонирования в сельском хозяйстве изучается относительно недавно. Несмотря на это, есть несколько теоретических работ по взаимодействию озона с зерном или семенами [84, 112, 119, 217].

Д.А. Нормов [84] считает, что семена обладают некоторой энергией (W), которая в процессе жизнедеятельности расходуется на преодоление всевозможных неблагоприятных условий и развитие растения. Учёный предполагает, что озонирование обеспечивает оптимальное состояние посевного материала, что способствует накоплению определенного энергетического запаса (W_s), так как нет необхо-

димости противостоять некоторым негативным факторам, присущим вегетации культуры в традиционных технологиях. Энергия (W) в последующем расходуется на накопление продуктов ассимиляции (W_A), на рост растения (W_R), на формирование сухого вещества (W_J), на обмен веществ (W_O). В результате Д.А. Нормов предположил, что всхожесть семян является функцией энергетического баланса семян, т.е.

$$B = f(W), \quad (1.4)$$

где B – всхожесть семян, %;

$f(W)$ – функция энергетического баланса семян.

При этом энергетический баланс семян в традиционной технологии складывается из всех составляющих энергий [84], т.е.

$$W = W_S + W_A + W_R + W_J + W_O, \quad (1.5)$$

где W – общая энергия, запасённая в семенах;

W_S – энергия, расходуемая на запас питательных веществ, ккал/кг;

W_A – энергия, расходуемая на рост растения, МДж/ц;

W_R – энергия, расходуемая на накопление продуктов ассимиляции, МДж/ц;

W_J – энергия, расходуемая на формирование сухого вещества, МДж/ц;

W_O – энергия, расходуемая на обмен веществ, МДж/ц.

Если посевной материал обработать озоновоздушной смесью, то в энергетический баланс добавляется энергия, которая высвободится в семенах в результате воздействия озона (W_{O_3}) [84], т.е.

$$W' = W_{O_3} + W_S + W_A + W_R + W_J + W_O, \quad (1.6)$$

где W' – общая энергия, запасённая в озонированных семенах;

W_{O_3} – энергия, высвобождаемая в семенах в результате предпосевного озонирования, МДж/ц.

Тогда прибавку всхожести проозонированных семян относительно необработанных можно найти как отношение [84]

$$B' = \frac{f(W)}{f(W')} = f\left(\frac{W_{O_3} + W_S + W_A + W_R + W_J + W_O}{W_S + W_A + W_R + W_J + W_O}\right). \quad (1.7)$$

Д.А. Нормов отмечает, что озонирование позволяет получить некую часть дополнительной энергии, требуемой живому организму, коим является зерно, для поддержания жизненных функций, что обеспечивает прирост всхожести семян, а затем и урожайности культуры [84].

Данный прирост энергии (W_{O_3}) зависит от режима озонирования и может быть представлен следующим выражением [84].

$$W_{O_3} = \frac{I_H}{n_o} \cdot \frac{j}{e \cdot (n_e \cdot \mu_e + n_- \cdot \mu_- + n_+ \cdot \mu_+)} \cdot \frac{\lambda}{\delta}, \quad (1.8)$$

где I_H – номинальный ток озонатора;

n_o – максимальное количество пар противоположно заряженных частиц;

j – плотность тока;

e – заряд электрона;

n_e, n_-, n_+ – плотности соответственно электронов, отрицательных и положительных ионов;

μ_e, μ_-, μ_+ – подвижность соответственно электронов, отрицательных и положительных ионов;

λ – средняя длина свободного пробега электронов в газе;

δ – коэффициент, который учитывает долю энергии, отдаваемой при столкновении с частицей.

Однако полученная зависимость не представляет практического интереса, т.к. содержит ряд неизвестных, которые не позволяют рассчитать численное значение прироста энергии за счёт применения процесса озонирования. Д.А. Нормов делает заключение о необходимости проведения эксперимента.

Весьма интересны теоретические исследования по изменению скорости поглощения семенами озона [84]. Процесс зависит от сорбционной активности зерна, объёма обрабатываемого материала и концентрации газа в озоновоздушной смеси. Данная зависимость имеет следующий вид

$$\frac{dC}{dt} = -K_C \cdot C_{\text{озон}} \cdot S, \quad (1.9)$$

где $\frac{dC}{dt}$ – скорость поглощения озона семенами;

$C_{\text{озон}}$ – концентрация озона в озоновоздушной смеси, мг/м^3 ;

K_C – константа скорости поглощения озона единицей объёма зерна, $\text{мг/м}^3 \cdot \text{с}$;

S – площадь обрабатываемого зернового материала, м^2 .

С другой стороны, скорость поглощения озона семенами может быть описана следующим выражением [84]

$$\frac{dC}{dt} = \frac{S}{V} \cdot [v \cdot (C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}) - K_C \cdot C_{\text{вых}} \cdot V], \quad (1.10)$$

где V – объём обрабатываемого зернового материала, м^3 ;

v – скорость движения озоновоздушной смеси, м/с ;

$C_{\text{вх}}$ – концентрация озона на входе в зерновой материал, мг/м^3 ;

$C_{\text{вых}}$ – концентрация озона на выходе из зернового материала, мг/м^3 .

Решением данного уравнения является выражение [84]

$$C_{\text{вых}} = \frac{C_{\text{вх}} \cdot v}{v + K_C \cdot S \cdot V} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{v + K_C \cdot S \cdot V}{V}\right) \right] \cdot t, \quad (1.11)$$

где t – время обработки.

После проведения многочисленных расчётов определить константу (K_C) скорости поглощения озона единицей объёма зерна аналитическим путём авторам не удалось. Исследователями был сделан вывод, что данное выражение является трансцендентным, т.е. выходящим за пределы познания. Решить полученное уравнение с определённой погрешностью можно только методом итерации, т.е. многократными повторяющимися расчётами посредством разработки специализированной программы ЭВМ. При этом Д.А. Нормов отметил, что ориентировочное значение константы (K_C) скорости поглощения озона единицей объёма зерна можно определить экспериментально, измеряя скорость движения озоновоздушной смеси (v), объём (V) и площадь (S) обрабатываемого зернового материала, а также концентрацию газа на входе ($C_{\text{вх}}$) в зерно и на выходе ($C_{\text{вых}}$) из него. Причём было высказано предположение, что зависимость должна иметь экспоненциальный характер [84].

Известна формула по определению потребной производительности озонаторной установки [84, 118]

$$Q_{oz} = N_{вент} \cdot C_{вх}, \quad (1.12)$$

где Q_{oz} – производительность озонатора;

$N_{вент}$ – производительность компрессора или вентилятора, $м^3/ч$.

После многочисленных расчётов по определению требуемой концентрации озона на входе в зерно ($C_{вх}$) зависимость для определения необходимой производительности озонатора приняла следующий вид [84]

$$Q_{oz} = k_{t\varphi} \cdot N_{вент} \cdot \frac{C_{вых}}{\exp \left[- \frac{K_0 \cdot L_0 \cdot h \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \frac{1}{R}}{4 \sqrt{\frac{S(x)}{\pi}}} \right]}, \quad (1.13)$$

где K_0 – константа скорости поглощения озона семенами при нулевой концентрации озона;

h – толщина слоя семян;

λ – коэффициент сопротивления трения;

ρ – плотность озоновоздушной смеси;

R – сопротивление зернового слоя, зависящее от морфологических свойств семян, $Па$;

L_0 и π – константы;

$k_{t\varphi}$ – эмпирический коэффициент, учитывающий снижение производительности озонатора при изменении температуры и влажности воздуха

$$k_{t\varphi} = (1 - 0,0077 \cdot T_B - 0,008 \cdot \varphi), \quad (1.14)$$

где T_B – температура воздушного потока, $^{\circ}C$;

φ – влажность воздушного потока, %.

Однако ни размерностей большинства переменных, ни численных значений коэффициентов и констант ученые не приводят [84]. Это делает невозможным практическое применение данных зависимостей, а лишь даёт отдалённое представление о природе процесса озонирования.

Представляют интерес теоретические исследования по озонной дезинфекции зернового материала [112, 119]. Согласно данным учёных Кубанского государственного аграрного университета, количество озона, подаваемого для обработки заражённого вороха, можно условно поделить на четыре части. Первая доля Q_1 расходуется на насыщение зерна газом. Вторая часть Q_2 разлагается в зависимости от текущих параметров окружающей среды. Третья доля Q_3 идёт на разложение токсинов. Четвёртая часть Q_4 остаётся в виде остаточного озона. При этом уравнение баланса имеет следующий вид

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (1.15)$$

где Q – общее количество озона, поступающего на дезинфекцию, мг;

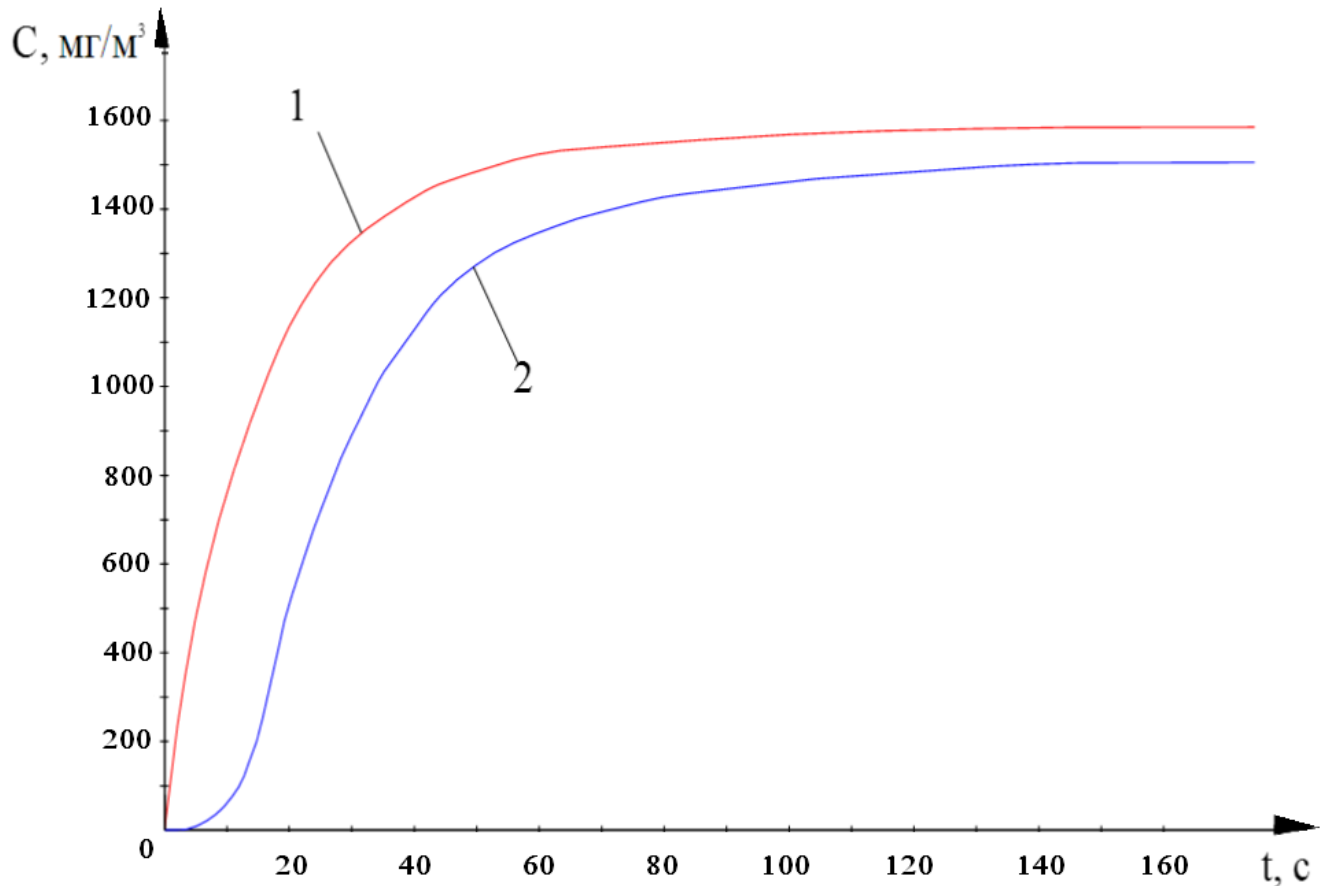
Q_1 – количество озона, поглощаемое зерном, мг;

Q_2 – количество саморазлагаемого озона, мг;

Q_3 – количество озона, идущего на разложение токсинов, мг;

Q_4 – количество остаточного озона, мг.

Для нахождения количества озона поглощаемого зерном (Q_1) был проведён эксперимент, в котором концентрацию газа замеряли до входа в зерновой материал и на выходе из него. В результате установлено, что пропуск озоновоздушной смеси через ворох приводит к изменению её параметров. Концентрация озона на входе в зерновой материал выше, чем на выходе из него. Следовательно, часть газа абсорбируется в зерне (рисунок 1.21) [112, 119]. Площадь, ограниченная кривыми 1 и 2, умноженная на расход озоновоздушной смеси, показывает общее количество озона (Q) подаваемого на дезинфекцию зернового материала. Согласно зависимости 1.15, предварительно разбив график на участки, проведя аппроксимацию, используя программу «Advanced Grapher», выполнив ряд промежуточных расчётов, учёным удалось установить ориентировочные значения уравнения баланса (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4).



1 – концентрация озона в озоновоздушной смеси на входе в зерно пшеницы;

2 – концентрация озона в озоновоздушной смеси на выходе из зерна пшеницы

Рисунок 1.21 – Снижение концентрации озона в озоновоздушной смеси при пропуске газа через 1 кг зерна [112, 119]

В результате было установлено, что для насыщения 1 кг озимой пшеницы озоном требуется около $Q_1 = 26$ мг газа, а для разложения токсинов посредством процесса озонирования на каждый килограмм обрабатываемого зернового материала необходимо примерно $Q_3 = 24$ мг данного вещества. Дезинфекцию следует проводить в течение 25 мин. Аналогичные исследования, проведённые на кукурузе, показали, что для насыщения 1 кг зерна данной культуры озоном необходимо около $Q_1 = 11$ мг газа, а для разложения токсинов посредством озонирования на каждый килограмм обрабатываемого материала требуется примерно $Q_3 = 9$ мг данного вещества [112, 119].

Известны [217] теоретические исследования по интенсификации процесса сушки выращенного урожая за счёт применения процесса озонирования. Они основаны на том, что зерно – это не только сырьё для последующей переработки, но и живой организм, в котором протекает ряд биологических процессов. Поэтому зерновка не просто впитывает влагу или абсорбирует, например, озон, но и включает их посредством ферментов в свой физиологический цикл, т.е. ассимилирует.

При сушке зерна посредством озоновоздушной смеси ион кислорода, образовавшийся при распаде озона, выполняет роль адсорбента, т.е. частицы, поглощающей другое вещество. При этом сам газ вступает в химическую реакцию с высушиваемым материалом и водой. Использование озоновоздушной смеси с концентрацией озона $4,7...10,0 \text{ мг/м}^3$ достаточно для протекания биохимических процессов, ускоряющих процесс сушки зерна [217].

Интенсификация процесса сушки зерна посредством воздействия озона осуществляется за счёт выделения некоторого количества теплоты, изменяющей коэффициент диффузии. При этом уравнение баланса имеет следующий вид [217]

$$Q_T = Q_{P1} + Q_{P2} + Q_g + Q_b, \quad (1.16)$$

где Q_T – общее количество теплоты, которое выделяется от взаимодействий озона;

Q_{P1} – теплота, выделяемая от рекомбинации озона в сушильном агенте;

Q_{P2} – теплота, выделяемая от рекомбинации озона на поверхности зерна;

Q_g – теплота, выделяемая за счёт реакции дыхания;

Q_b – теплота, образованная за счёт вторичных преобразований внутри зерна.

Теплоту Q_{P1} , выделяемую от рекомбинации озона в сушильном агенте, можно определить по формуле [217]

$$Q_{P1} = n_{c.a.} \cdot k_{c.a.} \cdot m_{O_3}, \quad (1.17)$$

где $n_{c.a.}$ – коэффициент распада озона в сушильном агенте;

$k_{c.a.}$ – удельная теплота, выделяемая от рекомбинации в сушильном агенте;

m_{O_3} – масса синтезированного озона.

Однако данная теплота не вся используется для нагрева зерна, а только её часть, которую можно определить по формуле [217]

$$Q_{P1n} = n \cdot n_{c.a.} \cdot k_{c.a.} \cdot m_{O_3}, \quad (1.18)$$

где Q_{P1n} – часть теплоты, выделяемой от рекомбинации озона в сушильном агенте и используемой для нагрева зерна;

n – коэффициент полезно используемой теплоты.

Теплоту Q_{P2} , выделяемую от рекомбинации озона на поверхности зерна, можно найти по следующей зависимости [217]

$$Q_{P2} = n_m \cdot k_m \cdot m_{O_3}, \quad (1.19)$$

где n_m – коэффициент распада озона на поверхности зерна;

k_m – удельная теплота, выделяемая от рекомбинации на поверхности зерна.

Теплоту Q_g , выделяемую за счёт реакции дыхания, инициируемой озоном, можно определить по формуле [217]

$$Q_g = n_g \cdot k_g \cdot m_{O_3} \cdot m_M, \quad (1.20)$$

где n_g – часть озона, инициирующая биохимические реакции;

k_g – удельная теплота, выделяемая при дыхании зерна;

m_M – масса зерна, обрабатываемая озоном.

Теплоту Q_b , образованную за счёт вторичных преобразований внутри зерна, можно найти по следующей зависимости [217]

$$Q_b = n_b \cdot k_b \cdot m_{O_3} \cdot m_M, \quad (1.21)$$

где n_b – часть озона, участвующая во внутренних преобразованиях;

k_b – удельная теплота, выделяемая при внутренних преобразованиях.

В результате многочисленных преобразований Т.П. Троцкая получила следующую зависимость [217]

$$Q_T = 142,5 \cdot C_{O_3} \cdot L \cdot (n \cdot n_{c.a.} + n_m) + C_{O_3} \cdot L \cdot m_M \cdot (n_g \cdot k_g + n_b \cdot k_b), \quad (1.22)$$

где C_{O_3} – концентрация озона, кг/м³;

L – расход сушильного агента, м³/ч.

С другой стороны, общее количество теплоты, которое выделяется от взаимодействий озона, можно найти на основе эксперимента по формуле [217]

$$Q_T = m_M \cdot (T_0 - T_K) \cdot c_m, \quad (1.23)$$

где T_0 – температура зерна в опыте, °C;

T_K – температура зерна в контроле, °C;

c_m – теплоёмкость зерна.

Приравняв два предыдущих выражения, получили [217]

$$m_M \cdot (T_0 - T_K) \cdot c_m = 142,5 \cdot C_{O_3} \cdot L \cdot (n \cdot n_{c.a.} + n_m) + C_{O_3} \cdot L \cdot m_M \cdot (n_g \cdot k_g + n_b \cdot k_b). \quad (1.24)$$

Отсюда вычислен градиент температуры [217]

$$\Delta T = \frac{Q}{m_M \cdot C_m}, \quad (1.25)$$

где ΔT – градиент температуры, $\Delta T = T_0 - T_K$, °C.

Следовательно, озонирование способствует изменению градиента температуры, что влечёт за собой корректировку коэффициента диффузии $\alpha_m = \alpha_{m_0} \cdot \left(\frac{T_3}{273}\right)^k$

$$\alpha_m = \alpha_{m_0} \cdot \left(\frac{T_3 + \Delta T}{273}\right)^k = \alpha_{m_0} \cdot \left(\frac{T_3 + \frac{Q}{m_M \cdot C_m}}{273}\right)^k = \alpha_{m_0} \cdot \left(\frac{T_3 \cdot m_M \cdot C_m + Q}{273 \cdot m_M \cdot C_m}\right)^k, \quad (1.26)$$

где α_{m_0} – коэффициент диффузии влаги при температуре 20 °C, м²/с;

T_3 – температура зерна, °C;

k – коэффициент.

В конечном итоге изменится уравнение неізотермического переноса влаги

$$j = \alpha_m \cdot \rho_0 \cdot (\Delta U - \delta \Delta T) = \alpha_{m_0} \cdot \left(\frac{T_3 \cdot m_M \cdot C_m + Q}{273 \cdot m_M \cdot C_m}\right)^k \cdot \rho_0 \cdot (\Delta U - \delta \Delta T), \quad (1.27)$$

где ρ_0 – плотность сухого вещества зерна;

ΔU – градиент влагосодержания;

δ – термоградиентный коэффициент, %/°C.

На основании представленных выражений выдвинута гипотеза механизма действия озона на процесс сушки зерна [217].

Таким образом, представленные теоретические исследования по озонированию зерна и семян [84, 112, 119, 217] в основном носят аппроксимативный характер, не позволяющий получить точных значений искомых величин. Как правило, практическое применение данных зависимостей невозможно, они лишь дают представление о природе процесса озонирования.

1.5 Выводы

1. Рост объёмов производства зерновых культур в XXI веке предъявляет повышенные требования к зерноочистительно-сушильным комплексам и элеваторам. В настоящее время наблюдается нехватка зернохранилищ. Из-за этого часть урожая портится, а сбыт продукции осуществляется по искусственно заниженной цене.

2. Зерноочистительные агрегаты *ЗАВ* и *КЗС* с возросшим объёмом обработки уже не справляются, что заставляет аграриев повышать их производительность, а это влечёт за собой снижение качественных показателей зерна и семян. В Российской Федерации ежегодно вводится в строй ряд специализированных элеваторов, но их конструкция основывается на разработках прошлого века, что не позволяет подготавливать качественный зерновой материал.

3. Технологии, применяемые при послеуборочной обработке и хранении зерна, устарели. Необходимо внедрять в производство прогрессивные технологии и технические средства обработки и хранения зернового материала. Следует при очистке зернового вороха использовать принцип фракционирования, при сушке свежесобранного влажного урожая интенсифицировать процесс влагоотдачи, при хранении материала применять современные способы дезинфекции, при обработке семян нужно проводить мероприятия по повышению их посевных качеств. Внедрение процесса озонирования в технологическую линию современных зерноочистительных агрегатов и элеваторов позволит устранить большинство из выявленных недостатков.

4. Семена очень чувствительны к всевозможным механическим воздействиям рабочих органов сельскохозяйственных машин. По мнению многих учёных, процесс озонирования является одним из наиболее перспективных решений по улучшению показателей семенной ценности зернового материала. Озонная обработка не загрязняет атмосферу, не образует различные токсины и прочие вредные вещества внутри зерновки. Озонирование дезодорирует, стерилизует, дезинфицирует, санирует, стимулирует семена к росту, способствуя увеличению урожайности зерновых культур.

5. Предпосевная обработка посевного материала озоном позволит отказаться от химического протравливания, исключив данную вредную операцию из технологической линии современных элеваторов. Поскольку озонирование можно осуществлять непосредственно в зернохранилище, то отпадает необходимость в транспортировке семян, что снизит их повреждение рабочими органами норий и транспортёров.

6. Дальнейшее применение морально устаревших технологических линий зерноочистительно-сушильных комплексов и элеваторов приведёт на фоне роста валового сбора зерновых культур к ещё большим потерям зерна. Современное состояние техники позволяет реализовать озонную обработку без существенного риска для здоровья человека с минимизацией механических воздействий рабочих органов на зерновку за счёт совершенствования технологии и технических средств для её реализации.

7. Исходя из выявленных недостатков существующих технологий и технических средств послеуборочной обработки и хранения зернового материала сформулированы цель и задачи исследования, представленные во введении.

2 ОБОСНОВАНИЕ ЩАДЯЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

2.1 Анализ состояния зернового материала, поступающего на послеуборочную обработку и хранение

Для определения состояния зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку и хранение, сотрудниками Воронежского ГАУ было проведено множество соответствующих исследований [122, 158, 200, 201, 202, 203, 206, 250]. При этом определяли содержание засорителей, повреждение зерна, его влажность, массу 1000 семян и другие параметры.

Установлено [208], что в составе зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку, кроме зерна основной культуры содержатся различные засорители. В результате возделывания и уборки зерно основной культуры может быть полноценным, недозрелым, дроблёным, травмированным, щуплым, в плёнке и т.д. Причём повреждённые зерновки имеют разные виды травм [183]. 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 [138]. 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 (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Содержание травмированных зёрен в зерновом ворохе, поступающем на послеуборочную обработку, и их лабораторная всхожесть

Состояние семян	Лабораторная всхожесть, %	Доля в зерновом ворохе, %
Полноценные	99,0	33,6
Травмирована оболочка эндосперма	94,4	29,9
Травмирована оболочка зародыша	85,3	8,44
Травмированы оболочки эндосперма и зародыша	83,4	14,3
Травмирован эндосперм	60,6	1,1
Травмирован зародыш	50,8	0,92

Анализ таблицы 2.1 показывает, что любой вид травм снижает лабораторную всхожесть семян от 4,6 до 48,2%. Наиболее пагубно на посевные качества влияют повреждения зародыша и эндосперма. Травмирование их оболочек также снижает лабораторную всхожесть семян. Поскольку различные микротравмы зерна по-разному влияют на посевные качества, то было предложено использовать показатель приведённого микротравмирования (T_n), в котором все виды травм приведены к наиболее вредному, т.е. к повреждению зародыша [205]. Данный показатель определяется по формуле [121, 248]

$$T_{np} = G_2 + G_1 \cdot \frac{b_1}{b_2} + G_3 \cdot \frac{b_3}{b_2} + G_4 \cdot \frac{b_4}{b_2} + G_5 \cdot \frac{b_5}{b_2} + G_6 \cdot \frac{b_6}{b_2}, \quad (2.1)$$

где G_1 – процентное содержание зерна с выбитым зародышем, %;

G_2 – процентное содержание зерна с травмированным зародышем, %;

G_3 – процентное содержание зерна с травмированной оболочкой зародыша, %;

G_4 – процентное содержание зерна с травмами оболочек зародыша и эндосперма, %;

G_5 – процентное содержание зерна с травмированным эндоспермом, %;

G_6 – процентное содержание зерна с травмированной оболочкой эндосперма, %;

$b_1...b_6$ – расчётные коэффициенты, определяемые по формуле

$$b_i = 0,01 \cdot (B_7 - B_i), \quad (2.2)$$

где B_7 – всхожесть полноценного зерна, %;

B_i – всхожесть зерна с соответствующим видом травм, в данном случае может быть представлено показателями $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$, %;

B_1 – всхожесть зерна с выбитым зародышем зерна, %;

B_2 – всхожесть зерна с травмированным зародышем, %;

B_3 – всхожесть зерна с травмированной оболочкой зародыша, %;

B_4 – всхожесть зерна с травмами оболочек зародыша и эндосперма, %;

B_5 – всхожесть зерна с травмированным эндоспермом, %;

B_6 – всхожесть зерна с травмированной оболочкой эндосперма, %.

Травмированные зерновки не только снижают посевные качества семян, но и 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 [208]. Поэтому повреждённые зерна необходимо выделять на этапе послеуборочной обработке, независимо от его назначения.

Большое значение на качество зерна или семян оказывают засорители, которых в исходном ворохе содержится до 25% [132, 138], поскольку они, также как и травмированные зерновки, являются очагом заражения. Проведённые исследования показывают, что к моменту уборки основной культуры её влажность колеблется в диапазоне 16...28% [208]. При этом содержание влаги в засорителях имеет большие значения 16...52%, а в исключительных случаях до 70% [89]. Повышенную влажность на 8...15% относительно кондиционных полноценных зёрен имеют незрелые зерновки. Именно поэтому данный ворох и является более благоприятной средой для развития вредителей. Кроме того, 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 [208]. Поэтому сорные примеси надо удалять на самом раннем этапе послеуборочной обработки.

На размерные характеристики зерна и семян влияют условия произрастания культуры. Среди основных факторов можно выделить количество выпавших осадков в период вегетации растений, температурный режим, плодородие и плотность почвы [129]. Неблагоприятные условия снижают качество зерна и семян.

Значительное влияние на качество зерна и семян оказывает их исходная влажность при уборке. Повышение содержания влаги в зерновке во время обмола культуры способствует снижению дробления в 1,55 *раза*, суммарного повреждения в 1,26 *раза*, а приведённого травмирования в 1,33 *раза* [205]. Количество и виды травм, полученных при воздействии рабочих органов молотильно-сепарирующих устройств зерноуборочных комбайнов тоже зависит от влажности зерна (рисунок 2.1).

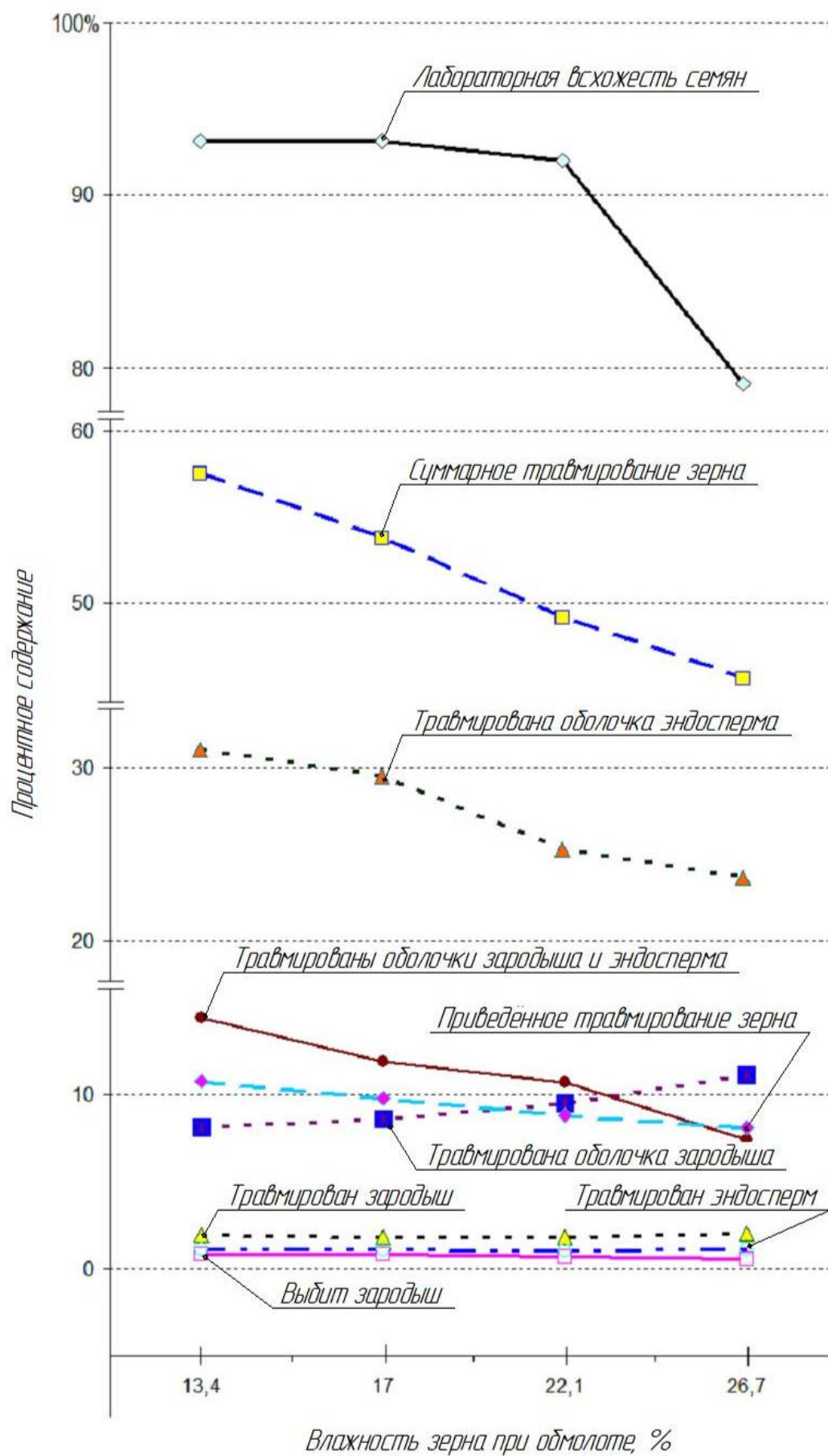


Рисунок 2.1 – Влияние влажности зерна во время уборки на его качество

Анализ рисунка 2.1 показывает, что лабораторная всхожесть семян с повышением их влажности при обмолоте с 13,4 до 26,7 % снижается с 93,1 до 79,1% [205], поскольку чаще всего они ещё не дозрели, но при этом также 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. Многими учёными отмечено, что в зависимости от различных условий обмолот зерна следует проводить при содержании влаги не более 17...24% [27, 137, 170, 182, 198, 233, 235].

Учёными Воронежского ГАУ установлено, что существует взаимосвязь между приведённым и суммарным травмированием, отношение которых составляет 1:5 при коэффициенте корреляции $R = 0,88$ [205]. Увеличение одного параметра приводит к росту и другого.

Значение приведенного травмирования (T_n) с достоверностью $R = 0,78$ можно определить по следующей зависимости

$$T_n = b_0 + b_1 \cdot W_3 + b_2 \cdot M + b_3 \cdot D + b_4 \cdot W_3^2 + b_5 \cdot M^2 + b_6 \cdot D^2, \quad (2.3)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ – коэффициенты;

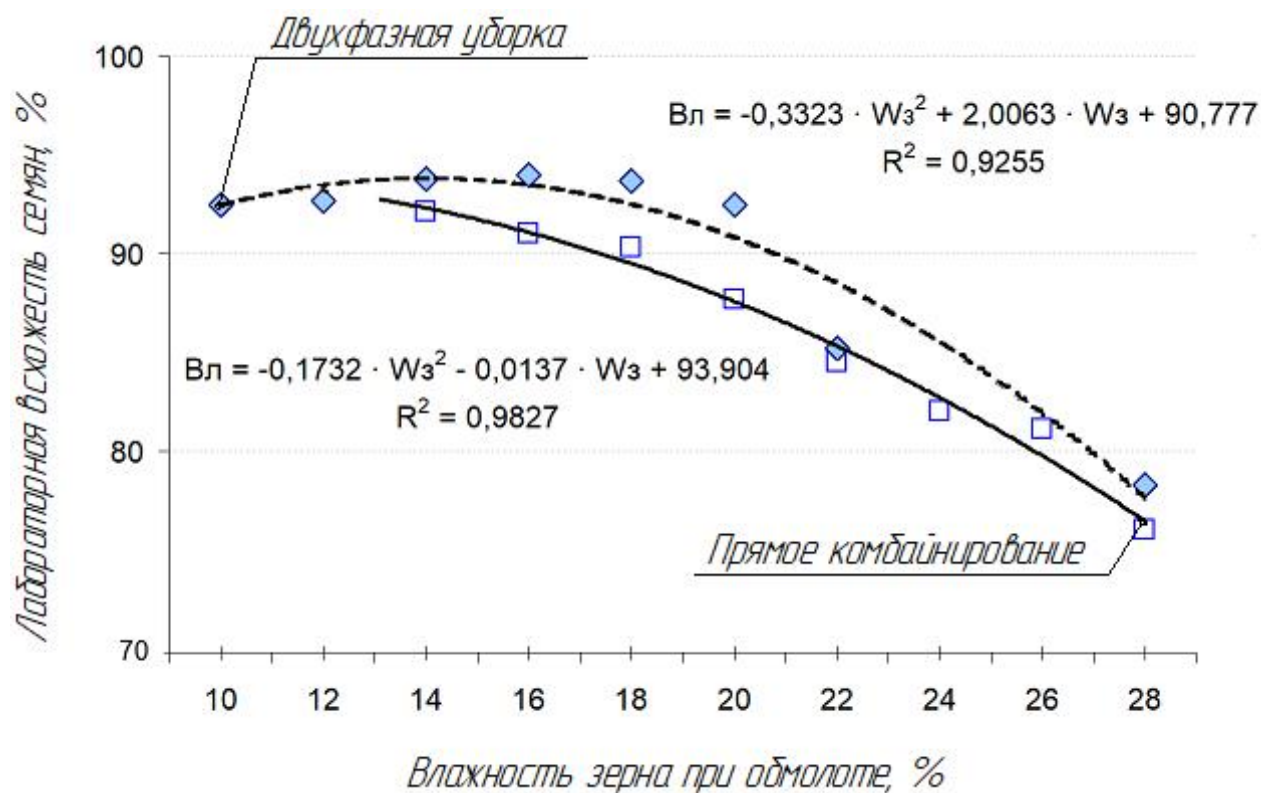
W_3 – влажность зерна, изменялась в диапазоне 10,3...29,6%;

D – дробление зерна, варьировало от 2 до 24%;

M – масса 1000 семян, изменялась в диапазоне 32,0....47,7 г.

За многолетние исследования значение приведённого травмирования изменялось в диапазоне от 2 до 36% [183, 205].

На состав зернового вороха влияет способ уборки. Семенные посевы следует убирать с наивысшими показателями качества семян. Влияние способа уборки и исходной влажности обмолачиваемого материала на лабораторную всхожесть представлено на рисунке 2.2.



$В_л$ – лабораторная всхожесть семян; W_3 – влажность зерна;

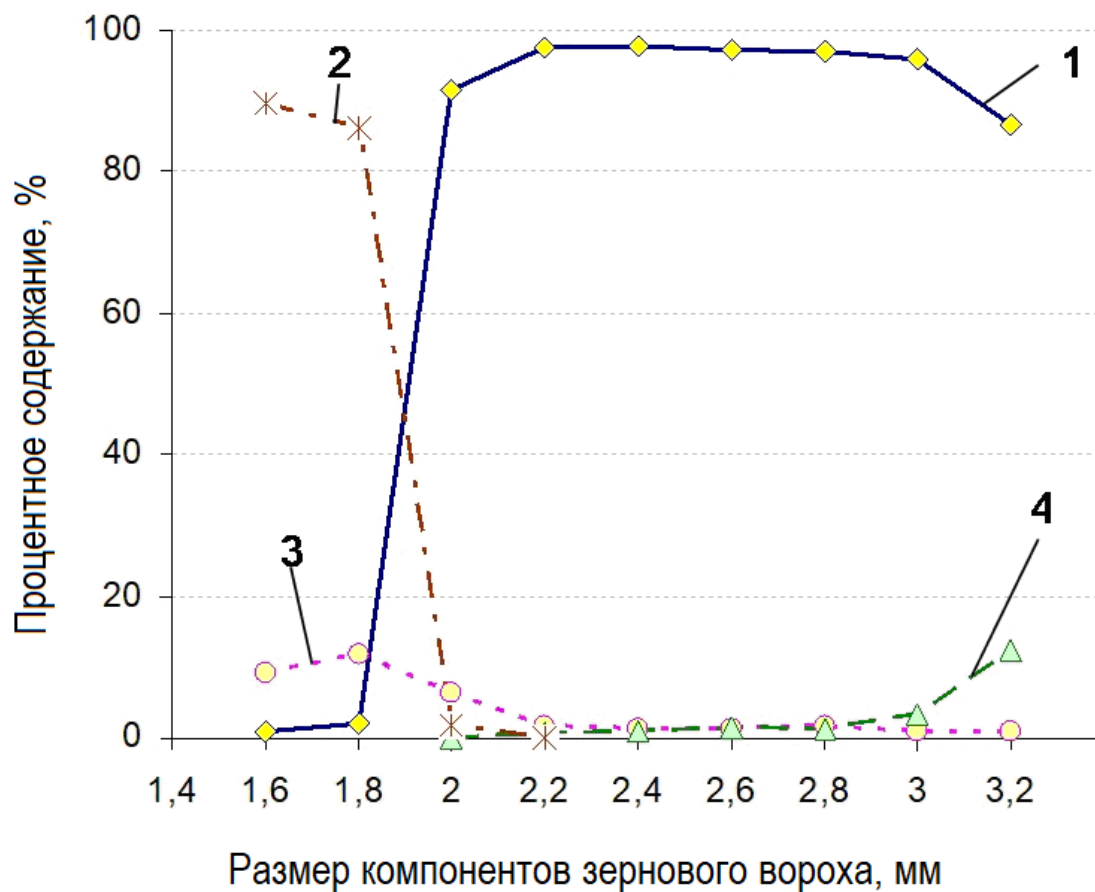
R^2 – величина достоверности аппроксимации

Рисунок 2.2 – Влияние способа уборки на лабораторную всхожесть семян при разной исходной влажности зерна в момент обмолота

Анализ рисунка 2.2 показывает, 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. При низкой влажности зерна это объясняется его трещиноватостью и хрупкостью, а при большой – повреждением внутренних тканей вследствие деформации зерновки при ударе о рабочие органы молотильно-сепарирующего уст-

ройства зерноуборочного комбайна [252]. Кроме того, раздельная уборка в меньшей степени повреждает обмолачиваемый материал. Так, суммарное травмирование зерна в двухфазной технологии в зависимости от исходной влажности в $1,02...1,68$ раза ниже, а приведённое травмирование в $1,33...1,68$ раза меньше, чем при прямом комбайнировании. Следовательно, для обмолота посевов, предназначенных на семенные цели, следует применять раздельную уборку зерновых культур.

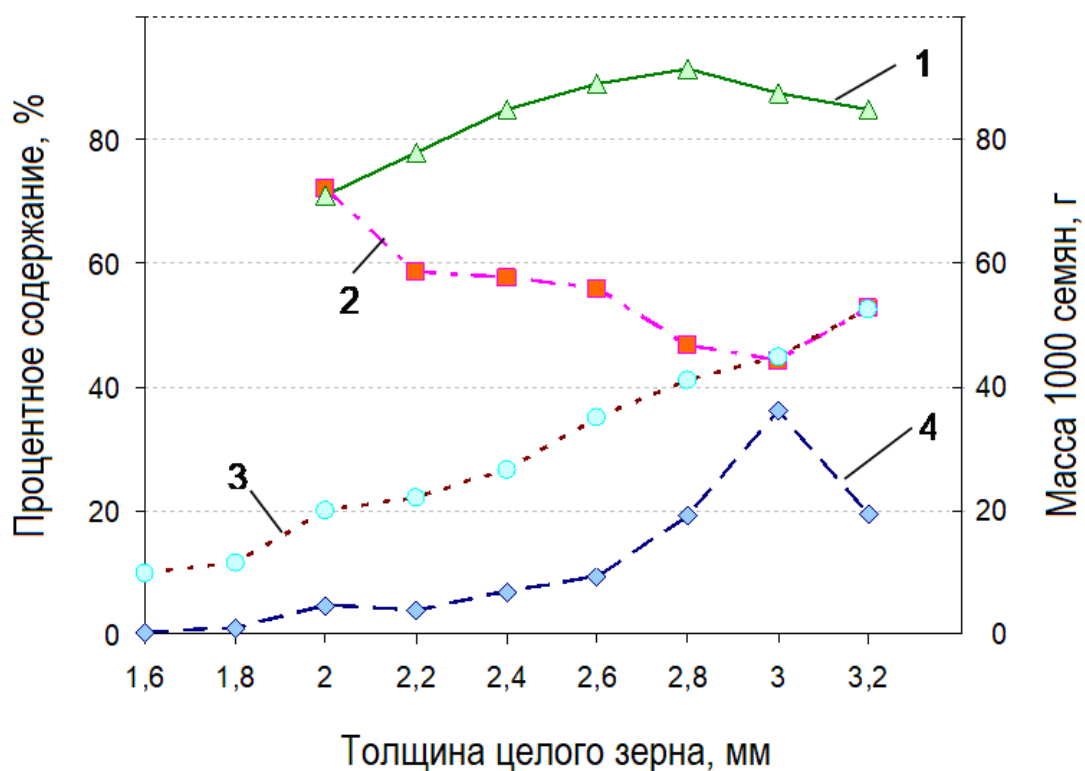
Бункерный зерновой ворох, поступающий с полей на послеуборочную обработку, имеет разный состав и размер компонентов. Для определения его количественных и качественных показателей были проведены соответствующие исследования [183, 252], результаты которых приведены на рисунке 2.3



1 – целое зерно; 2 – мелкие примеси; 3 – дроблёное зерно; 4 – крупные примеси

Рисунок 2.3 – Состав компонентов зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку, в зависимости от его размерных характеристик

Качественные показатели целого зерна озимой пшеницы сорта «Дон-93», выделенного из данного зернового вороха, в зависимости от его размерных характеристик представлены на рисунке 2.4.



1 – лабораторная всхожесть семян, %; 2 – суммарное травмирование зерна, %;
3 – масса 1000 семян, г; 4 – количество выделенного зерна, %

Рисунок 2.4 – Качественные показатели целого зерна в зависимости от толщины семени озимой пшеницы сорта «Дон-93»

Анализ рисунка 2.4 показывает, что озимую пшеницу на семенные цели следует отбирать от сортировальных решет со щелевыми отверстиями размером 2,6 мм. 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 щелевых отверстий 2,6 мм приведёт к выделению 35% дроблёного зерна и всех мелких примесей.

Состояние зернового вороха зависит от типа молотильно-сепарирующего устройства (МСУ) уборочной машины [13, 15, 176, 178, 200, 233]. На российских полях работают роторные и барабанные зерноуборочные комбайны. С целью выявления преимущества одного из типов молотильно-сепарирующего устройства были проведены соответствующие исследования [87, 184, 221, 248, 252]. Состав зернового вороха, полученный от разных типов МСУ комбайнов фирмы «*John Deere*», представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Состав зернового вороха в зависимости от типа молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочных комбайнов фирмы «*John Deere*» [248]

Показатели	Тип МСУ зерноуборочного комбайна			
	роторный			барабанный
Частота вращения барабана (ротора), мин^{-1}	550	840	980	980
Содержание засорителей, %	0,13	0,06	0,14	0,17
Содержание в бункерном зерновом ворохе, %:				
- дроблёного зерна	0,46	2,62	2,80	6,17
- зерна в плёнке	2,56	2,05	0,61	0,92
- целого зерна	96,85	95,27	96,45	92,74
Лабораторная всхожесть семян, %:				
- при ручном обмолоте	100	100	100	100
- при механизированном обмолоте	97,0	96,0	94,7	93,0

Анализ таблицы 2.2 показал, что зерновой ворох, полученный от роторных зерноуборочных комбайнов фирмы «*John Deere*», более качественный. После обмолота барабанным молотильно-сепарирующим устройством содержание целого зерна на 2,53...4,11% меньше, а дробленого в 2,2...13,41 раза больше, по сравнению с роторными МСУ. 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.

Подобные результаты получены в исследованиях других производителей зерноуборочных машин. Состав зернового вороха, полученного от комбайнов

фирмы «*New Holland*», оснащённых разными типами молотильно-сепарирующих устройств представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Состав зернового вороха в зависимости от типа МСУ зерноуборочных комбайнов фирмы «*New Holland*» [252]

Показатели	Тип МСУ зерноуборочного комбайна					
	Роторный <i>CR 9080</i>			Барабанный <i>CS 660</i>		
Частота вращения ротора или барабана, мин^{-1}	600	700	800	600	700	800
Содержание в бункерном зерновом ворохе, %:						
- дроблёного зерна	0,07	0,04	0,03	0,84	0,81	1,57
- зерна в плёнке	3,11	3,15	3,24	2,21	1,22	1,11
- целого зерна	96,74	96,82	96,68	96,51	96,84	96,32
- микротравмированного зерна	21,38	22,00	22,81	26,41	27,94	28,21

Анализ таблицы 2.3 показал, что зерновой ворох, полученный от роторных зерноуборочных комбайнов, содержит меньше дроблённого и микротравмированного зерна, чем от барабанных аналогов. При подобных исследованиях сравнивались следующие марки машин: «*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 [184, 252]. На всех исследуемых комбайнах полученные результаты свидетельствуют о преимуществах роторных моделей. Следовательно, обмолот за счёт ударного воздействия на хлебную массу, присущего классическим МСУ, более пагубно сказывается на повреждении зерновок и посевных качеств семян. Вытирание зерна, осуществляемое в роторных комбайнах, позволяет установить более мягкий режим работы, что делает данные машины более предпочтительными.

Влияние частоты вращения рабочего органа молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочного комбайна на дробление зерна с достаточной точностью описывается следующими выражениями

$$D_p = -4,299 + 251,4 \cdot 10^{-4} \cdot n - 46,64 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0,287 \cdot 10^{-7} \cdot n^3, \quad (2.4)$$

$$D_\delta = 3,364 - 0,2406 \cdot 10^{-4} \cdot n - 24,06 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0,2765 \cdot 10^{-7} \cdot n^3, \quad (2.5)$$

где D_p – дробление зерна роторными комбайнами, %;

D_b – дробление зерна барабанными комбайнами, %;

n – частота вращения ротора или барабана, мин^{-1} .

Влияние частоты вращения рабочего органа молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочного комбайна на приведённое микротравмирование зерна с достаточной точностью описывается следующими выражениями

$$T_{np.p} = 16,3 - 43,35 \cdot 10^{-4} \cdot n + 21,75 \cdot 10^{-6} \cdot n^2, \quad (2.6)$$

$$T_{np.b} = 20,97 + 0,1302 \cdot 10^{-4} \cdot n + 13,02 \cdot 10^{-6} \cdot n^2, \quad (2.7)$$

где $T_{np.p}$ – приведенное микротравмирование зерна роторными комбайнами, %;

$T_{np.b}$ – приведенное микротравмирование зерна барабанными комбайнами, %.

Полученные выражения позволят спрогнозировать приведенное микротравмирования и степень дробления зерна перед уборкой зерновых культур в зависимости от типа используемого комбайна, а также режимов работы его молотильно-сепарирующего устройства [184, 252].

На состав зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку, влияют параметры хлебостоя на корню. Установлено [34], что наибольшее количественное содержание зерна находится в горизонте $0,7 \dots 0,8$ м и $0,8 \dots 0,9$ 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 [32]. Стоит заметить, что посевные качества зёрен расположенных в верхних горизонтах также значительно лучше, чем в нижних слоях хлебостоя [33]. Анализ зерна с колосьев, расположенных на стеблях высотой от 0,2 до 1,0 м, показал, что энергии 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 ноля 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 [37, 122, 250], 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%.

Таким образом, состав зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку и последующее хранение, достаточно разнообразен. Для получения более качественного материала необходимо производить обмолот роторными зерноуборочными комбайнами при влажности зерна в период уборки 14...18% с минимальным повреждением. На семенные цели следует отбирать зерновки с толщиной более 2,6 мм, имеющие массу 1000 семян не менее 40 г. Количество засорителей в зерновом ворохе должно быть минимальным. Особую щепетильность стоит проявлять при заготовке семенного материала, т.к. любой вид травм отрицательно сказывается на качестве семян. Зерно кукурузы имеет чрезмерную влажность на момент уборки, поэтому к её обмолоту, а также последующей обработке нужно подходить с особым вниманием и обязательным переоснащением оборудования.

2.2 Снижение заражённости зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку и хранение

Анализ состояния зернового вороха, приведенный в предыдущем разделе, показал, что в основном качество зернового материала, поступающего на послеуборочную обработку и хранение, определяется выполнением заданной технологии возделывания культуры, а также соблюдением агротехнических требований при уборке. От исходного состояния хлебостоя, типа зерноуборочного комбайна и его режимов работы зависит содержание в ворохе засорителей, количество повреждённых зёрен, влажность зерна. Однако заражённость зернового материала слабо коррелирует с данными факторами. Между тем, в ворохе может содержаться до 64% зёрен, заселённых различными видами вредителей [42]. В среднем заражённость зернового вороха патогенами колеблется по годам и культурам от 1 до 30% [43, 79, 144]. Даже невысокое содержание вредителей опасно, т.к. они очень быстро развиваются и приводят к порче всего выращенного урожая. Особенно вредна скрытая заражённость, т.к. избавиться от данных зёрен посредством послеуборочной обработки не получится. Согласно данным специализированного структурного подразделения Организации Объединённых Наций «Food and Agriculture Organization», в среднем на одном гектаре земельных угодий обитает около 300 кг различных насекомых [168]. Поэтому попадание в зерновой ворох вредителей в полевых условиях скорее норма, чем исключение. Ежегодные потери от жизнедеятельности вредителей в мире достигают 15% от всего убранного урожая [168]. В России насекомые уничтожают в среднем 9,3% зерна пшеницы [79].

В Российской Федерации заражённость зерна определяется согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 13586.6-93 «Зерно. Методы определения заражённости вредителями» [53]. Данный документ действует на территории 6 стран, которые ранее входили в состав СССР. Согласно стандарту под заражённостью зерна понимают наличие в зерновом ворохе живых вредителей во всех стадиях их развития. ГОСТ 13586.6-93 выделяет 32 вида насекомых и клещей, причиняющих вред зерновой массе. Каждому вредителю присваивается определённый коэффициент вредоносности. Наивысшие значения имеют зерновой точильщик (1,7), ам-

барный (1,5) и рисовый (1,0) долгоносики, мавританская козявка (1,1), гусеницы бабочек (1,0), а наименьшие – мучные хрущаки (0,4), мукоеды (0,3), блестянки (0,2), сеноеды (0,1) и хлебные клещи (0,05). При этом по наличию вредителей в 1 кг зерна предусмотрено пять степеней зараженности. Стандарт описывает методику расчёта данного показателя. Если суммарная плотность заражения всеми вредителями составляет 1 экз/кг и менее, то это первая, наименьшая степень заражённости зерна, свыше 1 до 3 включительно экз/кг – вторая, более 3 до 15 включительно экз/кг – третья, от 15 до 90 экз/кг – четвёртая, свыше 90 экз/кг – пятая, наивысшая.

Следовательно, контроль наличия вредителей в бункерном зерновом ворохе, транспортируемом на послеуборочную обработку, является неотъемлемой частью технологического процесса подготовки зерна и семян. При этом некоторая часть насекомых и клещей при очистке переселяется в зерноочистительные агрегаты, в дальнейшем заражая весь обрабатываемый материал, а другая доля скрытой заражённости эффективно не выделяется на сепараторах, поступая на хранение вместе с основным продуктом. Поскольку операции по дезинфекции на ЗАВах и элеваторах, чаще всего, не проводятся, поэтому потери от жизнедеятельности вредителей имеют столь высокое значение. В связи с этим, наиболее рационально обеззараживать зерновой ворох до его поступления на очистку, т.е. при транспортировке.

Анализ современных средств дезинфекции зерна, проведённый в предыдущих разделах, показал, что наиболее эффективным и перспективным является процесс озонирования. В отличие от большинства химических препаратов, озонная обработка не оставляет в зерновом ворохе никаких канцерогенов или вредных веществ, а также не вызывает загрязнение окружающей среды. По эффективности обеззараживания зерна озон не уступает пестицидам. Озонирование уничтожает зернового точильщика, амбарного и рисового долгоносиков, малого мучного и булавоусого хрущака, суринамского мукоеда, мельничную огнёвку [72, 76, 142], т.е. согласно ГОСТ 13586.6-93 [53] всех наиболее вредоносных вредителей. Следует отметить, что озонная обработка при высоких концентрациях или больших экспозициях угнетает развитие патогенов в преимагинальных стадиях, например,

личинка, яйцо, куколка [71, 142, 180]. Кроме того, выявлено подавление токсигенных грибов родов «*Alternaria*», «*Aspergillus*», «*Fusarium*», «*Penicillium*», «*Rhizopus*» [1, 10] и бактерий [236].

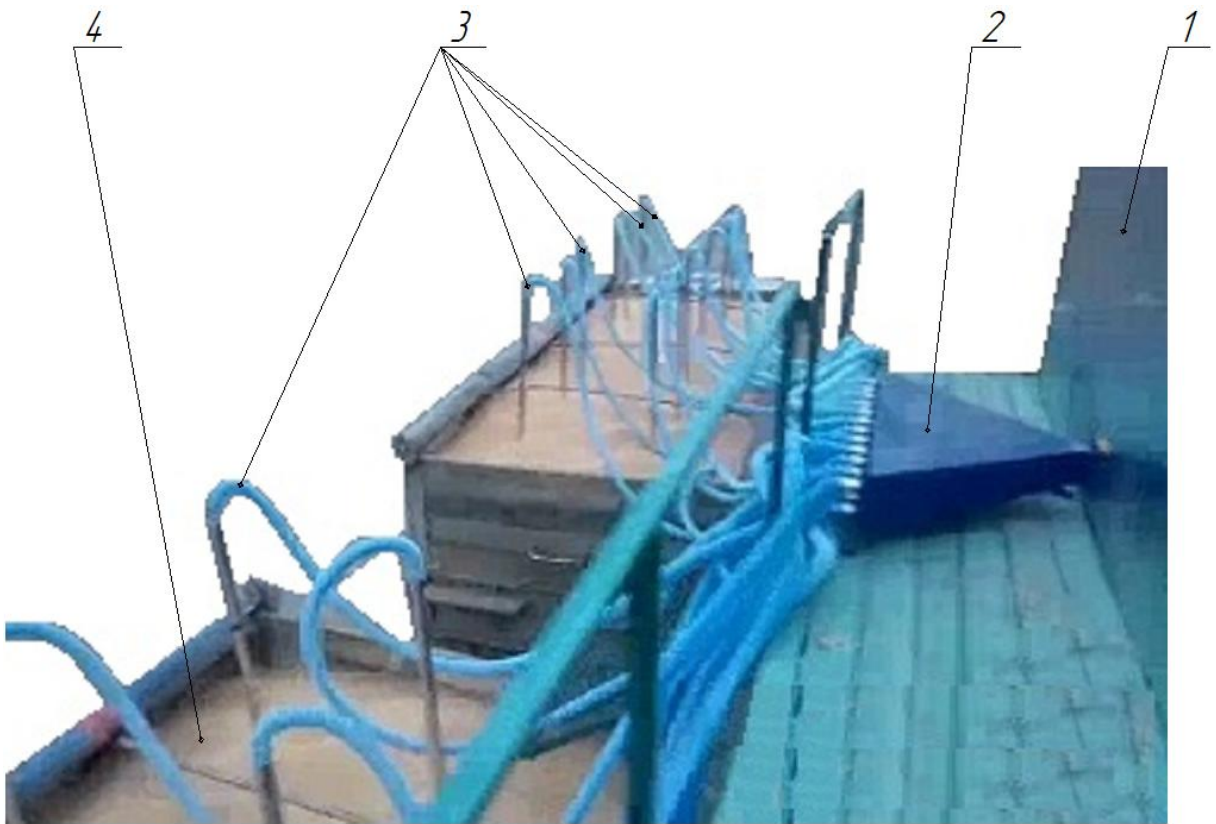
На данный момент зерновозов, которые могли бы при транспортировке осуществить обеззараживание зернового вороха, нет. Как правило, используется серийный самосвал с закрытым посредством тента кузовом. При этом из-за недостаточной герметичности, а также вследствие значительного времени укрытия, содержание в зерновом ворохе примесей, влаги и вредителей при транспортировке только увеличивается. Поэтому желательно проводить дезинсекцию зерна, поступающего на зерноочистительный агрегат или элеватор в кузовах грузового автомобиля [19, 73, 126, 246]. В Республике Беларусь создан подобный стационарный комплекс по снижению зараженности зернового материала в серийных самосвалах посредством озонирования (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Озонное обеззараживание зерна в кузове грузового автомобиля КАМАЗ-55102 в Республике Беларусь [246]

Процесс обеззараживания зерна в кузове грузового автомобиля протекает следующим образом. На территории хозяйства строится стационарное сооруже-

ние 1 (рисунок 2.6), во втором ярусе которого размещается озонатор, имеющий распределительное устройство 2 с системой гибких воздуховодов 3, на концах которых присоединены полые стержни. При прибытии зерновоза двое рабочих снимают с кузова 4 тент. С шагом около метра вручную втыкают в зерновой ворох два ряда стержней, подключенных через гибкие воздуховоды 3 к системе озонирования. В серийном кузове размещают до 12 подобных штанг. Далее включают озонатор и осуществляют обработку в течение заданного промежутка времени. После озонирования вытаскивают стержни и отправляют зерновоз на разгрузку.



1 – стационарное сооружение, оборудованное озонатором; 2 – распределитель озоново-душной смеси, 3 – гибкие воздуховоды с полыми стержнями; 4 – кузов зерновоза

Рисунок 2.6 – Система воздуховодов для обеззараживания зерна озоном в кузове грузового автомобиля в Республике Беларусь [246]

Данная технология обеззараживания зерна имеет массу недостатков. Прежде всего, это чрезмерная длительность процесса обработки и высокая трудоёмкость операции, т.к. требуется применение ручного труда. Это в свою очередь способствует попаданию в кузов автомобиля грязи с обуви рабочих, осадков, по-

сторонних крупных примесей. Следует также учитывать, что некоторая часть вредителей ещё до стерилизации покидает зерновой ворох и заражает соседние объекты. Кроме того, концентрация озона в рабочей зоне оператора значительно превышает уровень ПДК. С экономической точки зрения простой грузового автотранспорта в напряжённый период недопустим. Следовательно, данную технологию обеззараживания зерна в кузове грузового автотранспорта необходимо усовершенствовать.

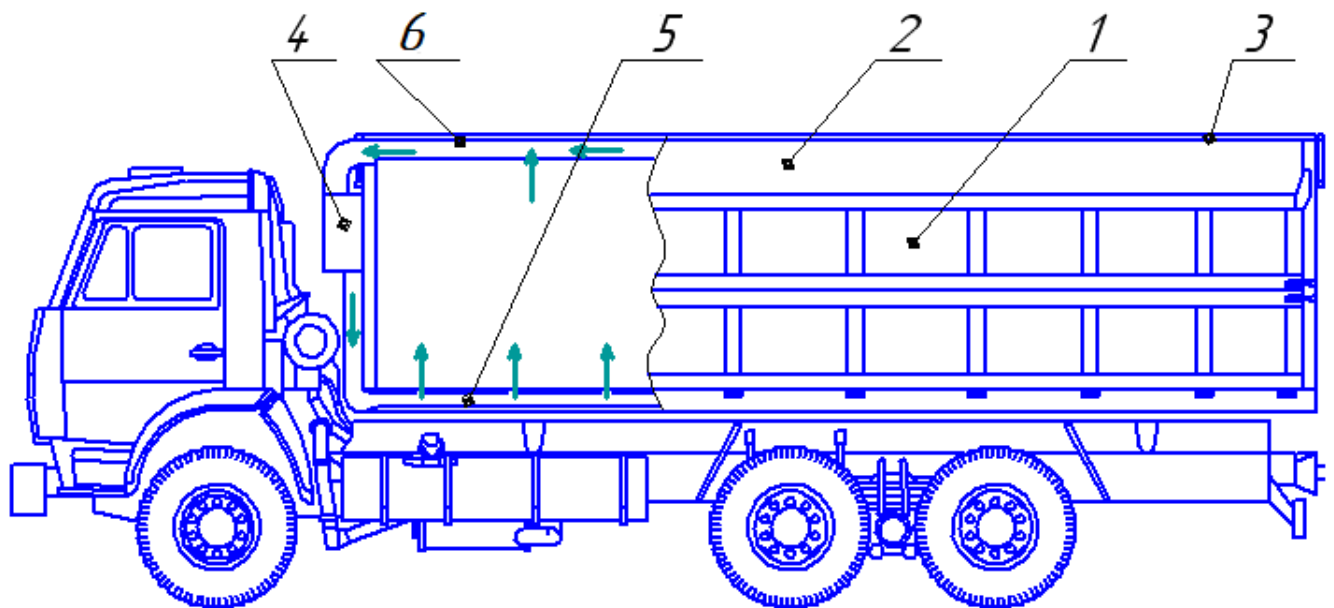
С целью минимизации времени операции желательно обработку зернового вороха проводить одновременно с транспортировкой зерна, т.е. сделать установку озонирования не стационарной, а мобильной. Современный уровень науки и техники уже позволяет изготавливать озонаторы, работающие от бортовой электрической системы автомобиля (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Озонатор, работающий от бортовой электрической сети автомобиля

На данный момент мобильные озонаторные установки, работающие от бортовой сети автомобиля, в основном предназначены для обеззараживания салона автотранспорта. Увеличение производительности подобных озонаторов позволит их использовать на более сложных операциях. Промышленность готова наладить выпуск более мощного оборудования [125].

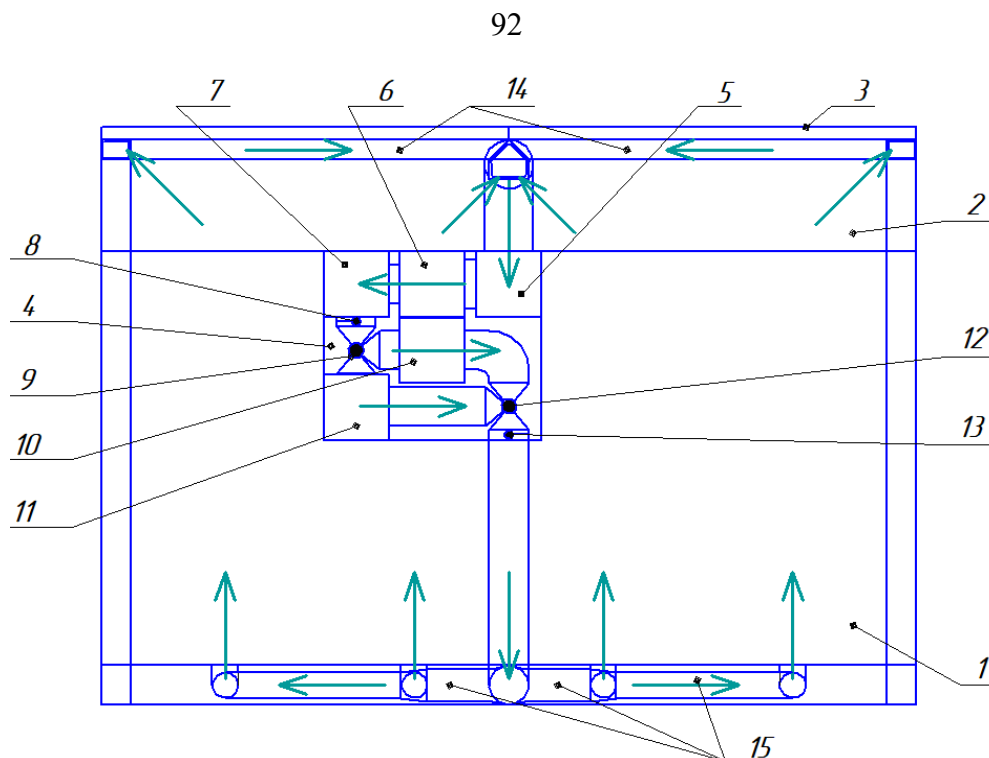
Для решения поставленной задачи была разработана на уровне изобретения конструкция зерновоза, оборудованного системой озонирования. Для устранения выявленных недостатков кузовов *1* (рисунок 2.8) грузового автомобиля необходимо изготовить достаточно герметичным. Для этого зерновоз оборудуется подвижной крышей *3*, которая работает от гидравлического, пневматического или электрического привода. В несущих конструкциях кузова размещаются системы подачи озоновоздушной смеси *5* и забора *6* отработавшего рабочего газа, который в дальнейшем после очистки будет использоваться вторично.



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 из кузова

Рисунок 2.8 – Зерновоз, оборудованный системой озонирования, защищённый патентом РФ на изобретение № 2693139

Система озонирования кузова грузового автотранспорта включает фильтр *5* (рисунок 2.9), напорно-вытяжной вентилятор *6*, редуктор давления *7*, датчики *8* и *13* концентрации содержания озона в озоновоздушной смеси, трёхходовые краны *9*, *12*, озонатор *10*, деструктор остаточного газа *11* и т.д.



1 – кузов грузового автотранспорта; 2 – надставка кузова; 3 – подвижная крыша с автоматическим приводом; 4 – озонаторная установка; 5 – воздушный фильтр; 6 – напорно-вытяжной вентилятор; 7 – редуктор давления с отводом конденсата; 8 – датчик концентрации озона в рециркуляционном потоке отработавшего газа; 9 и 12 – трёхходовой кран; 10 – озонатор; 11 – деструктор озона; 13 – датчик концентрации озона в озоновоздушной смеси подаваемой в кузов; 14 – система забора отработавшего рециркуляционного потока рабочего газа из кузова; 15 – система подачи рабочего газа в кузов

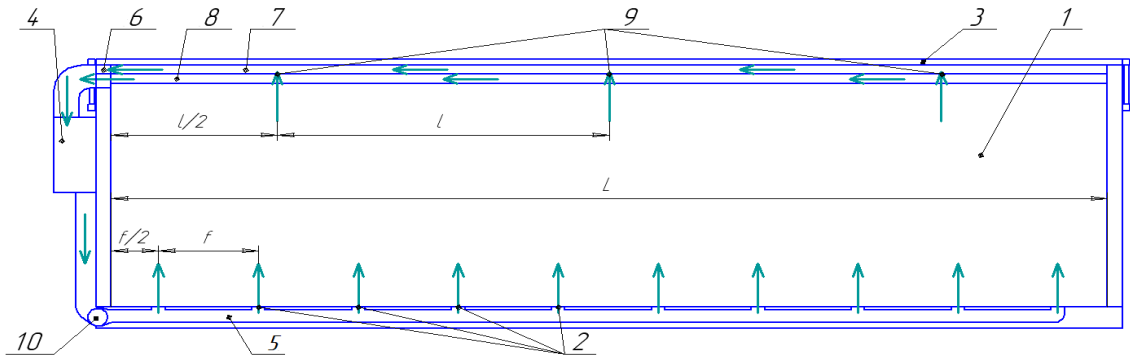
Рисунок 2.9 – Схема поперечного разреза кузова патентованного зерновоза

Верхние воздухопроводы системы забора 14 (рисунок 2.9) отработавшего рециркуляционного потока рабочего газа из кузова грузового автотранспорта размещены в борту надставки 2. С ним соединены три продольных газохода, два из которых расположены в бортах, а один – под подвижной крышей. В каждом воздуховоде размещены воздухозаборники 9 (рисунок 2.10) с определённым шагом, который можно найти по формуле

$$l_{\text{в}} = \frac{L_{\text{к}}}{3}, \text{ м}, \quad (2.8)$$

где $l_{\text{в}}$ – шаг воздухозаборников, м;

$L_{\text{к}}$ – длина кузова, м.



1 – кузов; 2 – нагнетающие форсунки; 3 – сдвижная крыша; 4 – озонатор; 5 – продольные воздуховоды системы подачи газа; 6 – поперечный воздуховод системы рециркуляции отработанного газа; 7 и 8 – продольные воздуховоды системы рециркуляции отработанного газа; 9 – воздухозаборники; 10 – поперечный воздуховод системы подачи рабочего газа; f – расстояние между форсунками; l – шаг воздухозаборников; L – длина кузова

Рисунок 2.10 – Схема продольного разреза патентованного зерновоза

Первый и последний воздухозаборники 9 (рисунок 2.10) находятся на расстоянии $l_k/2$ от переднего или заднего бортов. Вдоль оси кузова проложены четыре продольных воздуховода, находящиеся на определённом расстоянии, которое можно найти по формуле

$$b_k = \frac{B_k}{4}, \text{ м}, \quad (2.8)$$

где b_k – ширина между продольными воздуховодами, м;

B_k – ширина кузова, м.

От боковых бортов продольные воздуховоды расположены на расстоянии $b_k/2$. На данном газоходе размещено несколько отводов с форсунками, их количество N_k определяется по формуле

$$N_k = \frac{L_k}{b_k}, \text{ шт.} \quad (2.9)$$

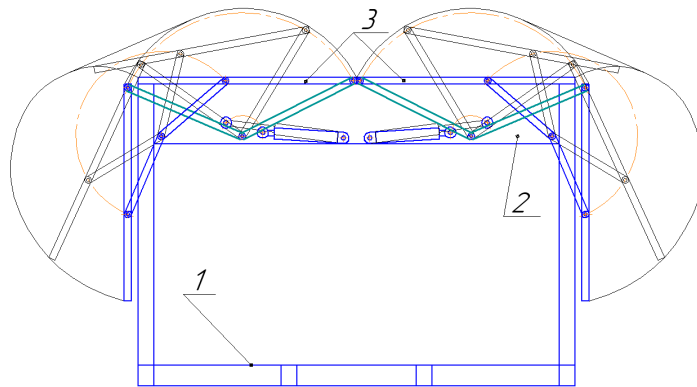
Расстояние между нагнетающими форсунками 2 (рисунок 2.10) будет равно

$$f = \frac{L_k}{N_k}, \quad (2.10)$$

где f – расстояние между нагнетающими форсунками, м.

Крайние форсунки расположены на расстоянии $f/2$ от заднего или переднего бортов кузова.

Предлагаемая конструкция работает следующим образом. Перед загрузкой зерновоза подвижная крыша 3 (рисунок 2.11) кузова 1 переводится из закрытого положения в открытое, перемещаясь к боковым бортам 2. После этого производится автоматизированная загрузка зерна. После заполнения кузова 1 крыша 3 закрывается, герметизируя его [126, 155].



1 – кузов; 2 – наставка бокового борта; 3 – подвижная крыша

Рисунок 2.11 – Схема работы подвижной крыши зерновоза

Далее зерновой ворох транспортируется к месту назначения и по мере движения зерновоза производится одновременное обеззараживание зерна озоновоздушным потоком. При этом система озонирования имеет два режима работы.

Первый режим – «озонирование». Воздушный поток из кузова 1 (рисунок 2.9), загруженного зерновым материалом и герметично закрытого подвижной крышей 3, через систему забора 14, фильтрующий элемент 5, напорно-вытяжной вентилятор 6, редуктор давления 7, датчик 8 и трёхходовой кран 9 поступает в озонатор 4. Датчик 8 определяет текущую концентрацию озона и в зависимости от полученного значения определяет режим работы системы озонирования. Если в поступившем воздушном потоке содержание окислителя незначительное, то комплекс автоматического управления даёт команду на включение системы в действие. При этом озонатор вырабатывает озон, который подмешивается к воздуху, и через трёхходовой кран 12, датчик 13, систему распределения рабочего газа 15 озоновоздушная смесь подается в кузов зерновоза для дезинфекции транс-

портируемого зернового вороха. В случае достаточной для обработки зерна концентрации окислителя в отработавшем газе система просто вентилирует его.

При подъезде к месту назначения водитель переводит работу системы во второй режим – «разгрузка». При этом отработавший воздушный поток через трёхходовые краны 9 и 12 (рисунок 2.9) направляют в деструктор 11 для разложения остаточного опасного газа. Вентилирование перевозимого зернового материала осуществляется до тех пор, пока датчики 8 и 13 не зафиксируют снижение концентрации озона до предельно-допустимого уровня в $0,1 \text{ мг/м}^3$. После этого производится разгрузка кузова зерновоза.

На всем протяжении работы системы озонирования за безопасностью водителя следит сигнализатор превышения предельно-допустимой концентрации озона за пределами кузова зерновоза. В случае превышения безопасного уровня газа подаётся звуковой и световой сигнал, автоматически отключая весь комплекс.

Таким образом, преимущества предлагаемого зерновоза очевидны. Применение серийных самосвалов при транспортировке зернового вороха приводит к доставке вредителей с полей на зерноочистительный ток. От жизнедеятельности патогенов портится значительный объём выращенной продукции. Зараженность зерна можно существенно снизить за счёт применения процесса озонирования. Обработка озоном бункерного зернового вороха в кузове зерновоза позволит сократить время и средства на дезинфекцию, получив более качественный исходный материал. Применяемая технология озонного обеззараживания зерна в серийных самосвалах имеет массу недостатков. Поэтому следует в перспективе наладить выпуск специализированных зерновозов, оборудованных системой озонирования и исключающих попадание посторонних предметов внутрь кузова. Одним из вариантов является предлагаемое запатентованное техническое решение, реализовать которое можно как на автомобильном, так и на железнодорожном транспорте. Современный уровень технического прогресса позволяет реализовать предложенное техническое решение. Уже известны озонаторы, работающие от бортовой сети 12 В. Промышленные предприятия могут наладить выпуск более мощных установок.

2.3 Изменение качественных показателей зерна и семян в процессе послеуборочной обработки и хранения

По мере проведения послеуборочной обработки происходит изменение количественных и качественных показателей зернового вороха за счёт выделения различных примесей, неполноценных зёрен, засорителей. При этом работа зерноочистительных машин должна соответствовать агротехническим требованиям, которые предъявляются к данному виду очистки. Различают четыре вида послеуборочной обработки, обеспечивающих заданное состояние зернового вороха. Если необходимо отделить только крупные и лёгкие примеси, то применяют предварительную очистку. При этом в зерновом ворохе содержится до 3% частиц, не относящихся к основной культуре. При обработке товарного зерна применяют первичную очистку, которая позволяет выделить три основных фракции. Кроме основного материала данные машины отделяют фураж, а также объединяемые в единый отход лёгкие, крупные и мелкие примеси. При этом в конечном продукте содержится от 1 до 3% засорителей. В случае подготовки семенного материала применяют вторичную очистку, которая обеспечивает выделение до пяти основных фракций. Кроме семян данные сепараторы могут выделять товарное и фуражное зерно, а также лёгкие, мелкие и крупные примеси. При этом в семенном материале допускается содержание менее 1% засорителей. Окончательную очистку проводят машинами специальной обработки, к которым относятся пневмосортировальные столы, оптические лазерные сортировщики и т.д. Они способны довести чистоту семян до 99,99% [23].

Прежде всего, на качество семян влияет сорт. Биологические особенности строения и развития растения определяет биохимический и физико-химический состав зерновки. Н.Н. Мироненко [106, 108] установила, что сорт зерновых культур влияет на натуру зерна, массу 1000 семян, общую стекловидность, содержание крахмала, белка, клейковины, жира, минеральных веществ и т.д. Соответствующие исследования, проведённые на одиннадцати разновидностях озимого тритикале, представлены на рисунках 2.12 и 2.13.

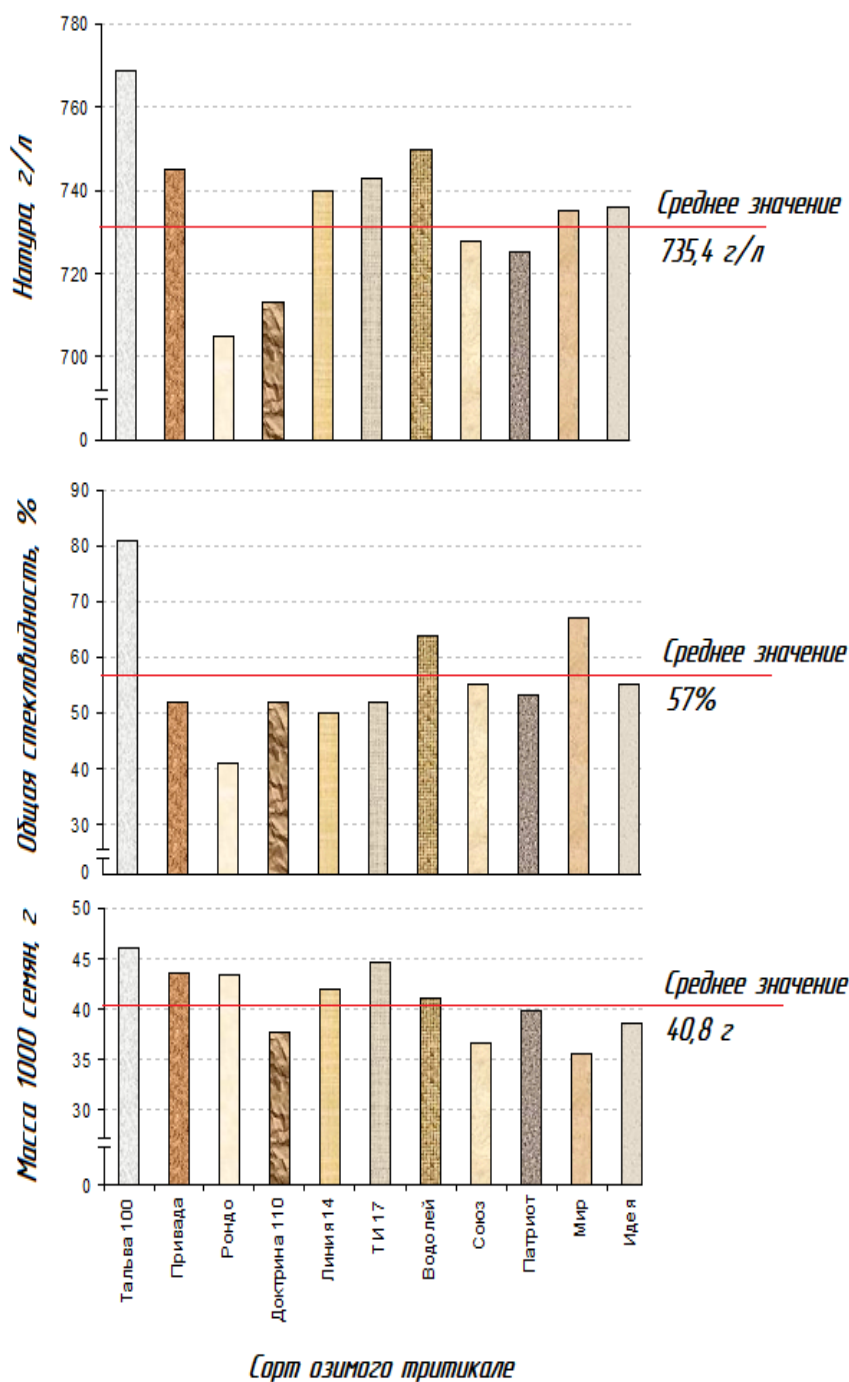


Рисунок 2.12 – Влияние сорта озимого тритикале на качественные показатели зерна [106]

Анализ рисунка 2.12 показал, что масса 1 л зерна, называемая его натурой, в зависимости от сорта варьирует вокруг среднего значения $735,4^{+33,6}_{-30,4}$ г/л. При этом общая стекловидность, характеризующая консистенцию эндосперма зерновки, изменяется значительно, почти в 2 раза, от 41 до 81%. Масса 1000 семян в зависимости от сортообразца варьирует вокруг среднего значения $40,8 \pm 5,2$ г [106].

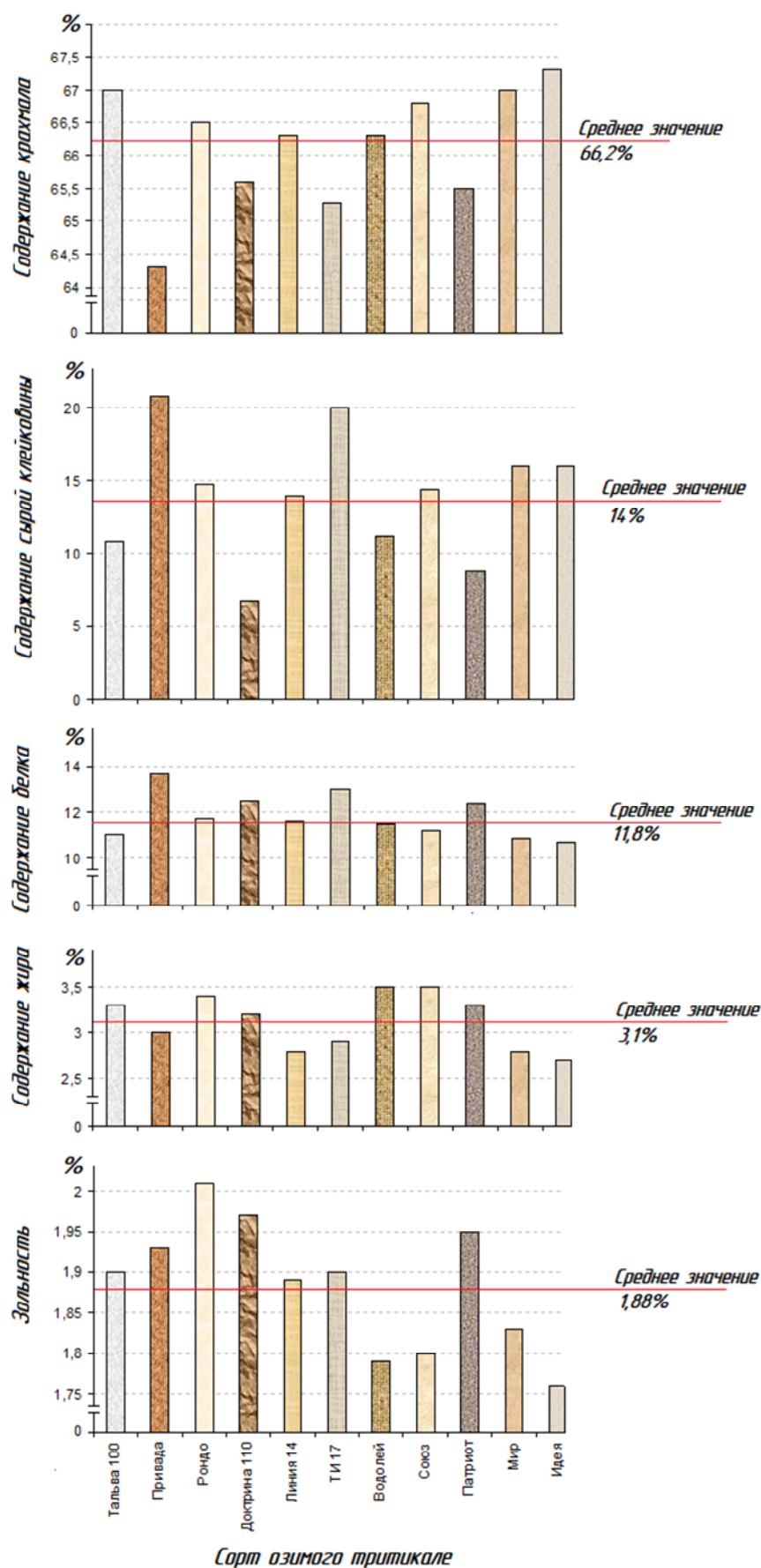
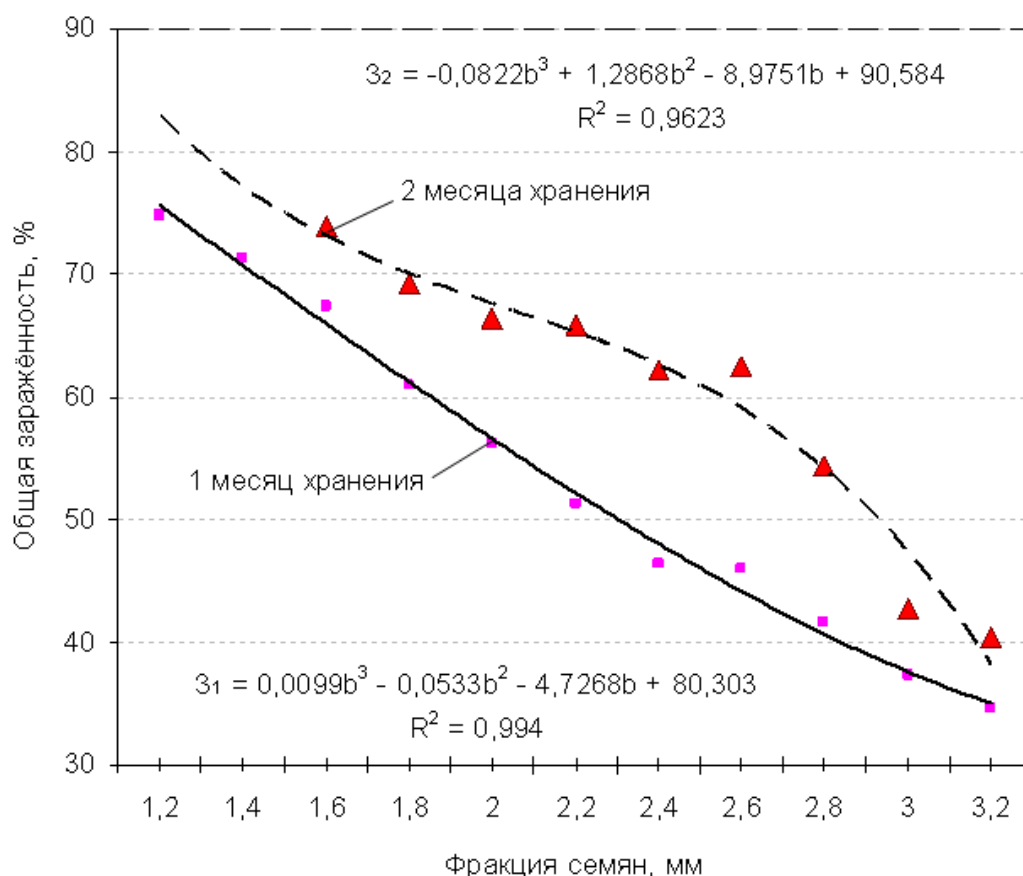


Рисунок 2.13 – Влияние сорта озимого тритикале на содержание различных веществ в зерновке [106]

Анализ рисунка 2.13 показывает, что содержание крахмала, белка, жира, а также зольность зерна в зависимости от сорта изменяется вокруг среднего значения с определённым отклонением. При этом наличие сырой клейковины имеет значительный разброс значений. В зависимости от сортообразца данный параметр варьировал от 6,8 до 20,8%, т.е. более чем в 3 раза. В среднем в зерне озимого тритикале содержится $66,2^{+1,1}_{-1,9}$ % крахмала, $11,8^{+1,9}_{-1,1}$ % – белка, $3,1 \pm 0,4$ % – жира. Отношение массы золы, полученной при сгорании размолотого зернового материала, к исходной массе сжигаемого вещества называют зольностью. Данный параметр у зерна озимого тритикале изменялся в диапазоне 1,76...2,01% [106]. Другие зерновые культуры имеют похожую динамику изменения биохимических и физико-химических составляющих зерновки. Следовательно, на основные показатели семян влияет их сорт, особенно на стекловидность и содержание сырой клейковины, которые во многом определяют их качество.

Аминокислотный состав зерновки в зависимости от сорта культуры изменяется вокруг среднего значения. В зерне содержится большое разнообразие органических веществ, содержащих дополнительные аминные и карбоксильные группы. Среди них можно выделить пролин, лейцин, серин, глицин, аланин, цистин, треонин, тирозин и многие другие. Они оказывают существенное влияние на процесс прорастивания семян.

В процессе послеуборочной обработки и хранения изменяется заражённость зерна. В основном в ворохе развиваются плесневые грибы [138, 219]. С целью изучения влияния сроков хранения семян на развитие в них патогенов проводились соответствующие исследования, в которых озимая пшеница сорта «Дон-93» была разделена на лабораторном расसेве У1-ЕРЛ-2-1 на фракции. При этом примеси не отделяли. Хранили материал на площадке под открытым небом. Ежемесячно определяли наличие в зерновом ворохе различных грибков и заболеваний, среди которых можно отметить фузариоз, альтернариоз, пенициллиум, аспергиллез, бактериоз [39, 140, 252]. Общая заражённость семян озимой пшеницы сорта «Дон-93» после двух месяцев хранения в зависимости от размеров основной фракции представлена на рисунке 2.14.



Z_1 – заражённость семян после одного месяца хранения, %; Z_2 – заражённость семян после двух месяцев хранения, %; b – толщина семян озимой пшеницы, мм

Рисунок 2.14 – Изменение зараженности зернового вороха озимой пшеницы сорта «Дон-93» в зависимости от сроков хранения и размера семян

Анализ рисунка 2.14 показывает, что с увеличением срока хранения заражённость зернового вороха возрастает. Наибольшему повреждению подвержены зёрна меньшего размера. В среднем развитие патогенов на второй месяц исследований превышало соответствующее месячное значение на 10,6%. Чем меньше срок хранения и крупнее семена, тем ниже заражённость семян.

Хранение зернового материала без проведения качественной послеуборочной обработки недопустимо, т.к. приведёт к порче всего урожая. Установлено, что различные компоненты вороха имеют разную интенсивность дыхания [252]. Например, у дробленых и щуплых зёрен этот показатель в течение 15 суток наблюдений был больше в 1,8 и 1,9 раза соответственно, чем у полноценных зерновок. Причём заражённость повреждённого материала грибной инфекцией в 12 раз пре-

вышала аналогичное значение у здоровых семян. Следовательно, повышенная интенсивность дыхания и активность патогенов в некондиционных зёрнах будет способствовать образованию в них высокотоксичных веществ. Данные амины угнетающе действуют на зародыш, снижая всхожесть семян [131, 139].

В процессе хранения посевные качества семенного материала ухудшаются. В.И. Оробинский установил, что в течение 11 месяцев хранения лабораторная всхожесть семян и их энергия прорастания снижалась [39, 138]. Причём даже ручной обмолот зёрен, в которых травмирование сведено до минимума, не гарантирует сохранение посевных качеств. Так, энергия прорастания семян за 11 месяцев хранения снизилась с 94 до 87%. При этом лабораторная всхожесть уменьшилась с 99,6 до 95,6%. Обмолот посредством зерноуборочных комбайнов ухудшил оба показателя. Энергия прорастания семян снизилась с 91,0 до 71,0%, а лабораторная всхожесть уменьшилась с 99,3 до 86,0%. Это объясняется микроповреждениями, которые не способны устранить применяемые при послеуборочной обработке зерноочистительные машины. У повреждённых семян энергия прорастания на момент закладки на хранение составляла 86,0%, а через 11 месяцев – 65,6%. При этом лабораторная всхожесть травмированного посевного материала снизилась с 98,5 до 81,5%. Однако стоит заметить, что каждый сорт имеет свои особенности, и в процессе хранения в определённый период возможно как улучшение посевных качеств, так и их ухудшение. По данным Н.Н. Мироненко, лабораторная всхожесть семян озимого тритикале после двух месяцев хранения изменялась в диапазоне от 91 до 94% в зависимости от сортообразца [106, 107]. К полугодовому периоду у троих сортов данный параметр вырос, а у восьми снизился. К 10 месяцам хранения лабораторная всхожесть семян только у двух образцов была выше исходных значений. Установлено, что сорта с продолжительным периодом послеуборочного дозревания более длительный период сохраняют свои посевные качества. Через 26 месяцев нахождения материала в зернохранилище все образцы уже не отвечали требованиям посевного стандарта. Зависимость лабораторной всхожести семян от сорта озимого тритикале и длительности хранения представлена на рисунке 2.15.

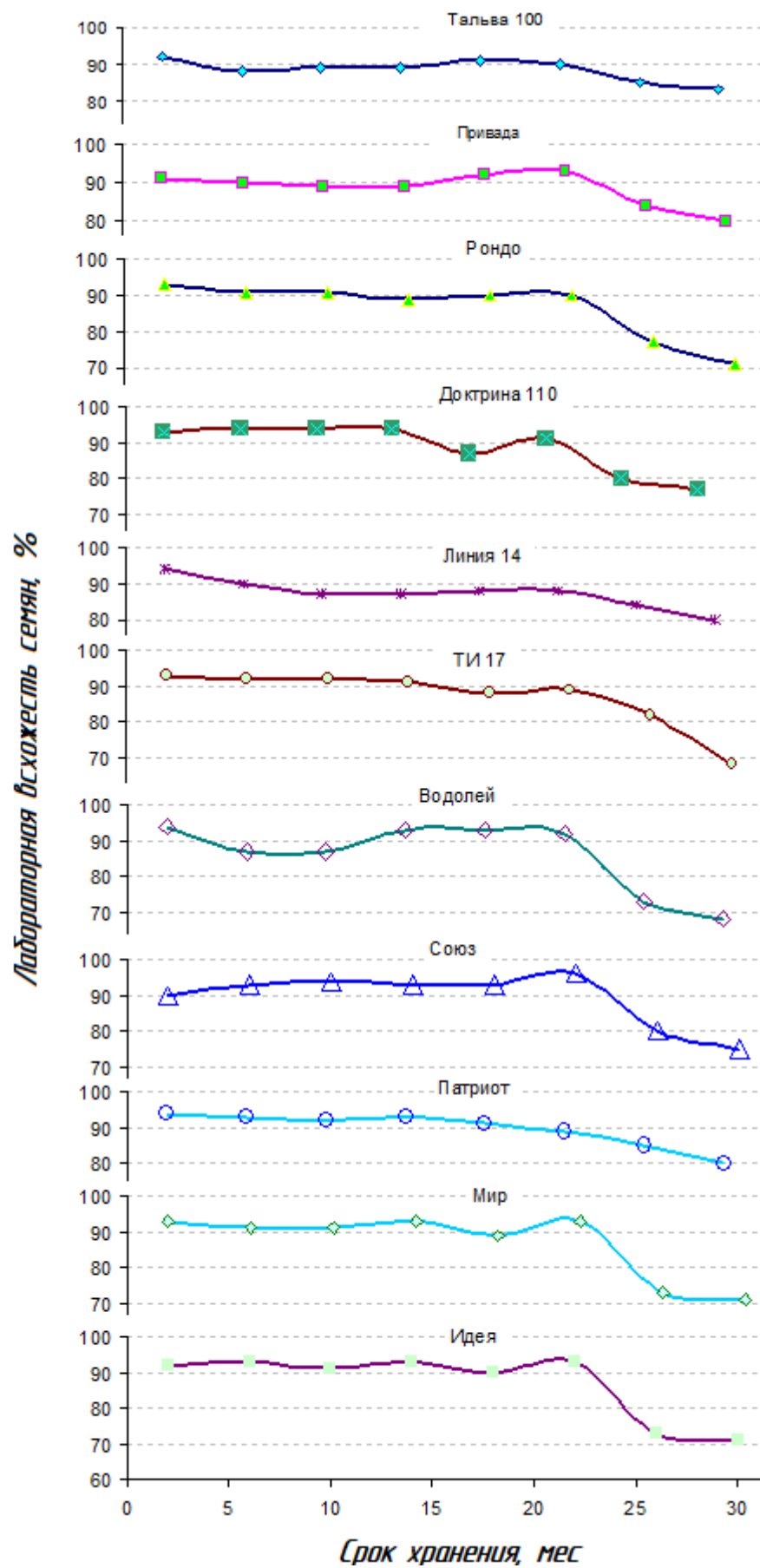


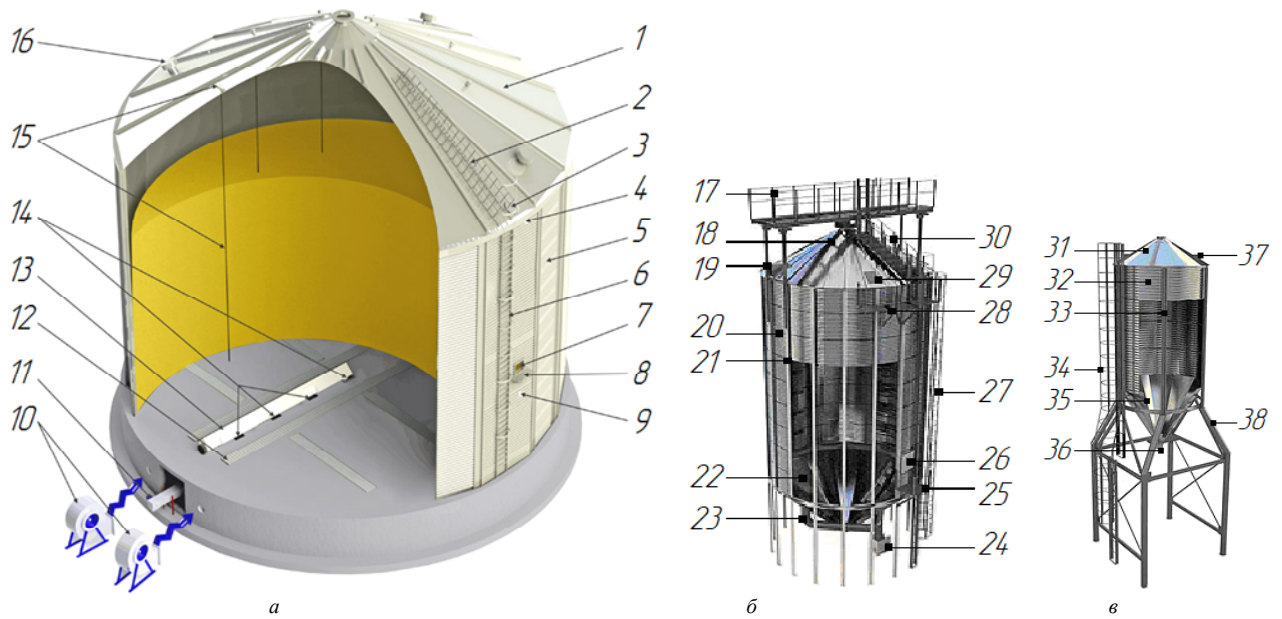
Рисунок 2.15 – Влияние сорта озимого тритикале и длительности хранения семян на их лабораторную всхожесть [106]

Анализ рисунка 2.15 показал, что сорта с повышенным периодом послеуборочного дозревания сохраняют посевные качества до 22 месяцев. Дальнейшее увеличение сроков хранения способствуют ухудшению семенной ценности семян. Предельная длительность нахождения семенного материала в зернохранилище составляет 26 месяцев. При этом момент старения семян начинается в период с 14 по 18 месяцы, когда в зерновке отмечается изменение соотношения биохимических компонентов [105, 106]. Следовательно, сорт оказывает существенное влияние на сроки хранения семян.

В процессе хранения наиболее сильно изменяется показатель общей стекловидности зерна, особенно с повышением его влажности. Это в свою очередь влияет на содержания белка, крахмала, протеина в эндосперме. При этом натура и масса 1000 семян практически не изменяются [106]. Следовательно, за качеством посевного материала можно следить по показателю стекловидности зерна, чем он выше, тем лучше.

Большие значения натуры зерна, массы 1000 семян и стекловидности характеризуют данный сорт как обладающий лучшим посевным потенциалом. В процессе хранения зернового материала в период послеуборочного дозревания снижение качества семян из-за биохимических процессов не прослеживается при условии соблюдения требований ГОСТ Р 52325-2005. Ухудшение показателей семенной ценности зерна в данный временной отрезок может быть вызвано изменением параметров окружающей среды или развитием патогенов, которые активизируются с повышением температуры и влажности. Для предотвращения пагубного влияния внешних факторов на качество семян все зернохранилища должны быть оснащены системой аэрации и термометрии. Желательно применение мероприятий по повышению семенной ценности посевного материала.

Хранение зернового материала связано с неизбежными потерями и повреждением зерна. Анализ современных зернохранилищ [23, 187, 189] показал, что на данный момент самым рациональным вариантом являются сборно-металлические силоса (рисунок 2.16), которые бывают плоскодонными (рисунок 2.16а), коническими (рисунок 2.16б) и экспедиторскими (рисунок 2.16в).



а – плоскодонный силос; *б* – силос с коническим дном; *в* – экспедиторский силос;

1, 18 и 31 – коническая крыша; 2, 6, 27, 30 и 34 – лестница; 3 и 29 – кровельный смотровой люк; 4 и 9 – датчики верхнего и нижнего уровня зерновой насыпи; 5, 20 и 32 – металлические перфорированные листы корпуса зернохранилища; 7 и 26 – инспекционная дверь; 8, 25 и 28 – сервисная площадка; 10 и 24 – вентилятор; 11 – выгрузное оборудование; 12 и 23 – система воздухопроводов; 13 – выгрузной шнек; 14 – выгрузные отверстия; 15 – термоподвеска; 16, 19 и 37 – дыхательный клапан; 17 – надсилосная галерея; 21 и 33 – рёбра жесткости; 22 и 35 – конусное дно; 36 – задвижка; 38 – опорная конструкция

Рисунок 2.16 – Варианты зернохранилищ силосного типа

Хранение семян в металлических силосных зернохранилищах имеет свои особенности. В.И. Бровенко [26] установил, что в солнечные дни температура кровли и стенок силоса повышается на $10...25^{\circ}\text{C}$. Это влияет на нагрев периферийных зерновых слоёв. Суточные колебания температуры зерна прослеживаются на расстоянии до 25 см от стенок силоса, а годовые – до 1 м . При этом периферийный зерновой материал в летний период нагревается до $40...50^{\circ}\text{C}$. Годовые колебания температуры зерна достигают $30...40^{\circ}\text{C}$ в слое 50 см от стенок силоса, что ориентировочно составляет около 10% от всего объёма хранящегося продукта. Данный зерновой материал снижает своё качество из-за активизации патогенов. Месячный период хранения при влажности зерна от $15,1$ до $16,1\%$ и суточных перепадах температуры в $20...30^{\circ}\text{C}$ привёл к снижению энергии прорастания семян

на 11...17%, а лабораторной всхожести – на 8...12% . Также отмечалось развитие плесени и повышение кислотности жира. Хранение семян в силосных зернохранилищах влажностью до 14% не оказывало вредного воздействия на их качество в течение 6...12 месяцев. Вентилирование зернового материала позволяло эффективно регулировать температуру зерна в периферийных слоях и предотвращало образование конденсата на стенках силоса [26].

Рассмотрим возможные потери зерна, сопутствующие хранению зернового материала в силосных зернохранилищах. Проведение каждой технологической операции во время хранения в той или иной мере влияет на состояние зернового вороха. Наибольшие потери и травмирование зерна возможны при различных механических воздействиях рабочих органов норий загрузки, стыков самотёков, зерносушилок, зачистного шнека, выгрузных устройств, цепных транспортёров, а также из-за травм от соударения о днище [24, 166, 211, 232].

В.Ф. Русских [175] установил, что травмирование зерна происходит после воздействия любого оборудования зерноочистительного комплекса. Так, приёмный бункер повреждает 0,67...1,0% зернового вороха, конвейеры и различные транспортёры – 2,75...3,75%, нории – 3,33...4,5%, резервуар буферного хранения – 0,92...1,5%, накопительные ёмкости с самотечной разгрузкой – 0,08...0,42%. Исследования [18, 24, 89, 186, 208], проведенные в Воронежском ГАУ, подтверждают приведённые данные. В результате выявлено, что скребковые конвейеры в среднем травмируют 10,5% зерна, загрузочные нории – 4,6%, шнеки – 2,6%, самотечные устройства – 1,6%, ленточные транспортёры – 0,51%. Кроме того, зерновой материал повреждается при падении внутри зернохранилища от удара о его днище [232]. Установлено, что коническое дно повреждает в среднем на 0,22% меньше, чем плоское. Демпфирующая поверхность из резинового материала способствует снижению травмирования зерна от удара на плоском днище на 0,09...0,5%, на конусном основании – на 0,2...0,49% [231]. Однако доля повреждаемого материала по отношению к общему объёму хранящегося продукта ничтожно мала. Поэтому повреждение зерна за счёт удара о дно силосного зерно-

хранилища актуально изучать только на буферных ёмкостях, которые многократно загружаются небольшими партиями.

Следовательно, однократная загрузка силосного зернохранилища посредством нории, самотечных устройств, скребкового конвейера, а также его разгрузка с помощью зачистного шнека и шнекового транспортёра приведёт к травмированию примерно 10% зёрен [24]. Для минимизации потерь необходимо использовать тихоходные загрузочные нории, ленточные конвейеры, современные системы термометрии и аэрации.

Таким образом, в процессе послеуборочной обработки семенные качества очищаемых семян улучшаются, т.к. выделяются неполноценные зерновки. Однако впоследствии при хранении снижаются их посевные качества. Поэтому необходимы мероприятия по улучшению семенной ценности хранящегося материала, например, периодическое озонирование, которое снизит заражённость, скомпенсирует температурные перепады и повысит всхожесть семян.

2.4 Совершенствование технологии и технических средств линии послеуборочной обработки и хранения зернового материала за счёт применения процесса озонирования

Целью послеуборочной обработки и хранения зернового вороха является выделение наиболее полноценных зёрен, а также сохранение их качества. Для того чтобы получить высококачественный материал следует как можно раньше выделить биологически неполноценное зерно, засорители, травмированные зерновки, а затем снизить их влажность до кондиционного состояния, предотвратить развитие патогенов, обеспечить оптимальные условия консервации продукции. Применение процесса озонирования позволит повысить эффективность влагоотдачи, обеззаразить ворох, увеличить сроки безопасного хранения, сохранив качественные показатели. Совершенствование технологии послеуборочной обработки зернового материала повлечёт за собой необходимость в разработке технических средств для её реализации.

Модернизация технологических линий зерноочистительных комплексов ведётся на протяжении нескольких десятилетий [65, 81, 100, 138, 171, 206]. Однако основы данной технологии заложены более полувека назад и практически не изменились за данный период. Необходимо внедрение в технологические линии современных, экологически чистых методов, способствующих повышению эффективности послеуборочной обработки и хранения зернового материала. В последнее время наиболее перспективной технологией в сельском хозяйстве считается озонирование аграрной продукции [6, 96, 113, 143, 196, 197, 249]. Поэтому совершенствование необходимо вести именно в этом направлении.

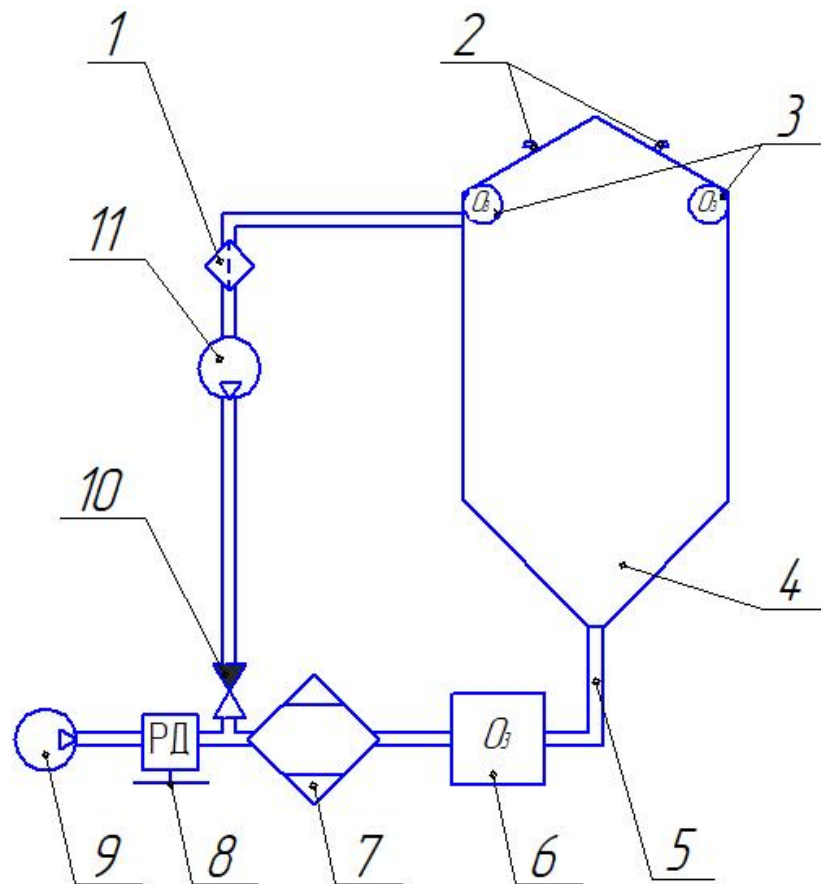
Опыт промышленных предприятий, пытавшихся внедрить процесс озонирования в производство, показал, что в закрытых помещениях, без должной вентиляции и аэрации, нахождение рабочих в непосредственной близости от озонаторной установки приводит к ухудшению их самочувствия [167]. Поэтому, комплексы по озонной обработке зернового материала должны иметь замкнутый контур, оснащаться датчиками-сигнализаторами предельного уровня ПДК, работать в автономном режиме, иметь деструктор остаточного озона и быть достаточно удалёнными от нахождения людей, что позволит обеспечить санитарную зону. В заданных условиях реализовать данные требования проще всего в сборно-металлических силосных зернохранилищах [22, 187, 228]. Силоса состоят из профильных листов, которые соединяются между собой болтовыми соединениями с резиновыми прокладками. При этом стыки дополнительно обрабатываются герметиком. Для озонирования семян следует использовать конические силоса, устанавливаемые на опорах, т.к. озон тяжелее воздуха и после прекращения обработки газ будет двигаться вниз, что может привести к его накоплению в подсилосных галереях плоскодонных вариантов. Кроме того, согласно пункту 6.8 ГОСТ Р 52325-2005, высота насыпи семенного материала в силосном зернохранилище не должна превышать 5 м [53]. Следовательно, размер силоса для хранения семян будет ограничиваться именно этим параметром. Анализ современных конических силосных зернохранилищ свидетельствует о том, что при заданных условиях максимальная вместимость не может превышать 47 тонн [23]. Для того чтобы запол-

нить весь объём силоса озоном, его необходимо подавать снизу. Тем самым более тяжёлый газ вытеснит весь воздух через дыхательные клапаны в крыше, предотвращая образование «пробок». В возможных местах утечек озона, прежде всего у механизма выгрузки, следует установить катализаторы, которые будут его разлагать [167, 215]. В нижней части силос должен быть максимально герметичным.

Для озонной обработки зернового материала необходима озонаторная установка 6 (рисунок 2.17), которая должна обеспечивать заданную производительность и безопасность процесса. Подача озоновоздушной смеси осуществляется по воздуховодам 5. Для снижения себестоимости обработки и одновременного приёма нескольких культур необходимо использовать один озонатор на несколько силосов. Для этого их следует объединять в единую систему посредством воздуховодов 5. Для создания воздушного потока необходимо использовать безмасленный компрессор 9 с небольшим напором, но высоким расходом. Воздух следует очищать, обезвоживать и отводить конденсат посредством рефрижераторного осушителя 7. Для предотвращения превышения допустимого давления воздушного потока необходимо устанавливать специализированное реле 8. С целью снижения выброса озона в атмосферу остаточный газ следует возвращать в технологический процесс с помощью крышных вытяжных вентиляторов 11 и обратного клапана 10, предварительно очистив его фильтром 1. В крыше конического силоса 4 должны быть установлены дыхательные клапаны 2, внутри которых необходимо смонтировать катализаторы. Режимом работы озонатора 6 управляют датчики озона 3, смонтированные в верхней части зернохранилища. Схема технологического процесса комплекса по озонной обработке зернового материала представлена на рисунке 2.17.

В процессе обработки зернового материала озоновоздушной смесью компрессор 9 (рисунок 2.17) создаёт напор воздуха, реле 8 ограничивает его давление. Далее воздушный поток очищается, обезвоживается с помощью осушителя 7 и поступает в озонатор 6, вырабатывающий озон. Озоновоздушная смесь по воздуховоду 5 подаётся в нижнюю часть силосного зернохранилища с конусным дном 4. Озон пронизывает зерновой материал, частично абсорбируясь в нем, вытесняет

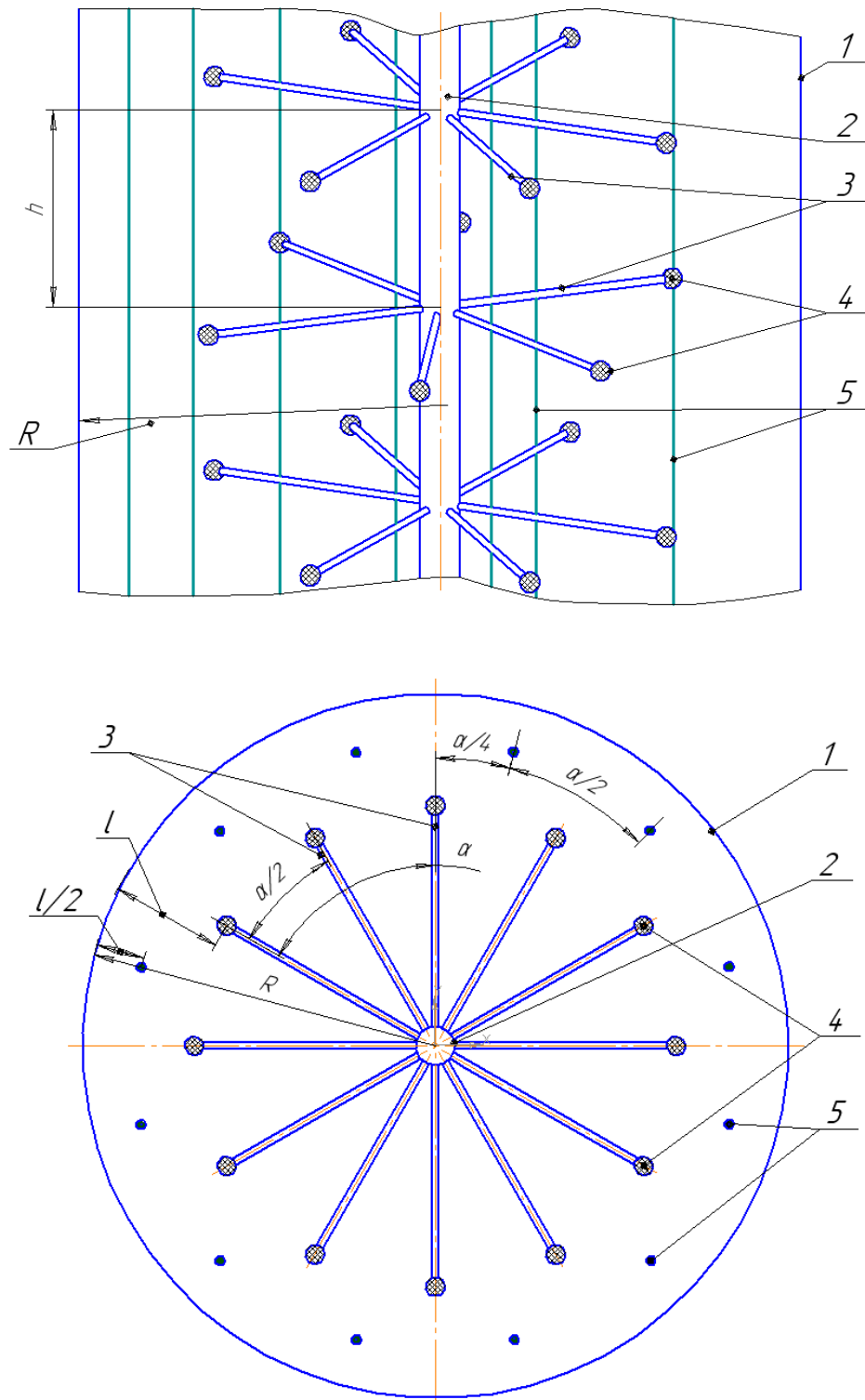
наверх более лёгкий воздух. При этом часть озоновоздушной смеси, поднявшейся к крыше, возвращается обратно в технологический процесс, засасываясь через фильтр *1* вытяжным вентилятором *11*. Для обеспечения рециркуляции отработавшего газа предусмотрен обратный клапан *10*. Остаточный озон, достигший дыхательных клапанов *2*, распадается до кислорода за счёт установленных в них катализаторов, что предотвращает превышение уровня ПДК опасного вещества в атмосфере. Находящаяся внутри силосного зернохранилища озоновоздушная смесь производит обработку хранящегося зернового материала.



1 – фильтр; 2 – дыхательные клапаны; 3 – датчики концентрации озона; 4 – силос конический; 5 – воздуховод; 6 – озонатор; 7 – осушитель воздуха; 8 – реле давления; 9 – безмасленный компрессор; 10 – обратный клапан; 11 – крышной вытяжной вентилятор

Рисунок 2.17 – Схема технологического процесса комплекса по озонированию зерна

Устройство силосного зернохранилища конусного типа, которое оборудовано системой озонирования, защищено патентом РФ на изобретение №2659904 С1 «Хранилище семян» [154] (рисунок 2.18).



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 силоса

Рисунок 2.18 – Схема силосного зернохранилища, оснащённого системой озонирования и защищённого патентом на изобретение РФ №2659904

Конический силос представляет собой серийно выпускаемую конструкцию (см. рисунок 2.16б), в которой модернизирована система аэрации. Вдоль вертикальной оси силосного зернохранилища 1 (рисунок 2.18) смонтирован центральный воздухопровод 2, имеющий отводы 3, на концах которых установлены нормально-закрытые электромагнитные клапаны с форсунками 4. Для контроля состояния зернового вороха предусмотрены датчики 5 температуры и влажности зерна. Отводы 3 установлены на центральном воздухопроводе 2 ярусами с определённым смещением и шагом. Значение данных параметров должно обеспечивать равномерную обработку всего зернового материала. Известно, что основные колебания параметров зерна наблюдаются у стенок силоса [26, 90], поэтому форсунки 4, расположены ближе к периферии зернохранилища. Датчики 5 температуры и влажности зернового вороха смещены на равноудалённом расстоянии относительно отводящих воздухопроводов 3 двух соседних ярусов. Они находятся посередине между форсунками 4 и стенками силоса 1.

В каждом ярусе установлено несколько отводных воздухопроводов 3, находящихся на равном удалении друг от друга и установленных со смещением по углу α , ориентировочное значение которого можно определить по формуле

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{s}{R}, \quad (2.11)$$

где α – ориентировочное значение углового смещения между отводящими воздухопроводами, корректируемое для получения целого количества отводов, *рад*;

s – эмпирический коэффициент, зависящий от скважности зернового материала, $s = 1,8 \dots 2,2$. Меньшее значение соответствует мелкосеменным культурам, а большее – крупносеменным, например кукурузе. При обработке пшеницы следует выбирать среднее значение $s=2$;

R – радиус силосного зернохранилища, *м*.

Анализ зависимости 2.11 показывает, что данный расчёт применим для силосных зернохранилищ, имеющих радиус более двух метров, т.е. $R > 2$ м. При меньших значениях в каждом ярусе достаточно установить два отводящих воздухопровода, смещая их в следующих рядах на 90° .

Верхний ряд отводящих воздухопроводов 3 (рисунок 2.18) смещён по сравнению с нижним ярусом на величину $\alpha/2$, что обеспечивает лучшую равномерность озонирования. Датчики 5 определения параметров зерна сдвинуты относительно отводов 3 на угол $\alpha/4$ и удалены от стенок силоса 1 на расстояние $l/2$. При этом электромагнитные нормально-закрытые клапаны, оснащённые форсунками 4, находятся ближе к периферии зернохранилища. Данное расстояние l можно определить по формуле

$$l = R \cdot (1 - \cos \frac{\alpha'}{2}) < l', \quad (2.12)$$

где l – расстояние от стенок силоса до клапанов с форсунками, м;

α' – скорректированный угол между отводящими воздухопроводами, рад;

l' – скорректированное расстояние от стенок силоса до форсунок $l'=R/2$, м.

Анализ зависимости 2.12 показывает, что производить данный расчёт следует только при условии, что расчётное значение меньше половины радиуса силосного зернохранилища. В случае получения больших значений форсунки необходимо размещать посередине. При этом скорректированное расстояние от стенок силоса до клапанов составит $l'=R/2$.

Шаг расстановки ярусов отводящих воздухопроводов 3 (рисунок 2.18) определяется параметрами силоса 1, но не может быть более 2 м [154]. Поскольку согласно ГОСТ Р 52325-2005 высота насыпи семян в силосном зернохранилище не может превышать 5 м, то количество рядов отводов 3 составляет 2...4 шт. Следует учитывать, что наиболее неблагоприятные условия хранения в силосе формируются в верхней части насыпи [91], поэтому последний ряд отводящих воздухопроводов 3 должен быть не ниже 1 м от начала крыши.

Технологический процесс озонирования внутри силосного зернохранилища протекает следующим образом. Датчики 5 (рисунок 2.18) регистрируют фактическую влажность и температуру зерна. В случае превышения установленных значений, свидетельствующих о начале процесса самосогревания или воздействия неблагоприятных внешних факторов, управляющий сигнал даёт команду на включение комплекса озонирования в действие. При этом генерируется озоновоз-

душная смесь, подаваемая в центральный воздуховод 2, откуда далее по отводам 3 поступает к нормально-закрытым электромагнитным клапанам с форсунками 4. Датчик 5, от которого поступил сигнал превышения допустимого значения влажности или температуры зерна, даёт команду на подачу газа именно в данный участок зерновой насыпи. При этом открываются электромагнитные клапаны, которые расположены левее, правее, ниже и выше от сработавшего сенсора. Тем самым локализуется очаг самовозгорания или переувлажнения зернового вороха. Отработанную озоновоздушную смесь, достигшую верха силосного зернохранилища, очищают, обезвоживают и возвращают обратно в технологический цикл. Озонированный воздух подаётся до тех пор, пока показания датчиков 5 не зафиксируют заданных значений температуры и влажности зернового материала. В случае необходимости возможна принудительная обработка озоновоздушной смесью всего зернохранилища или его части посредством подачи соответствующего сигнала от оператора комплекса.

Для наглядности произведём расчёт предложенной системы аэрации к серийно выпускаемому ООО «Воронежсельмаш» коническому силосу модели *СМК.46.В.02.К45.В12*, имеющего диаметр корпуса 4584 мм и высоту с опорами 7783 мм. Цилиндрическая часть данного зернохранилища составляет около 3,5 м. Используя зависимость 2.11, определим ориентировочное значение угла α между отводящими воздуховодами 3 (рисунок 2.18) внутри насыпи зерна пшеницы $\alpha = 2 \cdot \arcsin(2/2,292) = 2,12 \text{ рад} \approx 114^\circ$. Найдём количество отводов по формуле $2\pi/\alpha = 2 \cdot 3,14/114 = 2,96 \text{ шт.}$ Округляем полученное значение до большего целого числа, т.е. до 3. Теперь определим скорректированный угол α' между отводящими воздуховодами по формуле $\alpha' = 2 \cdot \pi/3 = 2 \cdot 180/3 = 120^\circ \approx 2,235 \text{ рад}$. Тогда смещение отводов составит $\alpha/2 = 120/2 = 60^\circ$. По зависимости 2.12 найдём расстояние от стенок силоса до форсунок $l = 2,292 \cdot (1 - \cos 2,235/2) = 1,288 \text{ м}$. Поскольку расчётное значение больше, чем $R/2$, то принимаем $l' = 2,292/2 = 1,146 \text{ м}$. Смещение датчиков температуры и влажности зерна составит $\alpha/4 = 120/4 = 30^\circ$. Их следует размещать посередине между стенками силоса и форсунками, т.е. $l'/2 = 1,146/2 = 0,573 \text{ м}$. Верхний ряд отводящих воздуховодов размещаем на расстоянии 1 м от

начала крыши. Нижний уровень отводов установим в непосредственной близости от места присоединения конусного днища. Учитывая, что цилиндрическая часть данного силоса составляет 3,5 м, то внутри поместится ещё один ярус отводящих воздухопроводов, который будет размещен посередине, т.е. на удалении 1,25 м.

Таким образом, 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 воздухопроводов, 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 силоса составит половину радиуса, а датчиков – четверти. Сенсоры нужно сместить на 45° , относительно отводов.

2.5 Выводы

1. Состав зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку и затем хранение, достаточно разнообразен. Для получения более качественного материала необходимо производить обмолот роторными зерноуборочными комбайнами при влажности зерна в период уборки 14...18% с минимальным повреждением. На семенные цели следует отбирать зерновки с толщиной более 2,6 мм, имеющие массу 1000 семян не менее 40 г. Количество засорителей в исходном зерновом ворохе должно быть минимальным.

2. Использование серийных самосвалов при транспортировке зернового вороха приводит к увеличению засорённости, влажности и зараженности материала. Применяемая на данный момент технология озонного обеззараживания зерна в кузовах грузового автотранспорта имеет массу недостатков. Необходимо в перспективе наладить выпуск специализированных зерновозов, оборудованных системой озонирования и исключающих попадание посторонних предметов в зерновой ворох. Предложенное техническое решение позволяет устранить существующие недостатки технологии обеззараживания зерна в кузове зерновозов.

3. Щуплое и механически повреждённое комбайнами зерно является очагом появления вредителей и болезней, поэтому его следует удалять в самом начале послеуборочной обработки. В процессе обработки по традиционной технологии морально устаревшими техническими средствами тоже появляются механические повреждения, которые приводят к потерям до 10% от всего объёма. Периодическое озонирование зерна в процессе хранения saniрует большую часть его механических и химических повреждений, а также заметно улучшает посевные качества семенного материала.

4. Усовершенствовать технологию послеуборочной обработки и хранения зернового материала можно за счёт внедрения в технологический процесс комплекса озонирования зерна. Проведённые исследования показали, что оптимальным вариантом для проведения озонной обработки является силос с конусным дном. Реализовать процесс озонирования посевного материала можно, освоив производство предлагаемого силосного зернохранилища с обоснованными конструктивными параметрами: силос должен быть с коническим дном, общая высота не более 7 метров, столб семян до 5 метров, число ярусов отводящих воздуховодов не более 3, каждый ярус размещён с расчётным взаимным угловым смещением и имеет не более 3 электромагнитных клапанов с форсунками. У меньших силосов, с диаметром до 2 метров, целесообразно устанавливать два отвода в одном ярусе, смещая ярусы на 90° . Удалённость форсунок от стенок силоса должна быть равна половине радиуса, а датчиков – четверти. Сенсоры нужно сместить на 45° , относительно отводов.

5. Основным направлением в дальнейшем совершенствовании технологии послеуборочной обработки и хранения зернового материала должно стать проектирование технологической линии специализированного комплекса, основанного на применении процесса озонирования и минимизации механических воздействий рабочих органов оборудования на зерновку.

3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КОМПЛЕКСА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

3.1 Недостатки современных линий послеуборочной обработки и хранения зернового материала

Современные линии послеуборочной обработки и хранения зернового материала, как правило, состоят из модификации зерноочистительно-сушильного комплекса серии *КЗС*, а также вентилируемого зернохранилища, силосного, ангарного, железобетонного или другого типа. Зачастую для очистки семенного материала используются не специализированные сепараторы, а несколько узконаправленных машин, которые в основном предназначены для подготовки товарного зерна. В результате технологическая линия имеет чрезмерно большую протяжённость. Это способствует большим потерям зернового материала и снижению его качества. Устранить данный недостаток можно за счёт разработки новых зерноочистительных машин, совершенствования технологической линии, минимизации транспортирующего оборудования и их модернизации.

Слабым местом современных линий послеуборочной обработки и хранения зернового материала является отсутствие мероприятий по снижению заражённости вороха. Крупных вредителей удаляют в процессе послеуборочной обработки. С микроорганизмами чаще всего борются химическим способом. Однако протравливание семян не только обеззараживает их, но также снижает посевные качества, особенно если машина оснащается шнековыми транспортирующими органами, травмирующими значительную часть материала. Зачастую химическая обработка против вредителей и болезней проводится непосредственно перед посевом культуры. Поэтому, во время хранения зерновой материал не защищён от воздействия патогенов. Устранить данный недостаток можно за счёт совершенствования технологической линии мини-элеватора, выполнив мероприятия по снижению заражённости зернового вороха на всех этапах производства. Одним из наиболее перспективных направлений в дезинсекции зернового материала является использование процесса озонирования.

Наиболее проблемным местом современных линий послеуборочной обработки и хранения зернового материала является большое количество специализированного оборудования, а также необходимость их загрузки посредством норий, транспортёров, конвейеров. Это способствует повышенному повреждению зерна. Устранить данный недостаток можно за счёт использования зерноочистительных сепараторов, использующих в основе своей работы принцип фракционирования, а также многоярусного расположения машин в технологической линии, что позволит применить самотечную загрузку некоторого оборудования. Немаловажным является минимизация воздействия транспортирующих рабочих органов на зерновку. Для этого следует максимально возможно сокращать применение вертикальных норий, скребковых транспортёров, шнековых устройств, вместо которых можно установить ленточные конвейеры U-образной или плоской формы.

Также ахиллесовой пятой современных зерноочистительно-сушильных комплексов типа *КЗС*, входящих в состав большинства мини-элеваторов, является отсутствие мероприятий по повышению эффективности влагоотдачи при сушке влажного зернового материала. За один пропуск через зерносушилку можно снять около 6% влажности зерна. Однако температурное воздействие пагубно сказывается на посевных качествах семян. Если превысить допустимую температуру сушки, то это приведёт к повреждению зародыша, образованию трещин в оболочках, разрыву внутренних тканей, к сворачиванию белка, что не позволит использовать данный зерновой материал на посевные цели. Повышение эффективности влагоотдачи без снижения качества семян является важной народнохозяйственной задачей, которую нельзя решить без активизации процесса. Ослабить связь влаги с органическими компонентами зерновки можно посредством обработки вороха озоном. В результате на отрыв молекулы воды от органической ткани потребуется значительно меньше энергии. При этом озонирование способствует раскрытию межклеточных мембран, позволяющих повысить коэффициент диффузии. В совокупности действие всех факторов приведёт к повышению эффективности сушки зерна и семян.

Стоит также заметить, что в современных линиях послеуборочной обработ-

ки и хранения зернового материала отсутствуют мероприятия по его оздоровлению. При этом воздействие рабочих органов зерноочистительных машин и транспортного оборудования приводит к многочисленным микроповреждениям зерновки. Их не видно человеческим глазом, но именно в этих царапинах наиболее вероятно зарождение неблагоприятных процессов в зерновом ворохе. Как на любом живом организме, микротравмы со временем зарастают и на зерне. Однако выздоровление протекает значительно лучше и без осложнений при проведении соответствующих лечебно-профилактических мероприятий. Санация зерна позволит компенсировать негативное воздействие рабочих органов технологической линии на зерновку. Это ускорит заживление микротравм и предотвратит попадание в них инфекций. Мероприятия по оздоровлению зернового материала позволят поддерживать его качество на должном уровне. Одним из наиболее перспективных направлений по санации зерна является использование процесса озонирования в период его хранения.

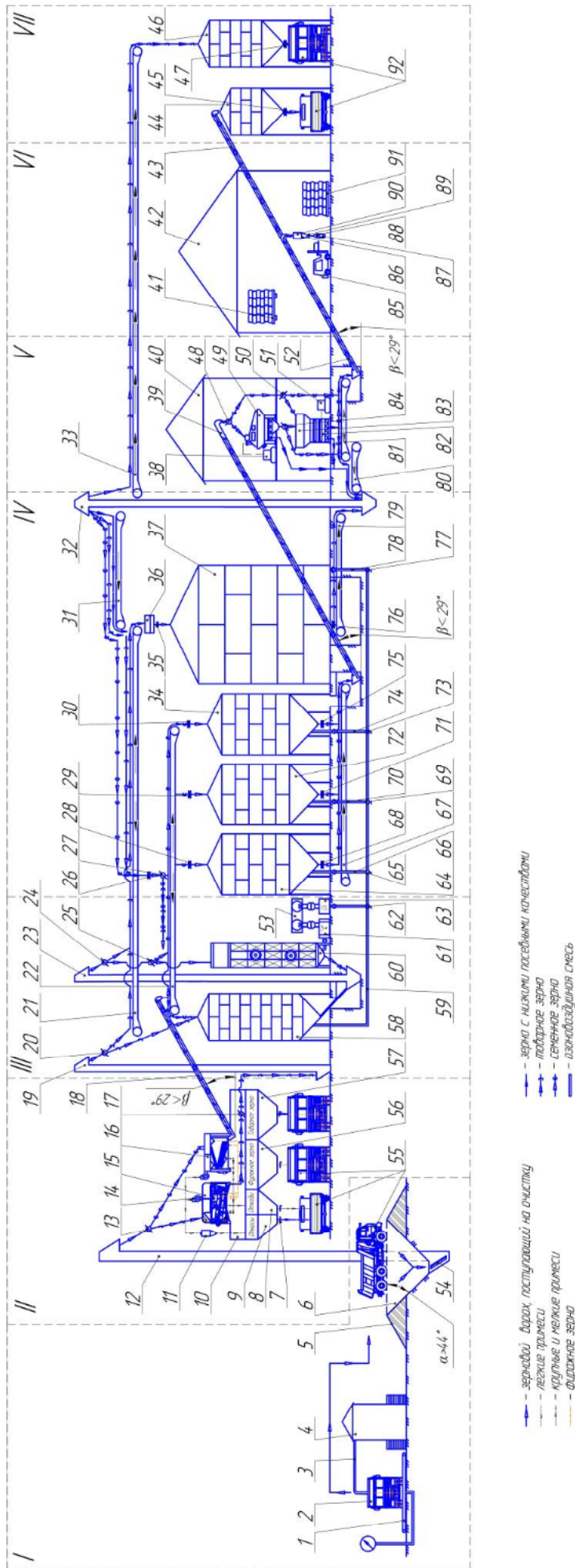
Современные тенденции на применение металлических силосов в качестве зернохранилищ являются вполне оправданными. Консервация зерна посредством применения метода охлаждения, использования герметичных рукавов или полимерных ёмкостей, специализированных шатров, складов, ангаров, железобетонных сооружений имеет массу недостатков, что не позволяет их использовать по разным причинам при подготовке семенного материала. Металлические силоса обеспечивают автоматизированный мониторинг за состоянием зернового материала, гарантируют его сохранность, достаточно конкурентоспособны по финансовым соображениям и имеют допустимые сроки возведения. Кроме того, они наиболее адаптированы для дальнейшего совершенствования технологии хранения, т.к. оснащены системами термометрии и аэрации. Также следует отметить, что металлические силоса можно изготавливать под определённую потребность каждого хозяйства и в необходимом количестве.

Таким образом, при проектировке комплексов послеуборочной обработки и хранения зернового материала следует учитывать выявленные недостатки современных конструкций и максимально возможно применять процесс озонирования.

3.2 Технологическая схема проектируемого комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала

Современные технологические линии послеуборочной обработки и хранения зернового материала должны обеспечивать минимально возможное механическое воздействие рабочих органов специализированного оборудования, интенсифицировать процесс сушки влажного вороха, а также обеззараживать, saniровать и дезинфицировать зерно посредством применения процесса озонирования. Комплекс должен принимать и обрабатывать зерновой материал товарного и семенного назначения. Поэтому следует предусмотреть две технологические линии. Первая, предназначенная для подготовки семенного материала, должна реализовывать принцип минимального повреждения семян и максимального поддержания их качества. Вторая, линия, должна иметь наивысшую производительность и обеспечивать послеуборочную обработку товарного зерна, а также его хранение с минимальными затратами. Очистка зернового вороха должна проводиться по фракционной технологии на универсальных воздушно-решётных двухаспирационных зерноочистительных машинах. В обеих линиях должны быть специализированные сепараторы. Следует смонтировать семенную зерносушилку с буферным силосом, который дооборудуется системой озонирования. По возможности заменить загрузочные нории на наклонные ленточные и-образные конвейеры и задействовать самотечные устройства [226]. Для санации, обеззараживания, дезинсекции зерна установить систему озонирования в плоскодонные и конические силосные зернохранилища.

Две изолированные технологические линии с соответствующими воздушно-решётными двухаспирационными фракционными зерноочистительными машинами позволят одновременно обрабатывать товарное и семенное зерно. Предлагаемая схема комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала представлена на рисунке 3.1. Он 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*.



1 – весы; 2, 55, 92 – транспортное средство; 3 – пробоотборник; 4 – лаборатория; 5 – пандусы с автомобилеразгрузчиком; 6 – за-
вальная яма; 7 – выгрузные задвижки; 8 – бункер отходов; 9 – платформа на опорах; 11 – циклоны; 12, 19, 23,
32 – нория; 13, 17, 20, 24, 25, 27, 48, 50, 84 – перекидной клапан; 14 – вентиляторы; 15, 16 – воздушно-решётные двухаспирацион-
ные фракционные зерноочистительные машины; 18, 39, 43, 52 – загрузочный ленточный и-образный конвейер; 21, 31, 33, 36, 79 –
скребковый транспортёр; 22, 67, 80, 81 – ленточный транспортёр; 26, 28, 29, 30, 35, 45, 47, 68, 71, 75, 76, 89 – электрифицированные
задвижки; 34, 64, 72 – конический силос; 37 – плоскостонные силоса; 38, 51 – компрессорная установка; 40 – двухуровневое поме-
щение; 41, 42 – склад; 44, 46 – экспедиторские силоса; 49 – пневмосортировальный стол; 53 – компрессорная установка; 54 – маг-
нитная пластина; 56 – бункер фуражного зерна; 57 – бункер товарного зерна; 58 – буферный металлический конический силос; 59,
66, 70, 74, 78 – газопровод; 60 – зерноосушитель; 61 – теплогенератор; 62, 65, 69, 73, 77 – трёхходовой кран; 63 – озоноатор; 82 – опти-
ческий лазерный сепаратор; 83, 90 – промежуточный бункер; 85 – вилочный электропогрузчик; 86 – весовой аппарат; 87 – мешко-
тара; 88 – мешкозашивочная машина; 91 – поддоны; I – приёмная секция; II – зерноочистительный агрегат; III – зерноосушительный
комплекс; IV – отделение хранения; V – отделение подготовки семян; VI – отделение затаривания семян; VII – участок отгрузки

Рисунок 3.1 – Технологическая схема комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала

Приёмная секция *I* (рисунок 3.1) состоит из весовой *1*, лаборатории *4* с автоматическим пробоотборником *3*, завальной ямы *6* с пандусами *5* для проезда самосвала *2*, а также включает в себя автомобилеразгрузчик и навес. Для предотвращения попадания людей в разгрузочный бункер он оборудуется специальными решетками. Для обеспечения самотечной загрузки норией *12* стенки завальной ямы должны иметь угол к горизонту, превышающий значение максимального угла естественного откоса обрабатываемых зерновых культур, т.е. более 44° .

Зерноочистительный агрегат *II* смонтирован на платформе *10*, высота которой позволяет проезжать под ней грузовому автотранспорту. Загрузка зернового вороха осуществляется норией *12*. Её приёмный патрубок оснащён магнитной пластиной *54*, предотвращающей попадание посторонних металлических включений в технологический процесс. Разгрузка норией *12* осуществляется в самотечные зернопроводы, внутри которых смонтированы перекидные клапаны *13* и *17*. Их положение определяет, какая из двух технологических линий будет функционировать в данный момент – семенная или товарная. Очистка зернового вороха осуществляется воздушно-решётными двухаспирационными фракционными зерноочистительными машинами *15* или *16*. Аспирационная система с воздухопроводами, вентиляторами *14* и циклонами *11* необходима для удаления лёгких примесей. Для временного хранения полученных при очистке компонентов вороха предназначены соответствующие бункера: отсосов *9*, отходов *8*, фуражного *56* и товарного *57* зерна. Их разгрузка осуществляется в автотранспорт *55* посредством открытия выгрузных задвижек *7*.

Зерносушильный комплекс *III* состоит из семенной зерносушилки *60* с теплогенератором *61*, компрессорной установки *53*, озонатора *63*, буферного металлического конического силоса *58*, подключённого через газопровод *59* и трёхходовой кран *62* к централизованной системе озонирования. Всё оборудование связано между собой посредством двух загрузочных норий *19*, *23*, самотечных зернопроводов с перекидными клапанами *20*, *24*, *25*, загрузочного ленточного и-образного конвейера *18*, имеющего угол установки менее 29° , надсилосных

скребкового транспортёра 21 товарного зерна и ленточного транспортёра 22 перемещения семян.

Отделение хранения *IV* включает в себя конические 64, 72, 34 и несколько плоскодонных 37 силосных зернохранилищ, подключённых через газопроводы 66, 70, 74, 78 и трёхходовые краны 65, 69, 73, 77 к централизованной системе озонирования. Транспортное оборудование состоит из надсилосных ленточного 22 и трёх скребковых транспортёров 21, 31, 36, перекидного клапана 27, загрузочной нории 32, подсилосного скребкового 79 и ленточного 67 транспортёров, ленточного и-образного конвейера 39. Загрузка и разгрузка силосов 34, 37, 64, 72, а также перенаправление потоков зернового материала по соответствующей технологической линии осуществляется посредством привода электрифицированных задвижек 26, 28, 29, 30, 35, 68, 71, 75, 76.

Отделение подготовки семян *V* размещается в отдельно стоящем двухуровневом помещении 40. Оно состоит из загрузочного ленточного и-образного конвейера 39, имеющего угол установки к горизонту менее 29°, пневмосортировального стола 49, промежуточного бункера 83, оптического лазерного сепаратора 82, перекидных клапанов 48, 50, 84, двух компрессорных установок 38, 51, двух ленточных транспортёров 80, 81.

Отделение затаривания семян *VI* находится в складе 42, оснащённом поддонами 41, 91 и вилочным электропогрузчиком 85. Загрузка посевного материала в бункер 90 и далее в весовой аппарат 86 осуществляется и-образным конвейером 52, установленным под углом к горизонту не более 29°. При достижении заданной массы зерна посредством открытия автоматизированной электрифицированной задвижки 89 производится заполнение мешкотары 87, которая застрачивается мешкозашивочной машиной 88.

Участок отгрузки *VII* включает в себя два экспедиторских силоса 44, 46, оснащённых электрифицированными задвижками разгрузки 45, 47. Загрузка семенного хоппера 44 производится ленточным и-образным конвейером 43, имеющим угол установки к горизонту менее 29°. Наполнение товарного экспедиторского

силоса 46 осуществляется надсилосным скребковым транспортёром 33. Отгрузка зернового материала производится в грузовой автотранспорт 92.

Предлагаемая технологическая линия послеуборочной обработки и хранения зернового материала работает следующим образом. Бункерный ворох посредством грузовых транспортных средств 2 доставляется в приёмную секцию I. Одновременно с взвешиванием самосвала на автомобильных весах 1 с помощью пробоотборника 3 из кузова берут пробы материала для анализа его качества. Лаборатория 4 на основе проведённых исследований даёт заключение о соответствии поступающего зернового вороха требованиям, предъявляемым к товарному зерну или семенам. От полученных результатов зависит, какую технологическую линию зерноочистительного агрегата II необходимо задействовать в данный момент. Далее транспортное средство 55 по пандусам 5 поднимается к завальной яме 6, где разгружается посредством автомобилеразгрузчика или самосвалом. В целях безопасности приёмные бункера оснащаются решетками, предотвращающими случайное попадание в зерновой ворох не только рабочих, но и крупных посторонних предметов. Для снижения повреждения зерна разгрузка завальных ям должна производиться самотечно. Для этого стенки бункеров должны располагаться под углом не менее 44° к горизонту, что больше угла трения. Это обеспечит сыпучесть любого обрабатываемого зернового материала. Разгрузка завальной ямы 6 осуществляется посредством открытия задвижек с ручным или электрифицированным управлением.

В момент самотечного поступления зернового вороха в приёмную горловину вертикального транспортёра 12 (рисунок 3.1) из технологического процесса посредством магнитных пластин 54 удаляются мелкие металлические включения. Загрузка зерноочистительного агрегата II выполняется норией 12. От положения перекидного клапана 13 зависит, какая из двух технологических линий будет задействована в данный момент – семенная или товарная. При этом желательна установка современных авторегулируемых делителей [68, 69, 70, 212, 214].

Отделение очистки предназначено для доведения зернового материала до требуемых кондиций по чистоте. При этом семенная линия обеспечивает мини-

мальное воздействие рабочих органов на семена, а также наличие мероприятий по поддержанию семенной ценности материала в виде озонирования. Однако при поступлении на комплекс низкокачественного исходного зернового вороха необходимо использовать другое оборудование, в котором решающим фактором выступает максимальная производительность машин при выполнении заданных требований стандарта к товарному или фуражному зерну. В обеих технологических линиях установлены специализированные воздушно-решётные двухаспирационные фракционные сепараторы, которые являются наиболее прогрессивными с позиции снижения механических воздействий на очищаемый объект [45]. Данные зерноочистительные машины отличаются друг от друга конструкцией, режимами работы, качеством очистки и т.д. Это позволяет без предварительной перенастройки сепараторов обрабатывать как товарное зерно, так и семенной материал. При этом нет необходимости останавливать технологический процесс и терять время на настройку зерноочистительных машин. Причём применение фракционных сепараторов позволяет, без предварительной очистки вороха получить требуемую чистоту зернового материала. За счёт этого уже в начале процесса послеуборочной обработки можно из основного продукта выделить фуражную и отходовую фракции вместе с засорителями, которые являются очагом развития патогенов. Стоит также отметить, что фракционирование способствует уменьшению количества механических воздействий на зерновой материал, а соответственно снижает вероятность его повреждения.

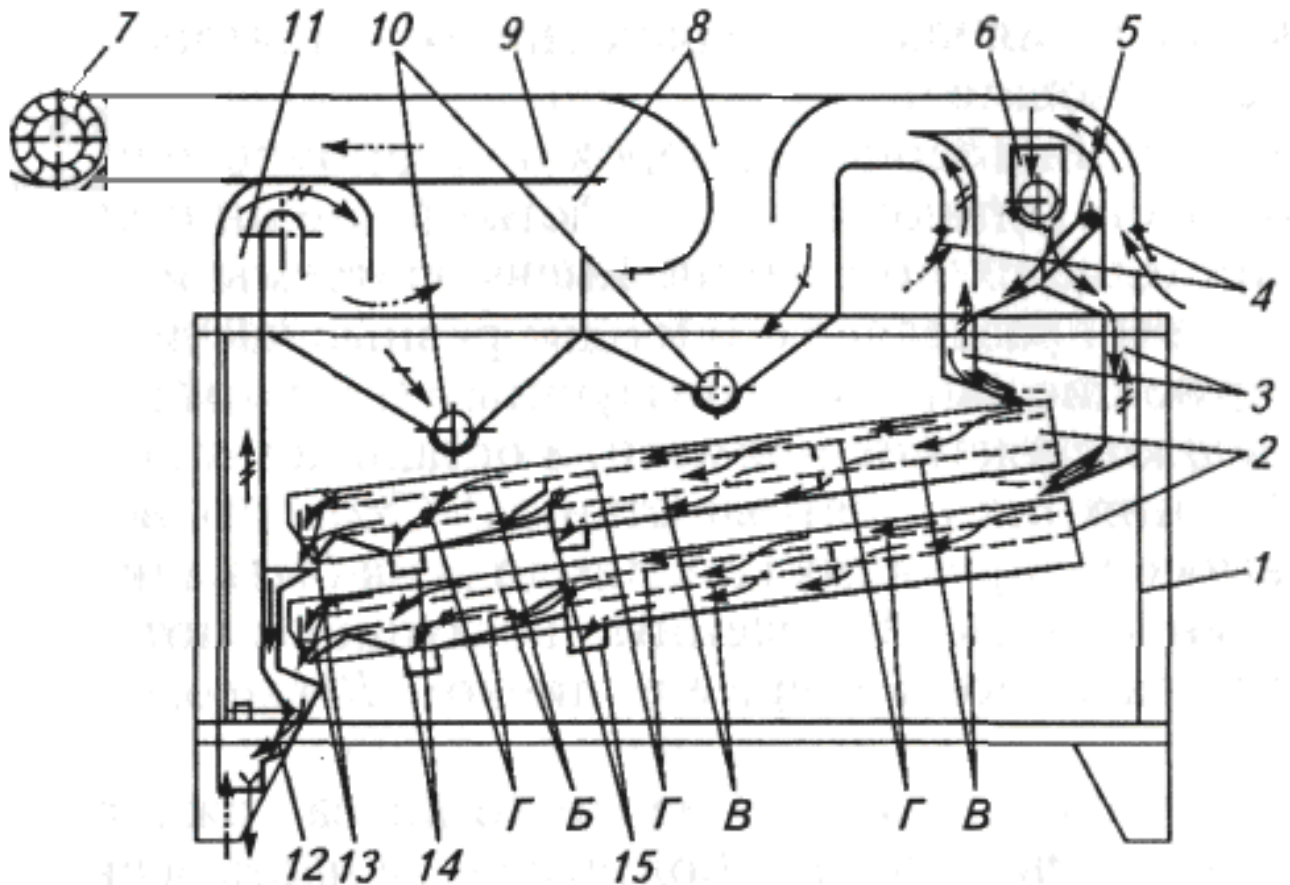
Зерноочистительные машины, установленные в обеих технологических линиях, разработаны коллективом сотрудников Воронежского государственного аграрного университета, включающим соискателя. Для очистки товарного зерна рекомендуется использовать фракционный очиститель *ОЗФ-80*, а для обработки семенного материала нужно применять специализированный сепаратор вторичной очистки семян *СВС-30*. Обе машины являются новейшими разработками сотрудников ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Они были представлены на многочисленных выставках, где отмечались организаторами различными дипломами и медалями. Эти машины разработаны с включением признаков патентной интеллек-

туальной собственности (Приложение А). Поскольку в данных зерноочистительных машинах реализуется общий способ очистки зернового материала – фракционирование, то принцип действия сепараторов идентичен (рисунок 3.1). Ворох самотёком с зернопровода поступает в питающий валик, который равномерным слоём вбрасывает его в канал первой аспирации. При этом вентилятор 14, установленный за пределами сепараторов, создаёт воздушный поток, уносящий лёгкие примеси в циклон 11, в котором происходит их осаждение. Сбор неиспользуемых легковесных компонентов осуществляется в бункере 9 отнosed. Оставшийся зерновой ворох поступает на решётные станы, где на подсевных решётных полотнах отделяются мелкие примеси, а на колосовых решётах выделяются крупные незерновые компоненты. Оба вывода объединяются, направляясь в бункер 8 отходов. На сортировальных решётах, которые определяют качественный состав зернового вороха, выделяется мелкое и вдоль битое зерно, отправляясь в бункер 56 фуража. Сходящий с решётного стана материал поступает в канал послерешётной очистки второй аспирации, где выделяются неполноценные и щуплые зерновки. Данное дефектное зерно, не обладающее товарной или семенной ценностью, также отправляется в бункер 56 фуража.

Рассмотрим особенности технологического процесса сепараторов *ОЗФ-80* и *СВС-30*, разработанных при участии соискателя [44, 86, 89, 123, 152].

Технологический процесс очистителя зерна фракционного *ОЗФ-80* происходит следующим образом. Зерновой ворох самотёком по зернопроводу заполняет питающее устройство 6 (рисунок 3.2), в котором шнек распределяет материал по ширине машины, направляя его на делитель 5. При этом поток зерна разделяется на две примерно равные части, загружая канал 3 первой аспирации пневмосепарирующей системы. Создаваемый вынесенным за пределы машины вентилятором 7 воздушный поток выносит из обрабатываемого материала легковесные примеси. Напор воздуха в канале 3 первой аспирации не должен выносить зерно. Поэтому скорость воздушного потока в зависимости от параметров очищаемой культуры изменяют посредством открытия воздухозаборных клапанов 4. В осадочной камере 8 первой аспирации происходит осаждение более тяжёлых приме-

сей, которые шнеком 10 удаляются из сепаратора. Оработанный воздушный поток вместе с оставшейся пылью выводится из машины, где в дальнейшем очищается в циклоне. Предварительно очищенный по аэродинамическому принципу зерновой ворох, двумя равными по объёму частями, поступает на оба решётных стана 2, имеющие одинаковую двухъярусную конструкцию.



————— — зерновой ворох; ———— — очищенное зерно; —×— — фуражная фракция;
 —*— — крупные примеси; - - - — мелкие примеси; —·— — лёгкие примеси;
 — воздух; —#— — воздушный поток с лёгкими примесями; 1 — рама; 2 — верх-
 ний и нижний решётные станы; 3 — канал I аспирации; 4 — воздухозаборные клапаны;
 5 — делитель; 6 — питающее устройство; 7 — вентилятор внешний; 8 — камеры осадочные;
 9 — патрубок воздухоотводящий; 10 — шнеки; 11 — канал II аспирации; 12 — клапан гер-
 метизирующий; 13, 14 и 15 — лотки вывода соответственно крупных примесей, фураж-
 ного зерна и мелких примесей; Б, В, Г — соответственно колосовые, подсевные и сорти-
 ровальные решётные полотна

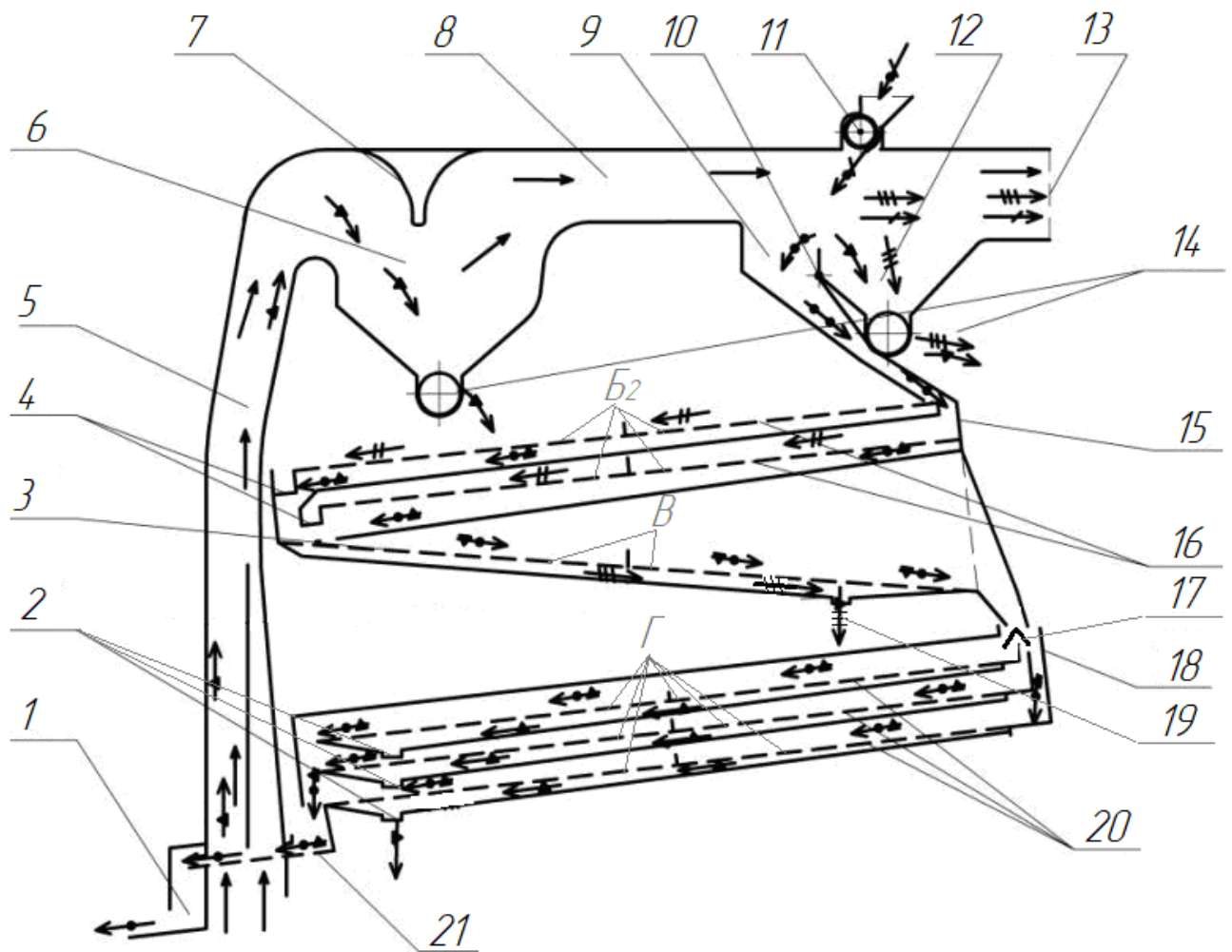
Рисунок 3.2 — Технологическая схема очистителя зерна фракционного ОЗФ-80

Два сортировальных решётных полотна Γ (рисунок 3.2) в станах 2 установлены в верхнем ярусе друг за другом. На них проходом выделяются маленькие зёрна и мелкие засорители. Оставшийся зерновой ворох вместе с крупными примесями сходом поступают на следующее колосовое решето B , которое установлено в верхнем ярусе. Через него просыпается зерно, а сходом идут крупные примеси, поступая в лоток 13 и далее выходясь из машины. Просыпавшийся через два верхних сортировальных решётных полотна Γ ворох направляется на пару подсевных решёт B нижнего яруса. Через них сепарируются мелкие примеси, поступая в лоток 15, по которому они выводятся из машины. Все выделенные незерновые компоненты вороха объединяются и отправляются в соответствующий бункер неиспользуемых отходов зерноочистительного агрегата. Лёгкие, мелкие и крупные примеси имеют повышенную заражённость и являются благоприятной средой для развития патогенов, поэтому их необходимо удалять из технологического процесса как можно раньше, вывозя за пределы санитарной зоны грузовым автотранспортом. Сход с подсевных решёт нижнего яруса составляют недоразвитые, дроблёные и щуплые зёрна, которые благодаря разрыву между вторым и третьим решётными полотнами поступают в разгрузочный поддон, выходясь из сепаратора по лоткам 14. Данные компоненты в дальнейшем отправляются в бункер фуража зерноочистительного агрегата. Просыпавшееся через верхнее колосовое решето B зерновой ворох попадает на расположенные под ним третьи сортировальные полотна Γ нижних ярусов. На них проходом идут мелкие, недоразвитые, дроблёные, щуплые зёрна, которые также поступают в разгрузочный поддон, объединяясь с подобными фракциями нижнего яруса и выходясь из сепаратора по лоткам 14 в фуражный бункер. Зерновой материал, сходящий с сортировальных полотен Γ нижнего яруса каждого решётного стана, поступает на герметизирующий клапан 12 и далее в канал 11 второй аспирации. Там посредством воздушного потока, имеющего приближенное к скорости витания значение, выносятся биологически неполноценные и щуплые зерновки. Они осаждаются в камере 8, откуда шнеком 10 выводятся из сепаратора в бункер фуража зерноочистительного агрегата, объединяясь с аналогичным ворохом с поддона 14. При этом выноса био-

логически полноценного зерна в канале *11* второй аспирации происходить не должно. Этого добиваются путём изменения скорости движения воздушного потока. Полноценное очищенное зерно не поддаётся воздействию воздуха, поэтому падает в канал *11* второй аспирации и выводится из него, поступая по зернопроводам в отдельный бункер.

В случае необходимости сепаратор *ОЗФ-80* можно настроить на работу в режиме предварительной очистки зерна. При этом в верхних ярусах каждого решётного стана следует устанавливать только колосовые решёта *Б* с увеличивающимся размером отверстий. В нижнем ряду размещают три одинаковых подсевных решётных полотна *Г*.

Сепаратор вторичной очистки семян *СВС-30*, спроектирован на основе патента на изобретение РФ №2611176 [152]. Технологический процесс его работы протекает следующим образом. Зерновой ворох самотёком по зернопроводам поступает в приёмное устройство *11* (рисунок 3.3), которое вбрасывает очищаемый материал тонким слоем в канал *8* дорешётной аспирации. При этом воздушный поток, уже отработавший в послерешётной очистке, выносит из вороха лёгкие частицы. Причём пыль вместе с воздухом по каналу *13* улетает в циклон, а более тяжёлые компоненты легковесных примесей оседают в осадочной камере *12*, откуда шнеком *14* выводятся из машины. Основной поток зернового вороха вбрасывается питающим валиком в отсек *9* осадочной камеры дорешётной очистки, который направляет очищаемый материал на загрузку верхнего решётного стана *15*. Преодолевая усилие гравитационного клапана, основная фракция поступает на делитель, который распределяет её примерно на две равные части. Тем самым обеспечивается равномерная загрузка обоих ярусов колосовых *Б₂* решётных полотен *16* верхнего решётного стана *15*. Через отверстия данных решёт сепарируется основная фракция, которая по поддонам поступает на дальнейшую очистку. Сход с колосовых решёт представляет собой крупные примеси. Они поступают в поперечные лотки *4* и выводятся из сепаратора в бункер неиспользуемых отходов зерноочистительного агрегата.



—→ - воздушный поток; —○→ - зерновой ворох; —○→ - очищенное зерно; —△→ - зерно, очищенное на колосовых решетках;
 —○→ - зерно, очищенное в первой аспирации; —/→ - легковесные примеси; —//→ - крупные примеси;
 —△→ - биологически неполноценное и фуражное зерно; —□→ - запыленный воздух; —///→ - мелкие примеси.

1 – вывод основной фракции; 2 – лотки вывода фуражного зерна; 3 – скатная поверхность с подсевными решётами; 4 – лотки вывода крупных примесей; 5 – пневмосепарирующий канал послерешетной очистки; 6 – осадочная камера послерешетной аспирации; 7 – направляющий козырек; 8 – горизонтальный канал дорешетной очистки; 9 – отсек осадочной камеры дорешетной очистки загрузки основной фракции на верхний решётный стан; 10 – разделительная стенка с клапаном; 11 – питающее устройство; 12 – осадочная камера дорешётной аспирации; 13 – воздушный канал к циклону и вентилятору; 14 – шнеки; 15 – верхний решетный стан; 16 – колосовые решета верхнего стана; 17 – делитель потока основной фракции; 18 – нижний решетный стан; 19 – лоток вывода мелких примесей; 20 – сортировальные решета нижнего решетного стана; 21 – подающее устройство; Б₂, В, Г – соответственно колосовые, подсевные и сортировальные решётные полотна

Рисунок 3.3 – Технологическая схема сепаратора вторичной очистки семян CBC-30

Далее предварительно очищенный от лёгких и крупных фракций ворох поступает на подсевные B (рисунок 3.3) решетные полотна $З$, установленные с противоположным углом относительно колосовых B_2 решёт. Это позволяет изменить направление движения очищаемого материала. При этом через отверстия подсевных B решёт сепарируются мелкие примеси, которые по поддону поступают в лоток 19 и выводятся из сепаратора в бункер неиспользуемых отходов зерноочистительного агрегата. Основная фракция идёт сходом, поступая на делитель 17 . Тем самым происходит очередное изменение направления движения очищаемого материала. Делитель 17 разделяет зерновой ворох на три примерно равных потока, производя загрузку нижнего решётного стана 18 , который состоит из трёх ярусов сортировальных $Г$ решет 20 . Сквозь них проходом идут мелкие и вдоль битые зёрна, которые по поддонам поступают в лотки 2 , отправляющие данный ворох по зернопроводам в бункер фуража зерноочистительного агрегата. Сход с сортировальных решёт представляет собой основную фракцию, очищенную от лёгких, крупных, части мелких примесей, а также фуражного зернового вороха. Данный материал поступает на подающее устройство 21 , попадая под действие воздушного потока канала $б$ послерешётной очистки. В результате выделяются биологически неполноценные и щуплые зерновки, а также оставшиеся легкие или другие примеси, которые осаждаются в осадочной камере $б$ и выводятся из сепаратора шнеком 14 в бункер фуража. Очищенный семенной материал по выводу 1 поступает в технологическую линию подготовки семян.

Проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что полнота выделения фуражного зерна яровой пшеницы решетной очисткой сепаратора $СВС-30$ достигает $94,2\%$, а пневматической системой – $88,7\%$. При этом содержание дроблёных зерновок в очищенных семенах снизилось до $0,12\%$ от исходных $1,4\%$. Причём нагрузка на единицу площади сортировальных решетных полотен не должна превышать $21,2 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$. Полнота выделения дроблёного зерна составила $91,4\%$ [86].

При разработке сепараторов *ОЗФ-80* и *СВС-30* использовались ряд авторских технических решений, которые имеют признаки интеллектуальной собственности, зарегистрированные ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» [224]. Это подтверждается патентом РФ на изобретение №2611176 «Универсальная зерноочистительная машина» [152], патентом на полезную модель №189918 «Решетный стан» [157] и положительным решением о выдаче патента на изобретение по заявке №2019110469 «Решетный модуль зерноочистительной машины».

Очищенный на фракционных сепараторах *15, 16* (см. рисунок 3.1) зерновой материал в зависимости от его назначения поступает в разные технологические линии. При подготовке товарного зерна ворох с машины *15* самотёком поступает в бункер *57* или через перекидной клапан *17* в норию *19*. В случае обработки посевного материала, он с сепаратора *16* направляется на ленточный и-образный конвейер *18*. Выгрузка различных побочных фракций, полученных в результате очистки зернового вороха, из накопительных бункеров *8, 9, 56, 57* производится посредством открытия задвижек *7* в транспортные средства *55*, которые отвозят их по назначению. Причём высота платформы *10*, установленной на опорной металлоконструкции над поверхностью земли, должна обеспечивать свободный проезд большегрузных самосвалов под зерноочистительным агрегатом *II*.

Очищенное товарное зерно норией *19* (см. рисунок 3.1), а семенной материал ленточным и-образным конвейером *18* подаётся в зерносушильный комплекс *III*. Если зерновой продукт имеет кондиционную влажность *12...14%*, то он отправляется в отделение хранения *IV*. В случае большего содержания влаги в обрабатываемом материале он направляется в буферный конический силос *58*, который оборудован системой озонирования. Подача озоновоздушной смеси осуществляется через трёхходовой кран *62* и газопровод *59* за счёт применения компрессорной установки *53* и озонатора *63*. При этом поступление товарного зерна в буферный силос обеспечивает перекидной клапан *20*. Семенной материал подаётся в силосную ёмкость посредством ленточного и-образного конвейера *18*, установ-

ленного под углом к горизонту менее 29° , и реверсивного надсилосного ленточного транспортёра 22, который в данном случае движется против часовой стрелки. В процессе временного нахождения зернового материала в силосе 58 происходит его отволаживание. Это обеспечивает перераспределение влаги, а также теплоты между периферийными и центральными частями силосной ёмкости. Не следует забывать о том, что влажный зерновой материал подвержен самосогреванию и порче, а также интенсивному развитию патогенов. Поэтому для предотвращения данных негативных последствий и активизации последующего процесса сушки зерно в буферном силосе 58 вентилируется озоновоздушной смесью. Озонирование необходимо проводить до тех пор, пока газ не появится в верхних слоях, после чего обработку следует продолжать не менее 33 минут [80] для насыщения зерном озона. Партия сушки по объёму должна соответствовать производительности зерносушилки. Разгрузка буферного конического силоса 58 осуществляется самотечно. Посредством открытия электрифицированной задвижки производится загрузка норрии 23. Её разгрузка производится в систему зернопроводов, по которым благодаря перекидным клапанам 24, 25 влажный зерновой материал поступает в зерносушилку 60. Подачу агента сушки обеспечивает теплогенератор 61 и компрессорная установка 53. Оборудование будет работать не только с товарным зерном, но и с семенным материалом, к которому предъявляются гораздо более жёсткие требования по времени и температуре обработки. Поскольку семена сушат малыми партиями, то в технологическую линию необходимо устанавливать зерносушилки 60, обеспечивающие возможность изменения режимов работы и производительности. Кроме того, необходимо в режиме реального времени вести мониторинг за состоянием зерна и теплового агента. Данным условиям соответствуют шахтные жалюзийные зерносушилки, в которых можно изменять объём партии сушки за счёт перекрытия части рабочих каналов. Нельзя забывать о том, что за один цикл можно снять до 6% влажности зерна. Превышение температуры сушильного агента или времени сушки приведёт к растрескиванию оболочки зерновки и свёртыванию белка, что недопустимо. Причём, чем больше исходное со-

держание влаги в зерновом материале, тем меньший процент влажности можно снять за разовый пропуск. Разгрузка зерносушилки 60 производится самотечно, заполняя загрузочную горловину норрии 23. В зависимости от показателей поточного влагомера зерновой материал отправляется либо на повторную сушку, либо на хранение. Если наблюдается повышенная влажность зерна, то разгрузка норрии 23 осуществляется по системе зернопроводов и перекидных клапанов 24, 25 на реверсивный надсилосный ленточный транспортёр 22, который в данном случае движется против часовой стрелки. При данной схеме работы зерносушильного комплекса *III* зерновой материал отправляется на повторную загрузку буферного силоса 58. После этого вышеописанный процесс проводят заново. В случае, если зерновой материал имеет кондиционное состояние по влажности 12...14%, то разгрузка норрии 23 производится на надсилосные транспортёры, которые направляют его в отделение хранения *IV*.

В отделении хранения *IV* при обработке товарного зерна материал через перекидной клапан 24 направляется на надсилосные скребковые транспортёры 21 и 36, осуществляющие загрузку силосов 37 с плоским дном посредством открытия электрифицированных задвижек 35. Объём и количество плоскодонных силосных зернохранилищ подбирается в зависимости от потребностей хозяйства. В семенной технологической линии материал по зернопроводам и перекидным клапанам 24, 25 поступает на реверсивный надсилосный ленточный транспортёр 22, который в данном случае движется по часовой стрелке, отправляя будущие семена на хранение в силоса 34, 64, 72 с коническим дном. Их количество определяется числом возделываемых культур и необходимым объёмом производства данного хозяйства. Разгрузка семенного материала с надсилосного ленточного транспортёра 22 осуществляется в конические силоса 34, 64, 72 посредством применения специализированного оборудования (не указано) и электрифицированных клапанов 28, 29, 30. С целью снижения заражённости зерна, повышения качества семян, увеличения сроков безопасного хранения зернового вороха зернохранилища периодически вентилируются озоновоздушной смесью. При этом озон вырабатыва-

ется озонатором 63. Компрессорная установка 53 обеспечивает подачу озонозооной смеси по централизованной системе. Перераспределение потоков газа по газопроводам 66, 70, 74, 78 происходит благодаря электроприводу трёхходовых кранов 65, 69, 73, 77. Для активизации ростовых процессов перед окончательной очисткой семян их обязательно необходимо озонировать в конических силосах 34, 64, 72 в качестве предпосевной обработки.

Плоскодонные силоса 37, содержащие товарное зерно, разгружают посредством открытия электрифицированных задвижек 76 и привода подсилосного скребкового транспортёра 79, который подаёт материал в загрузочную горловину нории 32. Если зерновой материал переувлажнён, то выгрузка производится на надсилосный скребковый транспортёр 31, который посредством реверсивных транспортёров 21, 22 возвращает его в отделение сушки. В случае необходимости зерно можно перегрузить из одного зернохранилища в другое. При этом разгрузка нории 32 производится на конвейер 21, который в данный момент вращается по часовой стрелке, что позволяет подать зерновой материал в технологический цикл загрузки плоскодонных силосов. При необходимости отгрузки товарного зерна в крупногабаритный автотранспорт материал с норийной вышки поступает на надсилосный скребковый транспортёр 33, отправляющий его в хоппер 46.

Разгрузка конических силосов 34, 64, 72, в которых хранятся семена, производится при открытии задвижек 68, 71, 75 с электроприводом на подсилосный ленточный транспортёр 67. При этом семенной материал поступает в загрузочную горловину и-образного конвейера 39, который транспортирует его на подработку в отделение V.

Отделение подготовки семян V представляет собой двухуровневое здание 40. Разгрузка и-образного конвейера 39 осуществляется в систему зернопроводов. Если семенной материал переувлажнён, то он, проходя перекидные клапаны 48, 50, реверсивный ленточный транспортёр 81, который в данном случае вращается против часовой стрелки, ленточный транспортёр 82 поступает в загрузочную горловину нории 32, откуда по надсилосным транспортёрам 31, 21, 22 отправляется в

технологический процесс сушки. Если семена отвечают требованиям посевного стандарта, то их дополнительная подработка не требуется. Тогда, семенной материал через перекидные клапаны 48, 50, реверсивный ленточный транспортёр 81, который в данном случае вращается по часовой стрелке, загрузочные горловины и-образных конвейеров 52, 43 отправляется в отделение затаривания или отгрузки. Если требуется подработать семена, то производят дополнительную очистку. При необходимости выделения зерновок с низкой плотностью семенной материал по зернопроводам и перекидной клапан 48 поступает в пневмосортировальный стол 49, установленный на втором уровне. Отбракованные пневмостолом фракции сбрасываются на скребковый транспортёр 80 и далее по нории 32, отправляются либо на систему транспортёров 31, 21, 36 для загрузки плоскодонных силосов, либо в транспортёр 33 для наполнения экспедиторского силоса 46 и последующей их отгрузки. Семенной материал после удаления некондиционных по плотности зёрен поступает к перекидному клапану 84. Если семена удовлетворяют требованиям посевного стандарта, то их через реверсивный ленточный транспортёр 81, который в данном случае вращается по часовой стрелке, отправляют в загрузочную горловину и-образных конвейеров 52 или 43. В случае необходимости дополнительной подработки семенного материала от трудноотделимых компонентов по цвету или форме его обрабатывают на оптическом лазерном сепараторе 82. Загрузка машины возможна либо с перекидного клапана 84 после пневмосортировального стола 49, либо обойдя его посредством зернопроводов и перекидных клапанов 48, 50. Разгрузка оптического лазерного сепаратора 82 производится на реверсивный ленточный транспортёр 81, который в данном случае вращается по часовой стрелке, подавая семена в загрузочную горловину и-образных конвейеров 52 или 43. Отбракованные фотосепаратором фракции по скребковому транспортёру 80 и нории 32 подаются либо на систему транспортёров 31, 21, 36 на загрузку плоскодонных силосов 37, либо в транспортёр 33 для наполнения хоппера 46 с последующей их отгрузкой.

Отделение затаривания семян *VI* представляет собой вентилируемый зерносклад 42, который оборудован стеллажами 41, 91 для хранения упакованной мешкотары. Ленточный и-образный конвейер 52, производит загрузку промежуточного бункера 90. Весовой аппарат 86 ограничивает заполнения мешкотары 87 на заданном значении посредством привода электрифицированной задвижки 89. Мешкозашивочная машина 88 после заполнения мешка зашивает загрузочное отверстие. После маркировки заполненной мешкотары она посредством вилочного электрифицированного погрузчика отправляется на стеллажи. Затем процесс затаривания повторяется.

Участок отгрузки *VII* представляет собой сооружение из нескольких экспедиторских конических силосов 44, 46, установленных на высоких опорах, обеспечивающих проезд крупнотоннажного транспортного средства 92. Загрузка товарного зерна в хоппер 46 производится надсилосным скребковым транспортёром 33. Разгрузка экспедиторского силоса 46 происходит посредством открытия электрифицированной задвижки 47. Загрузка хоппера 44 семенами производится ленточным и-образным конвейером 43. Разгрузку экспедиторского силоса 44 обеспечивает электрифицированная задвижка 45.

Таким образом, 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 обеспечивает 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. Наличие экспедиторских силосов позволит проводить отгрузку зерна и семян в крупногабаритный автотранспорт. Также возможна реализация посевного материала в мешкотаре разной вместительности. Следовательно, предлагаемая технологическая линия послеуборочной обработки и хранения семян устраняет недостатки современных элеваторов. Её реализация позволит значительно повысить качество посевного материала в нашей стране.

Вышепредставленная технологическая линия положена в основу заявки на изобретение РФ №2019114041 «Комплекс для послеуборочной обработки и хранения зернового материала».

3.3 Выводы

1. Современные элеваторы имеют ряд недостатков, связанных с применением морально устаревших технологий и технических средств для послеуборочной обработки семенного и продовольственного зерна. Эти недостатки снижают качество готовой продукции, производительность технологических линий и заключаются в следующем:

- повышенная протяжённость технологических линий;
- применение транспортирующих органов с интенсивным повреждением зерна;
- устаревшая технология процесса сушки переувлажнённого зерна, оперирующая только температурой нагрева и продолжительностью экспозиции;

- дезинсекция зернового вороха основана на применении вредных для окружающей среды, обслуживающего персонала и семенного материала химических препаратов;

- сепарирующие установки уступают по производительности и качеству работы современным образцам зерноочистительных машин.

2. В предлагаемой технологической схеме комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала предусмотрены следующие элементы модернизации:

- сокращена протяженность обеих технологических линий за счёт двухъярусного монтажа части оборудования и его рационального размещения;

- заменены шнековые и скребковые транспортёры ленточными конвейерами, самотёчными желобами и наклонными стенками в завальных ямах;

- в качестве сепарирующих установок применены универсальные зерноочистительные машины, работающие по технологии фракционной очистки и имеющие повышенную производительность и лучшее качество работы;

- внедрена система озонирования семенного материала и продовольственного зерна, которая заменяет химическое протравливание семян, улучшает их посевные качества, удлиняет срок безопасного хранения и повышает урожайность культуры; периодическое озонирование продовольственного зерна исключает появление патогенов и удлиняет срок хранения;

- в технологические линии комплекса внедрены металлические силосы предлагаемой конструкции как наиболее удобный и экономичный способ хранения зерна; силосы имеют рассчитанные габариты и объём, в них применена разработанная схема размещения озонирующего оборудования.

3. Представленные технические решения защищены патентами на изобретения и полезную модель РФ.

4 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Программа экспериментальных исследований

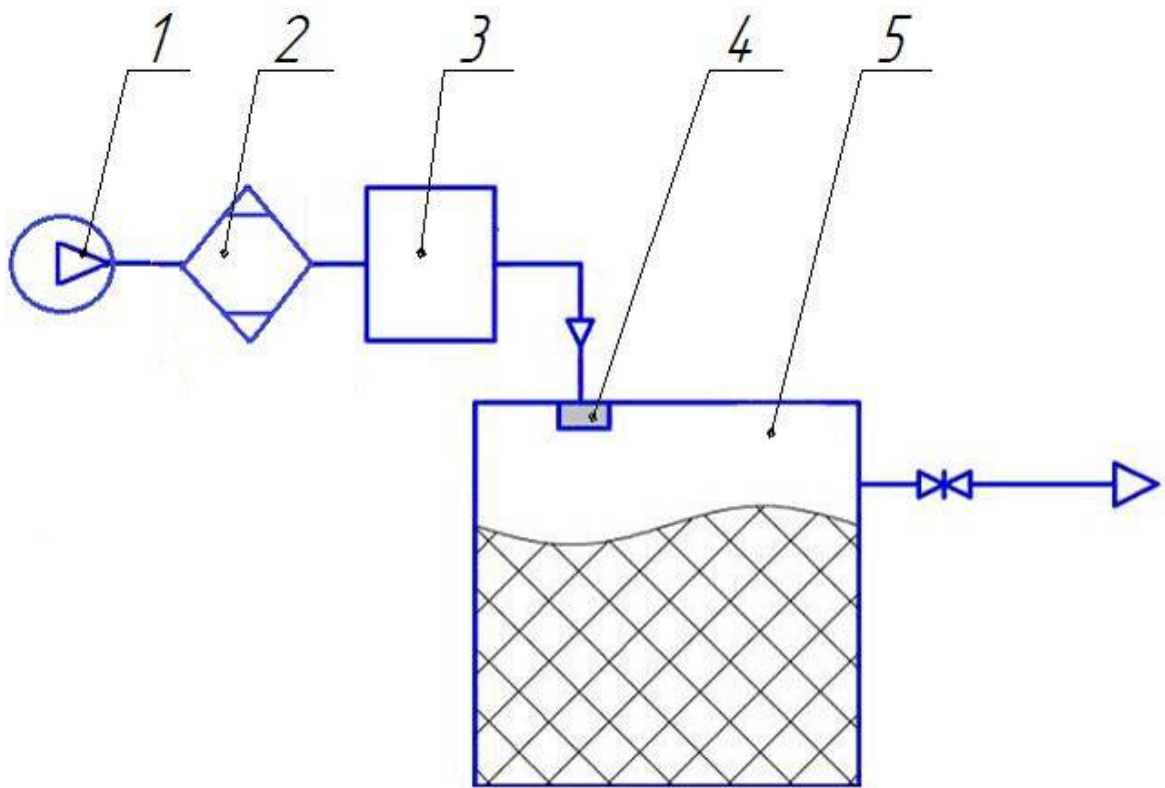
Часть информации, полученной в результате анализа литературных источников, из-за недостаточной научной базы изучения процесса озонирования в сельском хозяйстве требует практического подтверждения. Поэтому в соответствии со сформулированными целями и задачами диссертационной работы, а также с запатентованными техническими решениями, была разработана программа экспериментальных исследований. Её основные положения следующие:

- определить эффективность предварительного озонирования влажного зернового вороха в буферной ёмкости на интенсивность последующего процесса сушки зерна и семян;
- выявить эффективность предварительного озонирования влажного семенного материала в буферной ёмкости на снижение пагубного температурного воздействия на посевные качества семян при их сушке;
- обосновать время озонирования и концентрацию озона при обработке зернового вороха;
- выявить влияние процесса озонирования на сроки хранения семян зерновых культур в металлическом силосе;
- определить влияние сроков хранения семян зерновых культур в металлическом силосе на их посевные качества;
- исследовать влияние процесса озонирования в период хранения семян зерновых культур в металлическом силосе на их посевные качества;
- определить влияние процесса озонирования в период хранения семян зерновых культур в металлическом силосе на их урожайность.

4.2 Экспериментальные установки, приборы и оборудование

4.2.1 Экспериментальная установка по обработке зернового материала озоновоздушной смесью

Для проведения озонирования зерна и семян была разработана технологическая схема экспериментальной установки по обработке зернового материала озоновоздушной смесью. Она состоит из воздушного компрессора 1 (рисунок 4.1), рефрижераторного осушителя воздуха 2, озонатора 3, металлической ёмкости 5 объёмом 50 л с датчиком 4, определяющим концентрацию озона.

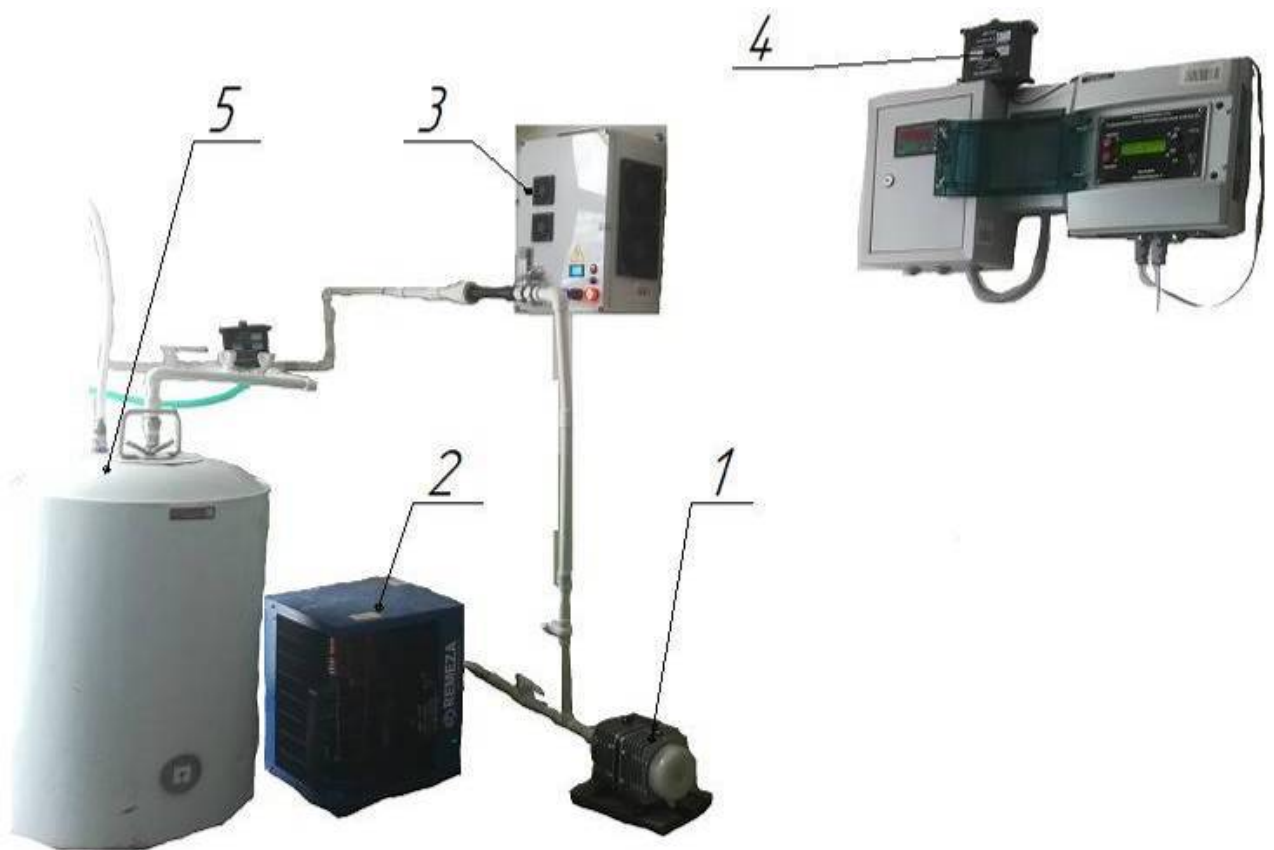


1 – компрессор; 2 – осушитель воздуха; 3 – озонатор; 4 – датчик озона; 5 – ёмкость

Рисунок 4.1 – Технологическая схема экспериментальной установки по обработке зернового материала озоновоздушной смесью

Технологический процесс работы экспериментальной установки по озонированию зернового вороха протекает следующим образом. Воздух из атмосферы засасывается безмасленным компрессором 1 (рисунок 4.1) и под давлением до 0,2 МПа (2 атмосферы) подаётся в рефрижераторный осушитель 2, который его обез-

возможен. Озонатор 3 серии *ОВ* регулируемый, что позволяет изменять концентрацию газа. Генерация озона происходит из воздуха благодаря нескольким импульсным преобразователям напряжения и частоты, а также нескольким разрядникам с керамическим барьером. При помощи импульсного блока питания на разрядники подаётся напряжение пробоя барьера, в результате чего из трёх молекул кислорода образуется две молекулы озона, т.е. под воздействием «тихого» электрического разряда протекает реакция $3O_2 \rightarrow 2O_3$. Таким образом, обезвоженный воздушный поток, проходя через озонатор 3, обогащается озоном и подаётся в систему аэрации. Концентрацию газа определяли посредством установки датчика 4 (рисунок 4.2) внутрь ёмкости 5.



1 – компрессор; 2 – осушитель воздуха; 3 – озонатор; 4 – датчик Сигма-03.ДЭ; 5 – ёмкость
Рисунок 4.2 – Экспериментальная установка по озонированию зернового материала

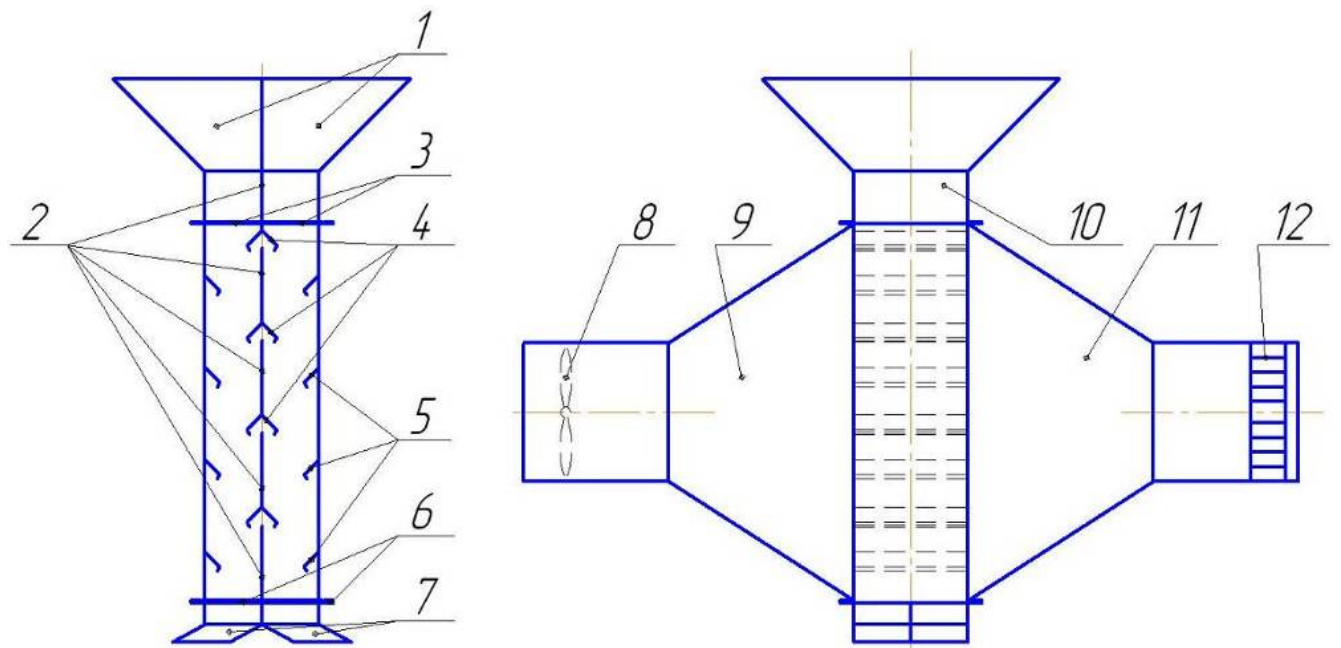
Значение концентрации озона регистрируются на информационном табло газоанализатора «Сигма-03». Всего к прибору можно подключить до четырёх датчиков 4 (рисунок 4.2). При превышении уровня предельно-допустимой кон-

центрации озона в рабочей зоне оператора газоанализатор сигнализирует об этом сильным звуковым сигналом. Используемые электрохимические датчики «Сигма-03.ДЭ» обеспечивают непрерывное преобразование определяемой величины в электрический унифицированный аналоговый выходной сигнал силой тока $4...20$ мА. Пределы измерения концентрации озона в озоновоздушной смеси данным газоанализатором составляют $0...20$ мг/м³ при допустимой относительной погрешности прибора до 10% от регистрируемого значения.

4.2.2 Экспериментальная шахтная зерносушилка

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 4.3) 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 из отсеков осуществляется на две стороны через патрубки 7.

Технологический процесс работы экспериментальной шахтной зерносушилки протекает следующим образом. Перед проведением исследований отбираются две партии зерна повышенной влажности, одна из которых озонируется в экспериментальной установке по обработке зернового материала озоновоздушной смесью (см. рисунок 4.1), а вторая служит контрольным образцом. Оба варианта должны быть идентичны по исходному состоянию и объёму.



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 4.3 – Схема экспериментальной шахтной зерносушилki

Затем в первый отсек бункера 1 (рисунок 4.3) производят загрузку проозонированного вороха, а второй заполняют зерном, которое не подвергалось озонной обработке. За счёт перегородок 2 зерновые потоки не смешиваются. После открытия загрузочных заслонок 3 производится заполнение обеих рабочих шахт 10. Уровень зерна в бункере 1 должен компенсировать часть зернового материала, разгружаемого в процессе эксперимента. При включении нагревательного элемента 12 и вытяжного вентилятора 8 запускается процесс сушки. Влажный зерновой материал, находясь внутри шахт 10, контактирует с нагретым воздухом, который выходит из подводящих коробов 4 камеры 11. Сушильный агент пронизывает слой зерна, нагревает его до температуры влагоотделения. При этом частички влаги перераспределяется внутри зерновки, перемещаясь из центра к поверхности. Нагретый воздушный поток, двигаясь внутри зернового слоя, снижает его влажность. Отработанный влажный воздух вытягивается в установленные в шах-

матном порядке отводящие короба 5 и попадает в камеру 9. По мере разгрузки зерновой ворох продвигается в нижнюю часть сушилки, где через выгрузные заслонки 6 и отводящие патрубки 7 отбираются образцы для дальнейших исследований. За динамикой изменения состояния сушильного агента в камерах горячего 11 и влажного 9 воздуха следят по термометрам и гигрометрам. Для того чтобы не допустить перегрев зерна, температуру контролируют посредством терморегулятора, который отключает или включает нагревательный элемент 12. Выгрузка исследуемых образцов с обеих шахт 10 должна проводиться через одинаковые промежутки времени и равными порциями. В этом случае условия сушки предварительно проозонированного зерна и контрольного образца будут абсолютно одинаковыми.

Экспериментальная шахтная зерносушилка представлена на рисунке 4.4.



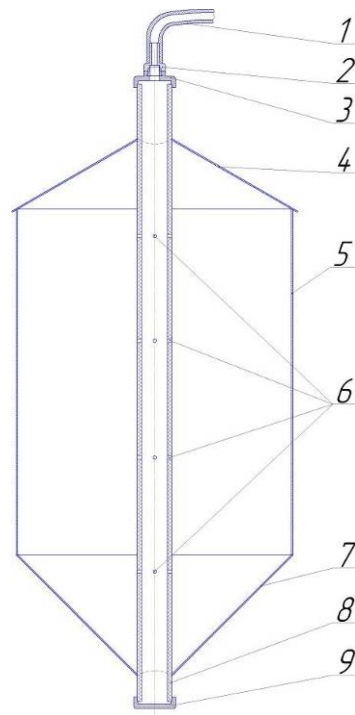
Рисунок 4.4 – Экспериментальная шахтная зерносушилка

Установленное на экспериментальную зерносушилку 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.

4.2.3 Экспериментальные металлические конусные силоса

Для выявления целесообразности озонирования зерна и семян во время хранения были спроектированы и изготовлены экспериментальные металлические конусные силоса. Установка состоит из стального корпуса 5 (рисунок 4.5) с крышей 4 и дном 7. Внутри силоса смонтирован полипропиленовый центральный воздуховод 8, который снизу загерметизирован заглушкой 9, а сверху посредством переходника 3, штуцера 2 подсоединён к гибкому газоходу 1. Вентилирование 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.

Технологический процесс, протекающий внутри силоса, заключается в следующем. Внутри трёх ёмкостей помещаются равные по объёму зерновые партии. При этом силоса находятся под открытым небом. Поэтому металлический корпус 3 (рисунок 4.5), крыша 4 и дно 7 подвержены влиянию окружающей среды. По мере необходимости по гибкому газоходу 1 подаётся воздух или озоновоздушная смесь, которые через отверстия 6 центрального газохода 8 поступают в слой зернового материала. Тем самым производится озонирование или вентилирование хранящегося зерна или семян. С определённой периодичностью часть зернового материала путем снятия заглушки 9 из силоса извлекается для проведения необходимых исследований. Колебания температуры и влажности окружающего воздуха через металлические стенки силоса оказывают определённое влияние на хранящиеся семена или зёрна.



1 – гибкий газоход; 2 – штуцер; 3 – переходник; 4 – крыша; 5 – корпус;
6 – отверстия; 7 – дно; 8 – центральный газоход; 9 – заглушка

Рисунок 4.5 – Схема экспериментального силоса с коническим дном

Экспериментальные металлические силоса представлены на рисунке 4.6.



Рисунок 4.6 – Экспериментальные металлические силоса с коническим дном

Приборное обеспечение, используемое в данных исследованиях, позволяет регистрировать температуру зернового материала, определять концентрацию озона в озонородной смеси в процессе вентилирования экспериментальных силосов, а также измерять влажность зерна или семян, хранящихся в металлической ёмкости.

4.2.4 Приборное обеспечение, используемое при проведении экспериментов

У отобранных образцов влажность зерна или семян определяли посредством портативного микропроцессорного электронного влагомера «Wile-65» (рисунок 4.7), который внесён в Государственный Реестр Средств измерений РФ. Измерения происходят в течение пяти секунд. Прибор позволяет определять влажность зерна пшеницы, ржи, ячменя, овса, кукурузы, гречихи, проса, сорго и семян подсолнечника, рапса, соевых бобов, гороха, льна, горчицы, а также муки и отрубей. В память влагомера внесены данные по 16 культурам, но возможна его калибровка на другие органические вещества. Для исследований необходима проба объёмом 90 см^3 . Влагомер имеет русифицированное меню и небольшие габаритные размеры $178 \times 68 \times 68\text{ мм}$. Вес прибора составляет $0,8\text{ кг}$. Влагомер позволяет измерять влажность зерна и семян зерновых культур в диапазоне $8...35\%$, зернобобовых – $8...40\%$, масличных – $5...25\%$. Погрешность прибора при определении влажности составляет от $0,5$ до $1,5\%$, но не более 5% от измеряемой величины. Прибор позволяет автоматически высчитывать среднее значение нескольких опытов, что значительно сокращает ошибку.



Рисунок 4.7 – Портативный влагомер зерна и семян сельскохозяйственных культур

Принцип действия влагомера «Wile-65» диэлектрический, суть которого заключается в следующем. Исследуемый образец помещается в колбу и уплотняется крышкой посредством резьбы. После этого происходит сканирование пробы, помещённой внутрь прибора, электрическим переменным напряжением высокой частоты. В зависимости от культуры, а точнее от плотности её зерна или семян, и исходной влажности происходит затухание показателя. Влагомер определяет, насколько изменилось напряжение от первоначального значения. Далее происходит пересчёт полученных значений по специальной формуле, зависящей от культуры.

В процессе определения энергии прорастания и лабораторной всхожести семян использовали электрический термостат суховоздушный *ТСО-1/80 СПУ* (рисунок 4.8), внутрь которого помещали растительный материал. Оборудование позволяет с отклонением $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ внутри рабочей камеры создавать необходимую температуру в диапазоне от 5 до 60°C .



Рисунок 4.8 – Электрический термостат суховоздушный *ТС-1/20 СПУ*

Массу отобранных образцов в диапазоне $0,5...200\text{ г}$ определяли на лабораторных весах *ВМК 202*, которые входят в Государственный Реестр Средств измерений РФ. Их погрешность составляет $\pm 50\text{ мг}$. При необходимости взвешивания больших партий зерна или биологической массы растений использовали платформенные весы.

Временные отрезки засекали посредством секундомера с погрешностью $\pm 1\text{ с}$.

4.3 Методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных

4.3.1 Общая методика проведения исследований и обработки экспериментальных данных

Экспериментальные исследования и обработка полученных данных проводились согласно общепринятым методикам с соблюдением действующих стандартов, а также с учётом рекомендаций ведущих учёных [30, 64, 162]. При отборе проб зернового материала для дальнейших исследований руководствовались ГОСТ 12036-85 [52] и ГОСТ 13586.3-83 [56]. Посевные качества семян на всех этапах эксперимента определяли согласно ГОСТ 12038-84 [53] в лаборатории массовых анализов ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Массу 1000 семян находили по ГОСТ 12042-80 [55]. При определении влажности посевного материала руководствовались межгосударственным стандартом ГОСТ 12041-82 [54].

Статистическую обработку экспериментальных данных и построение графических зависимостей осуществляли посредством применения пакетов прикладных программ «*Microsoft Excel 2003*», «*Statistica 6.1*» и других.

Программа «*Statistica*» в разделе множественных регрессий автоматически обрабатывает введенный массив экспериментальных данных и выполняет стандартный регрессионный анализ со свободным членом. В программу следует ввести сведения о представленных факторах, какие из них являются независимыми, а какие – зависимыми. Далее программа выполняет расчёт, определяя стандартные регрессионные коэффициенты (БЕТА). Они получаются, если предварительно стандартизовать все переменные к среднему 0 и стандартному отклонению 1. Эти БЕТА-коэффициенты показывают относительный вклад каждой независимой переменной в прогнозирование величины зависимой переменной. Чем больше значение, тем выше влияние. Если перед данным показателем стоит знак минус, то это свидетельствует об обратном влиянии, то есть с уменьшением переменного фактора искомая величина возрастает. Программа позволяет выявить наиболее важные предикторы и провести их ранжирование по степени влияния на заданный

показатель. Однако БЕТА-коэффициенты не позволяют рассчитать значение искомого параметра. Поэтому программа «*Statistica*» одновременно производит расчёт регрессионных коэффициентов (В) к каждому фактору и для свободного члена. Полученные значения можно подставлять перед переменными величинами, тем самым получить уравнение регрессии. При этом программа рассчитывает значимость полученных коэффициентов. Если коэффициенты корреляции статистически значимы при заданной доверительной вероятности, то программа их выделит красным цветом. Это позволит определить самый малозначимый фактор, который имеет черный цвет, и самое высокое значение уровня значимости, обозначаемого «p-level», т.е. наиболее приближенного к 1. После этого малозначимый фактор исключается, а алгоритм расчёта повторяется. Тем самым, поэтапно избавляясь от малозначимых факторов или их произведения, можно добиться математического выражения, у которого будут значимыми все величины. При этом программа рассчитывает среднеквадратические отклонения коэффициентов и для них значения критерия Стьюдента, совокупный коэффициент корреляции, значение критерия Фишера, коэффициент детерминации и многие другие статистические показатели. Таким образом, программа «*Statistica*» позволяет значительно облегчить статистическую обработку экспериментальных данных и получить уравнение регрессии без необходимости кодировки экспериментальных данных, присваивания им уровней значимости и прочих промежуточных действий.

4.3.2 Методика проведения эксперимента по обработке зернового материала озоновоздушной смесью

Обработку зернового материала озоновоздушной смесью проводили на экспериментальной установке, описанной в подразделе 4.2.1. При этом расход воздуха, определяемый по ротаметру, встроенном в озонатор, поддерживали в диапазоне $0,6...1,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ посредством изменения проходного сечения газопроводов шаровыми кранами. Концентрацию озона в озоновоздушной смеси варьировали за счёт изменения режимов работы озонаторной установки и увеличения подачи воздушного потока в эжектор. Остаточный газ выводили за пределы рабочей зоны человека.

Систему озонирования максимально герметизировали, а за превышением уровня предельно-допустимой концентрации озона в воздухе следили посредством газоанализатора «Сигма-03» с соответствующими датчиками. В случае сигнализации прибора экспериментальную установку отключали и устраняли причину утечки газа. Озонирование проводили в течение установленного промежутка времени. Загрузку ёмкости зерновым материалом производили на 60...70%, равными партиями внутри однотипных исследований.

4.3.3 Методика проведения эксперимента по определению влияния предварительного озонирования влажного зернового вороха на эффективность его сушки

Исследования по определению влияния предварительного озонирования влажного зернового вороха в буферной ёмкости на эффективность последующей сушки зерна или семян проводили на экспериментальной шахтной зерносушилке, описанной в подразделе 4.2.2. Для проведения эксперимента требуется 50...60 кг материала. Весь объём следует в равных долях разделить на две части. Обработку экспериментальной партии озоном проводят по методике, описанной в предыдущем пункте.

Непосредственно перед окончанием озонной обработки экспериментальной партии зернового материала производят загрузку контрольного образца в зерносушилку. Затем прекращают дезинфекцию и сразу же заполняют вторую половину рабочей шахты проозонированными зёрнами. Запускают процесс сушки, включая нагревательный элемент и вытяжной вентилятор. В загрузочном бункере создают резерв соответствующего вороха для компенсации зернового материала, разгружаемого для отбора проб при дальнейших исследованиях. Замеры всех показателей производят каждые 30 минут.

В процессе сушки посевного материала должны быть обеспечены режимы, гарантирующие сохранность качества семян. Наиболее важным показателем является температура сушильного агента. При сушке семян пшеницы, ячменя, овса, ржи, гречихи, подсолнечника, проса нагревать зерно более 40°C не допускается. Причем максимальная температура сушильного агента должна быть менее 70°C.

Семена кукурузы, вики, гороха, фасоли, чечевицы, риса, люпина недопустимо нагревать более 35°C . При этом максимальная температура сушильного агента не должна превышать 60°C . В случае превышения влажности исходного посевного материала значения в 19% сушку необходимо проводить за несколько циклов. Причём при первом пропуске максимальная температура сушильного агента должна быть снижена на 10°C , а температура нагрева семенного материала – на 5% . За один технологический цикл сушки снижать влажность зерна более чем на $4...6\%$ запрещается.

После проведения эксперимента зерносушилку полностью разгружают. Полученные партии зернового материала далее не смешивают. В случае превышения кондиционной влажности зерна или семян проводят ещё один эксперимент, включая процесс озонирования.

4.3.4 Методика проведения эксперимента по определению влияния озонной дезинсекции на выживаемость вредителей зерна

При проведении исследований насекомых помещали в стеклянную ёмкость объёмом 5 л , закрывающуюся крышкой с входным и выходным штуцерами, к которым подсоединяли шланги, подводящие и отводящие озоновоздушную смесь (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 – Ёмкость для дезинсекции насекомых

Концентрацию озона в озоновоздушной смеси определяли на выходе из ёмкости в отводящем воздуховоде.

Подсчёт погибших и выживших вредителей производили вручную. Для подтверждения полученных результатов использовали фотофиксацию.

4.3.5 Методика проведения эксперимента по определению влияния способа хранения посевного материала на качественные показатели семян

Исследования по определению влияния сроков и способа хранения семян на их посевные качества проводили в экспериментальных металлических силосах, описанных в подразделе 4.2.3. Каждую ёмкость заполняли 15...20 кг посевного материала. Причём в силос, вентилируемый озоновоздушной смесью, помещали семена, которые подвергались сушке с предварительным озонированием. В контрольные ёмкости загружали посевной материал, высушенный традиционным способом. На протяжении четырёх недель, наиболее неблагоприятных для хранения, производили вентилирование двух силосов с перерывом 7 дней между обработками. При этом для первого использовали озоновоздушную смесь, а для второго атмосферный воздух. Третий силос не подвергался вентилированию в течение всего опыта и служил контрольным образцом. Каждые две-три недели из всех ёмкостей отбирали пробы для определения посевных качеств семян в лабораторных условиях. Оставшийся в процессе хранения посевной материал был вручную высеян в поле с целью определения влияния способа хранения в металлических силосах на полевую всхожесть и урожайность культуры.

При проведении полевого опыта опирались на рекомендации Б.А. Доспехова [64], Г.В. Веденяпина [30], П.Г. Найдина [161], С.С. Литвинова [99] и других учёных [92, 102, 163, 242]. Для лучшего сопоставления экспериментальных данных, полученных в поле, и результатов лабораторных исследований количество семян в обоих случаях было решено взять одинаковым – по 200 шт. Во-первых, это объясняется требованием ГОСТа 12038-84 [53], в котором прописано, что для опытов с крупносемянными культурами следует отбирать четыре пробы посевного материала по 50 шт. Во-вторых, согласно рекомендациям С.С. Литвинова, при

полевым эксперименте с кукурузой минимальное число растений на учётной деланке должно быть от 100 до 500 шт [99]. При посеве в поле глубина составляла 5...6 см, расстояние между соседними семенами внутри рядка – 4...5 см, междурядье – 30 см. В исследованиях было размещено три варианта деланок. В первом случае для посева использовали проозонированные семена, т.е. те, которые при хранении в металлическом силосе обрабатывались озоновоздушной смесью. Во втором варианте посевной материал в силосном зернохранилище вентилировался воздухом. В третьем случае семена, при их содержании в металлическом силосе, не подвергали никакой обработке. Последний вариант считали контрольным.

Полевую всхожесть семян определяли по формуле

$$B_{пол} = \frac{100 \cdot n_{всх.}}{n_{пос.} \cdot B_{л}} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

где $B_{пол}$ – полевая всхожесть семян, %;

$n_{всх.}$ – количество всхожих в полевых условиях семян, шт;

$n_{пос.}$ – количество посеянных семян, $n_{пос.} = 200$ шт;

$B_{л}$ – лабораторная всхожесть семян, %.

После определения полевой всхожести семян рядки кукурузы были прорежены, согласно норме высева культуры в полевых условиях. При этом в каждом варианте осталось 60 растений. Они в дальнейшем участвовали в определении урожайности биологической массы и зерна кукурузы. При перерасчёте полученных в результате эксперимента данных учитывали полевую всхожесть семян и норму высева культуры.

4.3.6 Методика проведения эксперимента по определению влияния способа хранения посевного материала на урожайность зерна и биологической массы

Исследования по определению влияния способа хранения семян на урожайность зерна и биологической массы проводили на посевах кукурузы. Растения после определения полевой всхожести проредили до нормы высева 6 шт/м, что соответствует 86000 шт/га. В период вегетации проводили ручную прополку. Химиче-

ская обработка не применялась. При достижении полной спелости зерна растения срезали на высоте 5 см от поверхности почвы. При этом фиксировали количество початков на растении и их общую массу. После этого собирали початки в приготовленную тару. Биологическую массу стеблей определяли на платформенных весах с точностью 2 г. Далее с початков вручную обрывали листовую обвёртку. Её массу определяли на лабораторных весах с точностью 0,1 г. Вымолот зерна из початков производили вручную. Массу стержня и семян определяли на лабораторных весах с точностью 0,01 г. При получении результатов исследований производили перерасчет количества продукции с одного гектара посева, исходя из расчётной густоты насаждения 86000 шт/га.

Размерные характеристики зерна определяли на лабораторном рассеве марки РЛ-1 с использованием набора решёт с круглыми отверстиями диаметрами от 3 до 8 мм и шагом 0,5 мм. Полученные фракции взвешивали на лабораторных весах с точностью 0,1 г.

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЗОНИРОВАНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

5.1 Исследование процесса озонирования при вентиляции зернового вороха

При обработке зернового материала озоновоздушной смесью остаётся малоизученным вопрос поведения озона внутри вороха. Данные исследования проводили на экспериментальной установке (см. рисунок 4.2) согласно методике, описанной в подразделе 4.3.2. При этом масса влажного зернового вороха, который помещали в металлическую ёмкость для вентилирования озоновоздушной смесью, составляла 24...26 кг. Воздушный поток, обогащённый озоном, подавали снизу, чтобы газ полностью пронизывал зерновой материал. Расход агента вентилирования составлял $0,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ [80]. После обработки озонатор выключали и контролировали изменение концентрации озона газоанализатором «Сигма-03» через равные промежутки времени.

Озонирование пустой ёмкости и заполненной зерном при одинаковых режимах работы оборудования происходит с разными параметрами. Это свидетельствует о том, что зерновой ворох влияет на процесс озонной обработки. Исследования проводили на зерне кукурузы, т.к. оно имеет плотную оболочку, что препятствует проникновению озона внутрь зерновки.

На первом этапе исследования проводили на зерне кукурузы со средней влажностью 35%. При этом температура окружающего воздуха составляла 23°C . Обработку зернового материала проводили периодами продолжительностью 10 мин. Затем озонатор отключали и засекали время снижения концентрации озона в озоновоздушной смеси до значения близкого к ПДК. Причём компрессор продолжал работать, создавая внутри ёмкости поток воздуха. При снижении концентрации озона до уровня ПДК подачу газа возобновляли. Обработку продолжали в течение следующих 10 мин и затем процесс повторяли. Используемое в исследованиях оборудование позволяло измерять концентрацию озона в озоновоздушной смеси в диапазоне $0...5 \text{ мг}/\text{м}^3$, поэтому для определения больших значений применяли метод аппроксимации, согласно полученному с помощью программы «Ex-

cel» уравнению регрессии. В ходе проведения исследований были получены результаты, представленные на рисунке 5.1.

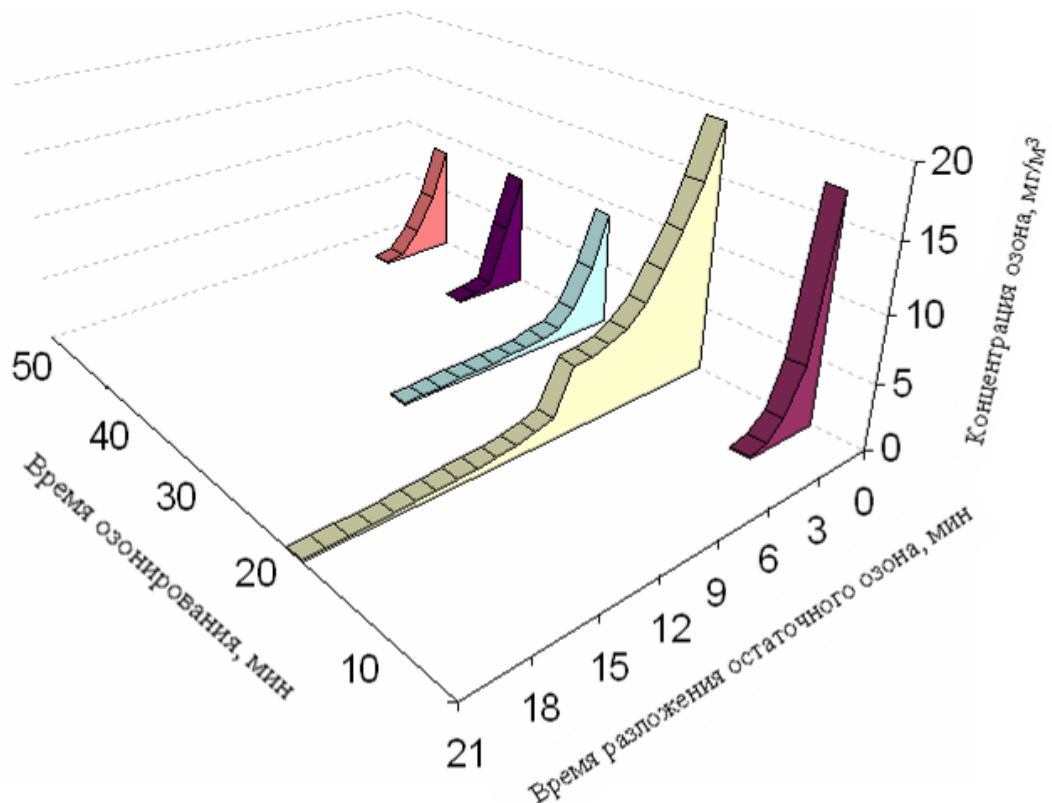


Рисунок 5.1 – Снижение концентрации озона в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы влажностью 35% при температуре окружающего воздуха 23°C

Анализ рисунка 5.1 показывает, что озонирование зернового вороха кукурузы со средней влажностью 35% в течение 10 мин не приводит к насыщению зерновки газом. Из-за этого остаточный озон выветривается воздушным потоком достаточно быстро, всего за 5 минут. Однако данного промежутка времени достаточно для раскрытия межклеточных мембран. Дальнейшее десятиминутное озонирование приводит к насыщению зерновки газом. В результате после прекращения обработки концентрация озона внутри ёмкости превышает уровень ПДК на протяжении 21 мин. Очередное десятиминутное озонирование способствовало дальнейшему накоплению газа внутри зерновки. При этом время выхода газа из ёмкости составило 12 мин. Четвёртый и пятый периоды озонирования были схожи между собой. Озон выветрился из ёмкости за 4 мин. Это может быть объяснено тем, что всё зерно насытилось газом. Поэтому в ёмкости находился только оста-

точный озон, который быстро выветрился воздушным потоком. На основании представленных данных было сделано предположение, что в заданных условиях озонировать зерновой ворох кукурузы свыше получаса нецелесообразно, поскольку зерно насыщается газом после трёх десятиминутных циклов обработки.

В ходе дальнейших исследований необходимо было выявить, сохраняется ли тенденция изменения концентрации озона в зерновом ворохе кукурузы при других условиях эксперимента. Для этого материал, используемый на первом этапе исследований, просушили до влажности 27%. При этом методика проведения эксперимента полностью совпадала с предыдущим опытом, а температура окружающей среды составляла 22°C. Для получения большего количества точек и более высокой достоверности полученных уравнений регрессии временные отрезки фиксации концентрации озона были уменьшены до 30 сек. Данные результаты исследований представлены на рисунке 5.2.

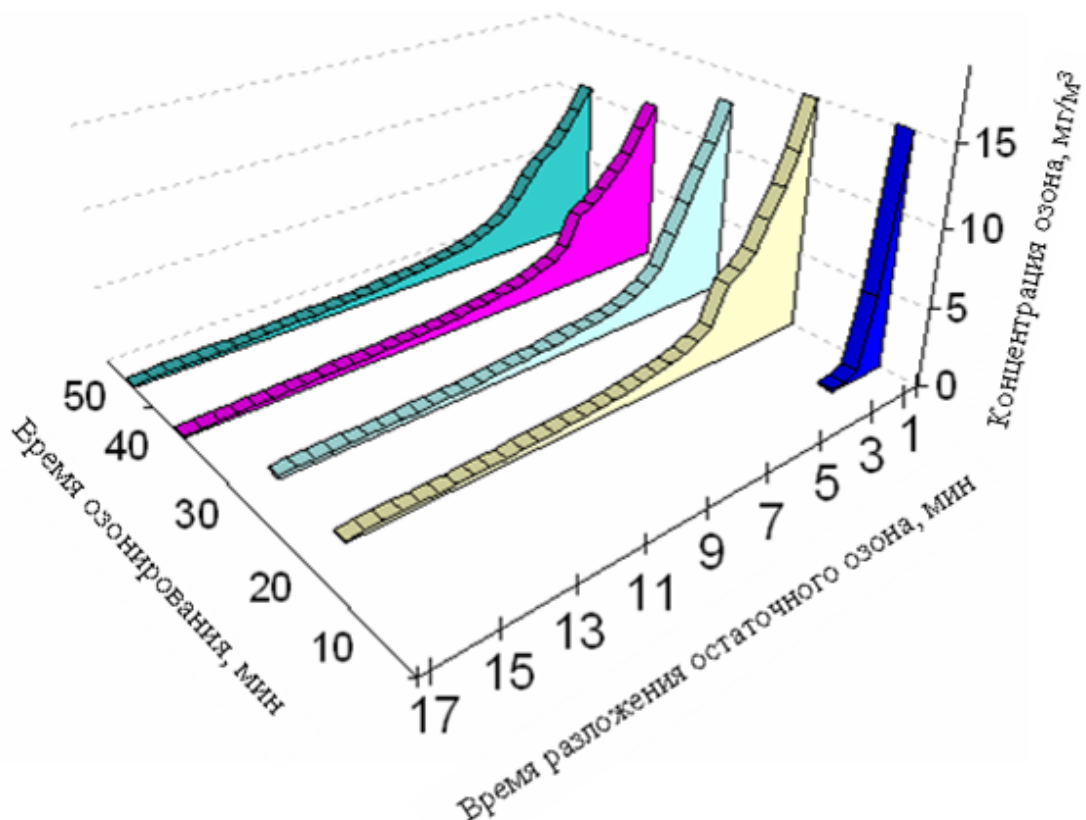


Рисунок 5.2 – Снижение концентрации озона в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы влажностью 27% при температуре окружающего воздуха 22°C

Анализ рисунка 5.2 показывает, что озонирование зернового вороха кукурузы со средней влажностью 27% на первых двух этапах согласуются с данными предыдущего эксперимента с более влажным материалом. Однако в третий, четвёртый и пятый периоды озонной обработки тенденция предыдущего опыта была нарушена. Зерновой ворох продолжал насыщаться озоном идентично второму этапу озонирования. В результате этого после прекращения озонной обработки концентрация газа внутри ёмкости превышала уровень ПДК на протяжении 16...18 мин. Следовательно, параметры зернового вороха оказывают влияние на процесс озонирования.

Далее зерновой материал, используемый на первых двух этапах исследований, просушили до влажности 20%. При этом периоды озонирования увеличили до 15 мин. Данные результаты исследований представлены на рисунке 5.3.

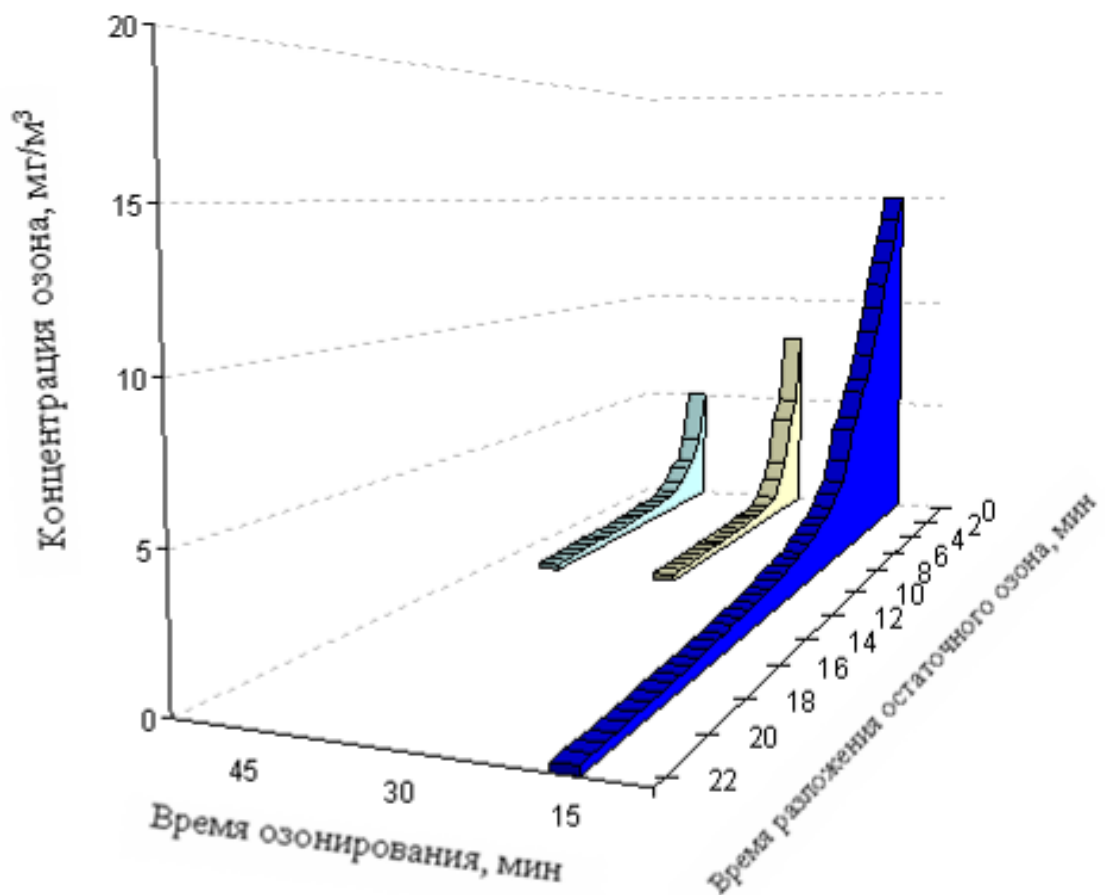


Рисунок 5.3 – Снижение концентрации озона в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы влажностью 20% при температуре окружающего воздуха 21°C

Анализ рисунка 5.3 показывает, что увеличение времени озонирования зернового вороха кукурузы со средней влажностью 20% до 15 мин способствует насыщению зерновки озоном уже на первом этапе обработки. Двадцатиминутное вентилирование ёмкости воздухом не снизило концентрацию газа до уровня ПДК. Второй и третий этапы озонирования протекали со схожими параметрами. При этом, несмотря на то, что процесс непосредственной обработки зерна озоном длился на 5 минут меньше, чем в предыдущих экспериментах, общая протяжённость операции была на полчаса больше. Следовательно, периоды озонирования по 15 мин более целесообразны, т.к. ресурс озонатора увеличивается без снижения времени дезинфекции.

Далее зерновой материал, используемый на первых трёх этапах исследований, просушили до влажности 12%. При этом периоды озонирования оставили по 15 мин. Данные результаты исследований представлены на рисунке 5.4.

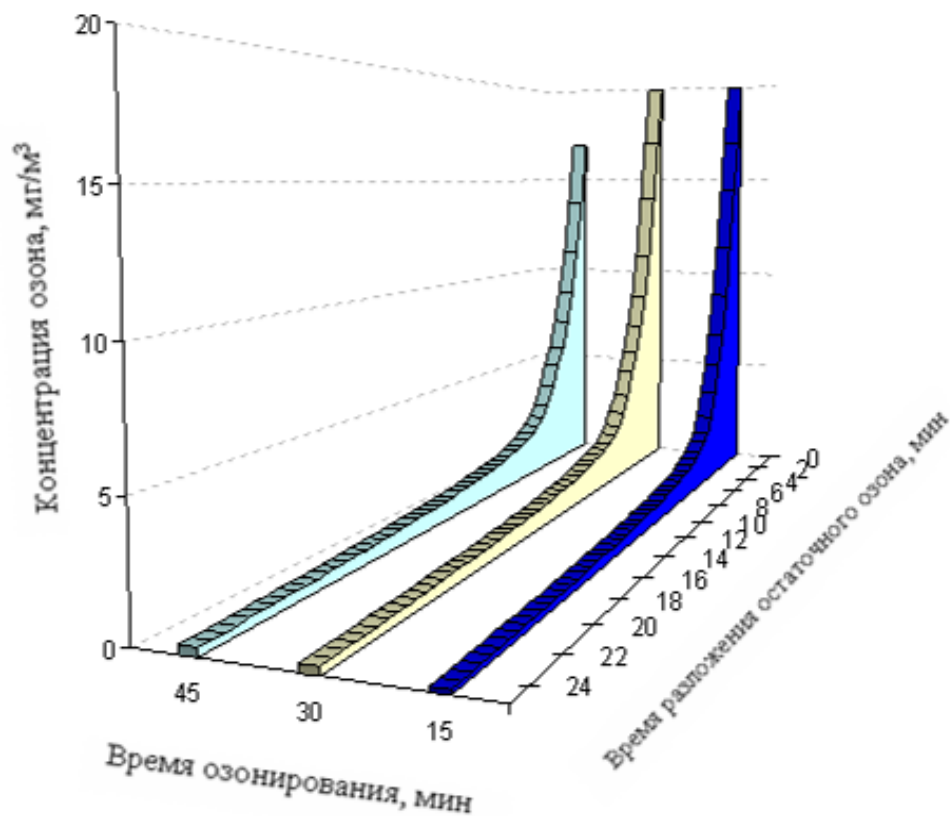


Рисунок 5.4 – Снижение концентрации озона в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы влажностью 12% при температуре окружающего воздуха 21°C

Анализ рисунка 5.4, показывает, что зерновой ворох кукурузы со средней влажностью 12% насыщает озон примерно равноценно на всех этапах обработки. В заданных условиях для снижения концентрации газа до уровня ПДК необходимо проветривать ёмкость воздухом не менее 25 мин. Для обработки сухого зерна достаточно пятнадцатиминутного озонирования.

Следовательно, влажность зернового вороха влияет 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.

Анализ уравнений регрессии, полученных при статистической обработке результатов исследований, показывает, что снижение концентрации остаточного озона в зерновом ворохе без учёта его влажности от времени после обработки подчиняется экспоненциальной зависимости

$$C_{\text{озон}} = k_0 \cdot e^{k_1 \cdot t_{\text{выкл}}}, \quad (5.1)$$

где $C_{\text{озон}}$ – концентрация озона в озоновоздушной смеси, мг/м^3 ;

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. Среднее значение составляло 9,87. В большинстве зависимостей 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. Среднее значение составляло минус 0,49. При этом величина достоверности аппроксимации R^2 варьировала в диапазоне 0,84...0,99, в среднем данный параметр составлял 0,93.

Если при расчёте концентрации озона в озоновоздушной смеси внутри зернового вороха после прекращения процесса озонирования в качестве коэффициента k_0 использовать концентрацию озона на момент отключения озонатора, то коэффициент k_I будет иметь логарифмическую зависимость от времени разложения

$$k_I = 0,0114 \cdot \ln(t_{\text{выкл}}) - 0,2652. \quad (5.2)$$

Данная зависимость актуальна при озонировании зернового вороха с концентрацией озона в озоновоздушной смеси в диапазоне $1...25 \text{ мг/м}^3$. Величина достоверности аппроксимации R^2 составляет 0,999. Расчётные значения коэффициента k_I в зависимости от времени после отключения озонатора представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Значение коэффициента k_I в зависимости от времени после отключения озонатора

Время после выключения озонатора $t_{\text{выкл}}$, мин	Расчётное значение коэффициента k_I
1	– 0,2652
2	– 0,2573
3	– 0,2527
4	– 0,2494
5	– 0,2469
6	– 0,2448
7	– 0,2430
8	– 0,2415
9	– 0,2402
10	– 0,2390
11	– 0,2379
12	– 0,2369
13	– 0,2360
14	– 0,2351
15	– 0,2343
16	– 0,2336
17	– 0,2329
18	– 0,2323
19	– 0,2316
20	– 0,2311
21	– 0,2305
22	– 0,2300
23	– 0,2294

Подставив выражение 5.2 в зависимость 5.1 получим

$$C_{\text{ОЗОН}} = k_0 \cdot e^{0,0114 \cdot t_{\text{выкл}}} \cdot \ln(t_{\text{выкл}}) - 0,2652 \cdot t_{\text{выкл}}. \quad (5.3)$$

Следовательно, для того чтобы определить концентрацию 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 $0...25 \text{ мг/м}^3$. Расчётные значения при различных начальных условиях представлены в приложении Б.

Посредством статистической обработки экспериментальных данных в программе «Statistica 6.1» получена зависимость концентрации озона в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы от времени разложения газа и влажности зерна, которая представлена на рисунке 5.5.

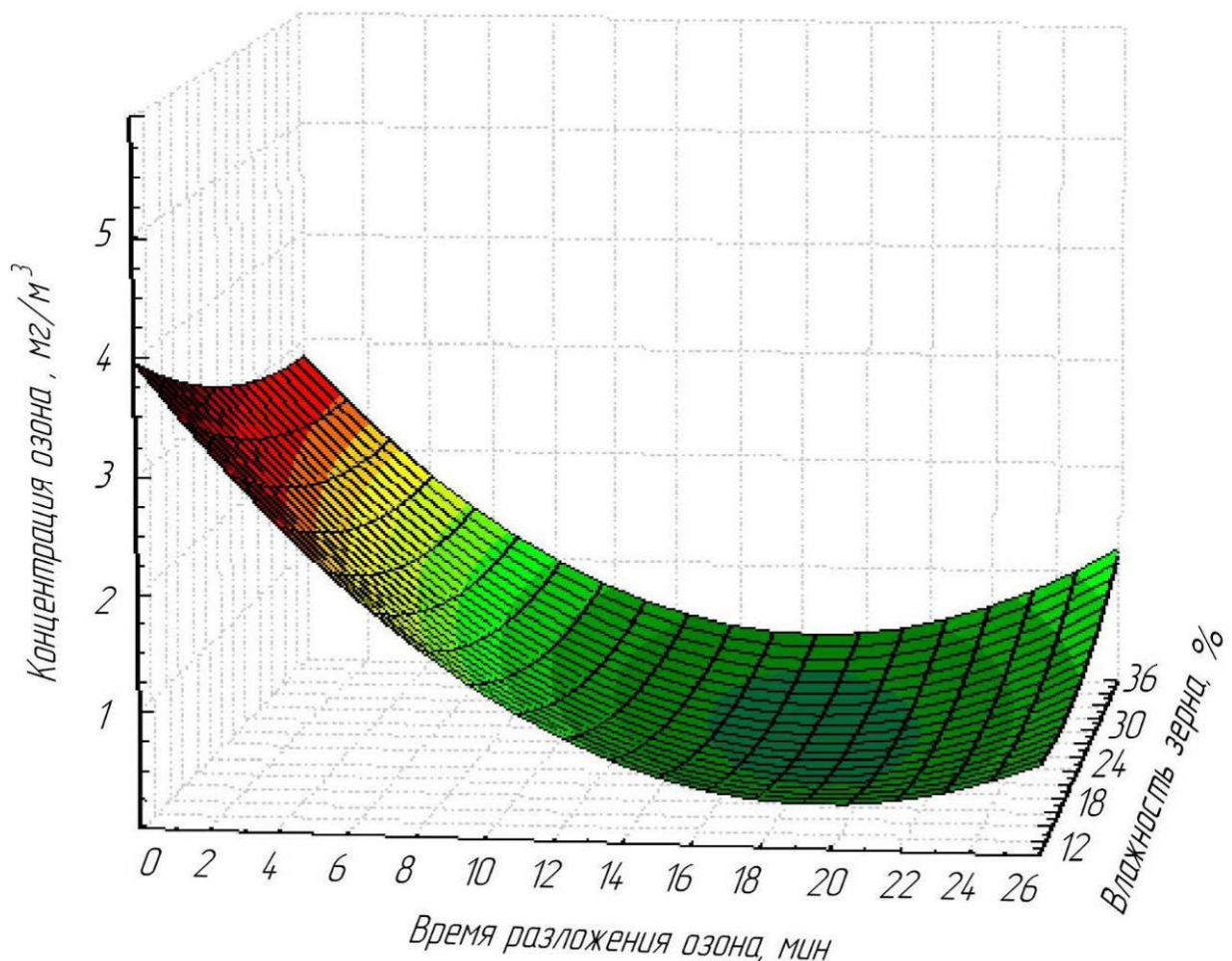


Рисунок 5.5 – Зависимость концентрации озона в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы от времени разложения газа и влажности зерна

Анализ результатов исследования 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 второй степени

$$C_{\text{озон}} = 4,9202 - 0,3903 \cdot t_p - 0,11 \cdot W + 0,0023 \cdot t_p \cdot W + 0,0094 \cdot t_p^2 + 0,0015 \cdot W^2, \quad (5.4)$$

где t_p – время разложения озона, *мин.*

Данная зависимость получена в результате обработки 359 экспериментальных точек. При этом коэффициент множественной корреляции R составил 0,882. Другие основные статистические сведения о полученной зависимости приведены в приложении В.

Анализ рисунка 5.5 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.

В процессе очередного этапа озонирования концентрация озона снижалась до уровня ПДК, поэтому при статистическом анализе время обработки оказалось малозначимым фактором. В разделе множественной регрессии программы «Statistica 6.1» был проведён соответствующий анализ, на основании которого получено следующее уравнение регрессии

$$C_{\text{озон}} = 3,8841 - 0,1211 \cdot W - 0,0065 \cdot T_{\text{озон}} - 0,3188 \cdot t_p + 0,0083 \cdot t_p^2, \quad (5.5)$$

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

Стоит заметить, что коэффициент множественной корреляции R данного уравнения регрессии составил 0,879, что всего на 0,003 меньше, чем в предыдущей зависимости. Поэтому при расчёте концентрации озона в озоновоздушной смеси внутри зернового вороха следует пользоваться зависимостями 5.3 или 5.4, чтобы не усложнять вычисления. Другие основные статистические сведения о полученной зависимости приведены в приложении Г.

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 . При озонировании определяющим фактором снижения концентрации озона после выключения оборудования выступает исходное значение концентрации газа. Меньшее влияние оказывает влажность зерна или количество циклов. Использование полученных зависимостей позволит спрогнозировать поведение озона в зернохранилище после выключения озонатора, что увеличит ресурс оборудования.

5.2 Влияние предварительного озонирования влажного зернового вороха на эффективность последующей сушки зерна и семян

Экспериментальным путём установлено, что озон, воздействуя на поверхность зернового материала, вызывает ряд специфических процессов, которые способствуют раскрытию межклеточных мембран, проникновению газа внутрь зерновки, увеличению коэффициента диффузии, подогреву вороха изнутри, ускорению парообразования и т.д. [20, 85]. При этом окислитель взаимодействует с органическими тканями зерна, благодаря чему ослабевают химические связи. В конечном итоге молекулы воды легче отделяются от зерновки, что способствует повышению эффективности процесса сушки.

На данный момент в большинстве зерносушилок используется подогретый воздух, который, проходя через слой зернового материала, нагревает его и уносит часть влаги. Данная операция является дорогостоящей и низкоэффективной. Поэтому учёные проводят ряд исследований по повышению интенсивности влагоотдачи, в том числе за счёт использования озоновоздушной смеси в качестве сушильного агента [82, 96, 128, 146, 147, 216, 241]. Однако озоновая сушка имеет несколько недостатков. Прежде всего, это большой расход газа, который связан с повышенной интенсивностью разложения озона при высоких температурах. Немаловажными факторами являются вероятность отравления рабочего персонала,

чрезмерный выброс газа в атмосферу, пожароопасность процесса, скудная научная база и т.д.

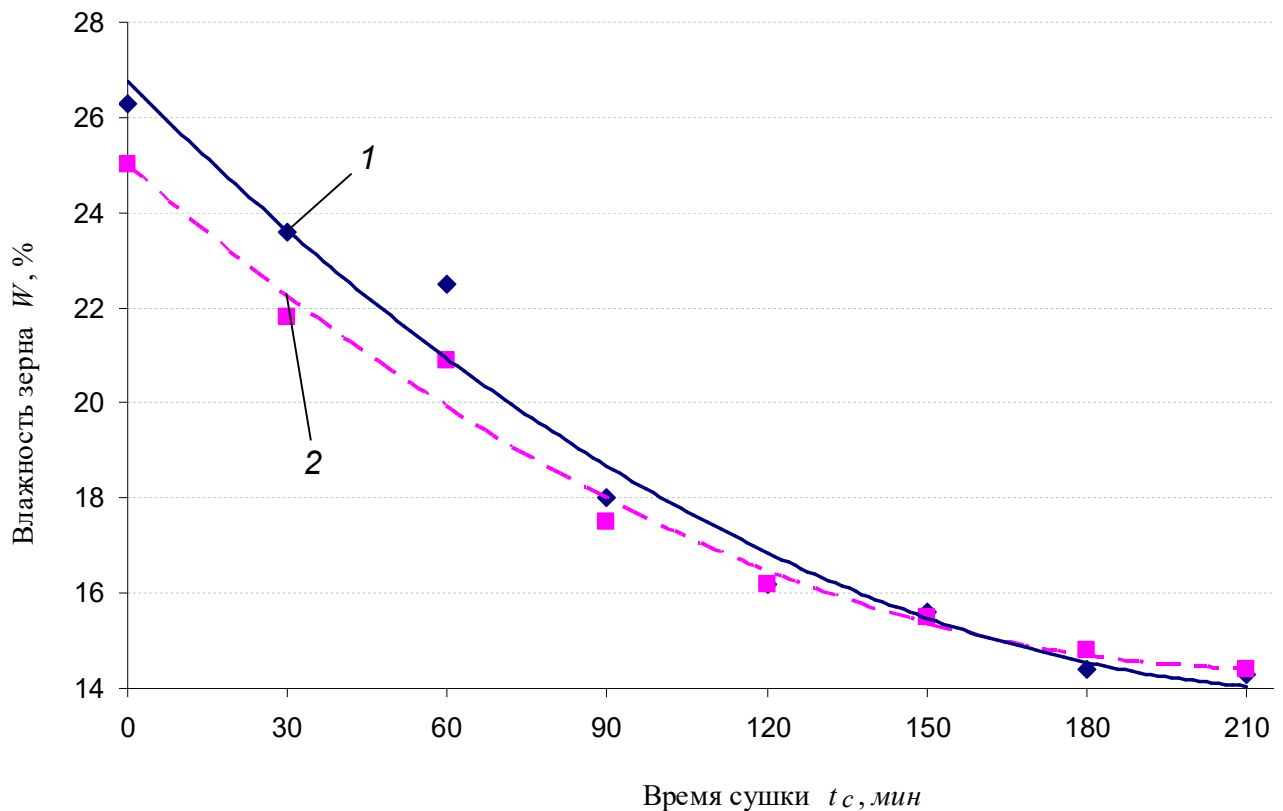
Поэтому с целью устранения выявленных недостатков было предложено проводить озонирование не в процессе сушки, а предварительно во время временного хранения влажного зернового материала в буферном силосе. Данные исследования проводили на экспериментальной установке (см. рисунок 4.3) согласно методике, описанной в подразделе 4.3.3. В процессе экспериментов варьировали влажность зерна. Предварительное озонирование проводили на соответствующей экспериментальной установке (см. рисунок 4.2) согласно методике, описанной в подразделе 4.3.2.

При исследованиях влияния предварительного озонирования зернового вороха на эффективность последующей сушки зерна озимой пшеницы исходная влажность составляла 27,3% [20]. Озонная обработка проводилась в течение часа. При этом концентрация озона в озонотехнической смеси варьировала в диапазоне $1 \dots 15 \text{ мг/м}^3$, а расход агента составлял $1 \text{ м}^3/\text{ч}$. В результате эксперимента получены данные, которые представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты исследований по влиянию предварительного озонирования зернового вороха на эффективность последующей сушки зерна озимой пшеницы с исходной влажностью 27,3%

Время опыта, мин	Средняя влажность зерна, %		Средняя температура зерна, °C		Средняя температура агента сушки, °C	
	контроль	озонированное	контроль	озонированное	на входе	на выходе
- 60	27,3	27,3	-	-	-	-
0	26,3	25,0	25,4	26,0	-	-
30	23,6	21,8	26,7	26,8	55,8	23,6
60	22,5	20,9	24,0	23,7	55,9	23,3
90	18,0	17,5	23,8	23,8	56,0	23,1
120	16,2	16,2	24,5	23,9	55,1	23,1
150	15,6	15,5	23,8	24,5	55,2	23,1
180	14,4	14,8	24,1	24,3	54,5	22,6
210	14,3	14,4	24,4	25,1	56,1	23,1

Анализ таблицы 5.2 показал, что часовое нахождение влажного зернового вороха россыпью тонким слоем в отапливаемом помещении привело к снижению влажности зерна с 27,3 до 26,3%. За тот же период вентиляция озоновоздушной смесью в буферной металлической ёмкости второй части исследуемого материала способствовало уменьшению данного показателя до 25%. На всём протяжении эксперимента поддерживали среднюю температуру агента сушки 55°C. Прогрев зернового материала обеих партий в сушильных камерах был достаточно равномерный, отклонение не превышало 0,7°C. Динамика снижения влажности зерна в зависимости от способа подготовки влажного вороха к сушке представлена на рисунке 5.6.



1 – необработанное зерно (контроль); 2 – предварительно проозонированное зерно

Рисунок 5.6 – Динамика снижения влажности зерна озимой пшеницы в зависимости от способа подготовки влажного вороха к сушке

Статистическая обработка результатов исследований показала, что динамика снижения влажности зерна озимой пшеницы в обоих способах подготовки

влажного вороха к сушке подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$W_{\text{оз.пш.}}^{\text{конт.}} = 0,0002 \cdot t_c^2 - 0,1118 \cdot t_c + 26,754, \quad (5.6)$$

$$W_{\text{оз.пш.}}^{\text{озон.}} = 0,0002 \cdot t^2 - 0,0985 \cdot t + 24,988, \quad (5.7)$$

где $W_{\text{оз.пш.}}^{\text{конт.}}$ – влажность зерна озимой пшеницы контрольного образца, %;

t_c – время сушки зерна, мин;

$W_{\text{оз.пш.}}^{\text{озон.}}$ – влажность проозонированного зерна озимой пшеницы, %.

Показатель достоверности аппроксимации данных зависимостей составляет $R^2 = 0,9756$ и $R^2 = 0,9854$ соответственно. Это говорит о том, что уравнения достаточно точно описывают процесс.

Анализ полученных результатов исследований показывает, что на протяжении первого часа предложенный способ подготовки зернового материала с предварительным озонированием имеет лучшую эффективность влагоотдачи, чем аналогичный процесс с контрольным образцом. Это объясняется ослаблением химических связей органических компонентов проозонированных зёрен с влагой. Далее озон полностью распадается, и его действие не прослеживается. При этом часовая озонная обработка зернового вороха с последующей его сушкой в течение часа снижают влажность зерна с 27,3 до 20,9%, т.е. на 6,4%. За тот же период данный показатель у контрольного образца уменьшился на 4,8%. Учитывая, что в современных шахтных зерносушилках за один цикл сушки снимать более 6% влажности нельзя [23], то на данном этапе операцию следует прекратить и направить недосушенный ворох на отволаживание в буферный силос. Впоследствии озонную обработку необходимо повторить и отправить зерно на второй цикл.

Следовательно, в заданных условиях предложенный способ подготовки влажного зернового материала к сушке позволит за первый цикл снизить влажность зерна на 6,4%, что по сравнению с контрольным вариантом в 1,33 раза больше. Это увеличит эффективность зерносушилки и снизит затраты на проведение данной операции.

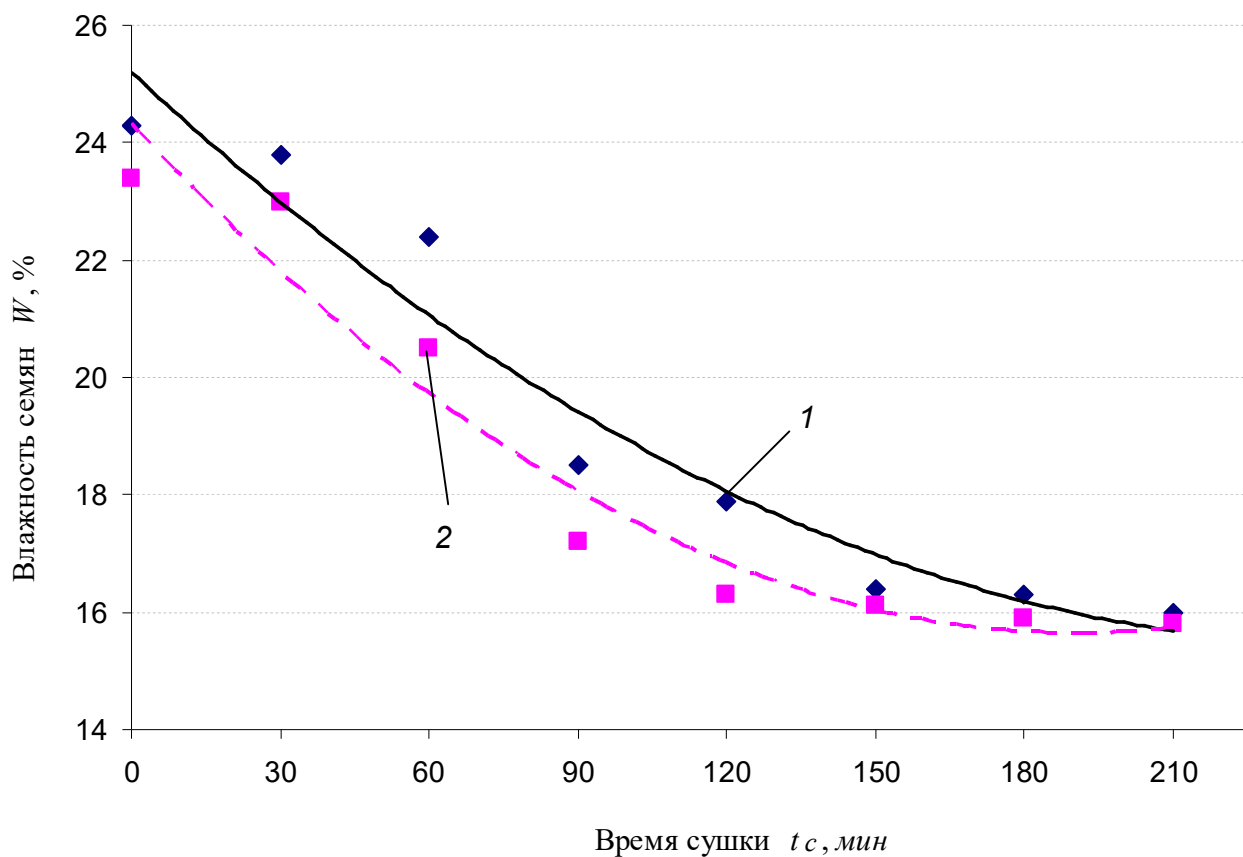
Для подтверждения эффективности предварительного озонирования влажного зернового вороха перед сушкой на других культурах провели соответствующие исследования [37, 38, 85, 88, 193, 194].

При определении влияния предварительного озонирования семян соевых бобов на эффективность их последующей сушки исходная влажность материала составляла 24,3% [38, 193, 194]. Озонная обработка проводилась в течение полутора часов. При этом концентрация озона в озоновоздушной смеси варьировала в диапазоне $1 \dots 15 \text{ мг/м}^3$, а расход агента составлял $2 \text{ м}^3/\text{ч}$. В результате эксперимента получены данные, представленные в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты исследований по определению влияния предварительного озонирования семян соевых бобов с исходной влажностью 24,3% на эффективность их последующей сушки

Время опыта, мин	Средняя влажность семян, %		Средняя температура семян при разгрузке, °C		Средняя температура агента сушки, °C	
	контроль	озонированное	контроль	озонированное	на входе	на выходе
0	24,3	23,4	-	-	—	—
30	23,8	23,0	25,7	25,8	55	27,8
60	22,4	20,5	29,9	30,0	59	27,6
90	18,5	17,2	30,5	29,9	57,2	27,5
120	17,9	16,3	29,5	28,5	57,4	29,7
150	16,4	16,1	28,9	29,9	58,8	29,9
180	16,3	15,9	31,4	30,2	55,2	29,1
210	16,0	15,8	31,3	31,7	50,1	30,3

Анализ таблицы 5.3 показал, что полуторачасовое вентилирование вороха семян соевых бобов озоновоздушной смесью снизило их влажность с 24,3 до 23,4%. При этом у контрольного образца, находящегося в мешкотаре, данный показатель не изменился. На всём протяжении эксперимента поддерживали температуру агента сушки в диапазоне $50 \dots 60^\circ\text{C}$. Прогрев материала в обеих сушильных камерах был достаточно равномерный, отклонение не превышало $1,2^\circ\text{C}$. Динамика снижения влажности семян соевых бобов в зависимости от способа подготовки влажного вороха к сушке представлена на рисунке 5.7.



1 – необработанные семена (контроль); 2 – предварительно проозонированные семена

Рисунок 5.7 – Динамика снижения влажности семян соевых бобов в зависимости от способа подготовки влажного вороха к сушке

Статистическая обработка полученных данных показала, что динамика снижения влажности семян соевых бобов в обоих способах подготовки влажного вороха к сушке подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$W_{\text{соy}}^{\text{конт.}} = 0,0002 \cdot t_c^2 - 0,0784 \cdot t_c + 25,2, \quad (5.8)$$

$$W_{\text{соy}}^{\text{озон.}} = 0,0002 \cdot t^2 - 0,0908 \cdot t + 24,308, \quad (5.9)$$

где $W_{\text{соy}}^{\text{конт.}}$ – влажность семян соевых бобов контрольного образца, %;

$W_{\text{соy}}^{\text{озон.}}$ – влажность проозонированных семян соевых бобов, %.

Показатель достоверности аппроксимации данных зависимостей составляет $R^2 = 0,947$. Это говорит о том, что уравнения достаточно точно описывают процесс.

Анализ полученных результатов исследований показывает, что на протяжении двух часов предложенный способ подготовки влажного вороха к сушке с предварительным озонированием имеет лучшую эффективность влагоотдачи, чем аналогичный процесс с контрольным образцом. Это можно объяснить ослабеванием химических связей органических компонентов проозонированных семян с влагой, увеличением коэффициента диффузии, изменением теплофизических и физико-химических свойств воды [85]. Далее озон полностью распадается, и его действие не прослеживается. При этом полуторачасовая озонная обработка вороха и последующая сушка в течение 60 мин в совокупности снижают влажность семян с 24,3 до 20,5%, т.е. на 3,8%. За тот же период данный показатель у контрольного образца уменьшился на 1,9%. Полученный результат в два раза меньше, чем у экспериментальной партии проозонированных семян. Если на данном этапе операцию не остановить и продолжить температурное воздействие, то это приведёт к снижению посевных качеств просушиваемого материала [38, 88, 193]. Поэтому сушку следует прекратить и направить недосушенный ворох на отволаживание в буферный силос. При этом озонную обработку необходимо повторить, после чего отправить материал на второй цикл.

Следовательно, в заданных условиях предложенный способ подготовки влажных семян соевых бобов к сушке позволит за первый цикл снизить влажность зерна на 3,8%, что по сравнению с контрольным вариантом в 2 *раза* больше. Это увеличит эффективность зерносушилки, снизит затраты на проведение данной операции и сохранит посевные качества просушиваемого материала.

Наибольшую актуальность имеют исследования по интенсификации процесса сушки зерна кукурузы [41]. Из-за плотной оболочки зерновки влагоотдача протекает очень медленно, а малейшее превышение температуры сушильного агента приводит к появлению микротрещин. Поэтому были проведены исследования по определению влияния предварительного озонирования зерна кукурузы влажностью 34,84% на эффективность последующей их сушки [37]. Озонная обработка проводилась в течение полутора часов. При этом концентрация озона в

озоновоздушной смеси варьировала в диапазоне $1...15 \text{ мг/м}^3$, а расход агента составлял $0,7 \text{ м}^3/\text{ч}$. В ходе эксперимента получены результаты, представленные в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Результаты исследований по влиянию предварительного озонирования зернового вороха на эффективность последующей сушки зерна кукурузы с исходной влажностью 34,84%

Время опыта, мин	Средняя влажность зерна, %		Средняя температура зерна при разгрузке, °C	Средняя температура агента сушки, °C		Относительная влажность воздуха на выходе, %
	контроль	озонированное		на входе	на выходе	
0	35,68	38,76	-	—	—	-
30	34,20	32,53	19,21	60	22,8	73
60	29,87	32,4	19,47	61	23,1	69
90	28,10	30,87	20,33	64	23,1	66
120	27,00	29,87	20,33	60	23,1	64
150	24,73	27,43	20,27	70	24,1	60
180	23,40	22,97	21,27	65	24,0	55
210	22,78	21,60	23,13	66	23,4	54

Анализ таблицы 5.4 показал, что зерно кукурузы, в котором еще не завершился процесс дозревания, имеет чрезмерную влажность. Ручная уборка культуры выявила, что за месяц до уборки разброс показаний настолько велик, что среднее значение не даёт точного представления о состоянии вороха. Так, отволаживание зерна в мешкотаре в течение полутора часов привело к увеличению влажности вороха на 0,84%. Озонирование на протяжении 90 мин способствовало выходу части влаги из внутренних слоёв зерновки наружу за счёт расширения межклеточных мембран и увеличения коэффициента диффузии [85]. В результате средняя влажность зёрён обработанных озоновоздушной смесью возросла на 3,92% до значения 38,76%. Несмотря на увлажнение вороха, следует отметить, что озонирование благоприятно повлияло на последующий процесс сушки, поскольку озон поспособствовал переходу части влаги из связанного с зерновкой состояния в свободную воду, а её удалить гораздо проще. На всём протяжении эксперимента поддерживали температуру агента сушки в камере горячего воздуха

в диапазоне $60...70^{\circ}\text{C}$. Как видно по таблице 5.4, полуторачасовая озонная обработка вороха и последующая сушка в течение 30 мин в совокупности снижают влажность зерна с 34,84 до 32,53%, т.е. на 2,31%. За тот же период данный показатель у контрольного образца уменьшился на 0,64%. Дальнейшая сушка у обеих партий бессмысленна, поскольку у необработанных зёрен за следующие 30 минут влажность снижается сразу на 4,33%, что приведёт к появлению трещиноватости, а у предварительно проозонированного материала действие озона уже не прослеживается. Поэтому операцию следует прекратить и направить недосушенный ворох на отволаживание в буферный силос. При этом озонную обработку необходимо повторить, после чего отправить материал на второй цикл.

Следовательно, в заданных условиях предложенный способ подготовки влажного зерна кукурузы к сушке позволит за первый цикл снизить влажность на 2,31%, что по сравнению с контрольным вариантом в 3,6 раза больше.

Далее исследовался ворох зерна кукурузы со средней влажностью 27,3% при двухчасовом озонировании. До момента уборки культуры оставалось две недели. При озонировании влажного вороха концентрация озона в озоновоздушной смеси варьировала в диапазоне $1...15 \text{ мг/м}^3$, а расход агента составлял $0,7 \text{ м}^3/\text{ч}$. В результате эксперимента получены данные, представленные в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Результаты исследований по влиянию предварительного озонирования зернового вороха на эффективность последующей сушки зерна кукурузы с исходной влажностью 27,3%

Время опыта, мин	Средняя влажность зерна, %		Средняя температура зерна при разгрузке, $^{\circ}\text{C}$	Средняя температура агента сушки, $^{\circ}\text{C}$		Относительная влажность воздуха на выходе, %
	контроль	озонированное		на входе	на выходе	
0	27,3	27,45	23,2	65	29	67
30	27,26	24,44	26,1	68	30	60
60	22,76	21,28	30,0	68	30	56
90	21,76	20,52	29,1	64	30	53
120	21,42	20,00	21,6	72	31	50
150	20,72	19,22	27,4	68	31	47
180	20,64	17,62	28,4	66	31	44
210	19,56	16,44	29,1	69	32	42

Анализ таблицы 5.5 показал, что зерно кукурузы после озонирования увеличило влажность на $0,15\%$ до значения в $27,45\%$. Это произошло за счёт избыточного содержания влаги внутри зерновки, которая под действием озона перешла из связанного с органическими компонентами состояния в свободную воду. Раскрытие межклеточных мембран способствовало её выходу на поверхность, что и отразилось на повышении влажности зерна. При этом нахождение материала в мешкотаре в течение двух часов показатели вороха не изменило. Стоит заметить, что увлажнение вороха при озонировании не столь существенное, как при большем значении исходной влажности зерна. Как видно по данным таблицы 5.5, двухчасовая озонная обработка вороха и последующая сушка в течение 60 мин в совокупности снижают влажность зерна с $27,3$ до $21,28\%$, т.е. на $6,0\%$. За тот же период данный показатель у контрольного образца уменьшился на $4,54\%$. В заданных условиях сушку проозонированного зерна следовало остановить по прошествии $40...45 \text{ мин}$, поскольку снижение влажности более чем на 6% на шахтных зерносушилках приводит к ухудшению качества просушиваемого зернового материала. При этом наибольшая эффективность от озонной обработки прослеживалась по истечении получаса эксперимента. Так, влажность проозонированных зёрен за данный период снизилась с $27,3$ до $24,44\%$, т.е. на $2,86\%$. В то время как в контрольном образце показатели вороха практически не изменились. Поэтому по прошествии $45...50 \text{ мин}$ эксперимента влажность проозонированных семян снизилась примерно на 4% , что при столь высоких исходных показателях является предельно допустимым результатом. После этого сушку следовало прекратить и направить недосушенный ворох на отволаживание в буферный силос. При этом озонную обработку необходимо повторить и отправить материал на второй цикл.

Посредством статистической обработки результатов исследований выявлено, что в заданных условиях предложенный способ подготовки влажного зерна кукурузы к сушке за 50 мин эксперимента позволяет за первый цикл снизить влажность на $4,06\%$, что по сравнению с контрольным вариантом в $1,4$ раза больше.

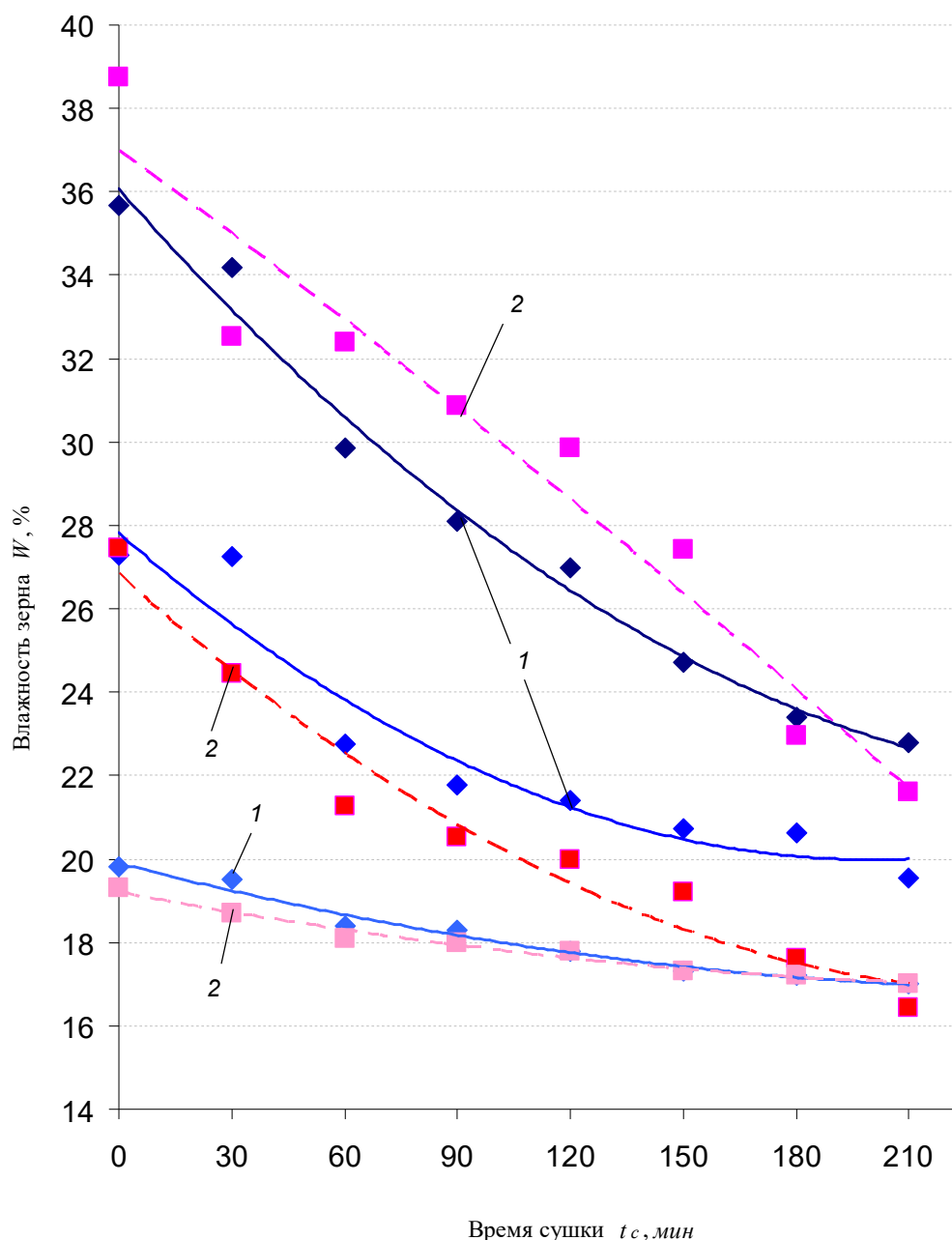
Смешивание и отволаживание предыдущего вороха перед вторым циклом сушки привело к увеличению влажности зерна до 20%. Данный материал был разделён на две партии. Первая часть была направлена на предварительное двухчасовое озонирование, а другую половину рассыпали тонким слоем в отапливаемом помещении. При озонной обработке концентрация озона в озонозовоздушной смеси варьировала в диапазоне $1...15 \text{ мг/м}^3$, а расход агента составлял $0,7 \text{ м}^3/\text{ч}$. В результате эксперимента получены данные, представленные в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Результаты исследований по влиянию предварительного озонирования зернового вороха на эффективность последующей сушки зерна кукурузы с исходной влажностью 20%

Время опыта, мин	Средняя влажность зерна, %		Средняя температура зерна при разгрузке, °C	Средняя температура агента сушки, °C		Относительная влажность воздуха на выходе, %
	контроль	озонированное		на входе	на выходе	
0	19,8	19,3	17,4	56	17	47
30	19,5	18,7	18,0	66	22	46
60	18,4	18,1	19,0	66	24	42
90	18,3	18,0	19,0	66	26	39
120	17,8	17,8	19,2	68	26	37
150	17,3	17,3	19,2	65	26	36
180	17,2	17,2	19,2	66	26	36
210	17,0	17,0	19,9	66	26	36

Анализ таблицы 5.6 показал, что зерно кукурузы после двухчасового озонирования снизило влажность на 0,7% до значения в 19,3%. При этом нахождение материала россыпью в отапливаемом помещении в течение двух часов уменьшило данный показатель на 0,3%. Действие озона прослеживалось на протяжении 90 мин эксперимента. Двухчасовая сушка контрольного образца снизила влажность зерна на 1,7%. За этот период данный показатель у проозонированных зёрен уменьшился с 20 до 18%, т.е. на 2% или в 1,18 раз больше, чем в контроле. При этом наибольшая эффективность от озонной обработки прослеживалась по истечении получаса эксперимента. Так, влажность проозонированных зёрен за данный

период снизилась с 20,0 до 18,7%, т.е. на 1,3%. В то время как в контрольном образце данный показатель уменьшился всего на 0,5%. В дальнейшем эффект от озонирования пропадал, поэтому процесс сушки протекал со схожими параметрами в обеих партиях зернового материала. Динамика снижения влажности зерна кукурузы в зависимости от способа подготовки вороха к сушке и исходного состояния зернового материала представлена на рисунке 5.8.



1 – необработанное зерно (контроль); 2 – предварительно проозонированное зерно

Рисунок 5.8 – Динамика снижения влажности зерна кукурузы в зависимости от способа подготовки вороха к сушке и исходного состояния зернового материала

Анализ рисунка 5.8 показал, что влияние предварительного озонирования зернового вороха на эффективность последующей сушки зерна прослеживается на протяжении первых 30...90 мин. В дальнейшем действие озона прекращается. Чем выше исходное значение влажности зерна, тем меньше его можно нагревать. Поэтому предварительное озонирование наиболее эффективно при большом содержании влаги в зерновке, когда часть связанной с органическими компонентами зерновки влаги переходит в свободную воду, которую гораздо проще удалить при сушке.

Статистическая обработка полученных данных показала, что динамика снижения влажности зерна кукурузы в обоих способах подготовки влажного вороха к сушке подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$W_{\text{кукур.}} = a \cdot t_c^2 - b \cdot t_c + c, \quad (5.10)$$

где $W_{\text{кукур.}}$ – влажность зерна кукурузы, %;

a, b, c – коэффициенты уравнения регрессии, представленные в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Значения коэффициентов уравнения регрессии в зависимости от исходного состояния зерна кукурузы и способа его подготовки к сушке

Исходная влажность зерна кукурузы, %	Значения коэффициентов							
	Контрольный образец				Проозонированное зерно			
	a	b	c	детерминации R^2	a	b	c	детерминации R^2
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

Анализ таблицы 5,7 показывает, что показатель достоверности аппроксимации данных зависимостей варьирует от 0,92 до 0,99, что говорит о том, что полученные уравнения достаточно точно описывают процесс.

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. Кроме того, пренебрегать озонной обработкой не следует из-за того, что озон дезинфицирует и saniрует зерновой ворох, что положительно скажется на качестве просушиваемого материала и подавлении вредной микрофлоры [38].

5.3 Влияние предварительного озонирования семян перед сушкой на их посевные качества

Уборка зерновых культур не всегда проводится при оптимальной влажности зерна, которая в большинстве случаев составляет 13...17% [27, 137, 170, 205, 233]. Чаще всего это связано с неблагоприятными погодно-климатическими условиями, с нехваткой зерноуборочной техники или с длительным периодом вегетации растений. На некоторых культурах, например кукурузе, провести уборку при кондиционной влажности зерна очень сложно [37, 122, 250]. Поэтому сушка зернового материала зачастую является неотъемлемой частью технологического процесса послеуборочной обработки урожая. Однако термическое воздействие отрицательно сказывается на качестве семян, особенно в случае несоблюдения режимных параметров операции. Поэтому необходимо внедрять в технологию послеуборочной обработки посевного материала мероприятия по снижению негативного влияния температуры на зерно, например озонирование, или по возможности отказаться от сушки влажного вороха, заменив её активным вентилированием.

В ходе нескольких специализированных исследований установлено, что озоновоздушная смесь положительно влияет на качественные показатели зернового материала [5, 29, 50, 111, 115, 180, 181, 234, 245]. В основном учёные изучали озонную технологию при предпосевной обработке семян. Эффект от озонирования получен за счёт дезинфекции посевного материала, стимуляции ростовых процессов, санации микроповреждений и т.д. Также известно несколько научных экспериментов по интенсификации процесса сушки зерна за счёт применения озона в составе сушильного агента [96, 128, 146, 147, 216, 237, 241]. Однако исследования по изучению влияния озонной обработки на качество посевного материала при температурном воздействии на семена крайне скудны.

При проведении исследований по влиянию предварительного озонирования влажного зернового вороха на эффективность его последующей сушки, описанных в предыдущем подразделе 5.2, отбирались образцы просушиваемых семян для выявления целесообразности озонной обработки с точки зрения качества посевного материала, подвергающегося температурному воздействию. При этом ис-

пользовали оборудование лаборатории массовых анализов ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян определяли согласно ГОСТ 12038-84 [53]. При проращивании посевного материала использовали электрический термостат суховоздушный *ТСО-1/80 СИУ* (см. рисунок 4.8). Предварительное озонирование проводили на соответствующей экспериментальной установке (см. рисунок 4.2) согласно методике, описанной в подразделе 4.3.2.

После часового озонирования и сушки семян соевых бобов с исходной влажностью 24,3% при соответствующих условиях [38, 193, 194], описанных в таблице 5.3 и представленных на рисунке 5.7, проводился отбор проб зернового материала для определения его посевных качеств. При этом контрольным образцом являлся ворох, не подвергавшийся термическому воздействию. Вторая проба состояла из семян, прошедших предварительное озонирование перед сушкой. Третий образец посевного материала подвергался тому же термическому воздействию, что и предыдущий, но только без всякой промежуточной обработки. Семена проращивали на фильтровальной бумаге в условиях постоянной температуры 25°C при отсутствии освещенности. В результате получены данные, представленные в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Результаты исследований по определению влияния способа подготовки семян сои к сушке на их энергию прорастания и лабораторную всхожесть

Способ подготовки к сушке	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %
Контроль (без сушки)	81,5	89
Сушка проозонированных семян	71,5	80
Сушка не обработанных семян	69	76

Анализ таблицы 5.8 показал, что качественные показатели семян в контрольном варианте выше, чем у просушенных образцов. Это свидетельствует о том, что температурное воздействие на посевной материал крайне нежелательно. 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 по-

севного материала. Так, энергия прорастания семян в результате трёхчасовой сушки с температурой агента $55...60^{\circ}\text{C}$ снизилась с $81,5$ до $69,0\%$ (рисунок 5.9). Предварительная озонная обработка влажного посевного материала увеличила данный параметр на $2,5\%$ до $71,5\%$. Это свидетельствует о том, что озонирование семян в буферной ёмкости способствовало менее пагубному влиянию сушильного агента на их качество.

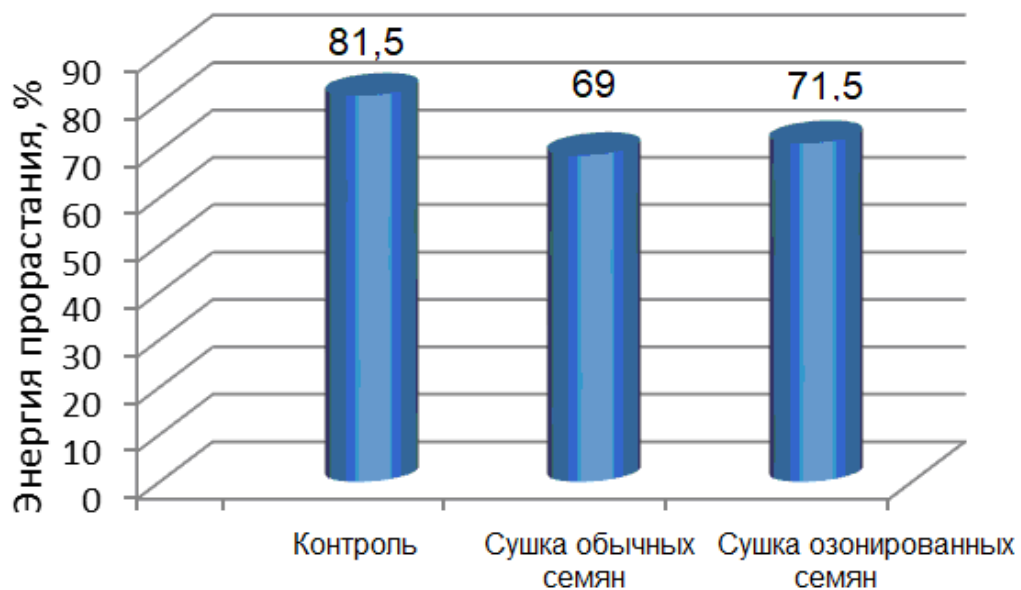


Рисунок 5.9 – Влияние процесса сушки в лабораторной шахтной зерносушилке и способа подготовки посевного материала к температурному воздействию на энергию прорастания семян соевых бобов

Лабораторная всхожесть семян в результате сушки снизилась с 89 до 76% (рисунок 5.10). 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 [59]. В результате озонная обработка поспособствовала переходу семян из внеклассного состояния в

категорию репродукционных семян, предназначенных для производства товарной продукции.

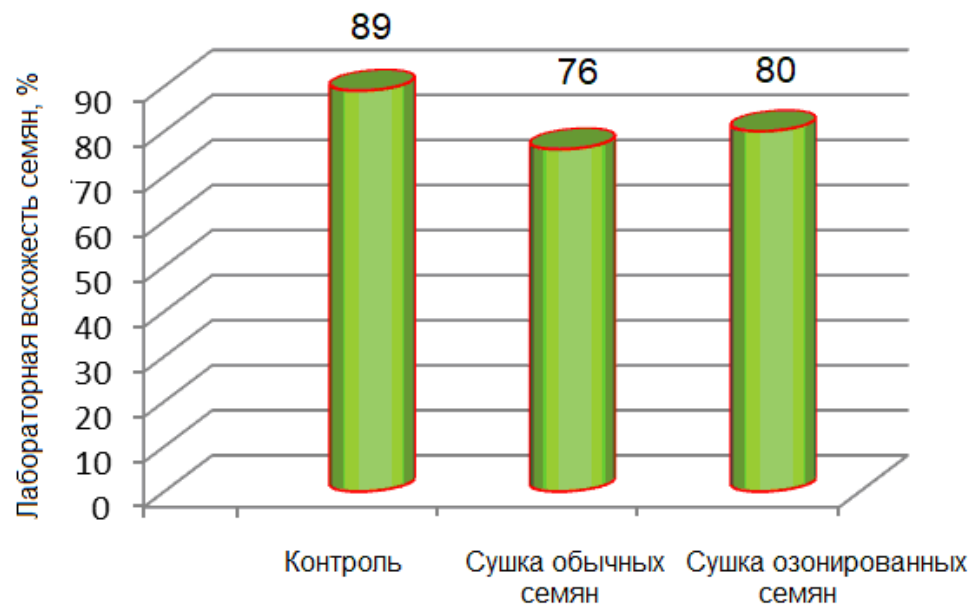


Рисунок 5.10 – Влияние процесса сушки в экспериментальной шахтной зерносушилке и способа подготовки посевного материала к температурному воздействию на лабораторную всхожесть семян соевых бобов

Следовательно, 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 на 4% увеличить лабораторную всхожесть семян соевых бобов и на 2,5% их энергию прорастания по сравнению с традиционной сушкой.

С целью выявления целесообразности предварительного озонирования влажного зернового вороха перед сушкой на других культурах были проведены соответствующие исследования. Поскольку наиболее сложно процесс влагоотдачи протекает на зёрнах с плотной оболочкой, и малейшее нарушение режимов их сушки приводит к образованию микротрещин, то был поставлен эксперимент на кукурузе.

Предварительное озонирование влажного зерна кукурузы проводили на соответствующей экспериментальной установке (см. рисунок 4.2) согласно методике, описанной в подразделе 4.3.2. Сушку проводили в два цикла. На первом этапе исходная влажность зерна составляла 34,84%, а на втором – 27,3%. Режимы сушки и динамика процесса представлены в таблицах 5.4 и 5.5, а также на рисунке 5.8. Перед закладкой опыта зерновой материал отлежался в течение 23 дней. Контрольным образцом являлся ворох, не подвергающийся термическому воздействию. Вторая проба семян дважды сушилась без обработки, а третий образец перед сушкой предварительно озонировали. Проращивание осуществляли на фильтровальной бумаге в условиях постоянной температуры 25°C при отсутствии освещенности согласно ГОСТ 12038-84 [53]. При проведении эксперимента получены результаты, представленные в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Результаты исследований по определению влияния способа подготовки семян кукурузы к сушке на их энергию прорастания и лабораторную всхожесть

Способ подготовки к сушке	Повторность	Количество семян, шт			Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %
		проросших на 4 сутки	проросших на 7 сутки	невсхожих		
Контроль (без сушки)	1	50	50	0	100	100
	2	50	50	0		
	3	50	50	0		
	4	50	50	0		
Сушка проозонированных семян	1	48	48	2	96,5	97,0
	2	47	48	2		
	3	50	50	0		
	4	48	48	2		
Сушка не обработанных семян	1	48	48	2	94,5	94,5
	2	47	47	3		
	3	48	48	2		
	4	46	46	4		

Анализ таблицы 5.9 показал, что качественные показатели семян кукурузы в контрольном варианте выше, чем у просушенных образцов. Это свидетельствует о том, что температурное воздействие на посевной материал крайне нежелательно. Сушка приводит к снижению энергии прорастания и лабораторной всхожести семян. Предварительная озонная обработка влажного вороха благоприятно сказыва-

вается не только на интенсивности влагоотдачи, но и на качестве просушенного посевного материала. Так, энергия прорастания семян в результате двукратной сушки снизилась со *100,0* до *94,5%* (рисунок 5.11). Столь высокое исходное качество посевного материала объясняется ручным вымолотом зерна. Предварительная озонная обработка способствовала увеличению энергии прорастания семян на *2,0%* до *96,5%*. Это свидетельствует о том, что озонирование влажного посевного материала в буферной ёмкости снижает пагубное влияние сушильного агента на его качество.

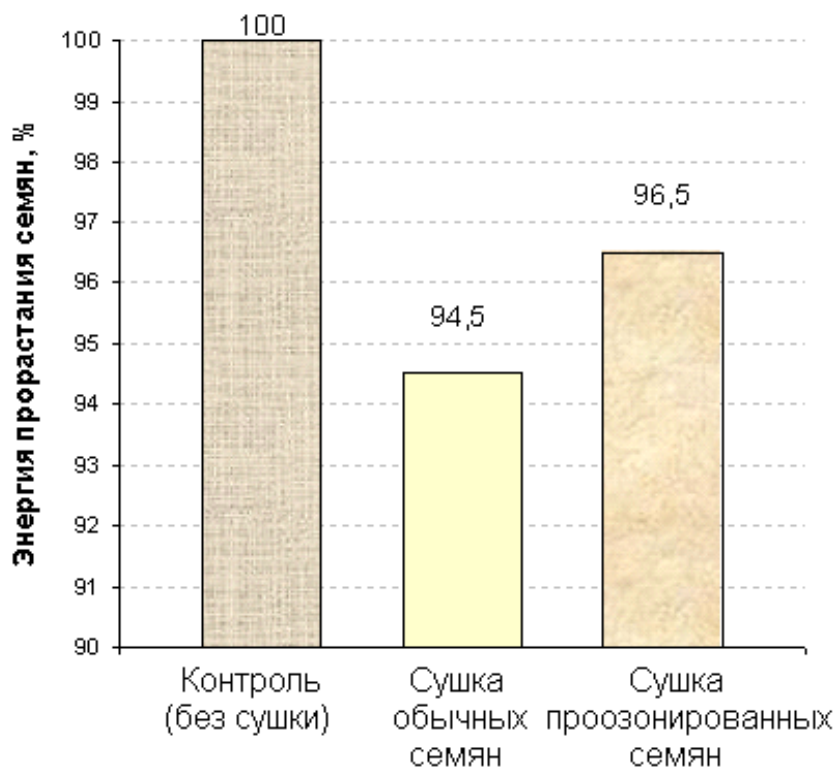


Рисунок 5.11 – Влияние процесса сушки в лабораторной шахтной зерносушилке и способа подготовки посевного материала к температурному воздействию на энергию прорастания семян кукурузы

Лабораторная всхожесть семян кукурузы в результате двукратной сушки снизилась со *100* до *94,5%* (рисунок 5.12). Столь высокое исходное качество посевного материала объясняется ручным вымолотом зерна. Предварительная озонная обработка увеличила лабораторную всхожесть семян 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.

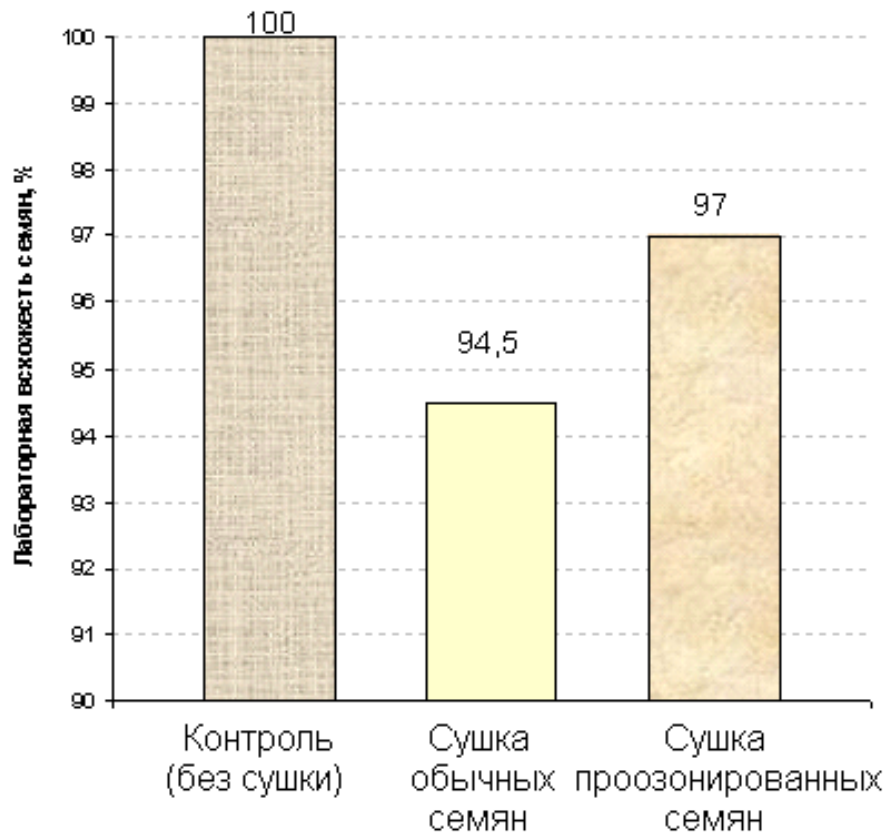


Рисунок 5.12 – Влияние процесса сушки в экспериментальной шахтной зерносушилке и способа подготовки посевного материала к температурному воздействию на лабораторную всхожесть семян кукурузы

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.

5.4 Влияние процесса озонирования на выживаемость вредителей зерна

ГОСТ 13586.6-93 выделяет основных вредителей зернового материала, присваивая им определённый коэффициент вредоносности [57]. Наиболее опасны насекомые, которые развиваются внутри зерна, например амбарный долгоносик. Также значительный вред зерну оказывает зерновая моль и её гусеницы. Данные вредители имеют высокие показатели вредоносности, равные 1,5 и 1,1 соответственно. По данным Г.А. Закладного, в России зерновая моль заражает 8% всего хранящегося зерна, а амбарный долгоносик – 6% [57, 71, 75, 78]. Развитие вредителей происходит очень стремительно, что приводит как к потере веса, так и к повышению токсичности зернового материала [74, 77, 142].

Исследования по влиянию озонной обработки на выживаемость вредителей зерна проводили согласно методике, описанной в разделе 4.3.4. В озонозвоздушной смеси концентрация озона изменялась в диапазоне $5...15 \text{ мг/м}^3$ в зависимости от режима работы озонатора и времени обработки. Расход агента дезинсекции составлял $1,0 \text{ м}^3/\text{ч}$. Обработку проводили в течение часа при температуре окружающего воздуха $+25^\circ\text{C}$. В результате исследований получены данные, представленные в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Выживаемость амбарного долгоносика и зерновой моли после часовой озонной дезинсекции вредителей

Вредитель	Время после обработки, час	Всего, шт	Парализованные и мёртвые особи		Живые особи	
			Количество, шт	%	Количество, шт	%
Амбарный долгоносик	1	165	142	86,1	23	13,9
	18		147	89,1	18	10,9
	115		160	97,0	5	3,0
Зерновая моль	1	21	19	90,5	2	9,5
	18		21	100	0	0
Гусеницы зерновой моли	1	4	1	25	3	75
	18		2	50	2	50
	115		3	75	1	25

Анализ таблицы 5.10 показывает, что озонирование с концентрацией озона в озоновоздушной смеси $5...15 \text{ мг/м}^3$ 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. Все насекомые, которые после озонирования были не способные перемещаться, в последствии погибали. Поэтому парализованные вредители были отнесены к мёртвым. Некоторым насекомым удалось пережить озонную обработку, однако они находились под воздействием озона. Из-за этого зерновая моль не могла летать, а часть амбарных долгоносиков двигались рывками, после чего замирали на долгое время. Наибольшую устойчивость к озонированию проявили гусеницы. Лишь одна особь была парализована, а остальные достаточно энергично двигались даже вертикально по стеклу. Поскольку озон воздействует на плазму вредителей, то его действие наблюдалось и после озонирования. По прошествии 18 часов после обработки погибли ещё 5 амбарных долгоносиков, две последние особи зерновой моли, а также одна её гусеница. При этом высокую двигательную активность проявляли только 5 жуков. После 115 часов наблюдений ещё 13 амбарных долгоносиков и одна гусеница погибли [21]. Следовательно, часовое озонирование зернового материала с концентрацией озона в озоновоздушной смеси $5...15 \text{ мг/м}^3$ позволит уничтожить 97% жуков амбарного долгоносика, всю зерновую моль и около 75% её гусениц.

С целью определения эффективности озонной дезинсекции от других зерновых вредителей проанализируем результаты исследований, проведённых во Всероссийском научно-исследовательском институте зерна и продуктов его переработки [71, 76, 142, 180]. Г.А. Закладной и Е.К.М. Саеед полностью уничтожили всех рисовых долгоносиков за 4 часа озонирования при концентрации озона в озоновоздушной смеси 70 мг/м^3 . При этом амбарные долгоносики проявили чуть большую устойчивость к озонной обработке, продержавшись на 60 минут дольше, т.е. 5 часов [180]. Следовательно, проведённые исследования в ВНИИЗ и Воронежском ГАУ вполне согласуются. Однако, учитывая последствие озона на на-

секомых, концентрацию газа целесообразно сокращать, а обработку производить с определённой периодичностью.

Зернового точильщика учёным ВНИИЗ удалось полностью уничтожить за 15 часов озонирования и 10 дней наблюдений. Из наиболее распространённых вредителей наибольшую устойчивость к озону проявляли особи малого мучного хрущака и суринамского мукоёда. Двадцатичасовое озонирование при концентрации озона в озонородной смеси 70 мг/м^3 сократило их количество лишь на половину. Однако увеличение содержания газа в 20 раз способствовало полному уничтожению малого мучного хрущака и суринамского мукоёда в течение часа обработки [180].

Часть продезинфицированных особей вредителей в результате воздействия озона стерилизуется, что влияет на снижение численности их потомства. Г.А. Закладной и Е.К.М. Саяед установили, что плодовитость жуков рисового и амбарного долгоносиков, которым удалось выжить после получасового озонирования при концентрации озона 70 мг/м^3 , снижается на 46 и 19% соответственно [180].

Известны [71, 142, 180] исследования по изучению эффективности озонной дезинсекции на вредителей в преимагинальных стадиях развития. При относительно невысокой концентрации озона в озонородной смеси, равной 20 мг/м^3 , для гибели яиц рисового долгоносика потребовалось 20 дней обработки. При этом амбарного долгоносика удалось уничтожить за 55 суток дезинсекции. В этих же условиях для гибели личинок данных вредителей потребовалось 14 и 16 дней обработки соответственно. Куколки рисового и амбарного долгоносиков уничтожались за 35 и 46 суток озонной дезинсекции. Десятикратное увеличение концентрации озона в озонородной смеси до 200 мг/м^3 значительно сократило время обработки. Для уничтожения яиц рисового и амбарного долгоносиков следует проводить дезинсекцию в течение 1 и 1,5 дней соответственно. В заданных условиях для гибели личинок данных вредителей потребуется 11 и 1,7 суток озонной обработки. Куколок рисового и амбарного долгоносиков удалось уничтожить за 15 и 9 дней дезинсекции соответственно. Дальнейшее увеличение концентрации озона в озонородной смеси до 1400 мг/м^3 позволило уничтожить рассматри-

ваемых вредителей на всех преимагинальных стадиях их развития максимум за 9 часов озонирования. При этом яйца рисового и амбарного долгоносиков погибали за 0,15 и 0,05 суток озонной обработки соответственно, личинки – за 0,03 и 0,35 дня дезинсекции, куколки – за 0,16 и 0,21 дня [180]. Вредители, развивающиеся в межзерновом пространстве, быстрее уничтожаются в преимагинальных стадиях посредством озонирования. Для гибели личинок малого мучного хрущака при высокой концентрации озона 1400 мг/м^3 необходимо менее 45 мин дезинсекции. Яйца данного вредителя полностью уничтожались за полтора часа озонной обработки. Куколки малого мучного хрущака через 90 мин дезинсекции погибли на 83%. После 4 часов обработки данный вредитель был полностью истреблён в любых стадиях преимагинального развития [180].

В Костромской государственной сельскохозяйственной академии исследовали влияние озона на изменение численности бактерий на семенах. При этом концентрация газа варьировала в диапазоне $1 \dots 18 \text{ г/м}^3$, а экспозиция составляла 20 и 30 мин. При двадцатиминутном озонировании численность бактерий снижалась от 12,3 до 54,8% в зависимости от их исходного количества. Получасовая озонная обработка уменьшала данный показатель уже на 80...88% [236].

Таким образом, озонная обработка с концентрацией озона в озонозвоздушной смеси $5 \dots 15 \text{ мг/м}^3$ в течение часа при температуре окружающего воздуха $+25^\circ\text{C}$ в дальнейшем позволит истребить 97% жуков амбарного долгоносика, всю зерновую моль и около $\frac{3}{4}$ её гусениц. Поскольку полученные результаты согласуются с проведёнными ранее исследованиями [71, 180, 236], то при дезинсекции других микроорганизмов нет необходимости проводить дополнительные эксперименты, а следует воспользоваться рекомендациями данных учёных. Для снижения заражённости зернового материала при его длительном хранении необходимо озонирование проводить при небольших концентрациях озона в диапазоне $5 \dots 70 \text{ мг/м}^3$ с учётом производительности озонатора на протяжении до 55 суток в зависимости от стадии развития вредных насекомых. В случае дезинсекции зерна при его краткосрочном содержании или транспортировании содержание газа в озонозвоздушной смеси необходимо увеличить до 200 мг/м^3 . При этом озонную обра-

ботку следует проводить от нескольких часов до 15 суток в зависимости от стадии развития вредителей. В экстремальных случаях необходимо применять высококонцентрированное озонирование. В данных условиях содержание газа в озонвоздушной смеси следует увеличить свыше 1 г/м^3 , а экспозицию сократить до продолжительности от нескольких минут до 5 часов. Во всех случаях, чем выше концентрация озона, тем меньшее время следует проводить озонную обработку. При озонировании зернового материала необходимо обеспечить безопасность процесса.

5.5 Влияние способа хранения посевного материала в силосном зернохранилище на качественные показатели семян

Влияние процесса озонирования при хранении семян в силосном зернохранилище на их качественные показатели практически не изучено. Данные исследования проводили на экспериментальных силосах (см. рисунок 4.6) согласно методике, описанной в подразделе 4.3.5.

Семена кукурузы закладывались на хранение в конце зимы, незадолго до наступления постоянных перепадов температуры воздуха вокруг 0°C . До этого момента зерно находилось в отапливаемом помещении, из-за чего его влажность была близка к минимально допустимым значениям. Данный временной отрезок был выбран как наиболее неблагоприятный при хранении зернового материала, поскольку частые перепады температуры воздуха способствуют отпотеванию стенок металлического силоса, а выпадающие осадки из снега переходят в дождь. Всё это негативно сказывается на изменении влажности зерна, хранящегося внутри силосного зернохранилища. Экспериментальный силос имеет небольшой диаметр, из-за чего весь зерновой материал подвергается воздействию погодно-климатических условий через его металлические стенки. Именно в данный период наиболее вероятно снижение посевных качеств семян. Поэтому в этот момент рационально провести соответствующие исследования по определению возможности хранения посевного материала в силосных зернохранилищах. Озонную обработку или вентилирование семян в силосе проводили в течение часа один раз в неделю до момента наступления устойчи-

вой положительной температуры воздуха. Расход агента составлял $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$. Концентрация озона в озонозодушной смеси варьировала в диапазоне от 15 до $20 \text{ мг}/\text{м}^3$. Определение посевных качеств семян проводилось один раз в две недели.

Изменение качественных показателей семян кукурузы при их хранении в металлическом силосе в зависимости от способа аэрации представлено в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – 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), %		
Способ обработки	С озоном	Воздухом	Без обработки	С озоном	Воздухом	Без обработки	С озоном	Воздухом	Без обработки
Дата	С озоном	Воздухом	Без обработки	С озоном	Воздухом	Без обработки	С озоном	Воздухом	Без обработки
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, $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$								
28.02.2019	10,3	10,6	11,6	-	-	-	-	-	-
05.03.2019	Обработка, 1 час, $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$								
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, $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$								
14.03.2019	11,1	11,1	10,6	-	-	-	-	-	-
19.03.2019	Обработка, 1 час, $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$								
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 таблицы 5.11 показал, что внутри силосного зернохранилища зерновой материал через металлические стенки подвергается воздействию погодноклиматических условий. При выпадении осадков или частых колебаниях температуры воздуха вокруг 0°C 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 погодноклиматических условий [26]. 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 5.13.

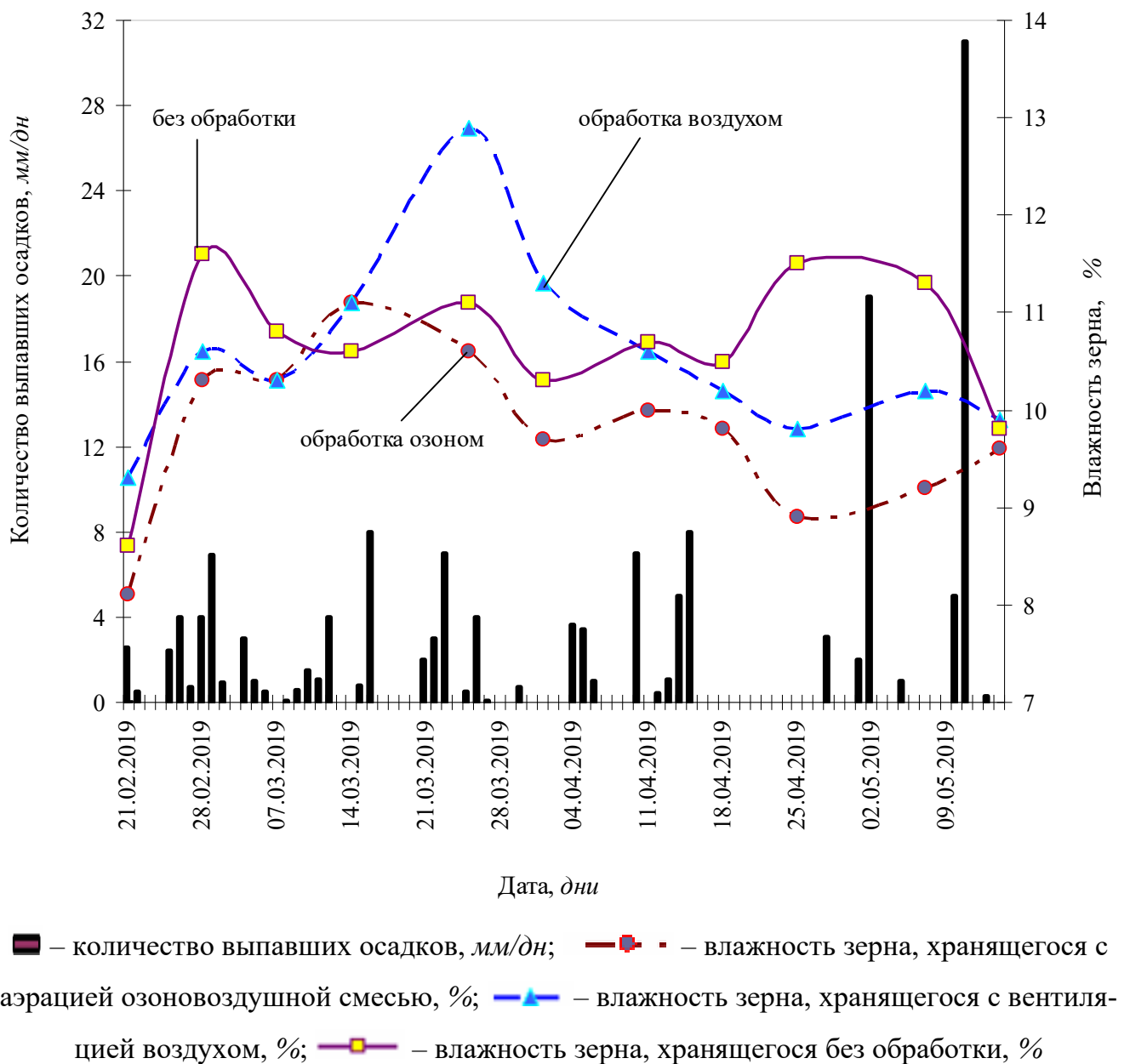


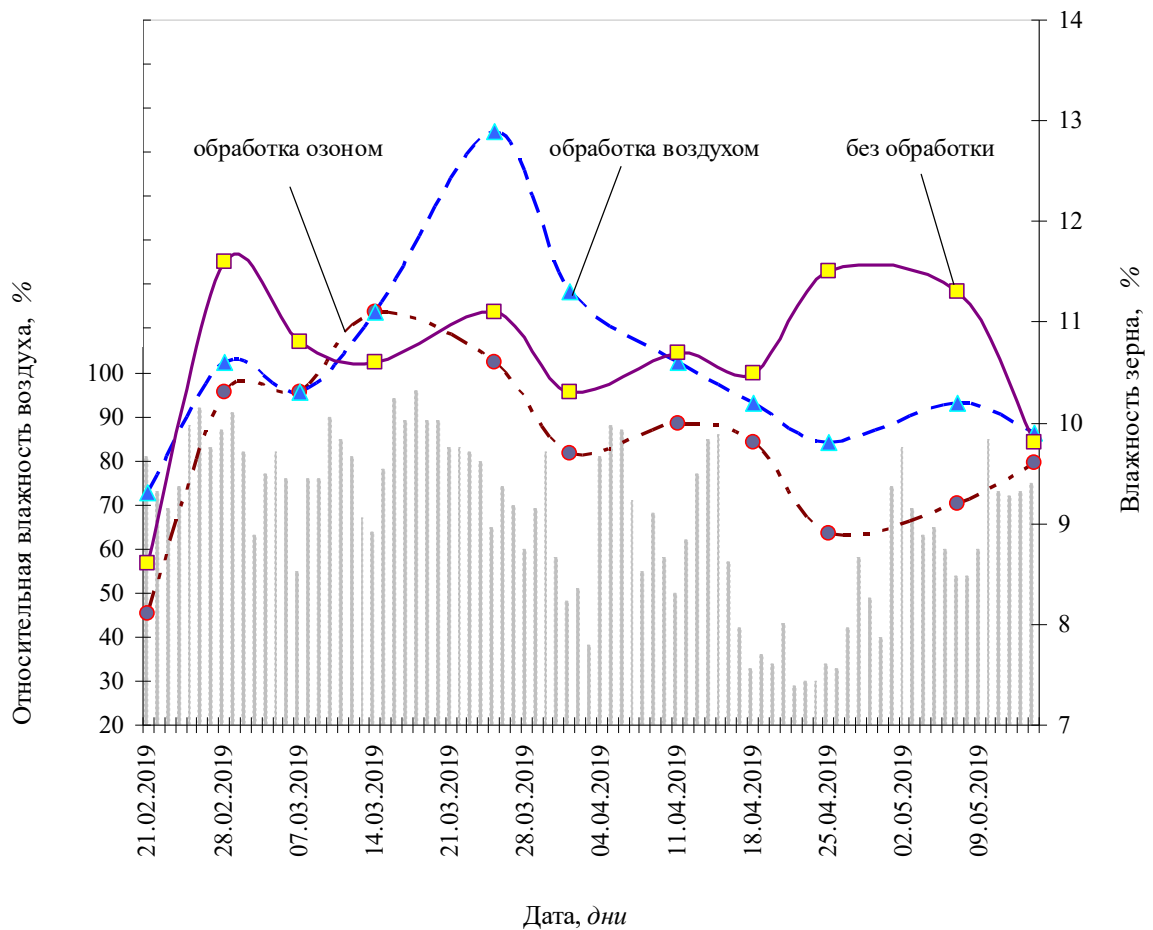
Рисунок 5.13 – Изменение влажности зерна кукурузы внутри силосного зернохранилища в зависимости от способа обработки и периода хранения

Анализ рисунка 5.13 показал, что влажность зерна внутри лабораторного силосного зернохранилища изменяется в зависимости от погодно-климатических условий. После закладки опыта за первую неделю наблюдений суммарно выпало *14,2 мм* осадков или *14,2 л* воды на *1 м²*. Это способствовало увеличению влажности зерна внутри лабораторных силосных зернохранилищ от *1,3* до *3,0%* в зависимости от его исходного состояния и варианта аэрации. Причём наибольшее значение наблюдалось у неветилируемого силоса, что говорит о том, что любая аэрация благоприятно сказывается на состоянии хранящегося зернового материала. За вторую неделю наблюдений суммарно выпало *12,3 мм* воды. Чуть меньшее количество осадков отразилось на стабилизации влажности зерна внутри лабораторных силосов относительно предыдущей отметки и даже небольшого её снижения до *0,8%*. В течение третьей недели наблюдений суммарно выпало только *7,3 мм* осадков. В вентилируемых вариантах эксперимента влажность зерна незначительно увеличилось на *0,8%*, а в неветилируемом силосе даже снизилось на *0,2%*. В целом можно говорить о стабилизации данного показателя, поскольку используемый влагомер «Wile-65» имеет погрешность измерения $\pm 0,5\%$. За следующую неделю наблюдений суммарно выпало *21,3 мм* осадков. При этом в неветилируемом силосе влажность зерна увеличилась незначительно на *0,5%*. Вентиляция силосного зернохранилища влажным атмосферным воздухом способствовало только увеличению содержания влаги в зерновом материале на *1,8%*. Аэрация лабораторного силоса озоновоздушной смесью благоприятно сказалась на состоянии хранящегося зерна, поскольку его влажность незначительно снизилась на *0,5%*. Это объясняется тем, что озон способствовал ослабеванию химических связей молекул воды с органическими компонентами зерновки, что позволило воздушному потоку унести часть избыточной влаги. Тем самым подтверждается суждение, что во влажную погоду хранящееся зерно лучше вообще не вентилировать, чем использовать неосушенный атмосферный воздух. При этом аэрация зернового материала озоновоздушной смесью негативных факторов по его переувлажнению не вызвала. За следующую неделю наблюдений выпало всего *4,8 мм* осадков. Наряду с возрастающей температурой воздуха это способствовало сни-

жению влажности зерна во всех вариантах опыта на $0,8...1,6\%$. За следующую неделю наблюдений выпало 15 мм осадков. Это отразилось на незначительном повышении влажности зерна в невентилируемом и озонируемом силосе на $0,4\%$ и $0,3\%$ соответственно. В силосном зернохранилище, аэрируемом воздухом, из-за резкого повышения содержания влаги в зерновом материале в предыдущий период данный показатель на текущий момент даже снизился на $0,7\%$. За следующую неделю наблюдений выпало практически столько же осадков – $14,5\text{ мм}$. Однако повышающаяся температура воздуха при одновременно снижающейся его относительной влажности способствовала стабилизации состояния хранящегося зернового материала. Во всех вариантах опыта отмечено незначительное снижение влажности зерна на $0,2...0,4\%$. На протяжении следующей недели эксперимента осадков не наблюдалось. Благодаря этому влажность зерна в вентилируемых воздухом и озоновоздушной смесью силосах снижалась на $0,4$ и $0,9\%$ соответственно. Однако в необрабатываемом силосном зернохранилище содержание влаги в зерновом материале увеличилось на 1% . Это ещё раз подчеркивает непредсказуемость биохимических процессов внутри силоса при отсутствии управляемой системы аэрации и необходимости её установки. В течение предпоследней недели наблюдений суммарно выпало $25,1\text{ мм}$ осадков. Однако высокая температура воздуха и прямые солнечные лучи нагревали стенки силоса. Это способствовало варьированию влажности зерна вокруг предыдущих значений на *минус* $0,2\%$ и *плюс* $0,4\%$, что вполне укладывается в погрешность измерений. В последнюю неделю наблюдений суммарно выпало $36,3\text{ мм}$ воды. Даже столь значительное количество осадков не привело к значительному изменению влажности зерна в вентилируемом воздухом и озоновоздушной смесью силосе. Это позволяет утверждать, что при высоких положительных температурах воздуха количество выпавших осадков не играет решающей роли в изменении состояния зернового материала внутри силосного зернохранилища. Прямые солнечные лучи нагревают стенки силоса, тем самым, позволяя компенсировать переувлажнение зерна от неблагоприятных погодных условий. С учётом этого, а также наступлением посевных работ дальнейшие наблюдения проводить не было необходимости.

В целом наименьший разброс в 3% между минимальными и максимальными значениями влажности зерна внутри металлического силоса наблюдается у материала, хранящегося с озонной аэрацией, а наибольший – при вентилировании атмосферным воздухом. Можно отметить, что погодно-климатические условия влияют на состояние продукта в силосном зернохранилище в пристенных слоях. Однако на протяжении всего эксперимента влажность зерна имеет допустимые значения, если изначально оно было сухим.

Примерно такую же динамику имеет изменение влажности зерна внутри силосного зернохранилища в зависимости от способа обработки и относительной влажности воздуха (рисунок 5.14).



■ – относительная влажность воздуха, %; —■— — влажность зерна, хранящегося с аэрацией озонородной смесью, %; —▲— — влажность зерна, хранящегося с вентилированием воздухом, %; —■— — влажность зерна, хранящегося без обработки, %

Рисунок 5.14 – Изменение влажности зерна кукурузы внутри силосного зернохранилища в зависимости от способа обработки и относительной влажности воздуха

Анализ рисунка 5.14 показал, что влажность зерна внутри лабораторного силосного зернохранилища зависит от относительной влажности воздуха во всех исследуемых вариантах. Минимальные и максимальные значения соответствуют друг другу. В целом тенденции изменения влажности зерна в зависимости от количества выпавших осадков и относительной влажности воздуха совпадают, поэтому дополнительно анализировать их нет смысла.

Изменение влажности зерна внутри лабораторного силосного зернохранилища в зависимости от способа обработки и средней температуры дня представлено на рисунке 5.15.

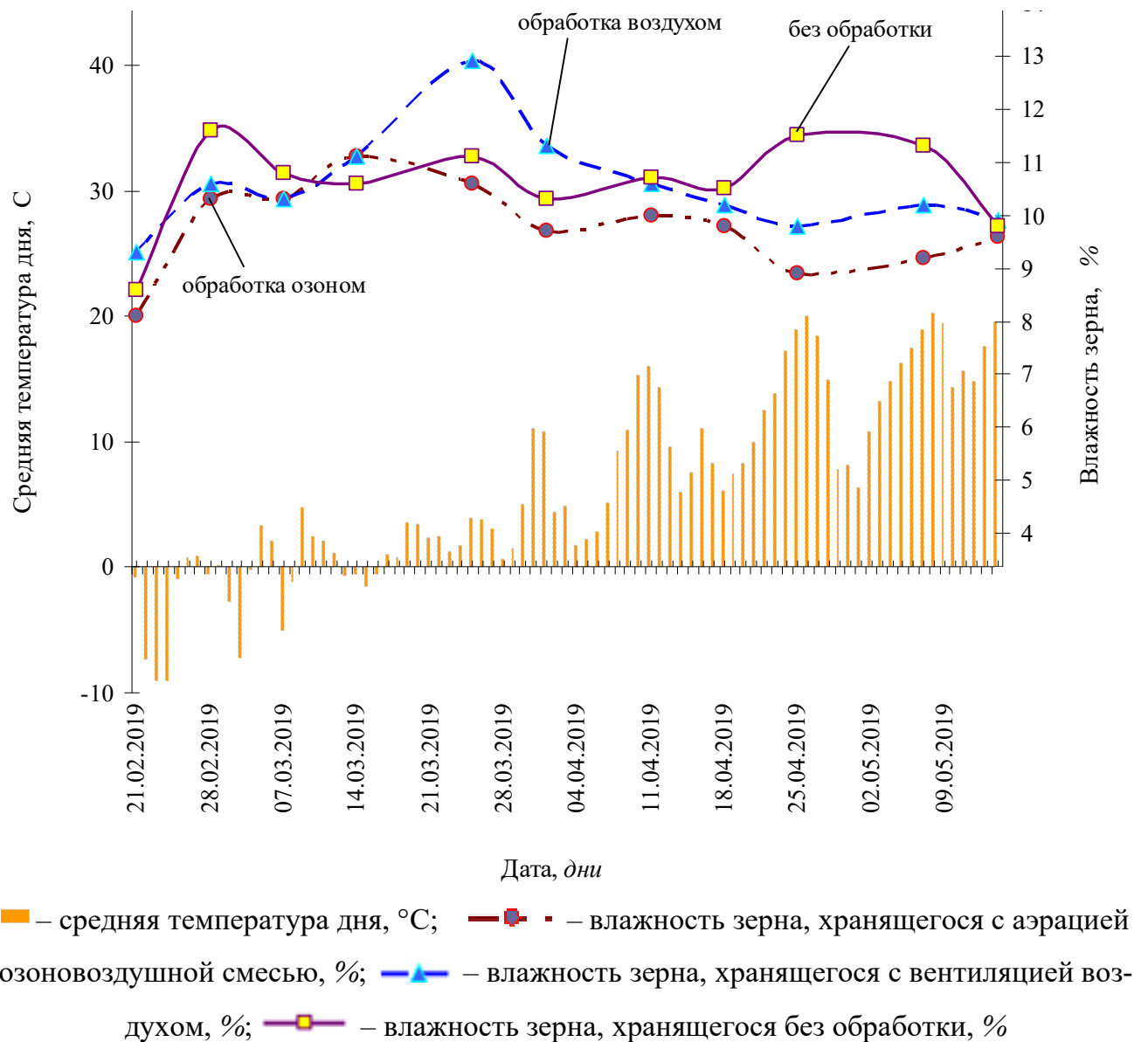


Рисунок 5.15 – Изменение влажности зерна кукурузы внутри силосного зернохранилища в зависимости от способа обработки и средней температуры дня

Анализ рисунка 5.15 показал, что влажность зерна внутри лабораторного силосного зернохранилища зависит от средней температуры дня. Однако морозы в меньшей степени влияют, чем жаркие дни. Низкие температуры практически не способствуют снижению влажности зерна, поэтому в данный момент наибольшее влияние оказывают количество выпавших осадков и относительная влажность воздуха. Жаркие дни с прямыми солнечными лучами нагревают стенки силоса, снижая содержание влаги в хранящемся зерновом материале. Поэтому при высоких температурах, которыми можно считать значения более $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, количество выпавших осадков не оказывает решающего значения. Однако выявить тенденцию изменения влажности зерна в зависимости от погодных условий при однофакторном эксперименте сложно. Следовательно, полученные данные необходимо дополнительно обработать на персональном компьютере, используя многофакторный анализ и соответствующее программное обеспечение.

Усреднённые данные погодных условий, наблюдаемых в период хранения семян кукурузы в экспериментальных конических силосных зернохранилищах, представлены в таблице 5.12, а более подробные – в приложении Д [172].

Таблица 5.12 – Усреднённые погодные условия в период хранения семян кукурузы в экспериментальных конических силосных зернохранилищах

Период	Количество выпавших осадков за период, $N_{ос}, \text{мм}$	Средняя относительная влажность воздуха, $W_{в}, \%$	Средняя температура воздуха, $T_{в}, ^{\circ}\text{C}$	Влажность зерна в силосах при хранении, $W_{з}, \%$		
				с озонном	с воздухом	без обработки
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 5.12 данных, осуществляли посредством применения программного пакета «*Statistica 6.1*» раздел «множественная регрессия». В результате выявлено, что при хранении семян кукурузы в экспериментальном силосе, обрабатываемом озоновоздушной смесью, их влажность в зависимости от количества выпавших осадков, средней относительной влажности воздуха и средней температуры воздуха за период наблюдений описывается следующим уравнением

$$W_3^{O_3} = 10,12034 - 0,09026 \cdot T_{\text{ср}} + 0,00036 \cdot N_{\text{ос}} \cdot W_{\text{ср}}, \quad (5.11)$$

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

$T_{\text{ср}}$ – средняя температура воздуха за период наблюдений, °C;

$N_{\text{ос}}$ – суммарное количество осадков выпавших за период наблюдений, мм;

$W_{\text{ср}}$ – средняя относительная влажность воздуха за период наблюдений, %.

Коэффициент множественной корреляции R полученного уравнения регрессии составляет 0,9. Прочие статистические сведения о результатах анализа зависимости 5.11 приведены в приложении Е.

Влажность зерна, хранящегося в экспериментальном силосе, вентилируемом атмосферным воздухом, в зависимости от количества выпавших осадков, средней относительной влажности воздуха и средней температуры воздуха за период наблюдений описывается следующим уравнением

$$W_3^B = 9,565033 - 0,184633 \cdot T_{\text{ср}} + 0,001463 \cdot N_{\text{ос}} \cdot W_{\text{ср}} - 0,011285 \cdot N_{\text{ос}} \cdot T_{\text{ср}} + 0,005749 \cdot W_{\text{ср}} \cdot T_{\text{ср}}, \quad (5.12)$$

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

Коэффициент множественной корреляции R полученного уравнения регрессии составляет 0,86. Прочие статистические сведения о результатах анализа зависимости 5.12 приведены в приложении Ж.

Влажность зерна, хранящегося в экспериментальном силосе без аэрации, в зависимости от количества выпавших осадков, средней относительной влажности

воздуха и средней температуры воздуха за период наблюдений описывается следующим уравнением

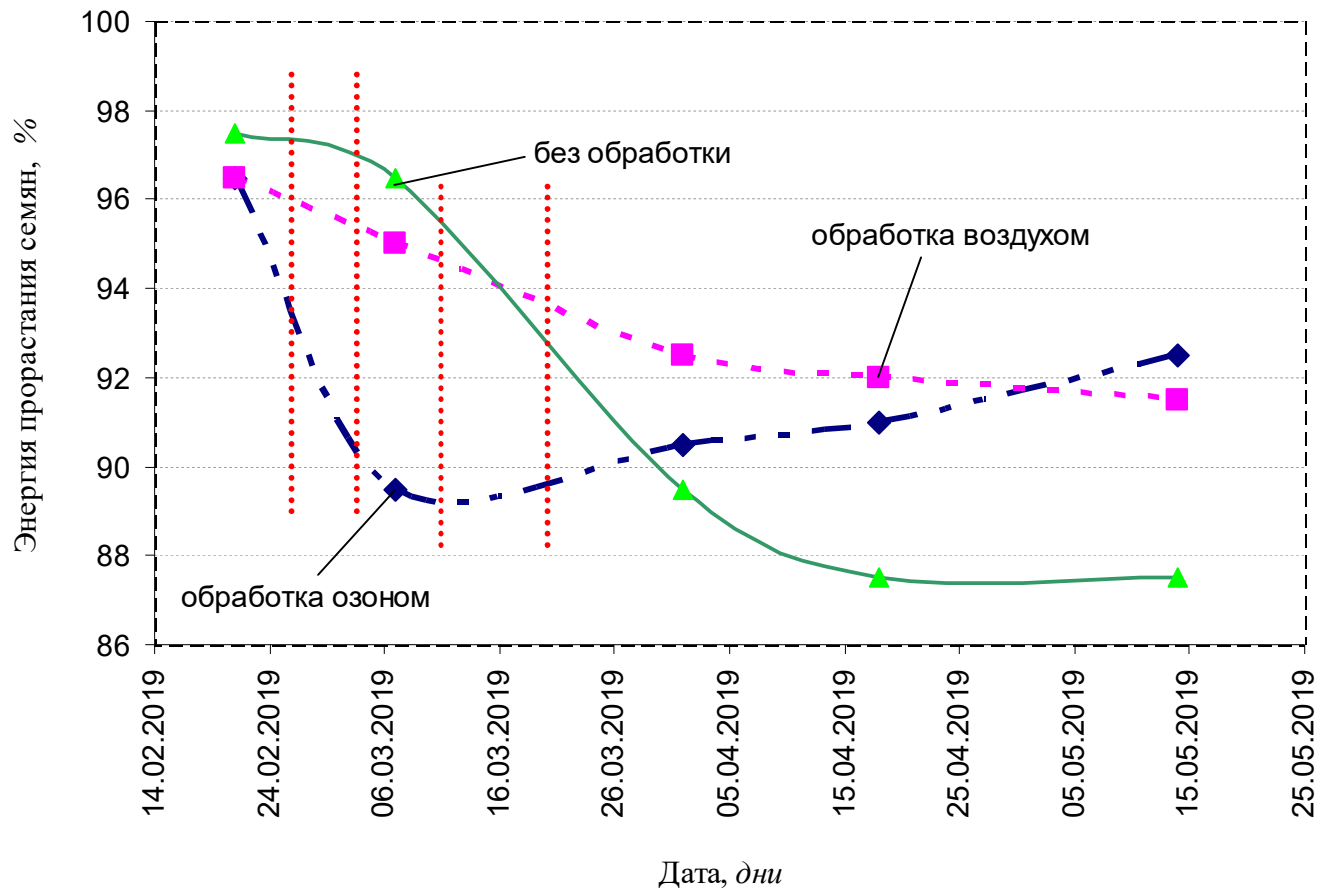
$$W_3^{нет} = 17,76372 - 0,26349 \cdot T_g + 0,11447 \cdot N_{oc} - 0,10499 \cdot W_g, \quad (5.13)$$

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

Коэффициент множественной корреляции R полученного уравнения регрессии составляет 0,84. Прочие статистические сведения о результатах анализа зависимости 5.13 приведены в приложении 3.

Анализ уравнений 5.11-5.13 показал, что основным фактором, влияющим на влажность хранящегося внутри экспериментальных силосов зерна, является температура воздуха. Данный показатель во всех вариантах опыта оказывает обособленное действие. При хранении зерна без какой-либо аэрации (зависимость 5.13) количество выпавших осадков и относительная влажность воздуха также разобщённо воздействуют на влажность хранящегося зерна. Периодическое озонирование способствует 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, хранящегося в экспериментальном силосе, статистически значимое воздействие (зависимость 5.11). Вентилирование зернового материала внутри силосного зернохранилища способствует удалению части влаги. Поэтому действие двух факторов ослабевает, а именно: количество выпавших осадков и относительная влажность воздуха. Однако произведение всех исследуемых параметров между собой имеют статистически значимые величины (зависимость 5.12). Следовательно, обобщая результаты исследований, можно констатировать, что наиболее рациональным способом аэрации зерна в экспериментальных металлических силосах является периодическое озонирование зернового материала, т.к. воздействие негативных погодных условий в виде выпавших осадков и высокой относительной влажности воздуха сведены к минимуму, а наибольшее влияние на влажность хранящегося в силосных зернохранилищах продукта оказывает температура окружающей среды.

В зависимости от способа аэрации металлических силосов качественные показатели посевного материала в зависимости от времени хранения изменяются по-разному. Изменение энергии прорастания семян кукурузы в зависимости от времени хранения и способа аэрации посевного материала в экспериментальном силосном зернохранилище представлено на рисунке 5.16.



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

Рисунок 5.16 – Изменение энергии прорастания семян кукурузы в зависимости от времени хранения и способа аэрации посевного материала в экспериментальных силосных зернохранилищах

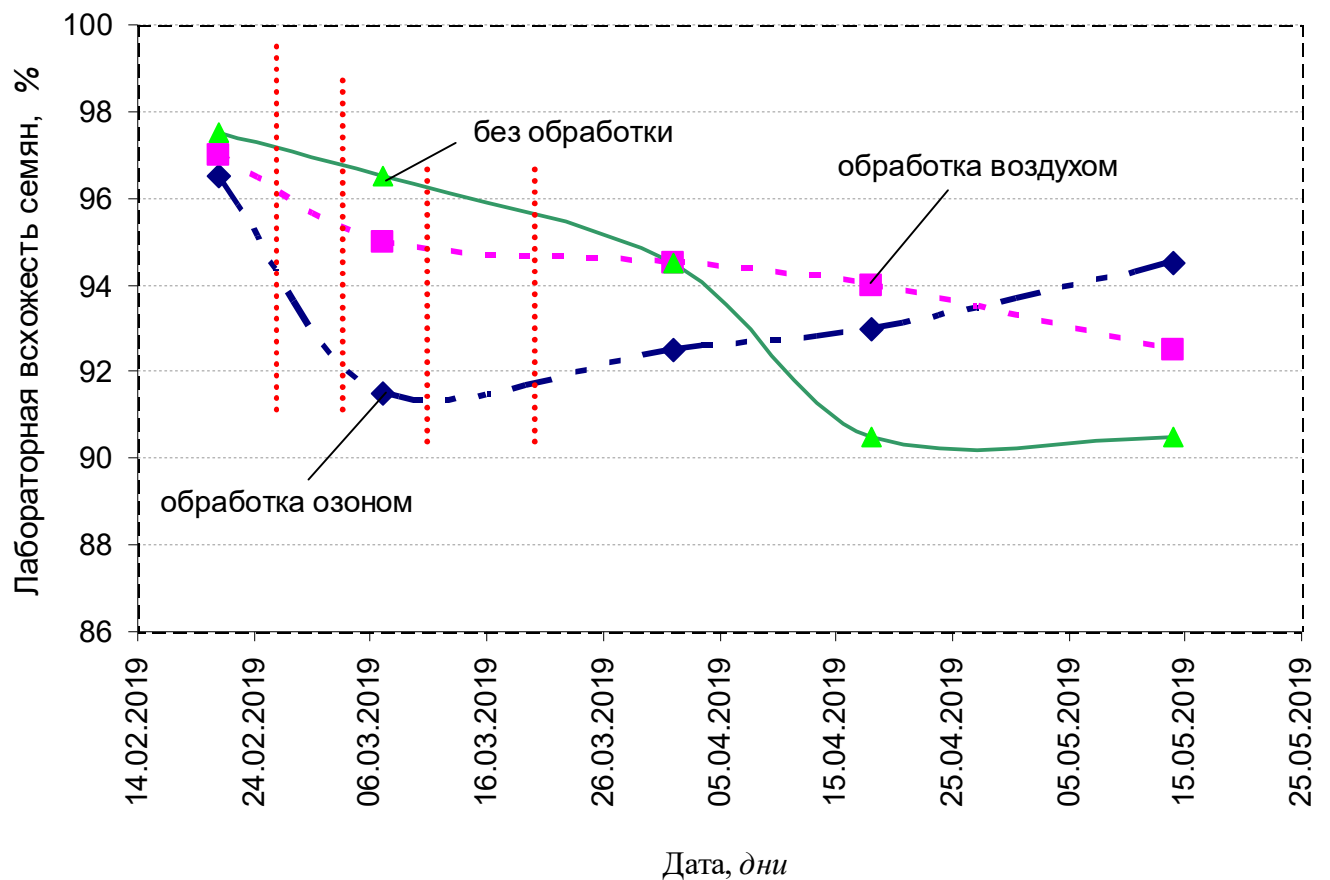
Анализ таблицы 5.11 и рисунка 5.16 показал, что энергия прорастания про-озонированных семян после двукратной озонной обработки снизилась на 7%, что объясняется защитной реакцией зародыша на внешнее воздействие газа. При этом в посевном материале, вентилируемом атмосферным воздухом или вообще не об-

рабатываемом, за две недели эксперимента данный показатель снизился на 1,5 и 1,0% соответственно. Однако в дальнейшем энергия прорастания семян в данных вариантах опыта неумолимо снижалась. За следующие три недели эксперимента силосные зернохранилища дважды аэрировались. В силосе, не подвергающемся какой-либо обработке за данный период, энергия прорастания хранящихся семян снизилась на 7%. Аэрация силосного зернохранилища воздухом поспособствовала менее пагубному воздействию внешних условий на посевной материал. Однако за тот же период энергия прорастания хранящихся семян снизилась на 2,5%. При этом двукратное озонирование посевного материала внутри металлического силоса поспособствовало его дезинфекции. Поскольку после последней озонной обработки прошло 12 дней, то семена успели отлежаться. Поэтому в посевном материале активизировались ростовые процессы. Это отразилось в небольшом повышении энергии прорастания проозонированных семян на 1%. В дальнейшем отмечена стабилизация погодных условий, из-за чего аэрация всех силосов больше не применялась. При этом энергия прорастания необрабатываемых семян за следующие две недели эксперимента снизилась на 2%. В то время как у посевного материала, ранее вентилируемого внутри силоса воздухом, данный параметр уменьшился на 0,5%. За тот же период в силосных зернохранилищах, аэрируемых озоновоздушной смесью отмечено увеличение энергии прорастания проозонированных семян на 0,5%. За следующий месяц эксперимента посевной материал, хранящийся в вариантах опыта без обработки и с вентилированием воздуха, практически не изменил своих кондиций. В то время как в ранее проозонированном силосе отмечено повышение энергии прорастания хранящихся семян на 1,5%.

Всего за три месяца наблюдений наибольшее снижение качественных показателей посевного материала зафиксировано в опыте без аэрации, а наименьшее – в варианте с периодическим озонированием. В конечном итоге энергия прорастания проозонированных семян за время хранения снизилась на 4%. При этом отмечена положительная динамика увеличения данного параметра по мере отлёжки посевного материала после озонной обработки. В вентилируемом воздухом силосе энергия прорастания семян за три месяца эксперимента снизилась на 5,5%. При

этом отмечена отрицательная динамика данного параметра по мере хранения посевного материала. В необрабатываемом силосе энергия прорастания семян снизилась за тот же период на $10,0\%$. Следовательно, озонная обработка посевного материала во время его хранения в металлических силосах более предпочтительна, чем вентиляция воздухом или отсутствие аэрации.

Изменение лабораторной всхожести семян в зависимости от времени хранения и способа аэрации экспериментальных силосов представлено на рисунке 5.17.



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

Рисунок 5.17 – Изменение лабораторной всхожести семян кукурузы в зависимости от времени хранения и способа аэрации посевного материала в экспериментальных силосных зернохранилищах

Анализируя таблицу 5.11 и рисунок 5.17, можно отметить, что изменения лабораторной всхожести семян очень похожи на изменения их энергии прорастания, но с другими значениями этого показателя. Так после двукратной озонной обработки лабораторная всхожесть снизилась на 5%, тогда как после вентиляции обычным воздухом или вообще без неё за те же две недели опыта снижение лабораторной всхожести составило 2 и 1% соответственно. Преимущество озонной обработки стало проявляться в последующие три недели после очередных двукратных аэрации и озонирования. Семена без всякой обработки снизили лабораторную всхожесть на 2%, аэрированные атмосферным воздухом – на 0,5%, а озонированные семена повысили этот показатель на 1%.

В последующие сроки погода стабилизировалась, и аэрация силосов была прекращена. Но последствия воздушных и озонных обработок продолжали проявляться. Лабораторная всхожесть необработанных семян за следующие две недели эксперимента снизилась на 4%. У аэрированных воздухом семян она снизилась на 0,5%, а озонированные семена увеличили свою лабораторную всхожесть на 0,5%.

В течение следующего месяца посевной материал, хранящийся в силосе без аэрации, не изменил своих кондиций. В варианте опыта с вентилированием семян воздухом их лабораторная всхожесть снизилась на 1,5%. Ранее проозонированные семена повысили данный показатель на 1,5%.

Трёхмесячный срок эксперимента выявил преимущество периодического озонирования семян в процессе хранения по показателю их лабораторной всхожести. Она снизилась только на 2%. Воздушная вентиляция привела к снижению лабораторной всхожести на 4,5%, а отсутствие всякой аэрации – к 7%.

Следовательно, по показателю лабораторной всхожести озонная обработка посевного материала во время его хранения в металлических силосах более предпочтительна, чем вентиляция воздухом или отсутствие аэрации.

Для подтверждения результатов лабораторных исследований был проведён полевой опыт, результаты которого представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Полевая всхожесть семян кукурузы в зависимости от способа аэрации силосного зернохранилища

Дата	Количество семян или всходов (в лаборатории)						Полевая всхожесть семян, %		
	Хранение с озоном		Хранение с воздухом		Хранение без обработки		Хранение с озоном	Хранение с воздухом	Хранение без обработки
	<i>шт</i>	%	<i>шт</i>	%	<i>шт</i>	%			
14.05.19 <i>посев</i>	200	-	200	-	200	-	-	-	-
21.05.19 в <i>лаборатории</i>	(189)	(94,5)	(185)	(92,5)	(181)	(90,5)	(94,5)	(92,5)	(90,5)
21.05.19	136	68	134	67	106	53	72	72	59
25.05.19	146	73	136	68	116	58	77	74	64
27.05.19	147	73,5	137	68,5	120	60	78	74	66
31.05.19	146	73	133	66,5	122	61	77	72	67

Анализ таблицы 5.13 показал, что полевая всхожесть семян значительно отличается от лабораторного аналога. 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 [53]. В результате выявлено, что через неделю после посева полевая всхожесть семян при всех способах предварительной аэрации на 20,5...31,5% ниже лабораторного аналога. Однако, несмотря на благоприятные погодные условия, при которых в последующие сутки после высева выпало 21 мм осадков и температура воздуха имела оптимальные значения (приложение Д) [172], срок определения посевных качеств в поле очень мал. Поэтому в дальнейшем в течение двух недель следили за динамикой появления всходов. После 11 суток наблюдений полевая всхожесть семян изменялась незначительно. Несколько всходов 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 в период хранения воздушным потоком, составила 72%, что на 20,5% ниже лабораторного аналога. Об-

работка силосных зернохранилищ озоновоздушной смесью способствовала дезинфекции посевного материала и активизации ростовых процессов. При этом полевая всхожесть проозонированных семян составила 77%, что на 17,5% ниже лабораторного аналога. Следовательно, аэрация силосных зернохранилищ положительно сказывается на качестве хранящегося посевного материала. Озонирование имеет преимущество перед вентиляцией воздухом. 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 семян на 10% относительно посевного материала, хранящегося в силосах без аэрации. Вентилирование силосных зернохранилищ воздухом также уступает озонной обработке. Энергия прорастания проозонированных семян выше на 1%, лабораторная и полевая всхожесть семян – на 2 и 5% соответственно, чем у посевного материала, хранящегося в силосах с воздушной аэрацией. Отсюда можно сделать вывод, что озонирование позволяет обеспечить лучшую сохранность зерна и стабильность его качественных показателей, чем современные способы хранения зернового материала, предназначенного как для товарных, так и семенных целей.

5.6 Влияние способа хранения посевного материала в силосном зернохранилище на урожайность зерна и биологической массы кукурузы

Влияние способа хранения посевного материала в силосном зернохранилище на урожайность зерна и биологической массы практически не изучено. Данные исследования проводили в полевых условиях согласно методике, описанной в подразделе 4.3.6.

В результате полевого опыта получены результаты, представленные в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Влияние способа хранения посевного материала в силосном зерно-хранилище на урожайность зерна и биологической массы кукурузы

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

Анализ таблицы 5.14 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 семян, озонируемых в период хранения, 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*, количество растений на гектаре посевов составляет 86000 *шт*. Поэтому озонирование семян в пе-

риод хранения позволяет дополнительно получить 6880 початков с каждого гектара посевов, или на 6,7% больше. При этом биологическая масса у растений, выращенных из семян, озонируемых в период хранения, 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%. Данный эффект получен за счёт проведения предпосевного озонирования непосредственно в силосном зернохранилище. Масса зерна, полученного от растений, чьи семена в период хранения озонировались, на 13,4% превышает соответствующие значения контрольного образца. В пересчёте на гектар посевов озонирование семян в период хранения позволит дополнительно получить 9,3 ц/га.

Зерно, полученное в результате полевого опыта, посредством лабораторного отсева *РЛ-1* было разделено на фракционный состав в зависимости от его размерных характеристик и способа хранения посевного материала (таблица 5.15).

Таблица 5.15 – Фракционный состав зерна в зависимости от способа хранения посевного материала

Показатель	Процентное содержание зерна по фракциям, %				
	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5
Средний диаметр зерна во фракции, мм	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5
Зерно, полученное от семян, хранящихся без обработки	36,17	43,65	17,45	2,26	0,46
Зерно, полученное от семян, хранящихся с аэрацией воздухом	44,51	42,08	11,58	1,73	0,01
Зерно, полученное от семян, хранящихся с обработкой озоновоздушной смесью	44,56	42,56	11,28	1,33	0,27

Анализ таблицы 5.15 показал, что зёрна, собранные с растений, выращенных из семян, хранящихся с периодическим озонированием и вентилированием, имеют больший размер, чем в контрольном образце. На товарные и семенные цели отбирают зерно, имеющее диаметр более 7 мм. Суммарная доля крупной фракции в контрольном опыте, в котором семена при хранении не обрабатывались, составила 79,82%. В вариантах эксперимента с аэрацией хранящегося посевного материала воздухом и озоновоздушной смесью процентное содержание зерна с диамет-

ром более 7 мм составило 86,59 и 87,12% соответственно. Для фуражных целей используются мелкие фракции. Суммарное содержание зерна с диаметром менее 7,0 мм в контрольном образце составило 20,17%. В вариантах эксперимента с аэрацией хранящегося посевного материала воздухом и озоновоздушной смесью процентное содержание фуражного зерна составило 13,41 и 12,88% соответственно.

Следовательно, выход зерна товарного или семенного назначения при аэрации хранящегося посевного материала озоновоздушной смесью или воздухом выше, чем в контрольном варианте на 7,3 и 6,77% соответственно. Это позволит больше получать дорогостоящей продукции, что увеличит рентабельность производства зерновых культур.

Таким образом, озонирование посевного материала при хранении позволит увеличить урожайность зерна кукурузы при норме высева 6 шт/м на 9,3 ц/га. Выход дополнительной продукции обусловлен повышением количества початков на 6,7%, большей массой 1000 семян на 12,8% и большим выходом крупных фракций на 7,3%.

5.7 Выводы

1. Рациональный режим озонирования зернового вороха по накоплению и удержанию в нём озона предусматривает его концентрацию в подаваемой озоновоздушной смеси 25 мг/м^3 , продолжительность обработки не менее получаса, причём операцию следует проводить поэтапно, по 15 мин каждый, с перерывами между обработками до 10 мин. Определяющим фактором присутствия озона в зерновой смеси после отключения озонатора является не влажность зерна и не число циклов, а концентрация газа в подаваемой смеси.

2. Для повышения эффективности сушки зернового материала необходимо проводить предварительное озонирование 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.*

3. При исходной влажности зерна выше *25%* озонная обработка приводит к увеличению влажности вороха примерно на *4%*. Это объясняется тем, что часть избыточной влаги в зерновках связана с органическими субстанциями, а под влиянием озона эта влага переходит в свободное состояние и выходит на поверхность зерновки, так как вследствие воздействия озона происходит расширение межклеточных мембран и увеличение коэффициента диффузии. И хотя приборы регистрируют повышение влажности, она с открытой поверхности зерновки будет удалена быстрее.

4. При исходной влажности зерна менее *25%* озонная обработка способствует снижению данного показателя на величину до *1%*. Это объясняется тем, что количество влаги, выходящей на поверхность зерновки из её глубин, небольшое, и даже сам озонородный поток с его слабой скоростью движения успевает удалить эту влагу.

5. 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.* Если же исходная влажность зерна менее *25%*, то можно снимать до *4...6%* за один цикл в шахтных зерносушилках. Для этого сушку необходимо проводить на протяжении не менее *60...90 мин.* При снижении исходной влажности зерна эффективность 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. В целом наблюдается повышение эффективности влагоотдачи проозонированных зёрен при их сушке в *1,33...3,4 раза* в зависимости от культуры.

6. 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 зер-

носушилкой, 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.

7. Часовая озонная обработка с концентрацией озона $5...15 \text{ мг/м}^3$ 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 озонозовоздушной смеси в диапазоне $5...70 \text{ мг/м}^3$ на протяжении от нескольких часов до нескольких суток. С увеличением концентрации озона до 200 мг/м^3 время озонирования сокращается в $2...10$ раз. При повышении содержания данного газа в озонозовоздушной смеси свыше 1 г/м^3 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.

8. 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. Вентиляция 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.

9. Озонная обработка посевного материала, хранящегося в силосных зернохранилищах, позволит увеличить урожайность зерна кукурузы на $13,4\%$, или при норме высева 6 шт/м на $9,3 \text{ ц/га}$, 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 $28,4\%$.

6 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

6.1 Обоснование основных конструктивных и технологических параметров очистителя зерна фракционного ОЗФ-80

Одной из наиболее важных и сложных машин в предлагаемой линии послеуборочной обработки и хранения зернового материала является очиститель зерна фракционный *ОЗФ-80*. Подробное описание технологического процесса данного сепаратора представлено в разделе 3.2. Разработке очистителя *ОЗФ-80* посвящена диссертация на соискание учёной степени доктора сельскохозяйственных наук В.И. Оробинского [138], являющегося научным консультантом соискателя. Выполнение работы неразрывно связано с реализацией инновационного проекта №4691 «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» по программе «Старт» по теме «Разработка и организация производства технических средств для внедрения перспективной технологии послеуборочной подготовки высококачественных семян». На основании условий конкурса для выполнения данного проекта сотрудниками ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ было создано ООО «СемМаш», в коллектив которого входил соискатель, непосредственно участвуя в обосновании и уточнении технологических параметров очистителя *ОЗФ-80*, что подтверждено соответствующими научными работами [89, 183, 208].

Сотрудниками ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, входящим в состав коллектива ООО «СемМаш» при участии соискателя разработана техническая документация очистителя *ОЗФ-80*. Сепаратор прошел приёмочные государственные испытания в ФГУ «Центрально-Чернозёмная государственная зональная машиноиспытательная станция», на основе которых получены соответствующие протоколы №14-14-2006 (4070142) и №14-29-2017 (5070082) [169]. В конечном итоге ООО «Осколсельмаш», являющееся преемником ООО «ОсколАгро», или ранее ОАО «Агроремпромтехника», которое тесно сотрудничало с ООО «СемМаш» на этапе

проектировки данной зерноочистительной машины, налажено её серийное производство [141]. На очиститель зерна фракционный *ОЗФ-80/40/20* получены соответствующие сертификаты соответствия №СДС СХТ ПН.RU.OC01.H0150 и №РОСС RU.MC06.B01312 (Приложение И).

Основные размеры очистителя *ОЗФ-80* представлены на рисунке 6.1. Согласно данным завода-изготовителя, для установки сепаратора требуется пара продольных швеллеров № 16...20 ГОСТ 8240-97, сваренных коробом с расстоянием между их осями 1850 мм. Под опоры машины необходимо установить площадки из стального листа размером 300×300 мм и толщиной не менее 10 мм [141].

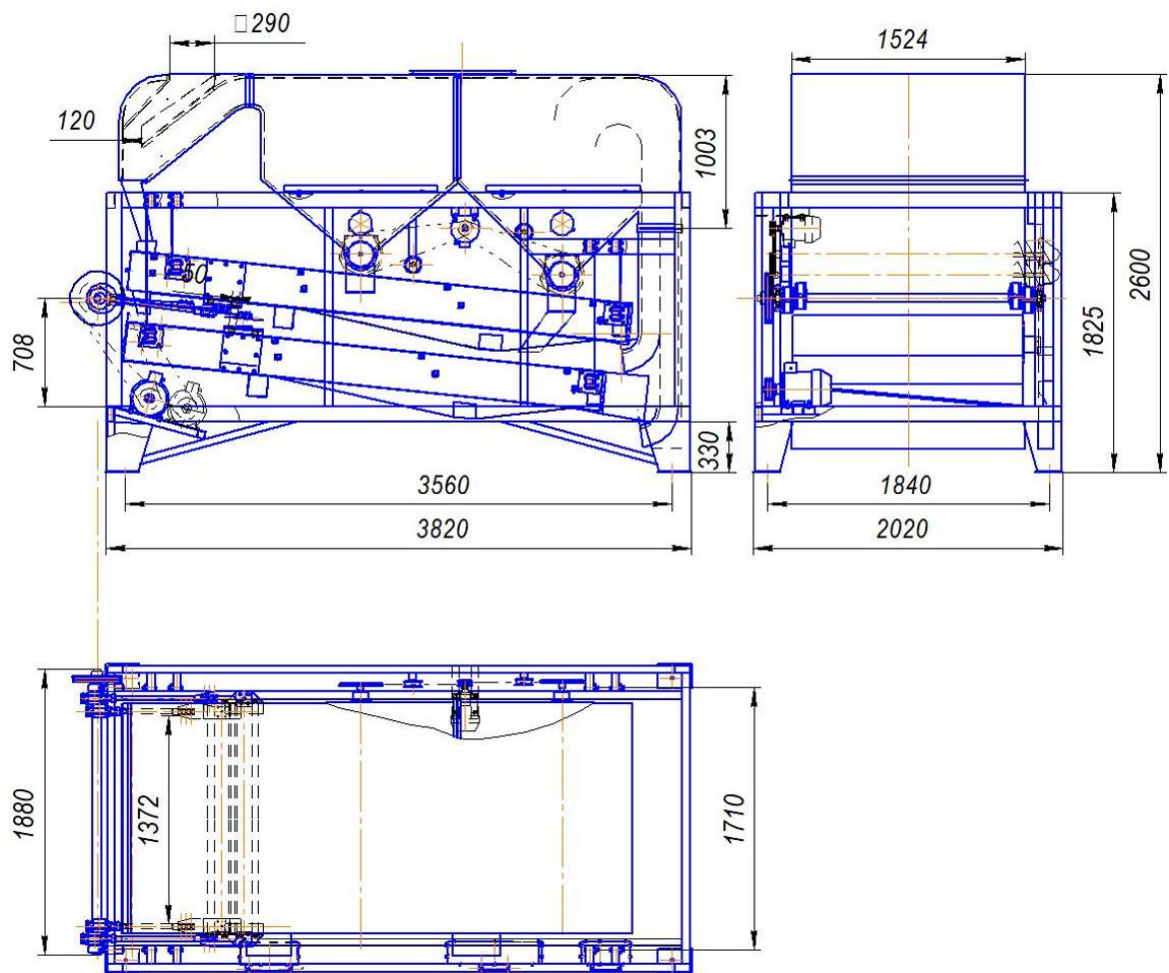


Рисунок 6.1 – Основные размеры очистителя зерна фракционного *ОЗФ-80*

Транспортное оборудование, осуществляющее загрузку очистителя *ОЗФ-80*, должно иметь производительность не менее 80 т/ч. Высота нории подбирается из условия обеспечения угла установки зернослива, подающего зерновой материал в

приёмную горловину сепаратора, в диапазоне $45...70^\circ$. Для эффективной работы аспирационной системы нижняя точка канала второй аспирации должна находиться на расстоянии не менее 250 мм от пола [141].

Важной составной частью очистителя *ОЗФ-80* является его аспирационная система, принципиальная схема которой представлена на рисунке 6.2.

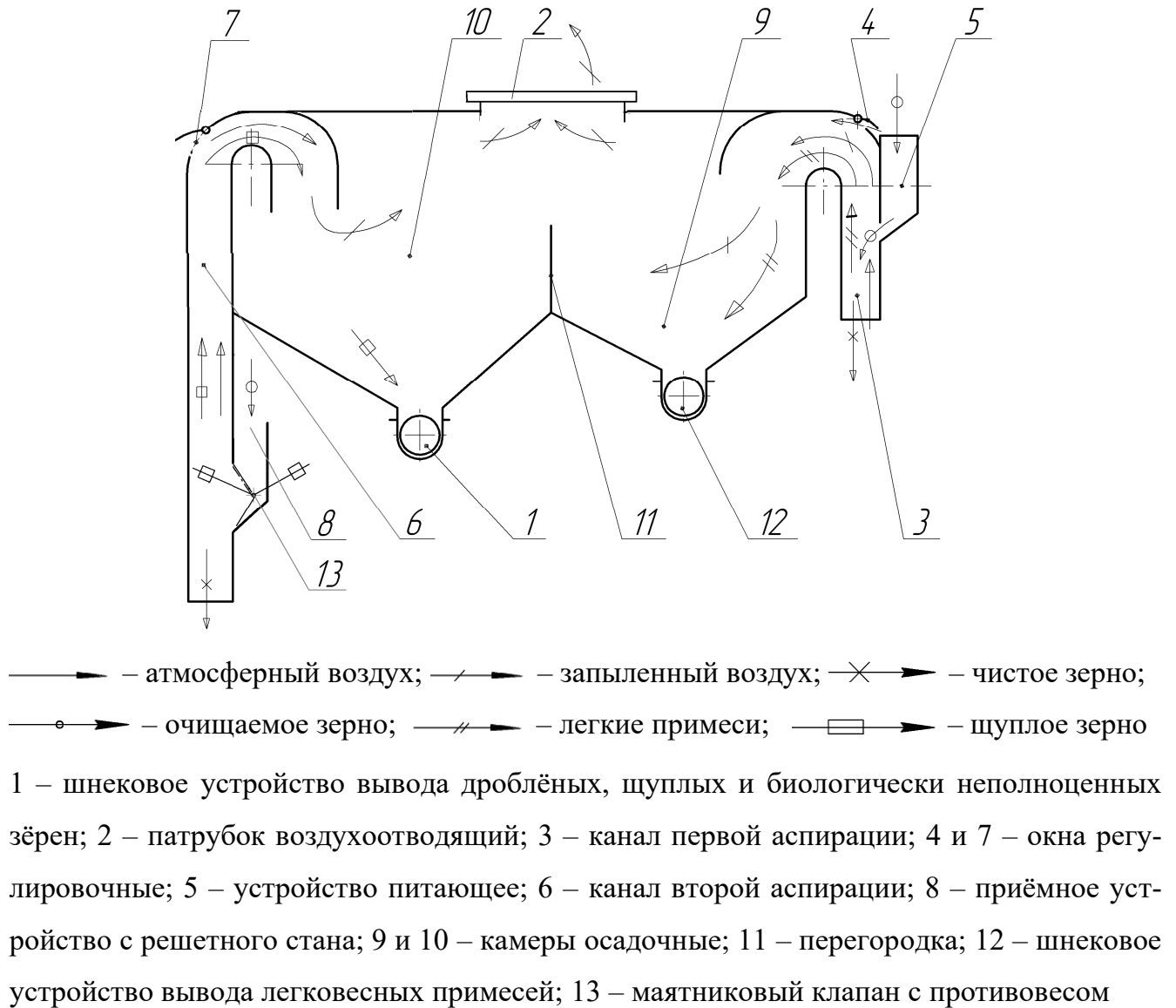


Рисунок 6.2 – Принципиальная схема аспирационной системы очистителя *ОЗФ-80*

Аспирационная система сепаратора *ОЗФ-80* отличается от аналогичных конструкций других зерноочистительных машин [93, 140] и имеет оригинальность, обладая признаками интеллектуальной собственности [150].

Основным режимным параметром аспирационной системы является скорость воздушного потока в каналах первой 3 (рисунок 6.2) и второй 6 аспираций,

которые регулируются посредством открытия регулировочных окон 4, 7 или изменением частоты вращения вентилятора до 760 мин^{-1} посредством частотного преобразователя. Коэффициент сопротивления пневмосистемы очистителя ОЗФ-80 при работе без очищаемого зернового материала составил $k_c = 32,5 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-6}$ [138]. Вентилятор должен обеспечивать расход воздуха не менее $13000 \text{ м}^3/\text{ч}$. В режиме первичной или вторичной очистки максимальная скорость воздушного потока в первом пневмосепарирующем канале 3 может достигать $7,5 \text{ м/с}$. Это возможно при максимальных оборотах вентилятора и полностью закрытом регулировочном окне 4. Однако при столь высокой скорости воздушного потока в канале первой аспирации увеличивается вынос зерна в осадочную камеру 9. При очистке озимой пшеницы приемлемые результаты получены при частоте вращения вентилятора 750 мин^{-1} и закрытом регулировочном окне 4. При этом скорость воздушного потока в канале первой аспирации 3 составила $4,8 \text{ м/с}$. Открытие регулировочного окна 4 на 20 мм понижало данный показатель до 4 м/с . Если до конца отодвинуть заслонку на все 100 мм , то воздух будет иметь скорость около 3 м/с . При очистке большинства культур скорость воздушного потока в канале первой аспирации 3 не превышает 5 м/с [140]. При этом в осадочную камеру 9 выносятся легковесные незерновые примеси. Необходимая максимальная скорость воздушного потока во втором пневмосепарирующем канале 6 может достигать $10,8 \text{ м/с}$. Потенциал пневмосистемы позволяет при максимальных оборотах вентилятора и полностью закрытом регулировочном окне 7 достичь больших значений. Однако при столь высокой скорости воздушного потока в канале второй аспирации увеличивается вынос полноценного зерна в осадочную камеру 10. При очистке пшеницы приемлемые результаты получены при частоте вращения вентилятора 750 мин^{-1} и открытым на 20 мм регулировочном окне 7. При этом скорость воздушного потока в канале второй аспирации составила $9,9 \text{ м/с}$. Закрытие заслонки повышает данный показатель до $10,6 \text{ м/с}$, а полное открытие снижает – до $7,1 \text{ м/с}$ [138]. В осадочную камеру 10 должны поступать дроблёные, щуплые и биологически неполноценные зёрна, а также часть не выделенных ранее лёгких засорителей. Открытие регулировочных окон 4, 7 снижает скорость воздушного

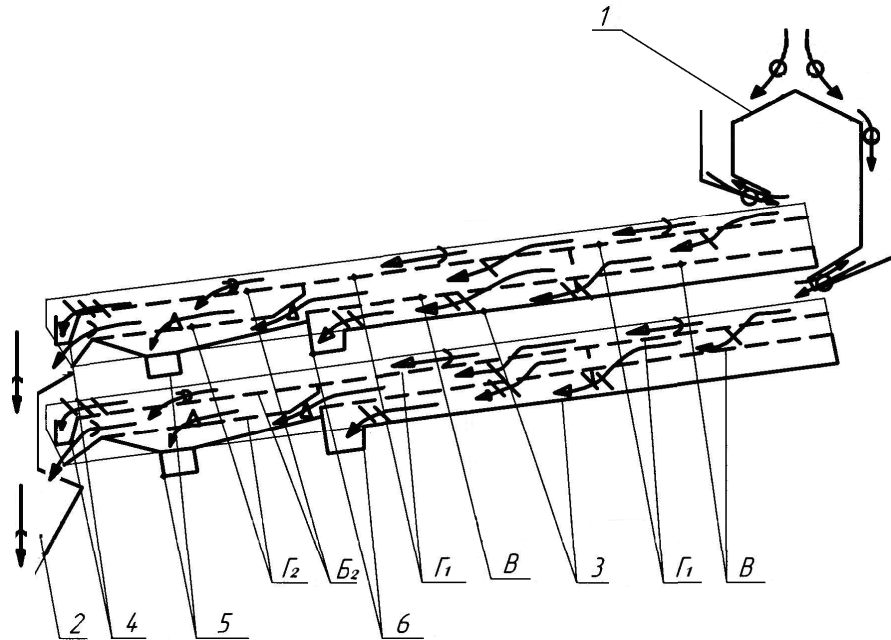
потока только в соответствующей аспирации. В случае работы сепаратора в режиме предварительной очистки в первом и втором пневмосепарирующих каналах очистителя *ОЗФ-80* достаточно установить скорость воздушного потока в $2 \dots 2,5$ *раза* ниже скорости витания основной культуры. При обработке озимой пшеницы для выноса легковесных примесей и засорителей достаточно $4,0 \dots 4,5$ *м/с*. В зависимости от параметров зернового вороха скорость воздушного потока следует настраивать в каждом конкретном случае с учётом физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Для поступления необходимого количества воздуха через приёмное устройство 8 (рисунок 6.2) в аспирационной системе предусмотрен маятниковый клапан 13 с противовесом. При предварительной очистке зерна он фиксируется в крайнем верхнем положении, открывая разгрузочное окно и не препятствуя сходящему с решетного стана зерновому материалу. Это обеспечивает избыточный подсос воздуха и соответственно невысокую скорость воздушного потока, что исключает потери основной культуры. При первичной или вторичной очистке зерна маятниковый клапан 13 переводят в плавающее положение. При этом сгуживание зернового материала не должно происходить. За чувствительность клапана 13 отвечает противовес. Тем самым обеспечивается прекращение подсоса воздуха, т.е. более высокая скорость воздушного потока. При этом установка маятникового герметизирующего клапана 13 позволит увеличить выделение биологически неполноценного зерна каналом второй аспирации на $12,4\%$ [138].

Для эффективной работы пневмосистемы производитель запрещает ограничивать доступ воздуха всевозможными дополнительными конструкциями в виде лотков, транспортёров и прочего оборудования, не предусмотренного конструкцией очистителя [141]. Приёмники получаемых при работе сепаратора фракций часто ограничивают доступ воздушного потока в аспирационную систему. Поэтому их следует располагать на расстоянии не менее $300 \dots 450$ *мм* от места схода материала [140].

Не менее важной составной частью очистителя *ОЗФ-80* является его решетный стан. На сепараторе предусмотрено двухъярусное расположение решётных

полотен, в каждом из которых последовательно установлено три решета [173]. Принципиальная схема решетного стана очистителя зерна фракционного ОЗФ-80 представлена на рисунке 6.3.



—○— — зерновой ворох; —/— — проход сортировального решета; —//— — мелкие примеси; —///— — крупные примеси; —△— — фуражная фракция; —◄— — зерно основной культуры; Б₂, В, Г₁ и Г₂ — соответственно колосовые, подсевные, сортировальные верхние и нижние решета; 1 — делитель зернового вороха; 2 — приёмный лоток основной фракции для канала второй аспирации; 3 — решётные станы; 4, 5 и 6 — соответственно лотки вывода крупных примесей, фуражной фракции и мелких примесей

Рисунок 6.3 – Принципиальная схема решетного стана очистителя зерна фракционного ОЗФ-80

Решетный стан сепаратора ОЗФ-80 отличается от аналогичных конструкций других зерноочистительных машин [173, 188, 244] и имеет оригинальность, обладая признаками интеллектуальной собственности [149, 156].

Данная схема размещения решётных полотен позволяет увеличить площадь сортировальных решет в 1,5...2,0 раза по сравнению с аналогами, что способствует повышению полноты выделения неполноценного зерна в фуражную фракцию на 25% [135, 138, 141]. Конструкция защищена патентом РФ на полезную модель №43798 [156]. В решетный стан устанавливаются стандартные решёта размером

740×990 мм или 790×990 мм. Для возможности их замены при монтаже сепаратора ОЗФ-80 в технологическую линию необходимо предусмотреть свободное пространство перед машиной с размером не менее 1,75 м [141]. В зависимости от параметров зернового вороха размеры ячеек подсевных B (рисунок 6.3), колосовых B_2 и сортировальных Γ решётных полотен подбираются в каждом конкретном случае с учётом физико-механических свойств обрабатываемого материала. Ориентировочный набор решёт при первичной или вторичной очистке зерна в зависимости от обрабатываемой культуры представлен в таблице 6.1 [209, 210].

Таблица 6.1 – Ориентировочный набор решёт сепаратора ОЗФ-80 при первичной или вторичной очистке зерна в зависимости от обрабатываемой культуры

Обрабатываемая культура	Размер отверстий решёт, мм			
	Сортировальные верхние Γ_1	Сортировальные нижние Γ_2	Колосовые B_2	Подсевные B
Пшеница	2,4...2,6	Ø 4,0	Ø 8,0	Ø 2,5 или 1,7
Ячмень	2,4...2,6	Ø 4,0	Ø 10,0	Ø 2,5 или 1,7...1,8
Рожь	2,2...2,4	Ø 4,0	Ø 8,0	Ø 2,0 или 1,7
Овёс	2,2...2,4	Ø 4,0	Ø 11,0	Ø 2,0 или 1,5
Кукуруза	Ø 7,0	Ø 7,0	Ø 13,0	Ø 4,5 или 3,0
Гречиха	Ø 4,5	Ø 4,5	Ø 8,0	Ø 3,0
Просо	Ø 2,0	Ø 2,0	Ø 4,5	Ø 1,5 или 1,0
Подсолнечник	Ø 5,0	Ø 5,0	Ø 11,0	Ø 3,5 или 1,8
Рапс	Ø 1,5	Ø 1,5	Ø 4,0	Ø 1,1 или 0,8
Горох	Ø 6,5	Ø 6,5	Ø 11,0	Ø 5,0 или 4,0
Сахарная свекла	Ø 3,5...4,0	Ø 4,0	Ø 8,0	Ø 2,0 или 1,8

В случае забиваемости решёт следует по возможности вместо продолговатых ячеек предпочитать установку решётных полотен с круглыми отверстиями.

При работе сепаратора ОЗФ-80 в режиме предварительной очистки зерна в верхних ярусах каждого решётного стана устанавливают только колосовые решёта B_2 с увеличенными отверстиями. В нижнем ряду располагают три одинаковых подсевных решётных полотна B (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Ориентировочный набор решёт сепаратора *ОЗФ-80* при предварительной обработке зерна в зависимости от обрабатываемой культуры

Обрабатываемая культура	Размер отверстий решёт, мм			
	Колосовых, верхнего яруса			Три подсевных, нижнего яруса <i>В</i>
	Первое решето <i>В₂</i>	Второе решето <i>В₂</i>	Третье решето <i>В₂</i>	
Пшеница	Ø 6,0	Ø 6,0	Ø 8,0	Ø 2,5 или 1,7
Ячмень	Ø 7,5	Ø 8,5	Ø 10,0	Ø 2,5 или 1,7...1,8
Рожь	Ø 6,0	Ø 7,0	Ø 8,0	Ø 2,0 или 1,7
Овёс	Ø 10,0	Ø 10,0	Ø 11,0	Ø 2,0 или 1,5
Кукуруза	Ø 9,0	Ø 10,0	Ø 13,0	Ø 4,5 или 3,0
Гречиха	Ø 6,0	Ø 6,0	Ø 8,0	Ø 3,0
Просо	Ø 3,5	Ø 4,0	Ø 4,5	Ø 1,5 или 1,0
Подсолнечник	Ø 9,0	Ø 10,0	Ø 11,0	Ø 3,5 или 1,8
Рапс	Ø 3,0	Ø 3,5	Ø 4,0	Ø 1,1 или 0,8
Горох	Ø 8,0	Ø 9,0	Ø 11,0	Ø 5,0 или 4,0
Сахарная свекла	Ø 6,0	Ø 6,0	Ø 8,0	Ø 2,0 или 1,8

Каждый решетный стан сепаратора *ОЗФ-80* состоит из шести кассет размером 960×1496 мм, содержащих по четыре решета. Их амплитуда колебаний составляет 15 мм, а частота колебаний – 400 мин^{-1} . Для привода решетного стана используется электродвигатель установленной мощностью 5,5 кВт [135, 209, 210]. Для очистки решет в сепараторе *ОЗФ-80* используется шариковое очистительное устройство (шариковая очистка) оригинальной конструкции, которая защищена патентом РФ на изобретение №2298440 [149] и обеспечивает коэффициент живого сечения не менее 0,95 [138].

Производительность очистителя *ОЗФ-80* напрямую влияет на качественные показатели работы всего сепаратора. При предварительной обработке данный показатель составляет 80 т/ч, при первичной – 40 т/ч, при вторичной – 20 т/ч [169]. С учётом назначения очищаемого зернового вороха нельзя превышать установленную производительность сепаратора *ОЗФ-80*, т.к. это влияет на состав фракций, которые выделяются при очистке (таблица 6.3) [138].

Таблица 6.3 – Влияние производительности очистителя зерна фракционного ОЗФ-80 на состав фуражных фракций, выделяемых при очистке [138]

Производительность, т/ч	Место выделения фуражной фракции	Содержание засорителей, %	Содержание зерна, %		
			в плёнке	дроблёного	целого
18,0	Первым сортировальным решетом верхнего яруса	0,75	0,14	3,76	95,35
	Вторым сортировальным решетом верхнего яруса	20,38	0,14	1,73	77,75
	Сортировальным решетом нижнего яруса	0,22	0,04	2,58	97,16
	Второй аспирацией	4,60	6,20	5,99	83,21
	В среднем	4,60	1,67	5,08	88,65
27,0	Первым сортировальным решетом верхнего яруса	0,88	0,78	4,65	93,69
	Вторым сортировальным решетом верхнего яруса	0,56	0,11	5,54	93,79
	Сортировальным решетом нижнего яруса	19,74	0,65	4,35	75,26
	Второй аспирацией	9,14	4,36	5,36	81,14
	В среднем	7,79	1,95	5,02	85,24
41,1	Первым сортировальным решетом верхнего яруса	0,74	0,54	2,54	96,18
	Вторым сортировальным решетом верхнего яруса	0,62	0,33	2,35	96,70
	Сортировальным решетом нижнего яруса	31,30	0,52	1,73	66,45
	Второй аспирацией	32,33	5,17	4,11	58,39
	В среднем	11,79	1,34	4,32	82,55
72,0	Первым сортировальным решетом верхнего яруса	1,24	0,93	4,63	93,20
	Вторым сортировальным решетом верхнего яруса	1,65	0,26	2,68	95,41
	Сортировальным решетом нижнего яруса	34,10	0,33	1,88	63,69
	Второй аспирацией	42,24	2,59	4,43	50,74
	В среднем	15,92	0,67	3,13	80,28
86,4	Первым сортировальным решетом верхнего яруса	0,88	0,23	5,10	93,79
	Вторым сортировальным решетом верхнего яруса	0,72	0,30	4,25	94,73
	Сортировальным решетом нижнего яруса	42,19	0,09	1,88	55,84
	Второй аспирацией	42,59	1,42	4,75	51,24
	В среднем	19,95	0,30	3,61	76,14

Анализ таблицы 6.3 показывает, что чем выше производительность сепаратора *ОЗФ-80*, тем больше засорителей и меньше целого зерна попадает в фуражную фракцию. Следовательно, качество очистки ухудшается, засорители не успевают выделиться подсевными и колосовыми решётами.

Кроме того, производительность сепаратора *ОЗФ-80* влияет на потери зерна. Например, при очистке $16,94 \text{ т/ч}$ пшеницы только $0,01\%$ основной культуры теряется. Повышение производительности сепаратора до $41,1 \text{ т/ч}$ способствует росту потерь зерна до $0,06\%$. При очистке 72 т/ч теряется уже $1,44\%$ основной культуры. При максимальной производительности сепаратора $86,4 \text{ т/ч}$ потери зерна составляют $3,16\%$ [138]. Существенное ухудшение качества очистки наблюдается при обработке свыше 70 т/ч зернового вороха (рисунок 6.4), т.к. хуже работают решёта. Следовательно, повышение производительности сепаратора способствует росту потерь зерна основной культуры.

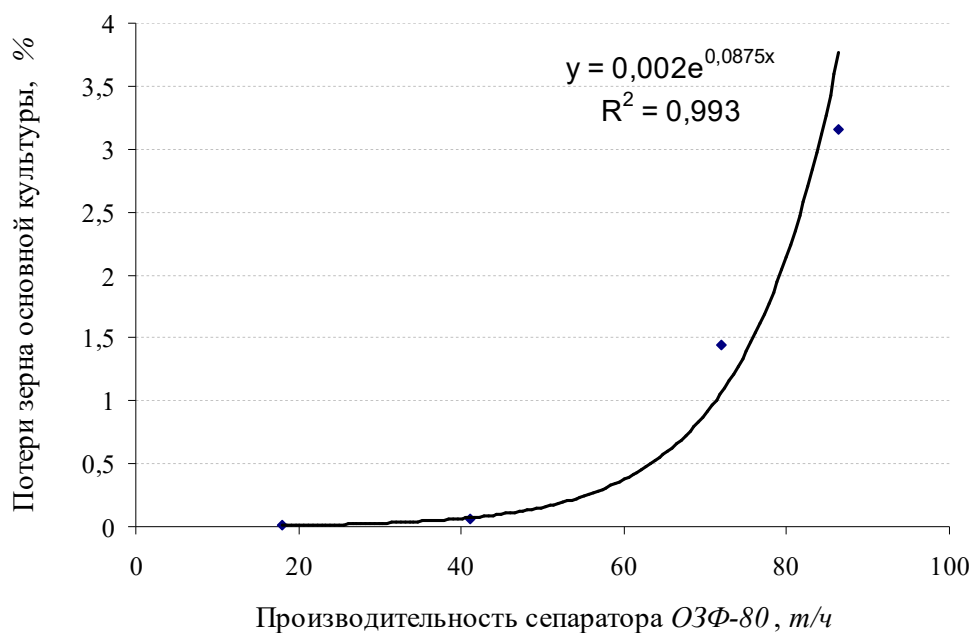


Рисунок 6.4 – Зависимость потерь зерна от производительности сепаратора *ОЗФ-80*

Основные технические характеристики и качественные показатели работы очистителя зерна фракционного *ОЗФ-80* представлены в протоколе испытаний ФГБУ «Центрально-Чернозёмная государственная зональная машиноиспытательная станция «№14-29-2017 [169] и на сайте завода-изготовителя [141].

6.2 Обоснование основных конструктивных и технологических параметров сепаратора вторичной очистки семян СВС-30

В предлагаемой технологической линии по обработке и хранению семенного материала сепаратор вторичной очистки семян *СВС-30* является необходимой машиной. Подробное описание технологического процесса этой модели представлено на рисунке 3.3 в разделе 3.2. Разработка сепаратора *СВС-30* основана на реализации патента РФ на изобретение № 2611176 [152] и неразрывно связана с выполнением диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук А.М. Гиевским [45], являющимся соавтором большинства публикаций соискателя. Проектировка зерноочистительной машины велась в рамках научно-исследовательской работы, выполняемой высшими учебными заведениями, подведомственными Минсельхозу России, за счёт средств федерального бюджета в 2017 году на тему «Разработка высокоэффективной семяочистительной машины». Большинство исследований выполнялось при непосредственном участии соискателя, что подтверждено рядом научных работ [44, 86, 123, 152, 157, 227].

С разработкой сепаратора вторичной очистки *СВС-30* сотрудники кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, включая соискателя, участвовали в Российской агропромышленной выставке «Золотая осень-2019». Министерство сельского хозяйства высоко оценило потенциал проектируемой зерноочистительной машины, наградив авторов заявки золотой медалью (Приложение А, рис. А2).

Основные габаритные размеры сепаратора вторичной очистки семян *СВС-30* представлены на рисунке 6.5. Установку семяочистительной машины следует производить на швеллеры или двутавры. Транспортное оборудование, осуществляющее загрузку сепаратора *СВС-30*, должно иметь производительность не менее 30 т/ч. Высота нории подбирается из условия обеспечения самотечной загрузки семяочистительной машины по зерносливу. Для этого угол установки зернопровода к горизонту должен быть больше значения максимального угла естественного откоса очищаемых зерновых культур, т.е. более 45°. Для предотвращения забивания зернослива его желательно монтировать под углом 60...70°.

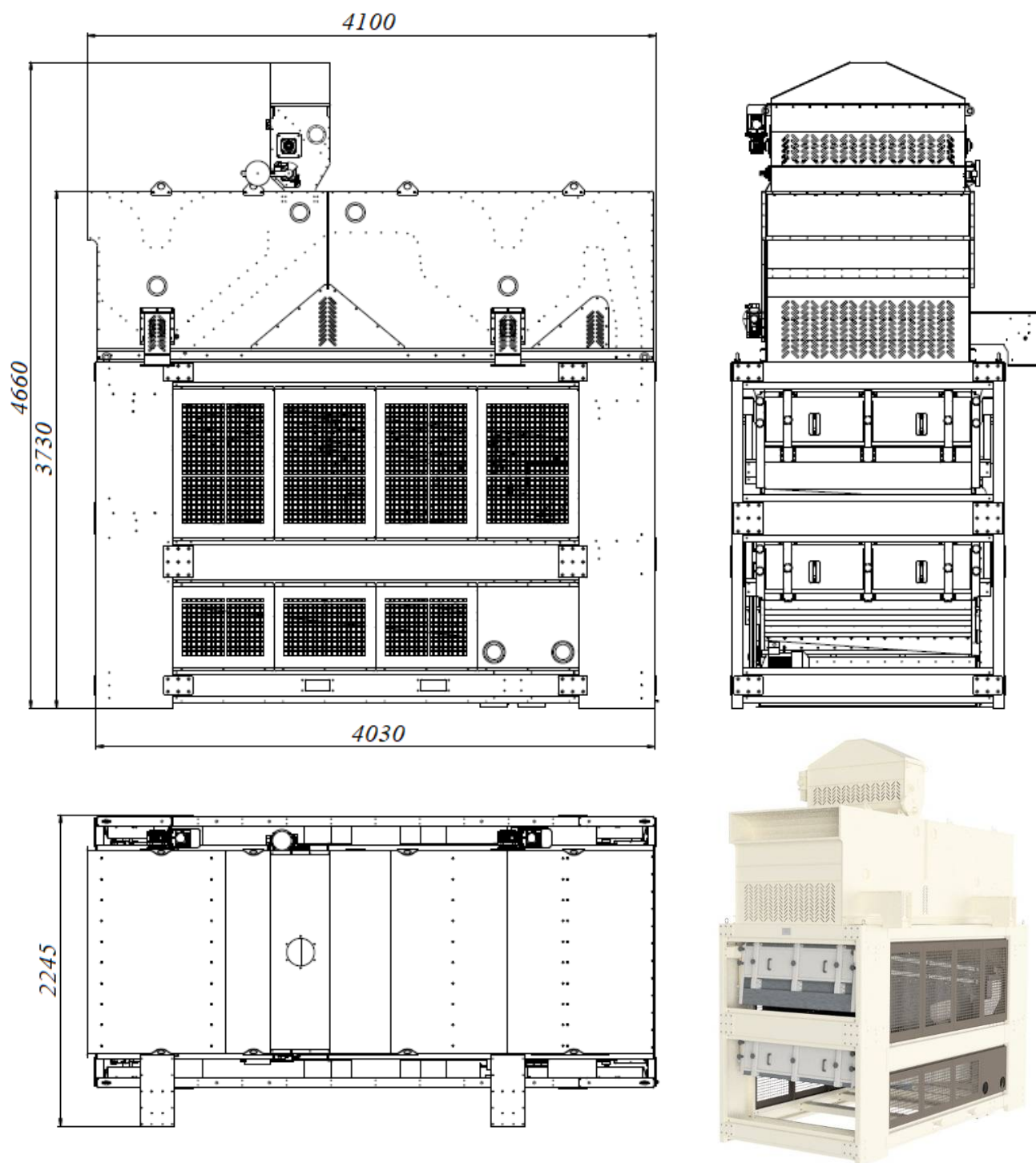
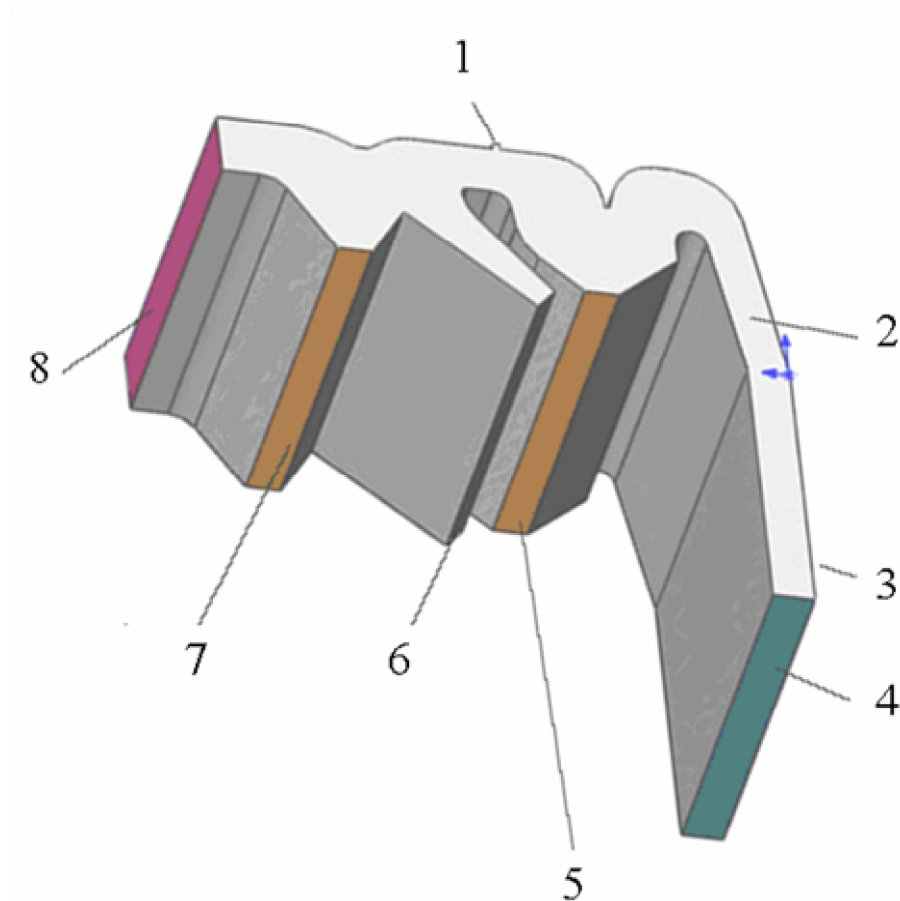


Рисунок 6.5 – Сепаратор вторичной очистки семян *CVC-30*

Важной составной частью сепаратора *CVC-30* является его аспирационная система. Схема технологического процесса пневмосистемы представлена на рисунке 3.3, к которому имеется соответствующее описание. Объёмная 3D модель аспирационной системы сепаратора вторичной очистки семян *CVC-30* представлена на рисунке 6.6.



1 – зона подачи исходного зернового вороха; 2 – стенка; 3 – канал второй аспирации; 4 – зона забора воздуха и зернового материала, прошедшего решетную очистку; 5 – осадочная камера второй аспирации; 6 – отсек осадочной камеры первой аспирации, осуществляющий загрузку основной фракции на верхний решётный стан; 7 – осадочная камера первой аспирации; 8 – выходной канал отработанного воздушного потока

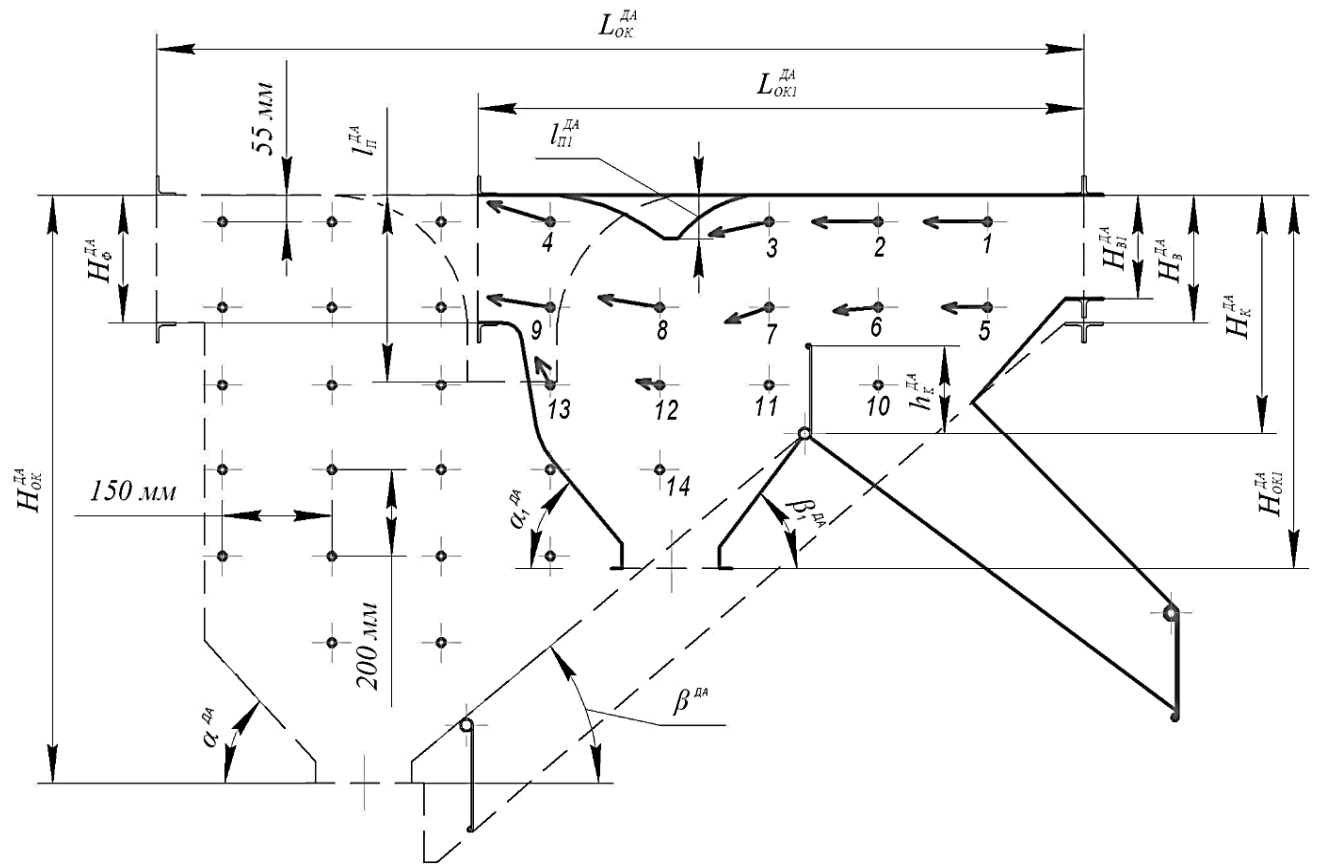
Рисунок 6.6 – Объёмная 3D модель аспирационной системы сепаратора *CVC-30*

Аспирационная система сепаратора *CVC-30* отличается от аналогичных конструкции других сеяноочистительных машин [93, 140] и имеет оригинальность, обладая признаками интеллектуальной собственности [151]. Особенностью данной пневмосистемы является её уменьшенные по сравнению с аналогами габариты и последовательное использование одного и того же воздушного потока в обеих аспирациях. Это позволяет без снижения качественных показателей очистки уменьшить общий расход воздуха и сопротивление аспирационной системы [44], что в свою очередь сокращает энергетические затраты. Кроме того, использование горизонтального воздушного потока в канале первой аспирации является ме-

нее энергоёмким процессом, чем применение вертикального или наклонного потока воздуха, как у большинства аналогов. Это объясняется тем, что в данном случае не требуется дополнительных затрат энергии на подъём компонентов очищаемого зернового вороха.

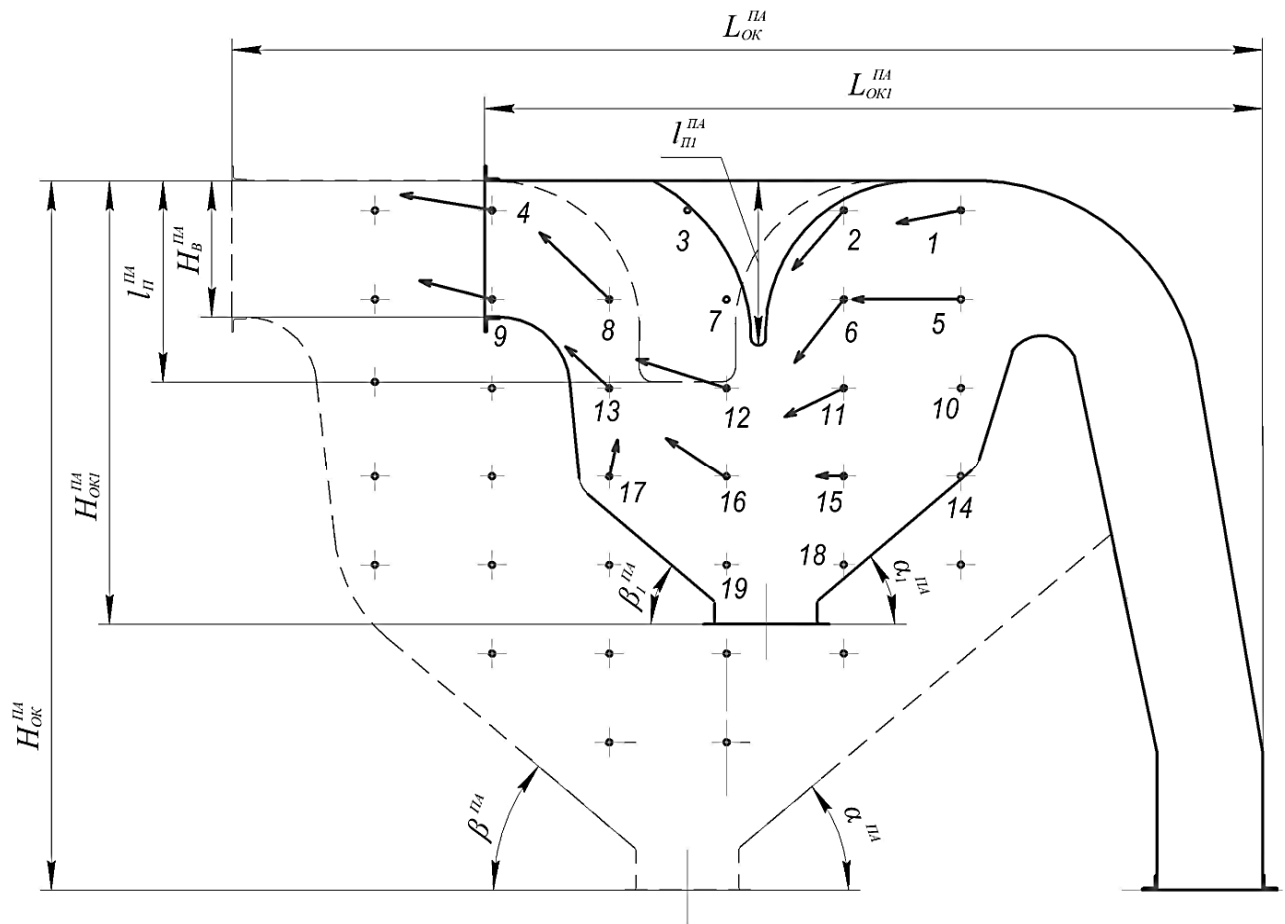
В горизонтальном канале первой аспирации выделяется бóльшая часть лёгковых примесей и засорителей, некоторая доля дроблёного, биологически неполноценного, фуражного зерна, а также недомолоченные зерновки. Почти все полученные фракции, за исключением незначительного процента незерновых легких компонентов, попадают в осадочную камеру 7 (рисунок 6.6), образуя одну из составляющих фуражного вороха.

Изначально аспирационная система была выполнена больших размеров согласно подобным конструкциям аналогичных сеяноочистительных машин. При этом осадочная камера первой аспирации 7 (рисунок 6.6) имела следующие размеры: её длина $L_{OK}^{ДА}$ (рисунок 6.7) составляла 1,69 м; глубина $H_{OK}^{ДА} - 1,12$ м; длина отражательной перегородки $l_{II}^{ДА} - 0,34$ м; угол стенки дна осадочной камеры первой аспирации со стороны горизонтального канала $\beta^{ДА} - 40^\circ$ к горизонтали, а с выходной стороны $\alpha^{ДА} = 50^\circ$; глубина всасывающего воздуховода $H_{\phi}^{ДА} - 0,26$ м; положение фланца входного окна со стороны канала $H_B^{ДА} - 0,26$ м; расстояние от верхней стенки до места крепления клапана $H_K^{ДА} - 0,45$ м; высота поворотного разделительного клапана $h_K^{ДА} - 0,145$ м; ось поворотного разделительного клапана $H_K^{ДА}$ располагалась на расстоянии 0,45 м относительно верхней стенки камеры. Осадочная камера второй аспирации 5 (рисунок 6.6) изначально имела симметричную форму дна с незначительным смещением выгрузного устройства к выходному окну. Её размеры были следующие: длина $L_{OK}^{ПА}$ (рисунок 6.8) составляла 1,76 м; глубина $H_{OK}^{ПА} - 1,22$ м; длина отражательной перегородки $l_{II}^{ПА} - 0,34$ м; угол стенки дна осадочной камеры второй аспирации с входной стороны $\alpha^{ПА} - 50^\circ$ к горизонтали, а с выходной стороны $\beta^{ПА} = 40^\circ$. Также на рисунках 6.7 и 6.8 представлено векторное поле скоростей воздушного потока по сечению осадочных камер уменьшенных размеров [123].



1...14 – точки замеров; L_{OKI}^{DA} – длина осадочной камеры уменьшенных размеров; L_{OK}^{DA} – длина осадочной камеры; h_K^{DA} – высота поворотного разделительного клапана осадочной камеры; H_K^{DA} – расстояние от верхней стенки до места крепления клапана; H_{OKI}^{DA} – глубина осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров; H_{OK}^{DA} – глубина осадочной камеры; l_{PI}^{DA} – длина отражательной перегородки осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров; l_{II}^{DA} – длина отражательной перегородки осадочной камеры; β_i^{DA} – угол установки стенки дна камеры с входной стороны осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров; β^{DA} – угол установки стенки дна камеры с входной стороны осадочной камеры; H_{B1}^{DA} – глубина входного окна осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров; H_B^{DA} – глубина входного окна осадочной камеры; H_{ϕ}^{DA} – глубина всасывающего воздуховода; α_i^{DA} – угол установки стенки дна с выходной стороны осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров; α^{DA} – угол установки стенки дна с выходной стороны осадочной камеры; --- - первоначальные габариты камеры

Рисунок 6.7 – Векторное поле скоростей воздушного потока по сечению уменьшенной осадочной камеры канала первой аспирации сепаратора CBC-30



1...19 – точки замеров; L_{OKI}^{IIA} – длина осадочной камеры второй аспирации уменьшенных размеров; L_{OK}^{IIA} – длина осадочной камеры; H_B^{IIA} – глубина выходного окна; H_{OKI}^{IIA} – глубина осадочной камеры второй аспирации уменьшенных размеров; H_{OK}^{IIA} – глубина осадочной камеры; l_{II}^{IIA} – длина отражательной перегородки осадочной камеры второй аспирации уменьшенных размеров; l_{II}^{IIA} – длина отражательной перегородки осадочной камеры; β_1^{IIA} – угол установки стенки дна камеры с выходной стороны осадочной камеры второй аспирации уменьшенных размеров; β^{IIA} – угол установки стенки дна камеры с выходной стороны осадочной камеры; α_1^{IIA} – угол установки стенки дна камеры с входной стороны осадочной камеры второй аспирации уменьшенных размеров; α^{IIA} – угол установки стенки дна камеры с входной стороны осадочной камеры; – – – - первоначальные габариты осадочной камеры

Рисунок 6.8 – Векторное поле скоростей воздушного потока по сечению уменьшенной осадочной камеры канала второй аспирации

Определение направлений и скоростей воздушного потока по точкам обеих камер (рисунки 6.7 и 6.8) в исходной конструкции аспирационной системы показало, что в нижней части осадочных камер движение воздуха практически отсутствует. Это подтвердило и моделирование посредством системы автоматизации проектирования (САПР) Solid Works (рисунок 6.9) [45, 254], на основании чего было принято решение о возможности уменьшения размеров осадочных камер с целью снижения общего расхода воздуха и необходимых для работы пневмосистемы энергетических затрат.

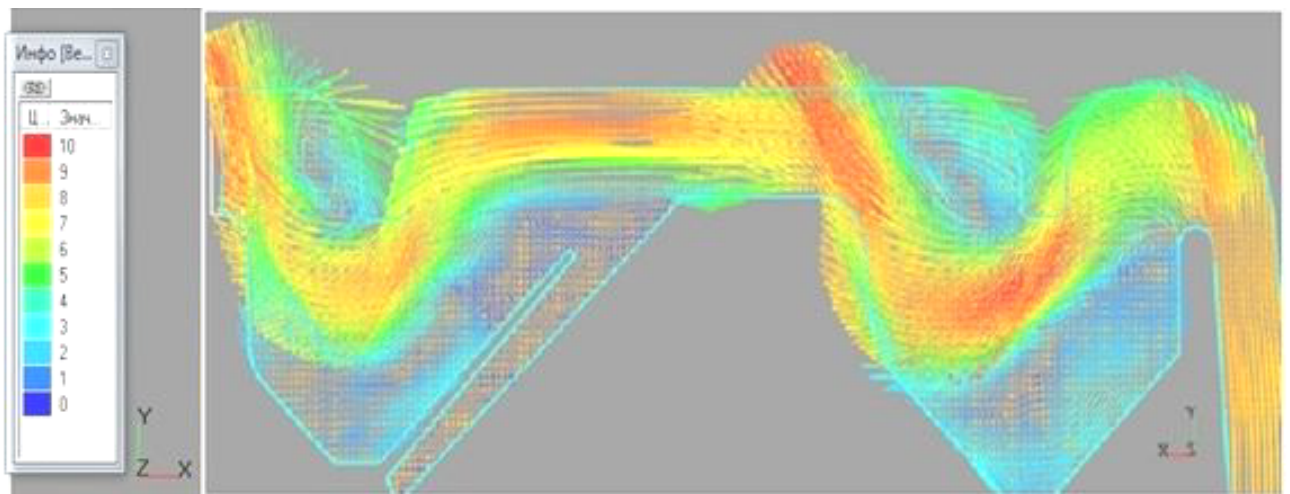


Рисунок 6.9 – Векторное поле скорости воздушного потока в первоначальной аспирационной системе по результатам моделирования

Обобщение экспериментальных исследований и результатов моделирования позволили сделать вывод, что глубину осадочных камер можно уменьшить почти в 2 раза [45].

Значения скоростей воздушного потока по точкам замера 1...19 (рисунки 6.7 и 6.8) в уменьшенной аспирационной системе представлены в таблице 6.4. Задача полного выделения легковесных примесей осадочной камерой первой аспирации не ставилась, так как они впоследствии могут выделиться во второй аспирации. Близкие к нулевым значениям скорости воздушного потока в нижней части осадочных камер говорит о возможности осаждения лёгких частиц. Впоследствии это было подтверждено при применении автоматизированного моделирования к уменьшенной аспирационной системе (рисунок 6.10) [45, 254].

Таблица 6.4 – Скорости воздушного потока в точках замера осадочных камер аспирационной системы уменьшенных размеров сепаратора *CBC-30* [45, 123]

№ точки замера на рисунке 6.7	Угол между вектором и горизонталью, °	Скорость воздушного потока, м/с	№ точки замера на рисунке 6.8	Угол между вектором и горизонталью, °	Скорость воздушного потока, м/с
Осадочная камера первой аспирации			Осадочная камера второй аспирации		
1	0	7,1	1	11	5,4
2	0	7,2	2	50	8,0
3	11	7,1	3	0	0
4	343	6,3	4	350	7,5
5	0	5,9	5	0	9,0
6	7	5,9	6	52	8,8
7	17	4,9	7	0	0
8	350	6,1	8	317	8,3
9	354	6,0	9	346	6,2
10	0	0	10	0	0
11	0	0	11	26	5,9
12	348	2,1	12	342	9,3
13	290	2,7	13	317	4,7
14	0	0	14	0	0
-	-	-	15	2	1,6
-	-	-	16	326	5,8
-	-	-	17	257	1,9
-	-	-	18	0	0
-	-	-	19	0	0

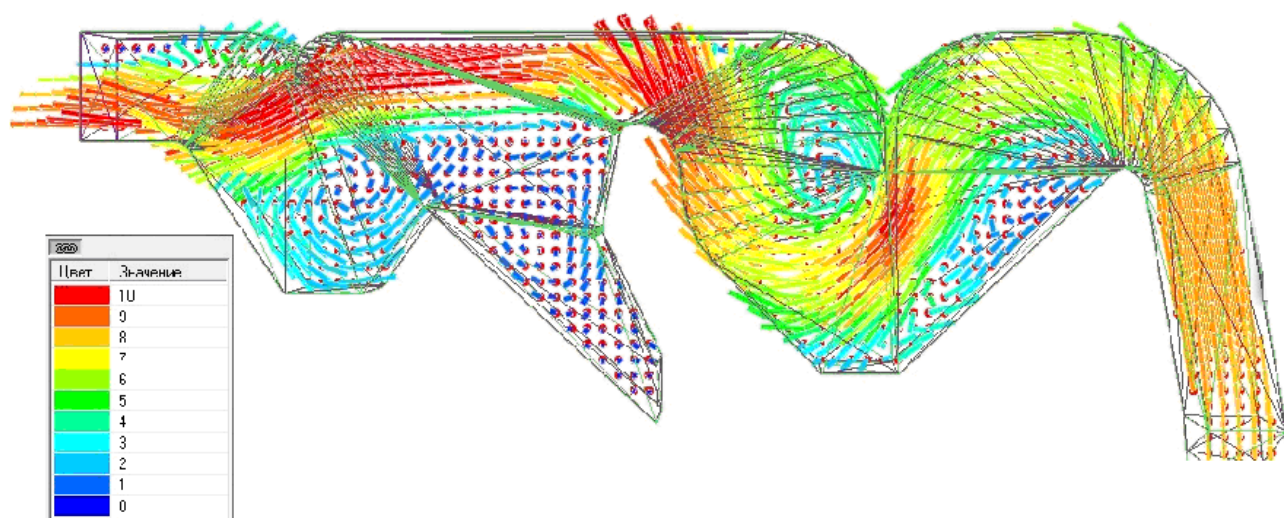


Рисунок 6.10 – Векторное поле скорости воздушного потока в уменьшенной аспирационной системе сепаратора *CBC-30* на основе моделирования

После уменьшения размеры осадочной камеры первой аспирации составили: длина $L_{OK1}^{ДА}$ (рисунок 6.7) – $1,0...1,1$ м; глубина $H_{OK1}^{ДА}$ – $0,55...0,65$ м; длина отражательной перегородки $l_{П}^{ПА}$ – $0,085...0,09$ м; углы установки боковых стенок $\alpha_1^{ДА}$ и $\beta_1^{ДА}$ – 50° к горизонтали; глубина $H_{В1}^{ДА}$ входного окна – $0,23$ м. Некоторые параметры не изменились. Например, высота клапана $h_K^{ДА} = 0,145$ м, глубина всасывающего воздуховода $H_{Ф}^{ДА} = 0,26$ м, расстояние от верхней стенки до места крепления клапана $H_K^{ДА} = 0,45$ м остались прежними.

Анализ результатов исследований показывает, что в уменьшенной камере первой аспирации происходит плавное одностороннее расширение потока воздуха и более резкое его сужение при входе в воздухоотводящий канал. При этом максимальная скорость воздушного потока достигает значений $6,1...7,2$ м/с [123].

После корректировки размеры осадочной камеры второй аспирации составили: длина $L_{OK1}^{ПА}$ (рисунок 6.8) – $0,85...0,95$ м; глубина $H_{OK1}^{ПА}$ – $0,7...0,8$ м; длина отражательной перегородки $l_{П}^{ПА}$ – $0,28...0,29$ м; углы установки боковых стенок $\alpha_1^{ПА}$ и $\beta_1^{ПА}$ – 40° к горизонтали. Максимальная скорость воздушного потока $9,3$ м/с зафиксирована в зоне поворота воздуха к выходному окну, или при входе в канал первой аспирации.

Корректировка осадочной камеры канала второй аспирации привела к изменению соотношения между осаждаемыми лёгкими компонентами и легковесными примесями, которые выносятся в пылеотделитель. После уменьшения размеров большая часть незерновых фракций и пыли, скорость витания которых менее $5,7$ м/с, удалялись из зерноочистительной машины. Зафиксировано уменьшение в $2,95...3,1$ раза доли легковесных примесей в осадочной камере первой аспирации. В итоге снижается до $10...17$ % содержание лёгких компонентов в фуражном ворохе, что в дальнейшем позволит его использовать без дополнительной очистки.

В результате анализа представленных данных выявлено, что уменьшение размеров аспирационной системы не снижает качество работы пневмосистемы. При этом отмечено снижение её сопротивления на $18,8...19,5$ % или $52...95$ Па. В основном это произошло в канале первой аспирации, где данный параметр

уменьшился в 2,39...2,83 раза, одновременно повысив расхода воздуха на 4,5...5,6%. Снижение сопротивления канала второй аспирации составило 15...18% или 10...19 Па. В конечном итоге это снизило затраты энергии на работу пневмосистемы. Коэффициент сопротивления уменьшенной аспирационной системы снизился в 1,32 раза до значения в $0,0000702 \text{ Па}/(\text{м}^3/\text{ч})^2$ [123]. Для эффективной работы пневмосистемы потребуется свыше 8000 м^3 воздуха в час.

Скорость воздуха в канале первой аспирации сепаратора СВС-30 при очистке пшеницы должна составлять 7,5...8,0 м/с или 0,65...0,90 от скорости витания данной культуры. Более быстрое движение воздушного потока позволяет выделить часть фуражного материала, который у аналогов отделяется только сортировальными решётами. Скорость воздуха в канале второй аспирации, разделённом на две части перегородкой высотой 0,58...0,65 м, при очистке пшеницы должна составлять 8,4...9,0 м/с или 0,95...1,05 от скорости витания данной культуры. В результате в обеих осадочных камерах образуется фуражный ворох. При обработке других культур следует руководствоваться соотношением по скорости витания, которые приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Скорость витания зерна основных сельскохозяйственных культур

Культура	Скорость витания зерна, м/с
Пшеница	8,9...11,5
Ячмень	8,4...10,8
Овёс	8,1...9,1
Кукуруза	12,5...14,0
Гречиха	4,4...8,0
Просо	6,7...8,8
Горох	15,5...17,5

В зависимости от параметров зернового вороха скорость воздушного потока в аспирационной системе следует настраивать в каждом конкретном случае с учётом физико-механических свойств обрабатываемого материала и режимов работы сепаратора СВС-30. Например, при очистке пшеницы в случае повышения подачи

исходного продукта следует увеличивать скорость в канале второй аспирации до $9,5 \dots 9,8$ м/с, но при этом необходимо контролировать, чтобы потери зерна основной культуры не превышали допустимый уровень [45]. Проведённые исследования по определению качественных показателей работы двухаспирационной пневмосистемы с одним воздушным потоком показали, что конструкция обеспечивает необходимые агротехнические требования [44].

На аспирационную систему сепаратора *CBC-30* устанавливается вбрасывающее устройство барабанного типа, которое представляет собой отдельный блок, предназначенный для подачи исходного зернового вороха в пневмосистему машины. При проведении исследований выявлено, что зерновой материал необходимо подавать в горизонтальный пневмосепарирующий канал первой аспирации под углом $130 \dots 145^\circ$ против направления движения воздушного потока. При этом длина зоны распределения фуражной фракции составляет $0,12 \dots 0,15$ м. Для уменьшения угла разброса вороха внутренний радиус вбрасывающего обрешиненного барабана должен составлять $0,075 \dots 0,15$ м. Для обеспечения эффективной работы пневмосистемы скорость подачи очищаемого зернового материала в канал первой аспирации необходимо поддерживать в диапазоне $2,0 \dots 3,2$ м/с [45].

Уменьшение размеров аспирационной системы создаёт предпосылки для установки дополнительных ярусов решет без увеличения высоты сепаратора. Это позволит увеличить долю сортировальных решетных полотен в решётных станах до $70 \dots 80\%$, что повысит общую полноту выделения фуражных фракций на $31,5\%$ по сравнению с аналогами. Ещё $8,8\%$ добавит модернизированная пневмосистема с повышенной скоростью воздушного потока в канале первой аспирации. Следовательно, общая полнота выделения фуражных фракций сепаратором *CBC-30* достигнет $90 \dots 92\%$ [45].

Схема распределения решётных полотен в решётных станах сепаратора *CBC-30* представлена на рисунке 3.3. Изначально зерновой ворох поступает на колосовые решёта B_2 . Они имеют наибольшую пропускную способность и должны выделять крупные примеси при обеспечении потерь зерна основной культуры не более $0,5\%$. При очистке пшеницы наилучшие результаты получены колосо-

выми решётами с круглыми отверстиями $\varnothing 7$ и 8 мм и длинную соответственно не менее $1,6$ и $1,45\text{ м}$. Это позволит увеличить допустимую удельную нагрузку в $1,5...2,1$ раза по сравнению с продолговатыми ячейками размером $3,4$ и $3,6\text{ мм}$. Угол установки верхнего решётного стана должен составлять $5...7^\circ$ с возможностью регулировки. В качестве подсевного решета наиболее рационально использовать решетные полотна с отверстиями $\varnothing 2,5\text{ мм}$ или продолговатыми ячейками шириною $1,7\text{ мм}$. Они монтируются в средний ярус. При очистке пшеницы сортировальные решёта должны иметь продолговатые отверстия размером $2,4 \times 25\text{ мм}$ или $2,6 \times 25\text{ мм}$. В сепараторе *CBC-30* они устанавливаются в три яруса в отдельном, нижнем решётном стане. При очистке других зерновых культур при выборе размера и типа отверстий колосовых B_2 , подсевных B и сортировальных Γ решет следует ориентироваться на таблицу 6.1. Например, при очистке сои рекомендуется выбирать сортировальные решёта с прямоугольной ячейкой размером $4 \times 25\text{ мм}$, колосовые – с отверстиями $\varnothing 8\text{ мм}$, при скоростях воздушного потока в каналах первой и второй аспираций в диапазонах $12,0...12,2\text{ м/с}$ и $12,2...12,5\text{ м/с}$ соответственно. Однако следует учитывать, что в зависимости от параметров зернового вороха размеры ячеек решетных полотен подбираются в каждом конкретном случае с учётом физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Экспериментальные исследования уменьшенной по ширине копии сепаратора на ворохе яровой пшеницы со средней толщиной зерна $2,83\text{ мм}$ и средней скоростью витания $9,41\text{ м/с}$ показали, что при ширине прямоугольной ячейки сортировального решета, равной $2,4\text{ мм}$, скорости воздушного потока в каналах первой и второй аспираций в диапазонах $7,5...8,0\text{ м/с}$ и $8,4...8,7\text{ м/с}$ соответственно, удельной подаче материала $21,2\text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{дм}^2)$ полнота выделения фуражной фракции решётной очисткой достигла $94,2\%$, а аспирационной системой – $88,7\%$. Содержание дроблёных зёрен в очищенных семенах составило $0,12\%$. При этом их полнота выделения достигла значения $91,4\%$. Масса 1000 семян составила $43,2\text{ г}$ [86].

Следовательно, увеличение доли сортировальных решет в сепараторе *CBC-30* до 70% позволит поднять производительность машины до 30 т/ч . При этом ширина решётного стана должна составлять 1 м , а его длина – $2,22\text{ м}$.

6.3 Обоснование технологических параметров работы комплекса по озонированию и сушке зернового материала

За время хранения партии зерна озонаторная установка в предлагаемой технологической линии используется несколько раз. Во-первых, при обработке влажного зернового вороха перед его сушкой. В данном случае озонирование проводится с целью снижения уровня химических связей молекул воды с органическими компонентами зерновки, интенсификации процесса влагоотдачи зерном и снижения пагубного воздействия температуры нагрева на семенной материал. Во-вторых, озонная обработка проводится в силосных зернохранилищах с целью снижения заражённости зернового вороха. В-третьих, озонирование осуществляется в силосах в качестве предпосевной обработки посевного материала. В-четвертых, озонная обработка может применяться для дезинфекции оборудования и зернохранилищ. При этом в зависимости от назначения операции режимы работы озонаторной установки значительно отличаются.

Основными режимными параметрами при озонировании являются концентрация озона в озоновоздушной смеси и время обработки. Оба параметра взаимосвязаны между собой. Многие учёные проводили озонирование зернового материала при высоких концентрациях озона и небольших экспозициях, а параллельно с этим исследовали маленькие концентрации газа, но при большем времени обработки. При этом результаты, полученные в ходе данных экспериментов, получились очень близкими. Поэтому В.Н. Авдеева ввела понятие доза озона ($г \cdot с / м^3$), т.е. произведение времени обработки в секундах ($с$) на концентрацию озона ($г / м^3$) в озоновоздушной смеси [10]. Следовательно, в большинстве случаев недостаток концентрации можно компенсировать за счёт большей экспозиции. Поскольку в своём большинстве озонаторы являются нерегулируемыми, то получить концентрации озона выше возможностей оборудования нельзя. В данном случае время обработки можно рассчитать через дозу, зная технические параметры применяемой озонаторной установки.

На предлагаемом комплексе послеуборочной обработки и хранения зернового материала наиболее часто процесс озонирования планируется использовать при сушке влажного вороха. При этом процесс влагоотдачи осуществляется за два этапа. Сначала в буферной ёмкости, установленной перед зерносушилкой и предназначенной для отволаживания, а также накопления достаточного для операции количества зерна, производится озонирование. Затем по мере насыщения влажного зернового вороха озоном он подаётся на сушку. Озон подаётся в буферный силос снизу, чтобы более тяжёлый газ вытеснял из зернового вороха воздух. Для обеспечения воздушного потока внутри зернохранилища крышные вытяжные вентиляторы должны быть включены. Для повышения ресурса озонатора и снижения выбросов озона в атмосферу необходимо использовать рециркуляцию отбираемого из силоса озоновоздушного потока. Для этого его необходимо предварительно обезвожить и очистить. После регистрации газа в верхних слоях обрабатываемого вороха озонирование следует проводить в течение часа при концентрации озона $5...20 \text{ мг/м}^3$. Сушку зернового материала производят на серийных зерносушилках, строго соблюдая температурный режим. При обработке товарного зерна следует руководствоваться рекомендациями заводов-изготовителей зерносушильного оборудования. При сушке семенного материала зерновых культур и подсолнечника влажностью до 19% нагревать их выше 40°C запрещено. В случае подготовки семян гороха, кукурузы, люпина, фасоли данный параметр не должен превышать 35°C . При этом максимальная температура агента сушки для зерновых культур и подсолнечника составляет 70°C . При заготовке семян гороха, кукурузы, люпина, фасоли воздушный поток нагревают не более 60°C . Причём, чем влажнее исходный ворох, тем меньший процент влаги можно снять за однократный пропуск через зерносушилку. Влажность зернового материала, которую можно снять за один цикл сушки, определяют по формуле

$$W_p = W_{исх} - W_{конд} - k, \quad (6.1)$$

где W_p – расчётная влажность зернового материала, которую можно снять за один цикл сушки, %;

$W_{исх}$ – исходная влажность зернового материала, $W_{исх} = 14...35\%$;

$W_{\text{конд}}$ – кондиционная влажность зернового материала, $W_{\text{конд}} = 13\%$;

k – расчётный коэффициент, определяемый по следующей зависимости

$$k = [-0,0045 \cdot W_{\text{исх}}^3 + 0,3611 \cdot W_{\text{исх}}^2 - 8,207 \cdot W_{\text{исх}} + 56,805], \%, \quad (6.2)$$

Полученное значение коэффициента k необходимо округлить до целого числа.

Если за однократный пропуск через зерносушилку зерновой материал не удалось довести до кондиционного состояния, то его необходимо отправлять на повторную озонную обработку. При этом количество циклов озонирования и сушки определяют из условия

$$N_{\text{ц}} = \left[\frac{W_{\text{исх}}}{W_{\text{конд}}} + \alpha \right], \quad (6.3)$$

где $N_{\text{ц}}$ – количество циклов озонирования и сушки, *шт*;

α – расчётный коэффициент, определяемый по формуле

$$\alpha = 0,0044 \cdot W_{\text{исх}}^2 - 0,044 \cdot W_{\text{исх}} - 0,9. \quad (6.4)$$

Полученное значение количества циклов $N_{\text{ц}}$ озонирования и сушки необходимо округлить до целого числа по правилам арифметики (таблица 6.6).

Анализ таблицы 6.6 показал, что при поступлении на комплекс зернового вороха влажностью до 19% его возможно довести до кондиционного состояния за один цикл озонирования с последующей сушкой. Если зерно основной культуры будет содержать от 20 до 24% влаги, то его необходимо не менее 2 раз обрабатывать озоном и нагревать. При исходной влажности зернового вороха 25...28% необходимы три цикла озонирования с последующей сушкой. Если зерно основной культуры будет содержать от 29 до 31% влаги, то его необходимо не менее 4 раз обрабатывать озоном и нагревать. Следовательно, чем выше исходная влажность вороха, тем больше циклов озонирования с последующей сушкой следует применять и тем ниже будут качественные показатели зернового материала.

Таблица 6.6 – Основные параметры способа сушки зернового материала с предварительным озонированием

Исходная влажность зернового материала $W_{исх}, \%$	Кондиционная влажность зерна и семян $W_{конд}, \%$	Расчётный коэффициент $k = [-0,0045 \cdot W_{исх}^3 + 0,3611 \cdot W_{исх}^2 - 8,207 \cdot W_{исх} + 56,805], \%$	Влажность зерна или семян, снимаемая за один цикл сушки $W_p = W_{исх} - W_{конд} - k, \%$	Количество циклов озонирования и сушки $N_{ц} = \left[\frac{W_{исх}}{W_{конд}} + \alpha \right], шт$
14	13	0	1	0
15		0	2	1
16		0	3	1
17		0	4	1
18		0	5	1
19		0	6	1
20		1	6	2
21		2	6	2
22		3	6	2
23		4	6	2
24		6	5	2
25		7	5	3
26		8	5	3
27		10	4	3
28		11	4	3
29		13	3	4
30		14	3	4
31		15	3	4
32		16	3	5
33		17	3	5
34		18	3	5
35		19	3	6

Экспериментально установлено, что в зависимости от культуры, исходного состояния просушиваемого вороха и периода сушки интенсивность влагоотдачи проозонированных зёрен в 1,33...3,4 раза выше, чем у необработанного озонм зернового материала [20, 37, 38, 88].

Вышеприведенные результаты положены в основу заявки №2019118552 на изобретение «Способ сушки зернового материала», по которой принято положительное решение о выдаче патента.

Вторым возможным вариантом использования системы озонирования на предлагаемом комплексе послеуборочной обработки и хранения зернового материала является применение озонной дезинсекции с целью снижения заражённости вороха. При этом для уничтожения большинства вредителей достаточно проозонировать ворох при концентрации озона в озоновоздушной смеси $5...70 \text{ мг/м}^3$ на протяжении нескольких часов. После озонной обработки большинство насекомых оказывается парализованным и в течение недели вымирает. Поэтому по прошествии $5...7$ дней после озонирования необходимо определить заражённость зернового материала и в случае необходимости повторить обработку. Однако если вредители находятся в преимагинальных стадиях развития (яйцо, личинка, куколка), то концентрацию озона необходимо увеличивать свыше 1 г/м^3 . В случае малой озонопроизводительности озонатора дезинсекцию необходимо проводить на протяжении до 55 суток при максимально возможном режиме оборудования.

Третьим возможным вариантом использования системы озонирования на предлагаемом комплексе является применение озонной предпосевной подготовки семян. При этом концентрация озона не должна превышать 5 мг/м^3 . В большинстве случаев для стимуляции ростовых процессов необходимы незначительные дозы. Поэтому при предпосевном озонировании концентрация озона в озоновоздушной смеси немногим превышает уровень ПДК, а экспозиция не превышает часа. В случае невозможности получить столь низкие значения необходимо использовать озонатор на минимальном режиме работы, но при этом увеличивать время отлёжки семян после обработки. При озонном предпосевном озонировании семян с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 5 мг/м^3 семенной материал должен не менее месяца храниться перед посевом.

Четвёртым возможным вариантом использования системы озонирования на предлагаемом комплексе является применение озонной дезинфекции одежды, оборудования, помещений и зернохранилищ.

В маленьких концентрациях озон благотворно сказывается на здоровье человека. Поэтому при искусственном озонировании помещений и оборудования, в которых возможно нахождение людей, содержание газа составляет $10...50 \text{ мкг/м}^3$ с обязательным автоматизированным контролем. Для первичной очистки воздуха от неприятных запахов достаточно концентрации озона в $50...100 \text{ мкг/м}^3$, что ниже уровня ПДК. При этом достаточно эффективно подавляются многие вещества, например, сероводород, аммиак, различные амины и т.д.

Для дезинфекции одежды и обуви необходим специальный шкаф. Для придания относительно чистым вещам свежести озонирование необходимо проводить в течение 15 мин. Если следует устранить достаточно стойкий запах, то обработку нужно осуществлять не менее 30 мин. Для уничтожения микробов озонирование необходимо проводить в течение 45 мин. При этом концентрацию озона следует увеличивать от 1 до 20 мг/м^3 .

При дезинфекции зернохранилищ режим озонаторной установки и время обработки напрямую зависит от заражённости объекта. Для подавления грибной инфекции родов «*Alternaria*», «*Aspergillus*», «*Fusarium*», «*Penicillium*», «*Rhizopus*» минимально необходимая доза озона составляет $28,8 \text{ г·с/м}^3$ [10]. Двухчасовая озонная обработка при содержании газа 46 мг/м^3 способствует гибели более 50% мелких грызунов. Смертельная концентрация озона в воздухе для мышей составляет $69...80 \text{ мг/м}^3$, а для крыс – $45...50 \text{ мг/м}^3$. Клетки большинства микроорганизмов разрушаются при озонной обработке небольшими дозами. Бактерии «*Bacillus sp.*», «*Bacillus subtilis*», «*Escherichia coli*», «*Streptococcus sp.*» погибают после 30 с воздействия озона в концентрации $0,2 \text{ мг/м}^3$. Примерно такие же результаты зафиксированы при озонировании большинства вирусов. Следовательно, для дезинфекции помещений без присутствия человека необходимы концентрации озона в озоновоздушной смеси на уровне $40...60 \text{ мг/м}^3$, что позволит уничтожить большинство вредных патогенов.

Во всех случаях чем выше концентрация озона, тем меньшее время следует проводить озонную обработку. После озонной дезинфекции нет необходимости проведения дополнительных операций.

6.4 Экономическая эффективность внедрения комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала

Замена различных сепараторов в зерноочистительных агрегатах серии *ЗАВ* на очиститель *ОЗФ-80* показала, что травмирование зерна на модернизируемых объектах снизилось на *10,9...14,5%* по сравнению с компоновкой предыдущих технологических линий [138]. Это объясняется тем, что благодаря применению процесса фракционирования в фуражный ворох выделяется больше повреждённых и биологически неполноценных зерновок, чем в устаревших машинах. Поэтому основная фракция состоит из более качественных зёрен, что косвенно подтверждается увеличением лабораторной всхожести семян на *22,7%* [140].

Хозяйственные испытания макетного образца сепаратора с уменьшенной рабочей шириной аспирационной системы и решётного стана до *0,3 м* при подготовке семян озимой пшеницы в производственных условиях показали следующие результаты:

- удельные затраты энергии на работу сепаратора – *0,21 кВт/т*;
- удельная производительность сепаратора – *1,34 т/(ч·дм)*;
- выход фуражной фракции – *11,6%*;
- выход основной фракции – *83,7%*;
- полнота разделения на семенную и фуражную фракции – *85%*;
- содержание полноценного зерна в основной фракции – *99,45%*;
- масса 1000 зерен основной фракции – *42,7 г*.

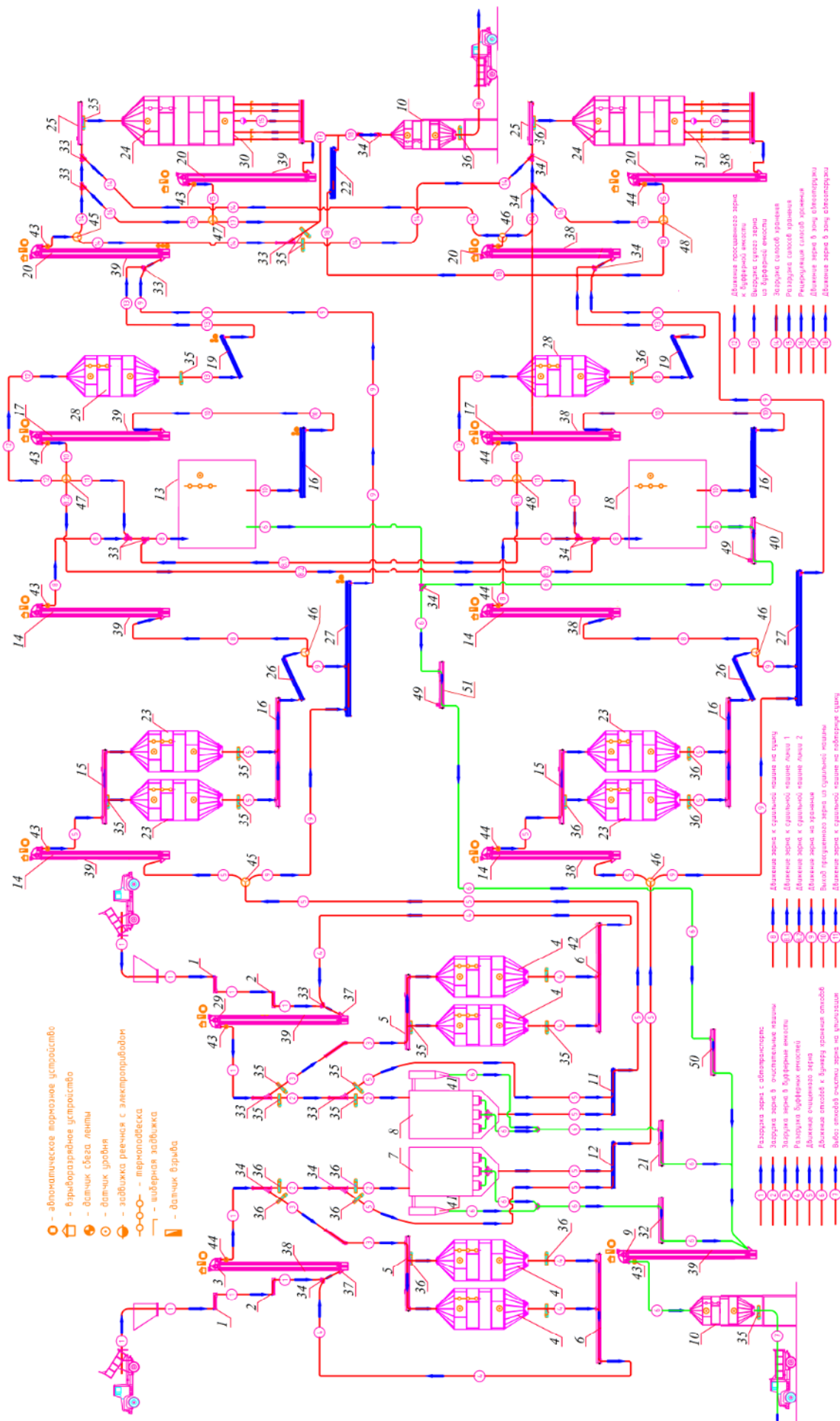
Основные результаты исследований внедрены и используются сельскохозяйственными предприятиями Липецкой области, ООО «Воронежсельмаш», ООО НПКФ «Агротех-Гарант Березовский» Рамонского района Воронежской области, КФХ «Нектар» Красногвардейского района Белгородской области, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (Приложения Л-Р).

Анализ современных комплексов послеуборочной обработки и хранения зернового материала, возводимых в Российской Федерации за последнее время

[16, 23, 41, 141, 189, 210], показал, что наиболее близким к предлагаемому варианту является технологическая линия элеватора ООО «ЭкоНиваАгро», расположенного южнее села Высокое Лискинского района Воронежской области. Объект возведён ООО «Воронежсельмаш», которое, по словам генерального директора компании Р.Н. Карпенко, занимает более 35% на рынке производства зерноочистительного и элеваторного оборудования [41]. Это говорит о том, что глубина поиска альтернативного сооружения предлагаемому комплексу послеуборочной обработки и хранения зернового материала была достаточной и с учётом других источников составила около половины от всех построенных в последнее время на территории нашей страны элеваторов. Первая очередь объекта была сдана 20 февраля 2015 года и на данный момент функционирует. После завершения всех работ элеватор будет способен одновременно хранить 50000 тонн зерна.

Технологическая схема элеватора в ООО «ЭкоНиваАгро», расположенного возле села Высокое Лискинского района Воронежской области, представлена на рисунке 6.11. Анализ технологической линии данного сооружения показал, что она имеет несколько схожих черт с предлагаемым комплексом для послеуборочной обработки и хранения зерна. Прежде всего, следует выделить две технологические линии, в каждой из которых установлено по одному зерноочистительному сепаратору. Вторым сходством является наличие буферных металлических конусных силосных зернохранилищ перед зерносушилкой и после неё. Третьей общей чертой является использование плоскодонных силосов для хранения товарного зерна. Имеются и другие более мелкие сходства. Всё это позволило выбрать данный элеватор в качестве прототипа для последующей модернизации посредством применения основных результатов исследований данной работы.

Анализ рисунка 6.11 показал, что имеется и ряд принципиальных отличий. Прежде всего, стоит выделить, что элеватор в ООО «ЭкоНиваАгро» не имеет отдельной семенной линии, а предназначен лишь для получения товарного и фуражного зерна. Обе технологические цепочки идентичны. Поэтому получить семенной материал на данном элеваторе невозможно в силу наличия большого количества транспортирующих органов и, как следствие, сильного повреждения зерна.



1 – завальная яма с цепным конвейером; 2, 5, 6, 11, 12, 15, 16, 19, 21, 22, 25, 26, 27, 32 и 50 – конвейер цепной; 3, 9, 14, 17, 20 и 29 – нория; 4, 10, 23 и 28 – силос с конусным дном; 7 и 8 – зерноочистительный сепаратор; 13 и 18 – зерносушилка; 24 – силос с плоским дном; 30 и 31 – зачистной шнек; 33 и 34 – ввод двойной; 35 и 36 – электрозадвижка; 37 – магнитный сепаратор; 38 и 39 – фильтр; 40 и 51 – конвейер винтовой; 41 – циклон; 42 – датчик обрыва цепи; 43 и 44 – затвор; 45 и 46 – клапан перекидной на два направления; 47 и 48 – клапан перекидной на три направления; 49 – датчик контроля вращения и подбора винтового конвейера

Рисунок 6.11 – Технологическая схема элеватора в ООО «ЭкоНиваАгро» Лискинского района Воронежской области

Для выявления целесообразности внедрения основных результатов исследования необходимо заменить зерноочистительные машины 7, 8 (рисунок 6.11) на очиститель *ОЗФ-80* в товарной линии и на сепаратор *СВС-30* в семенной. Буферные силоса 4, 23, 28, дооснастить централизованной системой озонирования. Семенную линию необходимо дооборудовать фотосепаратором и транспортным оборудованием в виде ленточных и-образных конвейеров. Кроме того, плоскодонные силосные зернохранилища не предназначены для содержания семян, поэтому для хранения посевного материала нужно установить конические силоса. Состав оборудования, его количество, ориентировочная стоимость на базовом и проектируемом комплексах послеуборочной обработки и хранения зернового материала представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Состав оборудования, его количество, стоимость на базовом и проектируемом комплексах послеуборочной обработки и хранения зернового материала

№ поз. на рис. 7.1	Наименование оборудования, марка	Стоимость, тыс. руб*	Количество, шт		Цена, тыс. руб	
			базовый	проект	базовый	проект
1	2	3	4	5	6	7
1	Завальная яма с цепным или ленточным конвейером	506	2	2	1012	1012
2	Конвейер цепной или ленточный	676	2	2	1352	1352
3	Нория, <i>НВ-250/30</i>	2880	1	1	2880	2880
4	Силос с конусным дном, <i>СМК 73.В.12.К45.В12</i>	2415	4	4	9660	9660
5	Конвейер цепной <i>КСВ-250 (У9-УКЦ 450/21)</i>	2591	2	2	5182	5182
6 и 15	Конвейер цепной <i>КСВ-175/15</i>	888	4	4	3552	3552
7	Зерноочистительная машина: <i>TAS204A-4</i> <i>ОЗФ-80</i>	3660	1	0	3660	3600
		1780	0	1	0	1780
8	Зерноочистительная машина: <i>TAS204A-4</i> <i>СВС-30</i>	3660	1	0	3660	0
		2180	0	1	0	2180
9	Нория, <i>НВ-175/22</i>	1473	1	1	1473	1473
10	Экспедиторский силос, <i>СМК37.06.К55</i>	705	3	3	2115	2115
11	Конвейер цепной <i>КСВ-175/31</i>	1601	1	1	1601	1601

Продолжение таблицы 6.7

1	2	3	4	5	6	7
12	Конвейер цепной <i>KCB-175/29</i>	1246	1	1	1246	1246
13	Зерносушилка: <i>СВМ-7-24</i> Семенная <i>ССУ-1</i>	27416 5280	1 0	1 1	27416 0	27416 5280
14	Нория, <i>НВ-175/30</i> Ленточный и-образный конвейер	1768 2145	4 0	4 1	7072 0	7072 2145
16 и 27	Конвейер цепной <i>KCB-175/17</i>	935	6	6	5610	5610
17	Нория, <i>НВ-175/34</i>	2294	2	2	4588	4588
18	Зерносушилка, <i>СВМ-7-24</i>	27416	1	1	27416	27416
19	Конвейер цепной, <i>KCB-175/11</i>	605	2	2	1210	1210
20	Нория, <i>НВ-175/36</i> Ленточный и-образный конвейер	2342 2145	4 0	4 2	9368 0	9368 4290
21 и 32	Конвейер цепной <i>KCB-50/12</i>	453	2	2	906	906
22	Конвейер цепной <i>KCB-175/44</i>	1941	1	1	1941	1941
23	Силос с конусным дном, <i>СМК 73.В.12.К45.В12</i>	2415	4	4	9660	9660
24	Силосное зернохранилище: - с плоским дном <i>TW60-11S</i> - с конусным дном <i>СМК.46.В.02</i>	8686 1302	18 0	18 6	156348 0	156348 7812
25	Конвейер цепной <i>KCB-175/17</i>	935	12	12	11220	11220
26	Конвейер цепной <i>KCB-175/7</i>	513	2	2	1026	1026
27	Конвейер цепной <i>KCB-175/29</i>	1246	2	2	2492	2492
28	Силос с конусным дном, <i>СМК 73.В.12.К45.В12</i>	2415	2	2	4830	4830
29	Нория, <i>НВ-250/30</i>	2880	1	1	2880	2880
30	Зачистной шнек	235	9	9	2115	2115
31	Зачистной шнек	235	9	9	2115	2115
33 и 34	Ввод двойной круглый, СВ08	2	20	20	40	40
35 и 36	Электрозадвижка, У12-ТЭА-15М	23	44	44	1012	1012
37	Магнитный сепаратор, МСН-175	86	2	2	172	172
38 и 39	Фильтр локальный, ФЛ700	435	13	13	5655	5655
40 и 51	Конвейер винтовой, КВ/14	243	2	2	486	486
41	Циклон, VR68/560-S1-290D	46	2	2	92	92
42	Датчик обрыва цепи конвейера, РДД-03А	6	2	2	12	12

Окончание таблицы 6.7

1	2	3	4	5	6	7
43 и 44	Аэрозольный затвор «Союз» на норию, ЗАГ×п-1,0	25	13	13	325	325
45 и 46	Перекидной клапан на два направления, SLK2×45×300	39	6	6	234	234
47 и 48	Перекидной клапан на три направления, КЗ×45×300	45	4	4	180	180
49	Датчик контроля вращения и подпора винтового конвейера, РДД-02	7	2	2	14	14
50	Конвейер цепной КСВ-175/24	1141	1	1	1141	1141
без поз.	Приборы лаборатории: - автоматический пробоотборник зерна, УПЗ-401; - компьютер с оборудованием; - лабораторная мельница, ЛЗМ-1; - прибор БИС-1; - сушильный шкаф, ШСО-2000; - электронные весы, DV215CD; - диафаноскоп зерна, ДСЗ-2; - измеритель клейковины, ИДК-3 - прочее оборудование	597 88 8 5 36 4 19 51 10	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	597 88 8 5 36 4 19 51 10	597 88 8 5 36 4 19 51 10
без поз.	Озонаторная установка	3430	0	1	0	3430
без поз.	Фотосепаратор	2230	0	1	0	2230
Итого	Затраты на оборудование				325 787	347 614
	Затраты на монтаж оборудования, 50% от стоимости оборудования				162894	173807
	Общестроительные расходы, 40% от стоимости оборудования				130315	139046
	Затраты на пусконаладочные работы, 7% от стоимости оборудования				22805	24333
	Прочие расходы, 3% от стоимости оборудования				9774	10428
Всего	Капитальные вложения, К				651 575	695 228

* - информация получена из открытых источников, не являющихся публичной офертой, стоимость округлена в большую сторону до тысяч рублей на величину до 3%.

Кроме специализированных машин в стоимость элеватора входят многие другие статьи расходов [48, 239]. С достаточной погрешностью их можно просчитать исходя из цены установленного оборудования. В среднем затраты на монтаж специализированных машин с учётом необходимых металлоконструкций составляют 50% [45]. Обще­строительные расходы при производстве элеваторов дости-

гают 40%. Затраты на пусконаладочные работы составляют 5...10%. Прочие расходы достигают 3% от стоимости оборудования [41, 141].

Анализ таблицы 6.7 показал, что для постройки элеватора с единовременным хранением 50000 т зернового материала необходимо свыше 651 млн. руб или 9869340\$. Для модернизации комплекса необходимо 43653 тыс. руб или 661210\$ дополнительных капитальных вложений.

Для сопоставления полученных результатов с общемировыми тенденциями сравним расчётную стоимость элеватора с аналогичными объектами. Поскольку каждый комплекс имеет свои особенности, то эталонной цены на подобные сооружения нет. Наиболее рациональным является сравнение стоимости элеваторов по себестоимости строительства на тонну хранения. Учитывая суммарную ёмкость силосов в 50000 т в базовом варианте данный показатель составит 13031,5 рублей или 200,5 \$, а в проектируемом – 13 904,56 руб или 213,9 \$. Подобные цифры вполне согласуются с общемировыми ценами. Так, в украинской компании «Кернел» заявляют, что стоимость элеватора не может быть ниже 200 \$ за тонну хранения [17]. В Российском зерновом союзе считают, что для реализации подобного сооружения необходимо от 200 до 300 \$ инвестиций на каждую тонну [98]. Следовательно, расчётную стоимость базового и проектируемого варианта элеватора можно признать близкой к действительности.

При расчёте экономической эффективности модернизации существующего комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала опирались на требования ГОСТ 23728-88 – ГОСТ 23730-88 [58], ГОСТ Р 53056-2008 [60], ГОСТ Р 53057-2008 [61] и соответствующие рекомендации [47, 49, 101, 103, 239].

В связи с дополнительно установленным оборудованием на проектируемом комплексе эксплуатационные издержки будут выше, чем в базовом варианте.

Амортизационные отчисления определим по формуле

$$A_m = K \cdot N_a / 100, \quad (6.5)$$

где A_m –затраты на амортизацию, руб;

K – капитальные вложения (таблица 6.7), руб;

N_a – годовая норма амортизации, при сроке службы элеватора 20 лет $N_a=5,0\%$.

В базовом варианте амортизационные отчисления $A_{m.}^{баз}$ составят

$$A_{m.}^{баз} = K_{баз} \cdot N_a / 100 = 651\,575\,000 \cdot 5 / 100 = 32\,578\,750 \text{ руб.}$$

В проектируемом варианте амортизационные отчисления $A_{m.}^{np}$ составят

$$A_{m.}^{np} = K_{np} \cdot N_a / 100 = 695\,228\,000 \cdot 5 / 100 = 34\,761\,400 \text{ руб.}$$

Тогда дополнительные амортизационные отчисления, вызванные установкой оборудования при модернизации, будут равны

$$A_{m.}^{дон} = A_{m.}^{np} - A_{m.}^{баз} = 34\,761\,400 - 32\,578\,750 = 2\,182\,650 \text{ руб.} \quad (6.6)$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание определим по формуле

$$P_{m.} = K \cdot N_p / 100, \quad (6.7)$$

где $P_{m.}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб;

N_p – ежегодная норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание оборудования. Для машин послеуборочной обработки урожая, $N_p = 6 \%$.

В базовом варианте затраты на ремонт и техническое обслуживание $P_{m.}^{баз}$ оборудования составят

$$P_{m.}^{баз} = K_{баз} \cdot N_p / 100 = 651\,575\,000 \cdot 6 / 100 = 39\,094\,500 \text{ руб.}$$

В проектируемом варианте затраты на ремонт и техническое обслуживание оборудования $P_{m.}^{np}$ составят

$$P_{m.}^{np} = K_{np} \cdot N_p / 100 = 695\,228\,000 \cdot 6 / 100 = 41\,713\,680 \text{ руб.}$$

Тогда дополнительные затраты на ремонт и техническое обслуживание, вызванные установкой оборудования при модернизации, будут равны

$$P_{m.}^{дон} = P_{m.}^{np} - P_{m.}^{баз} = 41\,713\,680 - 39\,094\,500 = 2\,619\,180 \text{ руб.} \quad (6.8)$$

Затраты на электроэнергию определим по формуле

$$C_{эл} = Q_{эл} \cdot Ц_{эл}, \quad (6.9)$$

где $C_{эл}$ – затраты на электроэнергию, руб;

$Q_{эл}$ – годовой расход электроэнергии, кВт·ч;

$Ц_{эл}$ – средняя цена 1 кВт·ч в России для сельхозпроизводителей, $Ц_{эл} = 6,1 \text{ руб.}$

По данным производителя, суммарная потребная мощность базового варианта элеватора составляет 1024 кВт . При этом годовой расход электроэнергии $Q_{\text{эл}}^{\text{баз}}$ достигает $5120000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. В проектируемом варианте суммарная потребная мощность базового варианта элеватора составляет 1050 кВт . При этом годовой расход электроэнергии $Q_{\text{эл}}^{\text{np}}$ равен $5250000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Незначительное увеличение потребной мощности объясняется установкой в проектируемую технологическую линию менее энергоёмких зерноочистительных сепараторов и повышением энергоэффективности операции сушки за счёт воздействия озонозоооздушной смеси.

В базовом варианте затраты на электроэнергию $C_{\text{эл.}}^{\text{баз}}$ составят

$$C_{\text{эл}}^{\text{баз}} = Q_{\text{эл}}^{\text{баз}} \cdot \text{Ц}_{\text{эл}} = 5\,120\,000 \cdot 6,1 = 31\,232\,000 \text{ руб.}$$

В проектируемом варианте затраты на электроэнергию $C_{\text{эл.}}^{\text{np}}$ составят

$$C_{\text{эл}}^{\text{np}} = Q_{\text{эл}}^{\text{np}} \cdot \text{Ц}_{\text{эл}} = 5\,250\,000 \cdot 6,1 = 32\,025\,000 \text{ руб.}$$

Тогда дополнительные затраты на электроэнергию $C_{\text{эл.}}^{\text{доп}}$, вызванные установкой оборудования при модернизации будут равны

$$C_{\text{эл.}}^{\text{доп}} = C_{\text{эл.}}^{\text{np}} - C_{\text{эл.}}^{\text{баз}} = 32\,025\,000 - 31\,232\,000 = 793\,000 \text{ руб.} \quad (6.10)$$

Общие эксплуатационные затраты базового варианта в год составят

$$I_{\text{э}}^{\text{баз}} = A_{\text{м}}^{\text{баз}} + P_{\text{м}}^{\text{баз}} + C_{\text{эл}}^{\text{баз}} = 32578750 + 39094500 + 31232000 = 102\,905\,250 \text{ руб.} \quad (6.11)$$

Общие эксплуатационные затраты проектируемого варианта в год составят

$$I_{\text{э}}^{\text{np}} = A_{\text{м}}^{\text{np}} + P_{\text{м}}^{\text{np}} + C_{\text{эл}}^{\text{np}} = 34761400 + 41713680 + 32025000 = 108\,500\,080 \text{ руб.} \quad (6.12)$$

Тогда годовые дополнительные эксплуатационные издержки составят

$$\mathcal{E}_u = I_{\text{э}}^{\text{np}} - I_{\text{э}}^{\text{баз}} = 108\,500\,080 - 102\,905\,250 = 5\,594\,830 \text{ руб.}, \quad (6.13)$$

где $\mathcal{E}_u$ – дополнительные эксплуатационные издержки, руб.

Анализ представленных расчётов показал, что модернизация сказывается на повышении эксплуатационных затрат на $5,6 \text{ млн.}$ рублей в год по сравнению с базовым вариантом за счёт установки дополнительной технологической линии. Однако на проектируемом комплексе можно получать не только товарное и фуражное зерно, но и посевной материал. Это расширяет спектр выполняемых работ и

обеспечивает получение дополнительной продукции. Кроме того, качество товарного зерна будет выше. Это объясняется большей эффективностью фракционных сепараторов за счёт лучшего выделения основной фракции и меньшим её повреждением.

Расчёт годового экономического эффекта от модернизации комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала за счёт реализации дополнительно полученной продукции произведём в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Годовой экономический эффект от модернизации комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала за счёт реализации дополнительно полученной продукции

Показатели	Базовый вариант	Проектируемый вариант
Годовой объём обрабатываемого зернового материала, <i>т</i> :	50 000	50 282
- зерно пятого класса (фуражное);	13 890	11 110
- зерно товарное четвёртого класса;	19 445	19 445
- зерно товарное третьего класса;	16 655	19 445
- семенной материал	-	282
Цена тонны зернового материала [110], <i>руб/т</i> :		
- зерно пятого класса (фуражное);	9 000	9 000
- зерно товарное четвёртого класса;	9 800	9 800
- зерно товарное третьего класса;	10 700	10 700
- семенной материал	16 000	16 000
Стоимость продукции в год, <i>тыс. руб</i> :		
- зерно пятого класса (фуражное);	125 010	99 990
- зерно товарное четвёртого класса;	190 659	190 561
- зерно товарное третьего класса;	178 208,5	208 061,5
- семенной материал	-	4512
Стоимость всей продукции, <i>тыс. руб</i>	493 877,5	503 125
Коэффициент оборачиваемости	2,0	2,0
Стоимость продукции с учётом оборачиваемости, <i>тыс. руб</i>	987 755	1 006 250
Стоимость дополнительной продукции в год, <i>тыс. руб</i>	-	18495
Эксплуатационные издержки в год, <i>тыс. руб</i>		5594,83
Годовой экономический эффект, <i>руб</i>		12 900 170

Следовательно, годовой экономический эффект составит $P_{rt} = 12900170$ руб.

Экономический эффект за срок эксплуатации учитывает ежегодный эффект и возрастание его по годам по формуле сложных процентов

$$K_T = P_{\pi} \cdot \frac{(1 + ND)^{T_9} - 1}{ND}, \quad (6.14)$$

где K_T – экономический эффект за срок эксплуатации, руб;

T_9 – срок эксплуатации элеватора, $T_9 = 20$ лет;

ND – требуемая норма доходности. При ставке рефинансирования 6,5%, темпе инфляции 4,3% и премии за риск 10% требуемая норма доходности составит $ND = 0,1211$;

В расчётах экономического эффекта за срок эксплуатации выплаты по налогам не учитывались, поскольку налог на доход по вкладу в настоящее время взимается только в случае, если ставка по вкладу превышает ставку рефинансирования Центробанка РФ, поэтому:

$$K_T = 12\,900\,170 \cdot \frac{(1 + 0,1211)^{20} - 1}{0,1211} = 941\,419\,704,5 \text{ руб.}$$

Определим цену спроса D_p на комплекс ресурсов для реализации проекта по следующей формуле

$$D_p = \frac{K_T}{(1 + ND)^{T_9}} = \frac{941\,419\,704,5}{(1 + 0,1211)^{20}} = 95\,696\,539,3 \text{ руб.} \quad (6.15)$$

Коэффициент эффективности капитальных вложений определяется по формуле

$$E_T = \sqrt[T_9]{\frac{K_T}{K_{\text{дон}}}} - 1 = \sqrt[20]{\frac{941\,419\,704,5}{43\,653\,000}} - 1 = 1,17 - 1 = 0,17, \quad (6.16)$$

где $K_{\text{дон}}$ – дополнительные капитальные вложения, $K_{\text{дон}} = 43\,653\,000$ руб.

Коэффициент эффективности капитальных вложений больше требуемой нормы доходности, т.е. $E_T = 0,17 > ND = 0,1211$. Это подчёркивает экономическую целесообразность предложенной модернизации.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений найдем по следующей зависимости

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - K_{дон} \cdot \frac{ND}{P_{rt}}\right)}{\ln(1 + ND)} = \frac{-\ln\left(1 - 43653000 \cdot \frac{0,1211}{12900170}\right)}{\ln(1 + 0,1211)} = 4,6 \text{ года} \quad (6.17)$$

Результаты расчётов экономической эффективности модернизации существующего комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала представлены в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Показатели экономической эффективности модернизации существующего комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала

Наименование показателя	Значение показателя	
	Базовый вариант	Проектируемый вариант
Стоимость оборудования, <i>млн. руб</i>	325,8	347,6
Капитальные вложения, <i>млн. руб</i>	651,6	695,2
Дополнительные капитальные вложения, <i>млн. руб</i>		43,7
Дополнительные эксплуатационные затраты, <i>млн. руб</i>		5,6
Стоимость реализованной продукции, <i>млн. руб</i>	987,8	1 006,3
Стоимость дополнительно реализованной продукции, <i>млн. руб</i>		18,5
Годовой экономический эффект, <i>млн. руб</i>		12,9
Цена спроса на комплекс ресурсов, <i>млн. руб</i>		95,7
Коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений		0,17
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, <i>лет</i>		4,6

Результаты расчетов экономической эффективности модернизации существующего комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала показали, что годовой экономический эффект составит свыше 12,9 *млн. руб*, а срок окупаемости – 4,6 *года*.

Следовательно, реализация предложенных технических и технологических решений является экономически обоснованной и позволит улучшить финансовые показатели работы зерноочистительно-сушильных комплексов и элеваторов.

6.5 Выводы

1. 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.

2. 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 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 $0,06\%$.

3. 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 со-

ставил 83,7% при содержании в ней полноценного зерна 99,45%.

4. 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 $5...20 \text{ мг/м}^3$ 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 $60...70^\circ\text{C}$, но в случае превышения содержания влаги в исходном зерновом ворохе ($W_{\text{исх}}$) значения в 19% операции озонирования и сушки необходимо повторять $N_{\text{ц}}$ раз, где $N_{\text{ц}} = \left[\frac{W_{\text{исх}}}{W_{\text{конд}}} + (0,0044 \cdot W_{\text{исх}}^2 - 0,044 \cdot W_{\text{исх}} - 0,9) \right]$;

- при обработке зернового вороха, заражённого вредителями, озонирование необходимо проводить в силосных зернохранилищах при концентрации озона в озонозудушной смеси $5...70 \text{ мг/м}^3$ на протяжении 1...4 часов, при необходимости повторения операции её проводят через 5...7 дней, а вредителей в преимагинальных стадиях развития уничтожают при максимальном режиме озонатора с концентрацией озона свыше 1 г/м^3 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 варьировать в диапазоне $1...20 \text{ мг/м}^3$, а время – 15...45 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 озоновоздушной 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.

5. Модернизация существующего комплекса послеуборочной обработки и хранения зернового материала с ёмкостью зернохранилищ *50000 тонн* потребует *43,653 млн. руб.* дополнительных капитальных вложений. При этом годовой экономический эффект от реализации проекта составит *12,9 млн. руб.*, а срок окупаемости – *4,6 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 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 озоновоздушной смеси в диапазоне 5...70 мг/м³. 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 зер-

носушилкой, 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 $5...15 \text{ мг/м}^3$ 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 озонозвоздушной смеси в диапазоне $5...70 \text{ мг/м}^3$ на протяжении от нескольких часов до нескольких суток. С увеличением концентрации озона до 200 мг/м^3 время озонирования сокращается в $2...10$ раз. При повышении содержания данного газа в озонозвоздушной смеси свыше 1 г/м^3 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. Вентиляция 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^2 на $9,3 \text{ ц/га}$, 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 $5...20 \text{ мг/м}^3$ 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 $60...70^\circ\text{C}$, но в случае превышения содержания влаги в исходном зерновом ворохе ($W_{\text{исх}}$) значения в 19% операции озонирования и сушки необходимо повторять $N_{\text{ц}}$ раз, где $N_{\text{ц}} = \left[\frac{W_{\text{исх}}}{W_{\text{конд}}} + (0,0044 \cdot W_{\text{исх}}^2 - 0,044 \cdot W_{\text{исх}} - 0,9) \right]$;

- при обработке зернового вороха, заражённого вредителями, озонирование необходимо проводить в силосных зернохранилищах при концентрации озона в озоновоздушной смеси $5...70 \text{ мг/м}^3$ на протяжении $1...4$ часов, при необходимости повторения операции её проводят через $5...7$ дней, а вредителей в преимагинальных стадиях развития уничтожают при максимальном режиме озонатора с концентрацией озона свыше 1 г/м^3 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 – $15...45$ 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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ФГБОУ ВО – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования;

ГАУ – государственный аграрный университет;

ИП – индивидуальный предприниматель;

КФХ – крестьянское фермерское хозяйство;

ЗАО – закрытое акционерное общество;

ООО – общество с ограниченной ответственностью;

ОАО – открытое акционерное общество;

ЗАВ – зерноочистительный агрегат «Воронежсельмаша»;

КЗС – комплекс зерноочистительно-сушильный;

МСУ – молотильно-сепарирующее устройство;

ВНИИЗ – Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки;

E – энергия прорастания семян, %;

$t_{\text{озон}}$ – время озонирования, мин;

$C_{\text{озон}}$ – концентрация озона, мг/м³;

T_o – время отлёжки посевного материала до посева, дни

B – всхожесть семян, %;

$B_{\text{л}}$ – лабораторная всхожесть семян, %;

F – сила роста семян кукурузы, %;

ПДК – предельно-допустимая концентрация;

O_3 – молекулярная формула озона в химии;

$f(W)$ – функция энергетического баланса семян;

W – общая энергия, запасённая в семенах;

W_S – энергия, расходуемая на запас питательных веществ, ккал/кг;

W_A – энергия, расходуемая на рост растения, МДж/ц;

W_R – энергия, расходуемая на накопление продуктов ассимиляции, МДж/ц;

W_J – энергия, расходуемая на формирование сухого вещества, МДж/ц;

W_O – энергия, расходуемая на обмен веществ, МДж/ц;

W' – общая энергия, запасённая в озонированных семенах;

W_{O_3} – энергия, высвобождаемая в семенах в результате предпосевного озонирования, МДж/ц;

I_H – номинальный ток озонатора;

n_o – максимальное количество пар противоположно заряженных частиц;

j – плотность тока;

e – заряд электрона;

n_e, n_-, n_+ – плотности соответственно электронов, отрицательных и положительных ионов;

μ_e, μ_-, μ_+ – подвижность соответственно электронов, отрицательных и положительных ионов;

λ – средняя длина свободного пробега электронов в газе;

δ – коэффициент, который учитывает долю энергии, отдаваемой при столкновении с частицей;

$\frac{dC}{dt}$ – скорость поглощения озона семенами;

K_C – константа скорости поглощения озона единицей объёма зерна, мг/м³·с;

S – площадь обрабатываемого зернового материала, м²;

V – объём обрабатываемого зернового материала, м³;

v – скорость движения озонозооной смеси, м/с;

$C_{вх}$ – концентрация озона на входе в зерновой материал, мг/м³;

$C_{вых}$ – концентрация озона на выходе из зернового материала, мг/м³.

t – время обработки;

Q_{O_3} – производительность озонатора;

$N_{вент}$ – производительность компрессора или вентилятора, м³/ч;

K_0 – константа скорости поглощения озона семенами при нулевой концентрации озона;

h – толщина слоя семян;

λ – коэффициент сопротивления трения;

ρ – плотность озонозооной смеси;

L_0 и π – константы;

R – сопротивление зернового слоя, Па;

$k_{t\varphi}$ – эмпирический коэффициент, учитывающий снижение производительности озонатора при изменении температуры и влажности воздуха;

T_B – температура воздушного потока, °C;

φ – влажность воздушного потока, %;

Q – общее количество озона, поступающего на дезинфекцию, мг;

Q_1 – количество озона, поглощаемое зерном, мг;

Q_2 – количество саморазлагаемого озона, мг;

Q_3 – количество озона, идущего на разложение токсинов, мг;

Q_4 – количество остаточного озона, мг;

Q_T – общее количество теплоты, которое выделяется от взаимодействий озона;

Q_{Pl} – теплота, выделяемая от рекомбинации озона в сушильном агенте;

Q_{P2} – теплота, выделяемая от рекомбинации озона на поверхности зерна;

Q_g – теплота, выделяемая за счёт реакции дыхания;

Q_b – теплота, образованная за счёт вторичных преобразований внутри зерна;

$n_{c.a.}$ – коэффициент распада озона в сушильном агенте;

$k_{c.a.}$ – удельная теплота, выделяемая от рекомбинации в сушильном агенте;

m_{O_3} – масса синтезированного озона;

Q_{Pln} – часть теплоты, выделяемой от рекомбинации озона в сушильном агенте и используемой для нагрева зерна;

n – коэффициент полезно используемой теплоты;

n_m – коэффициент распада озона на поверхности зерна;

k_m – удельная теплота, выделяемая от рекомбинации на поверхности зерна;

n_g – часть озона, инициирующая биохимические реакции;

k_g – удельная теплота, выделяемая при дыхании зерна;

m_M – масса зерна, обрабатываемая озоном;

n_b – часть озона, участвующая во внутренних преобразованиях;

k_b – удельная теплота, выделяемая при внутренних преобразованиях;

C_{O_3} – концентрация озона, кг/м³;

L – расход сушильного агента, $m^3/ч$;

T_0 – температура зерна в опыте, $^{\circ}C$;

T_k – температура зерна в контроле, $^{\circ}C$;

c_m – теплоёмкость зерна;

ΔT – градиент температуры, $^{\circ}C$;

α_{mo} – коэффициент диффузии влаги при температуре $20^{\circ}C$, $m^2/с$;

T_3 – температура зерна, $^{\circ}C$;

$k, k_0, k_1, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ – коэффициенты;

ρ_0 – плотность сухого вещества зерна;

ΔU – градиент влагосодержания;

δ – термоградиентный коэффициент, $\%/^{\circ}C$;

G_1 – процентное содержание зерна с выбитым зародышем, %;

G_2 – процентное содержание зерна с травмированным зародышем, %;

G_3 – процентное содержание зерна с травмированной оболочкой зародыша, %;

G_4 – процентное содержание зерна с травмами оболочек зародыша и эндосперма, %;

G_5 – процентное содержание зерна с травмированным эндоспермом, %;

G_6 – процентное содержание зерна с травмированной оболочкой эндосперма, %;

B_i – всхожесть зерна с соответствующим видом травм, %;

B_1 – всхожесть зерна с выбитым зародышем зерна, %;

B_2 – всхожесть зерна с травмированным зародышем, %;

B_3 – всхожесть зерна с травмированной оболочкой зародыша, %;

B_4 – всхожесть зерна с травмами оболочек зародыша и эндосперма, %;

B_5 – всхожесть зерна с травмированным эндоспермом, %;

B_6 – всхожесть зерна с травмированной оболочкой эндосперма, %.

B_7 – всхожесть полноценного зерна, %;

W_3 – влажность зерна, %;

M – масса 1000 семян, г;

D – дробление зерна, %;

D_p – дробление зерна роторными комбайнами, %;

D_6 – дробление зерна барабанными комбайнами, %;

n – частота вращения ротора или барабана, мин^{-1} ;

$T_{пр.р}$ – приведенное микротравмирование зерна роторными комбайнами, %;

$T_{пр.б}$ – приведенное микротравмирование зерна барабанными комбайнами, %;

$l_в$ – шаг воздухозаборников, м;

L_k – длина кузова, м;

b_k – ширина между продольными воздуховодами, м;

B_k – ширина кузова, м;

N_k – количество отводов с форсунками, шт;

α – ориентировочное значение угла между отводящими воздуховодами, °;

s – эмпирический коэффициент;

R – радиус силосного зернохранилища, м;

l – расстояние от стенок силоса до клапанов с форсунками, м;

α' – скорректированный угол между отводящими воздуховодами, рад;

l' – скорректированное расстояние от стенок силоса до форсунок $l'=R/2$, м.

$B_{пол}$ – полевая всхожесть семян, %;

$n_{всх}$ – количество всхожих в полевых условиях семян, шт;

$n_{пос}$ – количество посеянных семян, шт;

R – коэффициент множественной корреляции;

R^2 – коэффициент детерминации;

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

t_p – время разложения озона, мин;

$T_{озон}$ – период озонирования, мин;

$W_{\text{оз.пш.}}^{\text{конт.}}$ – влажность зерна озимой пшеницы контрольного образца, %;

t_c – время сушки зерна, мин;

$W_{\text{оз.пш.}}^{\text{озон.}}$ – влажность проозонированного зерна озимой пшеницы, %;

$W_{\text{соя}}^{\text{конт.}}$ – влажность семян соевых бобов контрольного образца, %;

$W_{\text{соя}}^{\text{озон.}}$ – влажность проозонированных семян соевых бобов, %;

$W_{\text{кукур.}}$ – влажность зерна кукурузы, %;

a, b, c – коэффициенты уравнения регрессии;

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

T_6 – средняя температура воздуха за период наблюдений, °C;

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

W_6 – 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, %;

B_2 – колосовое решето;

B – подсевное решето;

Γ – сортировальное решето;

Γ_1 – сортировальное решето верхнего яруса;

Γ_2 – сортировальное решето нижнего яруса;

$\emptyset$ – диаметр;

L_{OK1}^{DA} – длина осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров;

L_{OK}^{DA} – длина осадочной камеры первой аспирации;

h_K^{DA} – высота поворотного разделительного клапана осадочной камеры первой аспирации;

H_K^{DA} – расстояние от верхней стенки до места крепления клапана;

H_{OK1}^{DA} – глубина осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров;

H_{OK}^{DA} – глубина осадочной камеры первой аспирации;

$l_{\Pi1}^{DA}$ – длина отражательной перегородки осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров;

l_{Π}^{DA} – длина отражательной перегородки осадочной камеры первой аспирации;

β_i^{DA} – угол установки стенки дна камеры с входной стороны осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров;

β^{DA} – угол установки стенки дна камеры с входной стороны осадочной камеры первой аспирации;

H_{B1}^{DA} – глубина входного окна осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров;

H_B^{DA} – глубина входного окна осадочной камеры первой аспирации;

H_{Φ}^{DA} – глубина всасывающего воздуховода;

α_I^{DA} – угол установки стенки дна с выходной стороны осадочной камеры первой аспирации уменьшенных размеров;

α^{DA} – угол установки стенки дна с выходной стороны осадочной камеры первой аспирации;

L_{OKI}^{PA} – длина осадочной камеры второй аспирации уменьшенных размеров;

L_{OK}^{PA} – длина осадочной камеры второй аспирации;

H_B^{PA} – глубина выходного окна;

H_{OKI}^{PA} – глубина осадочной камеры второй аспирации уменьшенных размеров;

H_{OK}^{PA} – глубина осадочной камеры второй аспирации;

l_{Π}^{PA} – длина отражательной перегородки осадочной камеры второй аспирации уменьшенных размеров;

l_{Π}^{PA} – длина отражательной перегородки осадочной камеры второй аспирации;

β_1^{PA} – угол установки стенки дна камеры с выходной стороны осадочной камеры второй аспирации уменьшенных размеров;

β^{PA} – угол установки стенки дна камеры с выходной стороны осадочной камеры второй аспирации;

α_1^{PA} – угол установки стенки дна камеры с входной стороны осадочной камеры второй аспирации уменьшенных размеров;

α^{PA} – угол установки стенки дна камеры с входной стороны осадочной камеры второй аспирации;

W_p – расчётная влажность зернового материала, которую можно снять за один цикл сушки, %;

$W_{исх}$ – исходная влажность зернового материала, %;

$W_{конд}$ – кондиционная влажность зернового материала, %;

$N_{\text{ц}}$ – количество циклов озонирования и сушки, шт;

A_m – затраты на амортизацию, руб;

K – капитальные вложения, руб;

N_a – годовая норма амортизации, %;

$A_m.^{баз}$ – амортизационные отчисления в базовом варианте, руб;

$A_m.^{np}$ – амортизационные отчисления в проектировочном варианте, руб;

$A_m.^{доп}$ – дополнительные амортизационные отчисления, вызванные установкой оборудования при модернизации, руб;

$P_m.$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб;

N_p – ежегодная норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание оборудования, %;

$P_m.^{баз}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание в базовом варианте, руб;

$P_m.^{np}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание в предлагаемом варианте, руб;

$P_m.^{доп}$ – дополнительные затраты на ремонт и техническое обслуживание, вызванные установкой оборудования при модернизации, руб;

$C_{эл}$ – затраты на электроэнергию, руб;

$Q_{эл}$ – годовой расход электроэнергии, кВт·ч;

$C_{эл}$ – средняя цена 1 кВт·ч в России для сельхозпроизводителей, руб;

$C_{эл}^{баз}$ – затраты на электроэнергию в базовом варианте, руб;

$C_{эл}^{np}$ – затраты на электроэнергию в предлагаемом варианте, руб;

$C_{эл}^{доп}$ – затраты на электроэнергию, вызванные установкой оборудования при модернизации, руб;

$I_c^{баз}$ – общие эксплуатационные затраты в год базового варианта, руб;

I_c^{np} – общие эксплуатационные затраты в год проектируемого варианта, руб;

$\mathcal{E}_u$ – дополнительные эксплуатационные издержки, руб;

P_{rt} – годовой экономический эффект, руб;

K_T – экономический эффект за срок эксплуатации, руб;

$T_э$ – срок эксплуатации элеватора, лет;

NS – коэффициент, отражающий учётную годовую ставку процента по кредитам;

D_p – цена спроса на комплекс ресурсов для реализации проекта, руб;

E_T – коэффициент эффективности капитальных вложений;

$K_{доп}$ – дополнительные капитальные вложения, руб;

$T_{ок}$ – срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева, В.Н. Влияние обработки озоном на физиологические параметры пшеницы / В.Н. Авдеева, Ю.А. Безгина, С.И. Любая // Научное обозрение. Сельскохозяйственные науки. – 2014. – №1. – С. 9.
2. Авдеева, В.Н. Влияние озона на качественные показатели озимой пшеницы / В.Н. Авдеева, Ю.А. Безгина // Аграрная наука, образование, производство: актуальные вопросы: сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием (Россия, Томск, 24 апреля 2014 г.). – Новосибирск: Новосибирский ГАУ, 2014. – С. 131-133.
3. Авдеева, В.Н. Влияние озона на качество клейковины и электропроводность зерна пшеницы / В.Н. Авдеева, Ю.А. Безгина, О.М. Хаджихметова // Применение современных ресурсосберегающих инновационных технологий в АПК: материалы III междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Ставрополь, 08-14 февраля 2013 г.). – Ставрополь: Ставропольское изд-во «Параграф», 2013. – С. 3-5.
4. Авдеева, В.Н. Влияние озона на электропроводность зерна пшеницы / В.Н. Авдеева, Ю.А. Безгина, А.Г. Молчанов // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: материалы 77 науч.-практ. конф. (Россия, Ставрополь, 11 марта – 05 апреля 2013 г.). – Ставрополь: Изд-во «Агрус», 2013. – С. 3-5.
5. Авдеева, В.Н. Воздействие озонированного воздуха на качественные показатели пшеницы / В.Н. Авдеева, Ю.А. Безгина // Вестник АПК Ставрополя. – 2013. – №2 (10). – С. 97-100.
6. Авдеева, В.Н. Озонирование – экологический способ обеззараживания зерносмесей / В.Н. Авдеева, Ю.А. Безгина, С.И. Любая // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2015. – №3 (29). – С. 23-29.
7. Авдеева, В.Н. Предпосевная обработка семян озимой пшеницы озоном / В.Н. Авдеева, Г.П. Стародубцева, С.И. Любая // Главный агроном. – 2009. – №5. – С. 22-24.

8. Авдеева, В.Н. Предпосевная обработка семян пшеницы озоном / В.Н. Авдеева, Г.П. Стародубцева, С.И. Любая // Аграрная наука. – 2008. – №5. – С.19-20.
9. Авдеева, В.Н. Применение озона для предпосевной обработки зерна пшеницы / В.Н. Авдеева, Д.С. Толстов // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: материалы 78 науч.-практ. конф. (Россия, Ставрополь, 01 марта – 01 мая 2014 г.). – Ставрополь: Изд-во «Агрус», 2014. – С.19-20.
10. Авдеева, В.Н. Применение экологических методов подавления патогенной микрофлоры зерна озимой пшеницы при хранении: дис ... канд. с.-х. наук: 03.00.16 / Авдеева Валентина Николаевна; [Место защиты: Ставроп. гос. аграр. ун-т]. – Ставрополь, 2009. – 141 с.
11. Авдеева, В.Н. Применение электроозонирования при подготовке зерновых культур к хранению / В.Н. Авдеева, Ю.А. Безгина // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Ставрополь, 14-17 мая 2013 г.). – Ставрополь: Ставропольское изд-во «Параграф», 2013. – С. 23-25.
12. Алдошин, Н.В. Зерноуборочный комбайн РСМ-181 Torum на уборке белого люпина / Н.В. Алдошин, М.А. Мосяков // Научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., в рамках XVIII Междунар. агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2016» (Россия, Ставрополь, 30 марта-01 апреля 2016 г.). – Ставрополь: Ставропольский гос. аграр. ун-т, 2016. – С. 23-27.
13. Алдошин, Н.В. Пути улучшения работы очистки зерноуборочного комбайна / Н.В. Алдошин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – №6 (82). – С. 23-27.
14. Алдошин, Н.В. Результаты исследований роторного зерноуборочного комбайна JohnDeere S660 фирмы ООО «Джон Дир Русь» в условиях тамбовской области / Н.В. Алдошин, В.С. Казанцев В.С. // Горячкинские чтения: сб. докл. 1-й

междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 145-летию В.П. Горячкина (Россия, Москва, 12-13 ноября 2013 г.). – М.: Московский гос. агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, 2013. – С. 92-98.

15. Алдошин, Н.В. Совершенствование конструкции очистки зерноуборочного комбайна / Н.В. Алдошин, Н.А. Лылин // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – №6. – С. 58-61.

16. Анисимова, Л.В. Проектирование элеваторов: учебное пособие / Л.В. Анисимова. – Барнаул: Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2004. – 167 с.

17. Арифметика строительства элеватора. Как построить дешевле? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elevatorist.com/spetsproekt/62-arifmetika-stroitelstva-elevatora-kak-postroit-deshevle> (дата обращения: 10.11.2019).

18. Ахматов, А.А. Травмирование зерна шнековым питающим устройством / А.А. Ахматов, В.И. Оробинский, В.Н. Солнцев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – Вып. 4 (47). – С. 98-101.

19. 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.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 13-21.

20. Баскаков, И.В. Влияние озона на процесс сушки зерна / И.В. Баскаков, В.В. Чистохвалов // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы I междунар. науч.-практ. конф. (ДНР, Макеевка, 26 апреля 2018 г.). – Т. III. – Макеевка: ГОУ ВПО Донбасская аграрная академия, 2018. – С. 31-36.

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

22. Баскаков, И.В. Влияние способа хранения зерна на качество семян / И.В. Баскаков, О.В. Чернова // Инновационные направления развития технологий и

технических средств механизации сельского хозяйства: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию каф. с.-х. машин агроинженерного факультета Воронежского гос. аграрного ун-та имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 25 декабря 2015 г.). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 82-88.

23. 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.

24. Баскаков, И.В. Потери зерна при хранении в зернохранилищах силосного типа / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, Р.Н. Карпенко // Роль аграрной науки в развитии АПК РФ: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 105-летию ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (Россия, Воронеж, 1-2 ноября 2017 г.). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 201-208.

25. 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. 198-204.

26. Бровенко, В.И. Хранение и вентилирование зерна пшеницы в металлических силосах с аэрожелобами закрытого типа: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.03 / Бровенко Василий Иванович. – М., 1984. – 230 с.

27. Буддо, И.С. Механические травмы и всхожесть семян зерновых в зависимости от влажности в момент обмолота / И.С. Буддо // Биология и технология семян: сборник статей. – Харьков, 1974. – С. 165-172.

28. Васильчук, Н.С. Влияние предпосевной обработки семян системными протравителями и озоном на начальные ростовые процессы и продуктивность озимой пшеницы / Н.С. Васильчук, В.А. Эпштейн // Агро XXI. – 2007. – № 4-6. – С. 49-50.

29. Васильчук, Н.С. Предпосевная обработка семян озоном / Н.С. Васильчук, И.В. Шестерин // Агро XXI. – 2003/2004. – №7-12. – С. 67-68.

30. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1973. – 198 с.

31. Вербицкая, С.В. Предпосевная обработка семян фасоли озоном и магнитным полем: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Вербицкая Софья Викторовна. – зерноград, 2001. – 167 с.

32. Влияние высоты горизонта хлебостоя зерновых культур на качество семян / И.В. Баскаков [и др.] // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 26-27 ноября 2018 г.). – Ч.І. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 96-101.

33. Влияние высоты среза хлебной массы на изменение её свойств / В.И. Оробинский [и др.] // Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК: материалы национальной науч.-практ. конф. Воронежского гос. аграр. ун-та им. императора Петра І (Россия, Воронеж, 26 февраля 2019 г.). – Ч.І. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 122-129.

34. Влияние высоты среза хлебной массы на состав зернового вороха / А.В. Чернышов [и др.] // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 26-27 ноября 2018 г.). – Ч.І. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 123-128.

35. Влияние предпосевной обработки семян пшеницы озоном на их посевные качества / Г.П. Стародубцева, Ю.А. Безгина, А.Г. Молчанова, В.Н. Авдеева // Инновации аграрной науки и производства: состояние, проблемы и пути решения: сб. тр. конф. (Россия, Ставрополь, 26-29 марта 2008 г.). – Ставрополь: Изд-во Агрус, 2008. – С. 123-127.

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

37. Влияние процесса озонирования на эффективность сушки зерна кукурузы / И.В. Баскаков [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Вып. 4 (59). – С. 127-133.

38. Влияние процесса озонирования на эффективность сушки семян / И.В. Баскаков [и др.] // 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 имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 7-9 ноября 2018 г.). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 34-42.

39. Влияние срока хранения зерна на его поражение фитопатогенами / В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова, С.И. Коржов, Т.Н. Тертычная // Наука вчера, сегодня, завтра: материалы науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 5-9 сентября 2016 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 40-43.

40. Влияние схемы размещения решёт в решётном стане на фракционирования зернового вороха / А.П. Тарасенко [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – №3. – С. 32-34.

41. Воронежсельмаш [сайт] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vselmash.ru/> (дата обращения: 12.11.2019).

42. Гагкаева, Т.Ю. Заражённость грибами и загрязнение микотоксинами зерна овса на северо-западе России в 2014 г. / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова // Защита и карантин растений. – 2015. – №8. – С. 10-12.

43. Гагкаева, Т.Ю. Заражённость зерна грибами *Fusarium* в Краснодарском и ставропольском краях / Т.Ю. Гагкаева, О.П. Гаврилова // Защита и карантин растений. – 2014. – №3. – С. 30-32.

44. 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.

45. Гиевский, А.М. Повышение эффективности работы универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 /

Гиевский Алексей Михайлович; [Место защиты: Воронежский гос. аграрный ун-т им. императора Петра I]. – Воронеж, 2016. – 364 с.

46. Голота, В.И. Основы озоновоздушной технологии подготовки семян к посевной / В.И. Голота, В.П. Петренкова, Г.В. Таран // Научная жизнь. – 2014. – №5. – С. 62-72.

47. Горланов, С.А. Методологические основы экономической оценки инвестиций в АПК / С.А. Горланов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2002. – Вып. 5. – С. 140-145.

48. Горланов, С.А. Совершенствование оценки эффективности инвестиций в АПК / С.А. Горланов // Проблемы современного управления в АПК: материалы юбилейной науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 26-27 мая 1998 г.). – Воронеж: Воронежский ГАУ, 1998. – С. 252-254.

49. Горланов, С.А. Экономическая оценка проектных разработок в АПК / С.А. Горланов, Е.В. Злобин. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2002. – 66 с.

50. Горский, И.В. Обработка семян пшеницы озонированным воздухом: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Горский Илья Всеволодович. – М., 2004. – 202 с.

51. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: введ. 01.01.1989. – М.: Стандартиформ, 2006. – 48 с.

52. ГОСТ 12036-85 Семена сельскохозяйственных культур. Правила приёмки и методы отбора проб: введ. 01.07.1986. – М.: Стандартиформ, 2011. – С. 5-14.

53. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести: введ. 01.07.1986. – М.: Стандартиформ, 2011. – С. 36-64.

54. ГОСТ 12041-82 Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения влажности: введ. 30.06.1983. – М.: Стандартиформ, 2011. – С. 109-114.

55. ГОСТ 12042-80 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян: введ. 01.07.1981. – М.: Стандартиформ, 2011. – С. 116-118.

56. ГОСТ 13586.3-83 Зерно. Правила приёмки и методы отбора проб: введ. 01.07.1984. – М.: Стандартиформ, 2009. – 11 с.

57. ГОСТ 13586.6-93 Зерно. Методы определения заражённости вредителями: введ. 01.01.1995. – Минск: Изд-во стандартов, 1994. – 8 с.
58. ГОСТ 23728-88 – ГОСТ 23730-88 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Взамен ГОСТ 23728-79: введ. 01.01.89. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.
59. ГОСТ Р 52325-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия: введ. 01.01.2006. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 16 с.
60. ГОСТ Р 53056-2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки: введ. 01.01.2009. – М.: Стандартиформ, 2009. – 19 с.
61. ГОСТ Р 53057-2008 Машины сельскохозяйственные. Методы оценки конкурентоспособности: введ. 01.01.2009. – М.: Стандартиформ, 2009. – 7 с.
62. ГОСТ Р 7.0.11-2011 Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления: введ. 13.12.11. – М.: Стандартиформ, 2012. – 11 с.
63. Долговых, О.Г. Экологически безопасная предпосевная обработка семян пшеницы / О.Г. Долговых, В.Н. Огнев // Инженерный вестник Дона. – 2014. – №4-1 (31). – С. 7.
64. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Альянс, 2011. – 351 с.
65. Дринча, В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки / В.М. Дринча. – Воронеж: Изд-во НПО «МОДЭК», 2006. – 384 с.
66. Ермольев, Ю.И. Новые технологии очистки семян на базе универсального зерноочистительного агрегата / Ю.И. Ермольев, М.В. Шелков, А.В. Бутовченко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – №9. – С. 14-15.
67. Ермольев, Ю.И. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна воздушными зерноочистительными машинами и агрегатами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Ермольев Юрий Иванович. – Ростов-на-Дону, 1990. – 300 с.

68. Завражнов, А.И. Модернизация технологий подработки зерна путём применения авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов / А.И. Завражнов, К.Н. Тишанинов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – №3. – С. 56-58.

69. Завражнов, А.И. Обоснование регулирующей способности делителя потока зерна / А.И. Завражнов, К.Н. Тишанинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – №5. – С. 30-31.

70. Завражнов, А.И. Совершенствование технологии подработки зерна / А.И. Завражнов, К.Н. Тишанинов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – №3. – С. 29-32.

71. Закладной, Г.А. Биологическая активность озона в отношении вредителей зерна – рисового долгоносика и амбарного долгоносика / Г.А. Закладной, Е.К.М. Сaeed, Е.Ф. Когтева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – №4. – С. 59-61.

72. Закладной, Г.А. Биологическая оценка озона как средства борьбы с вредителями зерна и зернопродуктов / Г.А. Закладной, М.А.М. Осман // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. – №5. – С. 8-9.

73. Закладной, Г.А. Возможности использования озона для дезинсекции зерна, поступающего на элеваторы в кузовах автомобилей / Г.А. Закладной, Е.В. Корса-Вавилова // Модернизация системы зернохранилищ России. Новые аспекты развития: материалы I междунар. конф. (Россия, Москва, 7-9 февраля 2011 г.). – М.: ООО «Пищепромиздат», 2011. – С. 247.

74. Закладной, Г.А. Зерно: не только произвести, но и сохранить / Г.А. Закладной // Защита и карантин растений. – 2015. – № 10. – С. 37-40.

75. Закладной, Г.А. Зерно съедобное и несъедобное / Г.А. Закладной // Защита и карантин растений. – 2014. – № 1. – С. 12-14.

76. Закладной, Г.А. Озон в борьбе с вредителями хранящегося зерна / Г.А. Закладной, Е.К.М. Сaeed // Хранение зерна – 2003: материалы II междунар. конф. (Россия, Москва, 19-22 мая 2003 г.). – М.: ООО «Пищепромиздат», 2003. – С. 97-98.

77. Закладной, Г.А. Сколько зерна пшеницы кушают насекомые / Г.А. Закладной // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. – 2017. – № 8 (8). – С. 160-166.

78. Закладной, Г.А. Современные направления защиты хранящегося зерна от насекомых: дис. ... д-ра биол. наук: 06.01.11 / Закладной Геннадий Алексеевич; [Место защиты: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»]. – Л., 1987. – 426 с.

79. Защита зерновых культур от болезней: монография / А.Ю. Кекало, В.В. Немченко, Н.Ю. Зарганян, М.Ю. Цапышева. – Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. – 172 с.

80. Изменение концентрации озона в ворохе зерна кукурузы / И.В. Баскаков [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Вып. 4 (59). – С. 134-140.

81. Инновационные направления подготовки семян зерновых культур / А.В. Чернышов [и др.] // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: материалы V междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского гос. аграрного ун-та имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 7-9 ноября 2018 г.). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 157-160.

82. Интенсификация процессов временного хранения и сушки зерна озонированием сушильного агента [Электронный ресурс] / А.В. Голубкович [и др.]. – Режим доступа: http://www.kge.msu.ru/ozone/archives/1rus_conf_pr/Presentations/Golubkovich.pdf (дата обращения : 19.10.2019).

83. 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.

84. Исследование влияния электроозонирования на всхожесть семян / Д.А. Нормов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – №112. – С.1438-1451.

85. 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.

86. Исследование эффективности очистки вороха яровой пшеницы на семенные цели воздушно-решетным сепаратором / В.И. Оробинский [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Вып. 2 (61). – С. 34-42.

87. К вопросу выбора типа зерноуборочного комбайна для уборки семенных посевов / А.В. Чернышов [и др.] // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 26-27 ноября 2018 г.). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 107-112.

88. К вопросу применения озонных технологий при сушке и хранении семян / И.Н. Стаканов [и др.] // Молодёжный вектор развития аграрной науки: материалы 70-й студенческой науч. конф. – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 145-149.

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

90. Кечкин, И.А. Особенности хранения зерна злаковых культур в металлических силосах и его охлаждение активным вентилированием / И.А. Кечкин // Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов отделения с.-х. наук Российской академии наук. – М.: ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 2016. – С. 131-134.

91. Кечкин, И.А. Хранение зерна в металлическом силосе вместимостью 10000 тонн / И.А. Кечкин // Междунар. науч.-практ. конф., посвящённая памяти Василия Матвеевича Горбатова. – М.: ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 2018. – С. 104-106.

92. Коновалов, Ю.Б. Особенности полевого опыта в ранних звеньях селекционного процесса / Ю. Б. Коновалов. – М.: Тимерязевская с.-х. академия, 1982. – 26 с.
93. Котляров, С.Ю. Особенности конструкций аспирационных систем современных зерноочистительных машин / С.Ю. Котляров, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков // Молодёжный вектор развития аграрной науки: материалы 68-й студенческой науч. конф. (Россия, Воронеж, март - июнь 2017 г.). – Ч.III. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 264-268.
94. Ксенз, Н.В. Генерация озона коронным разрядом / Н.В. Ксенз, О.В. Меликова, И.Г. Сидорцов // Физико-технические проблемы создания новых экологически чистых технологий в агропромышленном комплексе: материалы VI Российской науч.-практ. конф. (Ставрополь, 22-24 апреля 2011 г.). – Ставрополь, 2011. – С. 70-73.
95. Ксенз, Н.В. Распределение озона от электроозонатора в воздушной среде производственного помещения / Н.В. Ксенз, И.Г. Сидорцов, А.В. Белоусов // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – №4 (40). – С. 70-75.
96. Ксенз, Н.В. Способы снижения энергоёмкости процесса сушки семян зерновых культур использованием электрофизических методов / Н.В. Ксенз, Н.И. Шабанов // Вестник АПК Ставрополья. – 2014. – №2 (14). – С. 48-51.
97. Ксенз, Н.В. Электроозонирование воздушной среды животноводческих помещений: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02 / Ксенз Николай Васильевич. – Зерноград, 1991. – 299 с.
98. Кто строит свои элеваторы и сколько это стоит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/12262/> (дата обращения: 10.11.2019).
99. Литвинов, С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве: монография / С.С. Литвинов. – М.; Всероссийский НИИ овощеводства, 2011. – 650 с.
100. Мельник, Б.Е. Технология приёмки, хранения и переработки зерна / Б.Е. Мельник, В.Б. Лебедев, Г.А. Винников. – М.: Агропромиздат, 1990. – 366 с.

101. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники: монография / А.В. Шпилько [и др.]. – М.: ГП УСЗ Минсельхозпрома России, 1998. – 219 с.

102. Методические рекомендации по определению сортовых качеств семян в полевых условиях / А.М. Малько. – М.: Российский НИИ информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению АПК, 2006. – 224 с.

103. Методические рекомендации по составлению бизнес-планов внедрения технологий и сельскохозяйственной техники / А.В. Шпилько [и др.]. – М.: Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства, 1999. – 172 с.

104. Механизация процессов послеуборочной обработки зерна в Новосибирской области: рекомендации / Н.М. Иванов [и др.]. – Новосибирск, 2002. – 125 с.

105. Мироненко, Н.Н. Длительное хранение семян озимого тритикале / Н.Н. Мироненко, Т.Н. Тертычная // Молодые ученые в решении актуальных проблем современной науки: сб. науч. тр. Межрегиональной науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (Чебоксары, 1-2 марта 2006 г.). – М.: ООО «Полиграф», 2006. – С. 48-50.

106. Мироненко, Н.Н. Качество зерна озимого тритикале в процессе длительного хранения и его долговечность в условиях Центрально-Чернозёмного региона РФ: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09, 05.18.01 / Мироненко Надежда Николаевна; [ФГОУ ВПО "Воронежский гос. аграр. ун-т им. К.Д. Глинки"]. – Воронеж, 2005. – 152 с.

107. Мироненко, Н.Н. Лабораторная всхожесть и энергия прорастания зерна тритикале в зависимости от сроков хранения / Н.Н. Мироненко, Т.Н. Тертычная, В.И. Манжесов // Актуальные направления развития экологически безопасных технологий производства, хранения и переработки сельскохозяйственных продуктов : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию Воронежского аграр. ун-та им. К.Д. Глинки и 10-летию технологического факультета ВГАУ (Воронеж, 15-18 апреля 2003 г.). – М.: Изд-во Истоки, 2003. – С. 146-149.

108. Мироненко, Н.Н. Посевные качества зерна тритикале в процессе хранения / Н.Н. Мироненко, Т.Н. Тертычная // Вклад молодых ученых в развитие аграрной науки в начале XXI века: материалы Межрегиональной науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, посвященной 90-летию Воронежского гос. аграр. ун-та им. К.Д. Глинки (Воронеж, 21-23 мая 2003 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2003. – С. 234-235.

109. Моделирование процесса синтеза озона в интегрированном пакете MATHCAD / А.Е. Шамин, А.С. Серебряков, В.Л. Осокин, П.Н. Романов // Вестник НГИЭИ. – 2019. – № 5(96). – С. 48-60.

110. Мониторинг цен на пшеницу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agro-bursa.ru/prices/wheat/#> (дата обращения: 27.08.2019).

111. Нормов, Д.А. Анализ существующих научных гипотез по влиянию озонотоксической обработки на семена сельскохозяйственных растений / Д.А. Нормов, А.А. Шевченко, И.И. Федоров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №116. – С. 424-434.

112. Нормов, Д.А. Баланс озона при детоксикации фуражного зерна / Д.А. Нормов, Д.В. Пожидаев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №94. – С. 348-359.

113. Нормов, Д.А. Дезинфекция фуражного зерна электроозонированием / Д.А. Нормов, Е.А. Федоренко // Аграрная Россия. – 2009. – №2. – С. 17-19.

114. Нормов, Д.А. Механизм воздействия озонотоксической смеси на семена кукурузы и методика проведения экспериментального исследования влияния электроозонирования на ростовые процессы семян / Д.А. Нормов, А.А. Шевченко, Е.А. Сапрунова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – №105. – С. 775-787.

115. Нормов, Д.А. Обеззараживание зерна озонированием / Д.А. Нормов, Е.А. Федоренко // Комбикорма. – 2009. – №4. – С. 44.

116. Нормов, Д.А. Озон в отраслях АПК / Д. А. Нормов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. науч. тр. – Краснодар: КубГАУ, 2002. – С. 86-89.

117. Нормов, Д.А. Озон против микротоксинов фуражного зерна / Д.А. Нормов, А.А. Шевченко, Е.А. Федоренко // Сельский механизатор. – 2009. – №4. – С. 24-25.

118. Нормов, Д.А. Определение производительности установки для электроозонирования семян / Д. А. Нормов, Д.В. Пожидаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – №10. – С. 35-36.

119. Нормов, Д.А. Распределение озонозовоздушной смеси в слое зерна / Д.А. Нормов, А. А. Шевченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – №101. – С. 1897-1907.

120. Нормов, Д.А. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02 / Нормов Дмитрий Александрович; [Место защиты: ФГОУ ВПО "Кубанский государственный аграрный университет"]. – Краснодар, 2009. – 307 с.

121. Обоснование выбора комбайна для уборки семенных посевов зерновых культур / В.И. Оробинский [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Вып. 4 (59). – С. 86-91.

122. Обоснование применения процесса озонирования при производстве кукурузы на зерно / И.В. Баскаков [и др.] // Роль аграрной науки в развитии АПК РФ: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 105-летию ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (Россия, Воронеж, 1-2 ноября 2017 г.). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 197-201.

123. Обоснование размеров осадочных камер двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины / А.М. Гиевский [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. 4 (51). – С. 87-95.

124. Огнев, В.Н. Применение экологически безопасных способов предпосевной обработки семян для защиты ярового ячменя против корневых гнилей /

В.Н. Огнев, Л.В. Корепанова // Научный потенциал – аграрному производству: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. (Россия, Ижевск, 26-29 февраля 2008 г.). – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2008. – Т.1. – С.172-176.

125. Озон Пром-Тех [сайт] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ozonpromtech.ru/> (дата обращения: 10.11.2019).

126. Озонирование зерна при транспортировке бункерного вороха / И.В. Баскаков [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Вып. 2 (61). – С. 67-75.

127. 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. аграрного ун-та имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 10 января 2017 г.). – Ч.II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С.10-16.

128. Озоновоздушная смесь как эффективный инструмент для сушки зерна / Н.В. Ксенз, А.В. Белоусов, Н.Г.Леонтьев, И.Г. Сидорцов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2014. – №4. – С.49-50.

129. Оптимальная плотность почвы – резерв повышения урожайности / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов // Сельский механизатор. – 2017. – №11. – С. 12-13.

130. Оробинский, В. И. Фракционирование зернового вороха и качество семян / В. И. Оробинский // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 2006. – №10. – С. 29-30.

131. Оробинский, В.И. Влияние микроорганизмов и срока хранения на посевные качества семян / В.И. Оробинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 11. – С. 5-6.

132. Оробинский, В.И. Влияние режимов работы очистки зерноуборочных комбайнов на потери зерна / В.И. Оробинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 2. – С. 6-7.

133. Оробинский, В.И. Использование двухъярусных четырехрешетных станков для фракционирования зернового вороха / В.И. Оробинский // Зерновое хозяйство. – 2006. – № 4. – С. 18-19.

134. Оробинский, В.И. Получение полноценного зерна при послеуборочной обработке путём фракционной технологии очистки / В.И. Оробинский, А.М. Гиевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2007. – Вып. 14. – С 136-146.

135. Оробинский, В.И. Результаты испытаний зерноочистительных машин семейства ОЗФ / В.И. Оробинский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2006. – Вып. 13. – С 119-128.

136. 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.

137. Оробинский, В.И. Снижение травмирования зерна при уборке за счет совершенствования процесса доработки колосового вороха в молотилке комбайна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Оробинский Владимир Иванович. – Воронеж, 1987. – 212 с.

138. Оробинский, В.И. Совершенствование технологии послеуборочной обработки семян фракционированием и технических средств для её реализации: дис. ... д-ра с.-х. наук: 05.20.01 / Оробинский Владимир Иванович; [Место защиты: ФГОУ ВПО Воронежский гос. аграрный ун-т им. К.Д. Глинки]. – Воронеж, 2007. – 334 с.

139. Оробинский, В.И. Улучшение качества семян / В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.П. Тарасенко // Совершенствование технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: сб. науч. тр. Воронежского гос. аграр. ун-та. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2003. – С. 148-153.

140. Оробинский, В.И. Фракционирование зерна. Совершенствование послеуборочной обработки семян / В.И. Оробинский. – Germany, Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing GmbH&Co. KG, 2012. – 380 с.

141. Осколсельмаш [сайт] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oskolselmash.ru/> (дата обращения: 12.11.2019).

142. Осман, М.А.М. Озон – альтернатива фумигантам / М.А.М. Осман, Г.А. Закладной // Защита и карантин растений. – 2008. – № 3. – С. 56.

143. Оськин, С.В. Предпосевная обработка семян озоном / С.В. Оськин, Д.А. Нормов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – № 11. – С. 7.

144. Оценка заражённости зерна фузариевыми грибами сортов ячменя и овса, выращенных в условиях Ленинградской области / О.П. Гаврилова [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2014. – №3. С. 66-70.

145. Оценка качества очистки зерна на семяочистительной линии фирмы LMC / В.И. Оробинский [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – Вып. 4 (47). – С 93-87.

146. Патент № 1095899 СССР, МПК А01F 25/08. Способ сушки семян зерновых культур / Н.А. Глущенко, Л.Ф. Глущенко, Т.П. Троцкая; патентообладатель Гродненский сельскохозяйственный институт. – №3355297; заявлено 04.09.1981; опубл. 07.06.1984. Бюл. №21. – 5 с.

147. Патент № 2196417 РФ, МПК А01F 25/00, А01F 25/08, А01F25/22, А23В 9/08, А23В 8/18. Способ сушки зерна и семян / А.В. Голубкович, А.Г. Чижиков; патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. – №2001110265/13; заявлено 16.04.2001; опубл. 20.01.2003. Бюл. №2. – 8 с.

148. Патент № 2198134 РФ С1, МПК С01В 13/11. Озонатор / В.К. Андрейчук [и др.]; заявитель и патентообладатель Кубанский гос. аграр. ун-т. – №2001129273/12; заявлено 30.10.2001; опубл. 10.02.2003. Бюл. №4. – 4 с.

149. Патент №2298440 С2 РФ, МПК В07В 1/50. Очиститель плоских решет / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «СемМаш». – №2005119900/03; заявлено 27.06.2005; опубл. 10.05.2007. Бюл. № 13. – 5 с.

150. Патент № 2298441 С2 РФ, МПК В07В 4/02. Аспирационная система зерноочистительной машины / А.П. Тарасенко [и др.]; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «СемМаш». – №2005111617/03; заявлено 19.04.2005; опубл. 10.05.2007. Бюл. № 13. – 5 с.

151. Патент № 2469525 С1 РФ, МПК А01F 12/44, В07В 4/02. Двухаспирационная пневмосистема зерноочистительной машины / А.П. Тарасенко, А.М. Гиевский; патентообладатель ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ им. К.Д. Глинки. – №2011125251/13; заявлено 17.06.2011; опубл. 20.12.2012. Бюл. № 35. – 6 с.

152. 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.

153. Патент № 2620015 С1 РФ, МПК А01С1/06. Установка для дражирования семян / А.И. Ряднов, М.Т. Айтмуратов, Р.В. Шарипов; патентообладатель ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ. – №2016104677; заявлено 11.02.2016; опубл. 22.05.2017. Бюл. № 15. – 8 с.

154. 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.

155. 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.

156. Патент на полезную модель №43798 U1 РФ, МПК В07В 1/30. Решётный стан / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский; патентообладатель ООО «СемМаш». – №2004132455/22; заявлено 09.11.2004; опубл. 10.02.2005. Бюл. №4. – 6 с.

157. 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.

158. Предупреждение травмирования семян зерна сельскохозяйственными машинами: рекомендации / А. П. Тарасенко [и др.]. – Воронеж, 1983. – 26 с.

159. Производительность фракционных очистителей зерна и показатели их работы / А. П. Тарасенко [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – №9. – С. 35-37.

160. Повышение качества зерна / А.П. Тарасенко [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – №10. – С. 7-10.

161. Полевой опыт / под ред. П.Г. Найдина. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Колос, 1968. – 327 с.

162. Поливаев, О.И. Испытание сельскохозяйственной техники и энергосиловых установок / О.И. Поливаев, О.М. Костиков. – СПб.: Изд-во «Лань», 2016. – 280 с.

163. Полоус, Г.П. Основные элементы методики полевого опыта: учебное пособие / Г.П. Полоус, А.И. Войсковой. – Изд. 2-е, доп. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2013. – 116 с.

164. Применение процесса озонирования в отраслях / И.Н. Стаканов [и др.] // Молодёжный вектор развития аграрной науки: материалы 68-й студенческой науч. конф. (Россия, Воронеж, март - июнь 2017 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 269-275.

165. Применение процесса озонирования в сельском хозяйстве / И.В. Баскаков [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. 3 (50). – С. 120-126.

166. Причины порчи зерна и семян при хранении / А.В. Гречкин [и др.] // Молодёжный вектор развития аграрной науки: материалы 70-й студенческой науч. конф. – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 73-77.

167. 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.

168. Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединённых Наций [сайт] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fao.org/home/ru/> (дата обращения: 10.11.2019).

169. Протокол испытаний №14-29-2017 (5070082) очистителя зерна фракционного ОЗФ-80 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sistemamis.ru/protocols/2017/ch2917.pdf> (дата обращения: 10.11.2019).

170. Пугачев, А.Н. Повреждение зерна машинами / А.Н. Пугачев. – М., 1976. – 320 с.

171. Пути совершенствования технологической линии зерноочистительного агрегата / А.П. Тарасенко, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков, В.А. Гиевский // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 26-27 ноября 2018 г.). – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 415-420.

172. Расписание погоды [сайт] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rp5.ru/archive.php?wmo_id=34123 (дата обращения: 17.07.2019).

173. Расположение колосовых решет в современных зерноочистительных машинах / А.В. Чернышов, А.М. Гиевский, И.В. Баскаков, М.К. Харитонов // Наука и образование в современных условиях: материалы междунар. науч. конф. (Россия, Воронеж, 10 марта – 22 апреля 2016 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 173-178.

174. Распространение озонных технологий в сельском хозяйстве / А.С. Гончаров, С.А. Афонин, И.В. Баскаков, В.И. Орбинский // Молодёжный вектор развития аграрной науки: материалы 70-й студенческой науч. конф. – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 245-251.

175. Русских, В. Ф. Уменьшая травмирование зерна, повышаем его урожайность / В. Ф. Русских // Комбикорма. – 2010. – №7. – С. 51-53.

176. Ряднов, А.И. Агротехнические решения проблемы уборки зерновых колосовых культур по комплексному критерию эффективности в условиях недос-

таточного увлажнения (на примере Нижнего Поволжья): дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.09; 05.20.01 / Ряднов Алексей Иванович. – Волгоград, 1995. – 334 с.

177. Ряднов, А.И. Методология оптимизации рабочих органов зерноуборочных комбайнов / А. И. Ряднов, С.В. Тронеv, И.П. Скворцов // Научное обозрение. – 2017. – №21. – С. 44-48.

178. Ряднов, А.И. Оптимизация конструкции распределительного шнека зерноуборочного комбайна / А. И. Ряднов, С.В. Тронеv // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – №2 (26). – С. 185-194.

179. Ряднов, А.И. Технология уборки зерновых культур с выделением ценных семян / А. И. Ряднов // Аграрная наука. – 2004. – №6. – С. 15.

180. Саевд, Е.К.М. Биологическая активность озона как средства дезинсекции хранящегося зерна: дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11 / Саевд Емад Касим Мохаммад. – М., 2004. – 134 с.

181. Сигаевд, М.А. Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в Кузнецкой лесостепи: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01 / Сигаевд Мария Александровна; [ФГБОУ ВО "Краснояр. гос. аграр. ун-т"]. – Красноярск, 2015. – 152 с.

182. Снижение потерь и механических повреждений зерна при уборке урожая: рекомендации / А.И. Завражнов [и др.]. – Мичуринск: Мичуринский гос. аграр. ун-т, 2014. – 82 с.

183. Снижение травмирования зерна при послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – №1(45). – С. 63-68.

184. 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.

185. Совершенствование механизации производства семян зерновых культур: рекомендации / А.П. Тарасенко [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформатех», 2014. – 60 с.

186. Совершенствование средств механизации для получения качественного зерна / А.П. Тарасенко [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – Вып. 3 (34). – С. 109-115.

187. Современные методы хранения зерна в хранилищах силосного типа / И.В. Баскаков [и др.] // Инновационные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса: материалы науч. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. сотрудников и аспирантов (Россия, Воронеж, март – июнь 2015 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 15-20.

188. Современные тенденции совершенствования решетных станков сеяночистительных машин / М.К. Харитонов [и др.] // Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 40-летию Белгородского гос. аграр. ун-та (Россия, Белгородская обл., п. Майский, 19 ноября 2018 г.). – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – С. 274-278.

189. Современные технологии хранения зерна в хозяйствах: учеб. пособие / А.П. Тарасенко [и др.]. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2014. – 135 с.

190. Сорокин, А.Н. Влияние обработки озono-воздушным потоком на посевные качества семян зерновых культур / А.Н. Сорокин // Актуальные проблемы науки и агропромышленном комплексе: материалы 68-й междунар. науч.-практ. конференции. – Т.1. – Караваево: Костромская ГСХА, 2017. – С. 74-79.

191. Сорокин, А.Н. Влияние озонирования на посевные качества семян и урожайность клевера лугового / А.Н. Сорокин, Т.М. Морозова // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. – 2018. – №3(55). – С.146-151.

192. Сорокин, А.Н. Влияние предпосевного озонирования семян на эффективность производства зелёной массы клевера лугового / А.Н. Сорокин, Т.М. Морозова // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – №3(47). – С. 17-21.

193. Стаканов, И.Н. Влияние предварительного озонирования семян перед сушкой на их всхожесть и энергию прорастания / И.Н. Стаканов, И.В. Баскаков, В.И. Оробинский // Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 40-летию Белгородского гос. аграр. ун-та (Россия, Белгородская обл., п. Майский, 19 ноября 2018 г.). – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – С. 265-269.

194. Стаканов, И.Н. The effect of preliminary ozonization of seeds before drying on their germination and germination energy / И.Н. Стаканов, И.В. Баскаков, В.И. Оробинский // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы междунар. V науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов (на иностранных языках) (Россия, Воронеж, апрель 2019 г.) – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 151-154.

195. Стародубцева, Г.П. Влияние озона на снижение токсичности зерна озимой пшеницы / Г.П. Стародубцева, Ю.А. Безгина, В.Н. Авдеева // Разработка новых южнороссийских технологий и технической базы для возделывания зерновых в зоне засушливого земледелия: сб. науч. тр. Всероссийской науч.-техн. конф. по результатам научных исследований за 2004 год (Россия, Зерноград, 25-26 мая 2005 г.). – Зерноград, 2005. – С. 144-148.

196. Стародубцева, Г.П. Озонирование как эффективный метод обеззараживания зерна озимой пшеницы / Г.П. Стародубцева, Ю.А. Безгина, В.Н. Авдеева // Актуальные вопросы экологии и природопользования: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Ставрополь, 21-25 октября 2005 г.). – Ставрополь: Изд-во Агрус, 2005. – С. 52-55.

197. Сторчевой, В.Ф. Ионизация и озонирование воздушной среды в птицеводстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02 / Сторчевой Владимир Федорович. – М., 2004. – 283 с.

198. Строна, И.Г. Общее семеноведение полевых культур / И.Г. Строна. – М.: Колос, 1966. – 464 с.

199. Таран, Г.В. Результаты испытаний озоновой технологии предпосевной обработки семян [Электронный ресурс] / Г.В Таран [и др.]. – Режим доступа:

http://www.kge.msu.ru/ozone/archives/1rus_conf_pr/Presentations/Taran.pdf (дата обращения: 19.10.2019).

200. Тарасенко, А.П. Влияние влажности зерна при уборке и послеуборочной обработке на его травмирование / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова // *Зерновые культуры. Зерновое хозяйство*. – 1999. – №4. – С.22-24.

201. Тарасенко, А.П. Влияние влажности зерна при уборке и послеуборочной обработке на посевные качества семян / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова // *Хранение и переработка зерна*. – 2000. – № 2. – С. 12-13.

202. Тарасенко, А.П. Влияние способов уборки и влажности зерна в момент обмолота на его травмирование / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.В. Никонов // *Научно-методические проблемы преподавания специальных дисциплин в направлении профессионального обучения*. – Липецк, 2000. – С. 99-102.

203. Тарасенко, А.П. Оптимальная влажность семян и уровень травмирования их при обмолоте / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Долматов // *Зерновое хозяйство*. – 1983. – № 6. – С. 29-30.

204. Тарасенко, А.П. Показатели работы фракционных очистителей зерна / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский // *Техника в сельском хозяйстве*. – 2010. – № 1. – С. 5-7.

205. Тарасенко, А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко. – Воронеж: ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2003. – 332 с.

206. Тарасенко, А.П. Совершенствование послеуборочной обработки семян зерновых культур / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. – 1999. – № 12. – С. 27-28.

207. Тарасенко, А.П. Совершенствование механизации производства семян / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский // *Сельский механизатор*. – 2019. – № 8. – С. 14-15.

208. 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.

209. Тарасенко, А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян / А.П. Тарасенко. – М.: КолосС, 2008. – 232 с.
210. Технологии и средства механизации сушки и послеуборочной обработки зерна: учебное пособие / К.Р. Казаров, А.П. Тарасенко, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов; под ред. К.Р. Казарова. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – 310 с.
211. Тихонова, Л.И. Исследование изменений биохимических, посевных, урожайных и технологических свойств овса и ячменя при хранении: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / Тихонова Луиза Ивановна. – М., 1977. – 16 с.
212. Тишанинов, Н.П. Модернизация импортных зерноочистительных технологий / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – №4 (40). – С. 12-18.
213. Тишанинов, Н.П. Обоснование решений при реконструкции и модернизации зерноочистительных агрегатов / Н.П. Тишанинов, В.А. Ветров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1997. – №9. – С. 6-9.
214. Тишанинов, Н.П. Теоретическое обоснование технологических параметров каскадного делителя / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2019. – №3 (39). – С. 56-67.
215. Ткаченко, С.Н. Гомогенное и гетерогенное разложение озона : дис. ... д-ра хим. наук: 02.00.04 / Ткаченко Сергей Николаевич. – М., 2004. – 398 с.
216. Троцкая, Т.П. Сушка зерна с помощью озоновоздушной смеси / Т.П. Троцкая // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – №1. – С. 36-39.
217. Троцкая, Т.П. Электроактивирование процессов сушки растительных материалов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / Троцкая Таисия Павловна. – М., 1998. – 31 с.
218. Трушкин, В.А. Перспективы использования озона в сельскохозяйственном производстве / В.А. Трушкин, С.В. Шлюпиков, Т.И. Третьякова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы X национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием (Россия, Саратов, 22 апреля 2019 г.). – Саратов:

Изд-во ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2019. – С. 228-232.

219. Тухватуллин, М.М. Изменение микрофлоры и интенсивность дыхания компонентов свежесобранной пшеницы при хранении / М.М. Тухватуллин, Л.В. Алексеева // Тр. ВНИИЗ. – М., 1986. – Вып. 108. – С.35-39.

220. Тышкевич, Е.В. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы озонотехнологическим агентом / Е.В. Тышкевич, С.А. Шабин, Н.Л. Виноградова // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2015. – №4 (44). – С. 210-214.

221. Улучшение качества зернового вороха при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2009. – №5. – С. 23-26.

222. Устройство и подготовка сельскохозяйственных машин к работе : учеб. пособие / К. Р. Казаров [и др.]; 2-е изд., перераб. и доп. – Ч. 2. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2006. – 262 с.

223. Фадеев, С.В. Словарь сокращений современного русского языка: ок. 15000 сокращений / С.В. Фадеев. – СПб.: Политехника, 1997. – 527 с.

224. Федеральное государственное бюджетное учреждение Федеральный институт промышленной собственности [сайт] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru> (дата обращения: 28.10.2019).

225. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины: учебник / В.М. Халанский, И.В. Горбачев. – М.: КолосС, 2006. – 624 с.

226. Харитонов, М.К. Совершенствование машин для погрузки-разгрузки зернового вороха при его хранении / М.К. Харитонов, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков // Молодёжный вектор развития аграрной науки: материалы 65-й студенческой науч. конф. – Ч.1. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2014. – С.42-45.

227. Чернышов, А. В. Sieve pan research the grain cleaning machine / А.В. Чернышов, А.М. Гиевский, И.В. Баскаков / Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы III междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов на иностранных языках (Россия, Воронеж, апрель 2017 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С.104-107.

228. 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.

229. Чернышов, А.В. Повышение эффективности подготовки товарного и семенного зерна на решётных станах зерноочистительных машин: монография / А. В. Чернышов, А. М. Гиевский. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – 159 с.

230. Чернышов, А.В. Совершенствование процесса фракционирования зернового вороха на решетном стане зерноочистительных машин : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Чернышов Алексей Викторович; [Место защиты: Воронежский гос. аграрный ун-т им. императора Петра I]. – Воронеж, 2011. – 144 с.

231. Чишко, Р.Л. Оценка травмирования семян гречихи при прохождении через хранилище силосного типа / Р.Л. Чишко // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского гос. аграр. ун-та им. императора Петра I (Воронеж, 25 декабря 2015 г.); [под общ. ред. Н.И. Бухтоярова, В.И. Оробинского, И.В. Баскакова]. – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 127-131.

232. Чишко, Р.Л. Снижение качественных и количественных потерь зерна и семян во время хранения / Р. Л. Чишко // 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, профессора кафедры сельскохозяйственных машин Воронежского гос. аграр. ун-та им. императора Петра I (Россия, Воронеж, 10 января 2017 г.); [под общ. ред. Н. И. Бухтоярова, В. И. Оробинского, И. В. Баскакова]. – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 152-157.

233. Шалагинов, Ю.В. О влиянии некоторых факторов на механическую повреждаемость зерна / Ю.В. Шалагинов // Совершенствование технологии уборки зерновых культур в условиях Сибири: материалы науч.-производ. конф. – Новосибирск, 1969. – С. 37-44.

234. Шестерин, И.В. Влияние озона и протравителей на посевные качества и оздоровление яровой пшеницы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05, 06.01.11 / Шестерин Игорь Валерьевич. – Саратов, 2004. – 26 с.

235. Шибаев, П.Н. Механические повреждения зерна и меры их устранения / П.Н. Шибаев // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1957. – №9. – С. 70-74.

236. Шмигель, В.В. Очистка поверхности семян льна от спор грибов и стимуляция воздушно-озонным потоком / В.В. Шмигель, Е.Г. Кабалин // Вестник АПК Верхневолжья. – №4 (12). – 2010. – С. 56-60.

237. Штанько, Р.И. Электроозонаторная установка для сушки зерна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Штанько Роман Иванович. – зерноград, 2000. – 143 с.

238. Шхалахов, Р.С. Параметры электроозонатора барьерного типа заданной стабильности для предпосевной обработки семян сахарной свеклы: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Шхалахов Руслан Сафарович. – Краснодар, 2006. – 153 с.

239. Экономическая эффективность механизации сельскохозяйственного производства: монография / А.В. Шпилько [и др.]. – М.: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2001. – 346 с.

240. Энергосберегающая технология сушки зерна / Н.В. Ксенз [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. – №2. – 2010. – С. 12-16.

241. Энергосбережение в электрифицированных технологиях на основе активации взаимодействующих сред / Н.В. Ксенз [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. – №4 (44). – 2018. – С. 16-20.

242. Яркова, Н.Н. Семеноведение сельскохозяйственных растений: учебное пособие / Н.Н. Яркова, В.М. Федорова. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2016. – 116 с.

243. Air ozonation in cattle breeding / D.A. Normov, A.A. Shevchenko, E.E. Chesnyuk, D.V. Pozhidaev // Fundamental and applied sciences today IV (USA, North Charleston, 20-21 October 2014). – Vol. 3. – North Charleston, 2014. – P. 146-151.

244. Anordnung und Bauplan von ährensieben in Siebgeräten von Mähdschern / M.K. Haritonov, A.V. Chernyshov, A.M. Gievsky, I.W. Baskakov // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы междунар. заочной науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов на иностранных языках (Россия, Воронеж, апрель 2016 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 139-141.

245. Disinfection of winter wheat grain by ozone and corona discharge field / V.N. Avdeeva [and other] // Engineering for Rural Development, 2017. – P. 323-327.

246. Evozon.by [сайт] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://evozon.by> (дата обращения: 19.10.2019).

247. Gammon R. Gaseous sterilization of food / R. Gammon, K. Kereluk // American Institute of chemical engineers Sump. – 1973. – №132. – P. 91-99.

248. 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.

249. Influence of ozone on germination and germinating energy of winter wheat seeds / V.N. Avdeeva [and other] // Engineering for Rural Development series 17: proceedings 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, 2018. – P. 543-546.

250. Justification of using the ozonation process when manufacturing corn for the grain / Р.С. Жданов [и др.] // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы IV междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов (на иностранных языках) (Россия, Воронеж, апрель 2018 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С 75-79.

251. Medvedeva L.M. Safe treatment technology for seeds of grain crops / L.M. Medvedeva, O.M. Doronina, V.A. Makhmutkin // Socio-economic and environmental problems agricultural sector of the Russian economy: international scientific and practical conference (Russia, Chelyabinsk, 21-23 November 2018). – Belgrade: Research Development Center-FBEE, 2018. – P. 317-323.

252. 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.

253. Sokr.ru [сайт] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sokr.ru/card/16366s5b37bc0b/> (дата обращения: 12.11.2019).

254. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds / A.M. Gievsky, V.I. Orobinsky, A.P. Tarasenko, A.V. Chernyshov, D.O. Kurilov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic resource. – 2018. – P. 042035.

255. Work improvement of air-and-screen cleaner of combine harvester / N. Aldoshin, O. Didmanidze, N. Lylin, M. Mosyakov // Engineering for Rural Development: Proceedings of 18th International Scientific Conference (Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Engineering, Jelgava, May 22-24, 2019). – 2019. – Vol. 18. – P. 100-104.



Рисунок А1 – Свидетельство с межрегиональной агропромышленной выставки «Агропром» за разработку очистителей зерна фракционных семейства ОЗФ



Рисунок А2 – Диплом к золотой медали выставки «Золотая осень-2019» за
«Сепаратор вторичной очистки семян СВС-30»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2611176

Универсальная зерноочистительная машина

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1" (ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ) (RU)*

Авторы: *Гиевский Алексей Михайлович (RU), Тарасенко Александр Павлович (RU), Оробинский Владимир Иванович (RU), Чернышов Алексей Викторович (RU), Баскаков Иван Васильевич (RU)*

Заявка № 2015156629

Приоритет изобретения 28 декабря 2015 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 21 февраля 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 28 декабря 2035 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



Рисунок А3 – Патент на изобретение РФ № 2611176, на основании которого разработан «Сепаратор вторичной очистки семян СВС-30»

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б – Определение концентрации озона в зерновом ворохе кукурузы после отключения озонагора $C_{\text{озон}} = k_0 \cdot e^{0,0114 \cdot t} \cdot \ln(t) - 0,2652 \cdot t$

Коэффициент k_0	Время распада озона в зерновом ворохе t , мин																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0,77	0,6	0,47	0,37	0,29	0,23	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
2	1,53	1,2	0,94	0,74	0,58	0,46	0,37	0,29	0,23	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
3	2,3	1,79	1,4	1,11	0,87	0,69	0,55	0,44	0,35	0,27	0,22	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
4	3,07	2,39	1,87	1,48	1,16	0,92	0,73	0,58	0,46	0,37	0,29	0,23	0,19	0,15	0,12	0,1	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02
5	3,83	2,99	2,34	1,85	1,45	1,15	0,91	0,73	0,58	0,46	0,36	0,29	0,23	0,19	0,15	0,12	0,1	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03
6	4,6	3,59	2,81	2,22	1,75	1,38	1,1	0,87	0,69	0,55	0,44	0,35	0,28	0,22	0,18	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
7	5,37	4,19	3,28	2,59	2,04	1,61	1,28	1,02	0,81	0,64	0,51	0,41	0,33	0,26	0,21	0,17	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,04
8	6,13	4,78	3,75	2,95	2,33	1,84	1,46	1,16	0,92	0,73	0,58	0,47	0,37	0,3	0,24	0,19	0,15	0,12	0,1	0,08	0,06	0,05	0,04
9	6,9	5,38	4,21	3,32	2,62	2,07	1,64	1,31	1,04	0,82	0,66	0,52	0,42	0,34	0,27	0,21	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05
10	7,66	5,98	4,68	3,69	2,91	2,3	1,83	1,45	1,15	0,92	0,73	0,58	0,47	0,37	0,3	0,24	0,19	0,15	0,12	0,1	0,08	0,06	0,05
11	8,43	6,58	5,15	4,06	3,2	2,53	2,01	1,6	1,27	1,01	0,8	0,64	0,51	0,41	0,33	0,26	0,21	0,17	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06
12	9,2	7,18	5,62	4,43	3,49	2,76	2,19	1,75	1,38	1,1	0,88	0,7	0,56	0,45	0,36	0,29	0,23	0,18	0,15	0,12	0,09	0,08	0,06
13	9,96	7,78	6,09	4,8	3,78	2,99	2,37	1,89	1,5	1,19	0,95	0,76	0,6	0,48	0,39	0,31	0,25	0,2	0,16	0,13	0,1	0,08	0,07
14	10,73	8,37	6,55	5,17	4,07	3,22	2,56	2,04	1,61	1,28	1,02	0,81	0,65	0,52	0,42	0,33	0,27	0,21	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07
15	11,5	8,97	7,02	5,54	4,36	3,45	2,74	2,18	1,73	1,37	1,09	0,87	0,7	0,56	0,45	0,36	0,29	0,23	0,18	0,15	0,12	0,09	0,08
16	12,26	9,57	7,49	5,91	4,65	3,68	2,92	2,33	1,85	1,47	1,17	0,93	0,74	0,6	0,48	0,38	0,3	0,24	0,19	0,16	0,13	0,1	0,08
17	13,03	10,17	7,96	6,28	4,94	3,91	3,1	2,47	1,96	1,56	1,24	0,99	0,79	0,63	0,51	0,41	0,32	0,26	0,21	0,17	0,13	0,11	0,09
18	13,8	10,77	8,43	6,65	5,24	4,14	3,29	2,62	2,08	1,65	1,31	1,05	0,84	0,67	0,54	0,43	0,34	0,27	0,22	0,18	0,14	0,11	0,09
19	14,56	11,36	8,89	7,02	5,53	4,37	3,47	2,76	2,19	1,74	1,39	1,11	0,88	0,71	0,57	0,45	0,36	0,29	0,23	0,19	0,15	0,12	0,1
20	15,33	11,96	9,36	7,39	5,82	4,6	3,65	2,91	2,31	1,83	1,46	1,16	0,93	0,75	0,6	0,48	0,38	0,3	0,24	0,2	0,16	0,13	0,1
21	16,1	12,56	9,83	7,76	6,11	4,83	3,83	3,05	2,42	1,92	1,53	1,22	0,98	0,78	0,63	0,5	0,4	0,32	0,26	0,2	0,16	0,13	0,11
22	16,86	13,16	10,3	8,13	6,4	5,06	4,02	3,2	2,54	2,02	1,6	1,28	1,02	0,82	0,66	0,52	0,42	0,33	0,27	0,21	0,17	0,14	0,11
23	17,63	13,76	10,77	8,5	6,69	5,29	4,2	3,35	2,65	2,11	1,68	1,34	1,07	0,86	0,69	0,55	0,44	0,35	0,28	0,22	0,18	0,14	0,12
24	18,39	14,35	11,24	8,86	6,98	5,52	4,38	3,49	2,77	2,2	1,75	1,4	1,12	0,89	0,72	0,57	0,46	0,37	0,29	0,23	0,19	0,15	0,12
25	19,16	14,95	11,7	9,23	7,27	5,75	4,56	3,64	2,88	2,29	1,82	1,45	1,16	0,93	0,75	0,6	0,48	0,38	0,3	0,24	0,2	0,16	0,13

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Основные статистические сведения о результатах анализа зависимости концентрации озона ($C_{\text{озон}}$) в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы от времени (t) разложения газа и влажности зерна (W) в программе «Statistica 6.1»

$$C_{\text{озон}} = 4,92016 - 0,39029 \cdot t - 0,11 \cdot W + 0,00235 \cdot t \cdot W + 0,00938 \cdot t^2 + 0,00146 \cdot W^2.$$

Основные статистические сведения о полученном уравнении регрессии представлены в таблице В.

Таблица В – Основные статистические сведения о полученном уравнении регрессии

$R = 0,8825067$						
$R^2 = 0,79655895$						
$Adjusted R^2 = 0,75871985$						
$F(5,353) = 56,966$						
$p < 0,00000$						
Стандартная ошибка оценки: 0,84576						
№ 359	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(353)	p-уров.
Свободный член			4,920160	0,571979	8,60200	0,000000
W	- 0,76847	0,301986	- 0,109973	0,043216	- 2,54472	0,011362
t	- 2,11049	0,259130	- 0,390285	0,047920	- 8,14455	0,000000
$t \cdot W$	0,26657	0,129863	0,002347	0,001144	2,05266	0,040843
t^2	0,44968	0,269342	0,001458	0,000873	1,66956	0,095893
W^2	1,28920	0,183041	0,009383	0,001332	7,04321	0,000000

Основные условные обозначения, принятые в таблице В, приведены ниже.

$R = 0,8825067$ – коэффициент множественной корреляции.

$R^2 = 0,79655895$ – коэффициент детерминации.

$Adjusted R^2 = 0,75871985$ – скорректированный коэффициент детерминации.

p – значение t-критерия, который используется для проверки гипотезы о равенстве нулевого свободного члена регрессии.

$F(5,353)$ – значение и число степеней свободы F-критерия: $F(5,353) = 56,966$.

№ 359 – количество экспериментальных точек.

BETA – стандартный коэффициент при независимой переменной в уравнении регрессии.

St. Err. of BETA – стандартные ошибки коэффициентов.

B – коэффициенты уравнения регрессии.

St. Err. of B – стандартные ошибки коэффициентов уравнения регрессии.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Основные статистические сведения о результатах анализа зависимости концентрации озона ($C_{\text{озон}}$) в озоновоздушной смеси в зерновом ворохе кукурузы от времени (t) разложения газа, периода озонирования ($T_{\text{озон}}$) и влажности зерна (W) в программе «*Statistica 6.1*»

$$C_{\text{озон}} = 3,8841 - 0,1211 \cdot W - 0,0065 \cdot T_{\text{озон}} - 0,3188 \cdot t + 0,0083 \cdot t^2.$$

Основные статистические сведения о полученном уравнении регрессии представлены в таблице Г.

Таблица Г – Основные статистические сведения о полученном уравнении регрессии

$R = 0,87925443$						
$R^2 = 0,79256345$						
$Adjusted R^2 = 0,75626474$						
$F(5,354) = 70,262$						
$p < 0,00000$						
Стандартная ошибка оценки: 0,84761						
№ 359	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(353)	p-уров.
Свободный член			3,884092	0,244387	15,8932	0,000000
W	- 0,14756	0,042236	- 0,021117	0,006044	- 3,4938	0,000537
$T_{\text{озон}}$	- 0,07145	0,040077	- 0,006477	0,003633	- 1,7827	0,0075486
t	- 1,72393	0,154639	- 0,318800	0,028597	-11,1481	0,000000
t^2	1,13436	0,155418	0,008256	0,001131	7,2988	0,000000

Основные условные обозначения, принятые в таблице Г, приведены ниже.

$R = 0,87925443$ – коэффициент множественной корреляции.

$R^2 = 0,79256345$ – коэффициент детерминации.

$Adjusted R^2 = 0,75626474$ – скорректированный коэффициент детерминации.

p – значение t-критерия, который используется для проверки гипотезы о равенстве нулевого свободного члена регрессии.

$F(5,354)$ – значение и число степеней свободы F-критерия: $F(5,354) = 70,262$.

№ 359 – количество экспериментальных точек.

BETA – стандартный коэффициент при независимой переменной в уравнении регрессии.

St. Err. of BETA – стандартные ошибки коэффициентов.

B – коэффициенты уравнения регрессии.

St. Err. of B – стандартные ошибки коэффициентов уравнения регрессии.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д – Основные погодные условия в период проведения экспериментальных исследований

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений *	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
21.02.2019 00:00	0,4	94	Снег непрерывный слабый	2,6
21.02.2019 03:00	0,9	92	Дымка.	
21.02.2019 06:00	1,2	91		
21.02.2019 09:00	0,8	94	Снег непрерывный сильный	
21.02.2019 12:00	-0,7	66		
21.02.2019 15:00	-1,4	70	Ливневый дождь и снег.	
21.02.2019 18:00	-3,0	67		
21.02.2019 21:00	-4,7	74	Ливневый снег слабый	
22.02.2019 00:00	-6,1	79	Снег непрерывный слабый	0,5
22.02.2019 03:00	-6,3	78	Снег непрерывный слабый	
22.02.2019 06:00	-7,2	64	Снег непрерывный слабый	
22.02.2019 09:00	-8,6	77	Снег непрерывный слабый	
22.02.2019 12:00	-7,5	71	Снег непрерывный слабый	
22.02.2019 15:00	-7,3	66	Ливневый дождь и снег.	
22.02.2019 18:00	-7,6	76	Снег непрерывный слабый	
22.02.2019 21:00	-8,0	73		
23.02.2019 00:00	-8,4	75	Снег непрерывный слабый	Следы осадков
23.02.2019 03:00	-9,5	79		
23.02.2019 06:00	-9,0	80		
23.02.2019 09:00	-8,5	74	Снег непрерывный слабый	
23.02.2019 12:00	-8,2	58	Снег	
23.02.2019 15:00	-8,1	53		
23.02.2019 18:00	-9,2	64		
23.02.2019 21:00	-11,4	68		
24.02.2019 00:00	-13,0	69		Следы осадков
24.02.2019 03:00	-14,9	76		
24.02.2019 06:00	-14,0	75		
24.02.2019 09:00	-11,2	65		
24.02.2019 12:00	-5,8	67	Снег	
24.02.2019 15:00	-4,7	69		
24.02.2019 18:00	-4,5	82		
24.02.2019 21:00	-3,9	89	Морось незамерзающая не- прерывная слабая	

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °С	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
25.02.2019 00:00	-3,0	88	Снег непрерывный слабый	2,4
25.02.2019 03:00	-2,5	87	Снег непрерывный слабый	
25.02.2019 06:00	-1,9	88		
25.02.2019 09:00	-1,8	92	Снег непрерывный сильный	
25.02.2019 12:00	-0,8	94	Снег непрерывный слабый	
25.02.2019 15:00	0,5	87	Морось незамерзающая не- прерывная слабая	
25.02.2019 18:00	1,0	85		
25.02.2019 21:00	1,3	81		
26.02.2019 00:00	0,5	94	Снег непрерывный слабый	4
26.02.2019 03:00	0,7	92		
26.02.2019 06:00	0,2	96	Снег непрерывный слабый	
26.02.2019 09:00	0,7	92		
26.02.2019 12:00	1,1	94	Ливневый снег слабый	
26.02.2019 15:00	1,8	86		
26.02.2019 18:00	0,8	92	Ливневый снег слабый	
26.02.2019 21:00	0,8	89	Ливневый снег слабый	
27.02.2019 00:00	0,6	90	Ливневый снег слабый	0,7
27.02.2019 03:00	0,6	89	Ливневый снег слабый	
27.02.2019 06:00	0,4	89		
27.02.2019 09:00	0,4	87	Ливневый снег слабый	
27.02.2019 12:00	1,4	78	Снег	
27.02.2019 15:00	2,1	72		
27.02.2019 18:00	1,2	76		
27.02.2019 21:00	0,1	80		
28.02.2019 00:00	-0,4	86		4
28.02.2019 03:00	-0,5	82		
28.02.2019 06:00	-1,6	88		
28.02.2019 09:00	-1,4	79		
28.02.2019 12:00	0,2	74		
28.02.2019 15:00	0,0	94	Снег непрерывный сильный	
28.02.2019 18:00	-0,2	96	Снег непрерывный слабый	
28.02.2019 21:00	-0,4	96	Снег непрерывный умерен- ный	

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
01.03.2019 00:00	-0,1	98	Снег непрерывный слабый	6,9
01.03.2019 03:00	-0,3	98	Снег непрерывный слабый	
01.03.2019 06:00	-0,6	96	Снег непрерывный слабый	
01.03.2019 09:00	-0,1	96	Снег непрерывный умерен- ный	
01.03.2019 12:00	0,7	90		
01.03.2019 15:00	1,4	80		
01.03.2019 18:00	1,2	79		
01.03.2019 21:00	-0,4	88		
02.03.2019 00:00	-1,6	92		0,9
02.03.2019 03:00	-0,6	90	Снег непрерывный слабый	
02.03.2019 06:00	-0,9	95	Снег непрерывный слабый	
02.03.2019 09:00	-1,0	87	Снег с перерывами слабый	
02.03.2019 12:00	-0,6	80	Снег непрерывный слабый	
02.03.2019 15:00	-2,4	77	Снег с перерывами слабый	
02.03.2019 18:00	-5,6	73		
02.03.2019 21:00	-9,0	65		
03.03.2019 00:00	-11,4	70		Осадков нет
03.03.2019 03:00	-12,2	70		
03.03.2019 06:00	-12,8	75		
03.03.2019 09:00	-8,2	64		
03.03.2019 12:00	-4,6	56		
03.03.2019 15:00	-2,9	52	Слабый поземок	
03.03.2019 18:00	-2,8	54	Слабый поземок	
03.03.2019 21:00	-2,6	63	Слабый поземок	
04.03.2019 00:00	-2,2	64	Слабый поземок	3
04.03.2019 03:00	-1,9	67	Слабый поземок	
04.03.2019 06:00	-2,4	70		
04.03.2019 09:00	-1,7	76	Снег непрерывный умерен- ный	
04.03.2019 12:00	-0,8	87	Снег непрерывный слабый	
04.03.2019 15:00	2,1	86		
04.03.2019 18:00	3,0	80		
04.03.2019 21:00	2,3	84		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
05.03.2019 00:00	1,5	94	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	1
05.03.2019 03:00	1,8	95	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
05.03.2019 06:00	2,4	95	Дымка	
05.03.2019 09:00	3,5	80		
05.03.2019 12:00	4,4	73		
05.03.2019 15:00	4,6	71		
05.03.2019 18:00	4,0	77		
05.03.2019 21:00	4,5	73		
06.03.2019 00:00	2,4	86	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	0,5
06.03.2019 03:00	2,2	91		
06.03.2019 06:00	2,3	87		
06.03.2019 09:00	3,5	75		
06.03.2019 12:00	3,7	74		
06.03.2019 15:00	3,3	70		
06.03.2019 18:00	1,4	74		
06.03.2019 21:00	-2,0	53		
07.03.2019 00:00	-4,6	63		Осадков нет
07.03.2019 03:00	-6,5	60		
07.03.2019 06:00	-8,8	68		
07.03.2019 09:00	-6,4	58		
07.03.2019 12:00	-2,6	41		
07.03.2019 15:00	-2,4	41		
07.03.2019 18:00	-3,5	50		
07.03.2019 21:00	-5,4	58		
08.03.2019 00:00	-6,4	68		0,1
08.03.2019 03:00	-7,2	77		
08.03.2019 06:00	-5,5	77		
08.03.2019 09:00	-2,8	84		
08.03.2019 12:00	0,9	77		
08.03.2019 15:00	3,4	72		
08.03.2019 18:00	3,6	79	Ливневый дождь слабый	
08.03.2019 21:00	4,1	74		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
09.03.2019 00:00	6,6	58		0,6
09.03.2019 03:00	5,4	64		
09.03.2019 06:00	4,1	84	Ливневый дождь слабый	
09.03.2019 09:00	4,1	82		
09.03.2019 12:00	5,6	73		
09.03.2019 15:00	6,7	71		
09.03.2019 18:00	2,8	86		
09.03.2019 21:00	2,7	89		
10.03.2019 00:00	3,2	90		1,5
10.03.2019 03:00	1,6	94	Дымка	
10.03.2019 06:00	0,9	97	Туман, неба не видно	
10.03.2019 09:00	1,0	98	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
10.03.2019 12:00	5,2	78		
10.03.2019 15:00	3,8	83		
10.03.2019 18:00	4,0	83		
10.03.2019 21:00	0,6	96	Туман	
11.03.2019 00:00	0,4	98	Туман	1,1
11.03.2019 03:00	1,2	97	Туман	
11.03.2019 06:00	0,8	98	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
11.03.2019 09:00	2,1	80		
11.03.2019 12:00	3,4	69		
11.03.2019 15:00	6,0	56		
11.03.2019 18:00	2,2	89	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
11.03.2019 21:00	0,4	96	Снег непрерывный умерен- ный	
12.03.2019 00:00	2,8	95	Дымка	4
12.03.2019 03:00	1,2	94	Дымка	
12.03.2019 06:00	1,0	87		
12.03.2019 09:00	0,7	89	Снег непрерывный слабый	
12.03.2019 12:00	1,1	81	Ливневый дождь и снег.	
12.03.2019 15:00	1,4	69		
12.03.2019 18:00	1,0	61		
12.03.2019 21:00	-0,7	70		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
13.03.2019 00:00	-0,8	68		Осадков нет
13.03.2019 03:00	-1,0	69		
13.03.2019 06:00	-1,4	82		
13.03.2019 09:00	-1,7	74		
13.03.2019 12:00	0,4	56		
13.03.2019 15:00	0,8	55		
13.03.2019 18:00	-0,3	61		
13.03.2019 21:00	-1,2	69		
14.03.2019 00:00	-0,8	64		Осадков нет
14.03.2019 03:00	-2,2	73		
14.03.2019 06:00	-4,2	80		
14.03.2019 09:00	-1,7	72		
14.03.2019 12:00	2,0	49		
14.03.2019 15:00	1,9	49		
14.03.2019 18:00	1,0	57		
14.03.2019 21:00	-0,2	64		
15.03.2019 00:00	-0,6	76		0,8
15.03.2019 03:00	-1,5	77		
15.03.2019 06:00	-2,9	79		
15.03.2019 09:00	-1,8	74		
15.03.2019 12:00	-0,2	70		
15.03.2019 15:00	-0,8	77	Снег непрерывный умерен- ный	
15.03.2019 18:00	-1,8	83	Снег неливневый	
15.03.2019 21:00	-2,2	89		
16.03.2019 00:00	-2,1	91	Снег непрерывный слабый	8
16.03.2019 03:00	-1,8	96	Снег непрерывный слабый	
16.03.2019 06:00	-1,4	96	Снег непрерывный слабый	
16.03.2019 09:00	-0,7	96	Снег непрерывный умерен- ный	
16.03.2019 12:00	-0,1	96	Снег непрерывный слабый	
16.03.2019 15:00	0,4	92	Снег с перерывами сильный	
16.03.2019 18:00	0,4	92	Дымка	
16.03.2019 21:00	0,3	94	Дымка	

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
17.03.2019 00:00	0,3	89	Дымка	Осадков нет
17.03.2019 03:00	-0,1	92	Дымка	
17.03.2019 06:00	-0,4	96	Дымка	
17.03.2019 09:00	-0,3	96	Дымка	
17.03.2019 12:00	1,0	89	Дымка	
17.03.2019 15:00	2,8	79		
17.03.2019 18:00	3,5	76		
17.03.2019 21:00	1,2	91		
18.03.2019 00:00	0,3	96	Дымка	Осадков нет
18.03.2019 03:00	0,1	98	Туман	
18.03.2019 06:00	-0,2	98	Туман	
18.03.2019 09:00	0,3	98	Туман	
18.03.2019 12:00	0,7	94	Дымка	
18.03.2019 15:00	1,5	91	Дымка	
18.03.2019 18:00	1,2	97	Туман	
18.03.2019 21:00	2,2	97	Дымка	
19.03.2019 00:00	1,2	97	Туман	Осадков нет
19.03.2019 03:00	0,8	97	Туман	
19.03.2019 06:00	0,2	98	Туман	
19.03.2019 09:00	1,2	97	Дымка	
19.03.2019 12:00	6,2	76		
19.03.2019 15:00	7,6	73		
19.03.2019 18:00	6,6	81		
19.03.2019 21:00	4,7	89		
20.03.2019 00:00	2,5	95		Следы осадков
20.03.2019 03:00	2,3	93		
20.03.2019 06:00	1,8	95		
20.03.2019 09:00	2,7	89		
20.03.2019 12:00	5,0	79		
20.03.2019 15:00	5,4	80		
20.03.2019 18:00	4,8	86	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
20.03.2019 21:00	2,8	95	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
21.03.2019 00:00	1,5	94	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	2
21.03.2019 03:00	1,4	97	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
21.03.2019 06:00	0,8	97		
21.03.2019 09:00	0,5	96	Туман	
21.03.2019 12:00	5,0	66		
21.03.2019 15:00	4,8	57		
21.03.2019 18:00	3,2	75		
21.03.2019 21:00	1,0	85		
22.03.2019 00:00	0,9	89		3
22.03.2019 03:00	0,9	90		
22.03.2019 06:00	0,9	90		
22.03.2019 09:00	1,8	87		
22.03.2019 12:00	5,4	56		
22.03.2019 15:00	4,8	72	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
22.03.2019 18:00	3,0	91	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
22.03.2019 21:00	2,0	89	Дождь неливневый	
23.03.2019 00:00	0,2	96	Снег непрерывный умерен- ный	7
23.03.2019 03:00	-0,6	98	Снег непрерывный слабый	
23.03.2019 06:00	-0,7	98	Снег непрерывный умерен- ный	
23.03.2019 09:00	0,2	96	Снег непрерывный слабый	
23.03.2019 12:00	2,1	73		
23.03.2019 15:00	3,8	59		
23.03.2019 18:00	3,4	63		
23.03.2019 21:00	2,2	72	Ливневый снег слабый	
24.03.2019 00:00	1,8	75		Следы осадков
24.03.2019 03:00	1,2	79		
24.03.2019 06:00	0,4	90		
24.03.2019 09:00	0,8	87	Снег непрерывный слабый	
24.03.2019 12:00	2,4	74		
24.03.2019 15:00	3,0	73		
24.03.2019 18:00	3,1	68	Ливневый снег слабый	
24.03.2019 21:00	1,5	92	Ливневый снег слабый	

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
25.03.2019 00:00	1,7	87	Дождь незамерзающий не- ливневый	0,5
25.03.2019 03:00	1,0	90		
25.03.2019 06:00	0,5	87		
25.03.2019 09:00	2,2	78		
25.03.2019 12:00	6,8	52		
25.03.2019 15:00	8,2	38		
25.03.2019 18:00	8,0	39		
25.03.2019 21:00	3,0	51		
26.03.2019 00:00	2,0	59		4
26.03.2019 03:00	3,2	58		
26.03.2019 06:00	1,2	94	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
26.03.2019 09:00	2,2	95	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
26.03.2019 12:00	3,8	88		
26.03.2019 15:00	6,8	67		
26.03.2019 18:00	7,4	58		
26.03.2019 21:00	3,5	75		
27.03.2019 00:00	3,7	85	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	0,1
27.03.2019 03:00	1,8	91		
27.03.2019 06:00	0,5	94	Дымка	
27.03.2019 09:00	1,4	87		
27.03.2019 12:00	4,8	63		
27.03.2019 15:00	5,8	44		
27.03.2019 18:00	5,0	44		
27.03.2019 21:00	2,0	53		
28.03.2019 00:00	-0,3	58		Осадков нет
28.03.2019 03:00	-1,0	67		
28.03.2019 06:00	-2,0	72		
28.03.2019 09:00	-0,2	64		
28.03.2019 12:00	3,0	50		
28.03.2019 15:00	2,9	49		
28.03.2019 18:00	2,0	61		
28.03.2019 21:00	1,0	61		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
29.03.2019 00:00	-0,5	72		Следы осадков
29.03.2019 03:00	-1,3	71		
29.03.2019 06:00	-2,1	73		
29.03.2019 09:00	-0,2	67		
29.03.2019 12:00	4,5	50		
29.03.2019 15:00	5,4	53		
29.03.2019 18:00	3,9	74	Ливневый дождь слабый	
29.03.2019 21:00	2,2	93	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	0,7
30.03.2019 00:00	2,0	95	Морось незамерзающая не- прерывная слабая	
30.03.2019 03:00	1,6	94	Дымка	
30.03.2019 06:00	1,5	92		
30.03.2019 09:00	2,8	91		
30.03.2019 12:00	6,2	79		
30.03.2019 15:00	8,7	70		
30.03.2019 18:00	9,0	66		
30.03.2019 21:00	8,3	70		Осадков нет
31.03.2019 00:00	6,0	79		
31.03.2019 03:00	6,0	77		
31.03.2019 06:00	3,8	87		
31.03.2019 09:00	7,7	71		
31.03.2019 12:00	16,0	45		
31.03.2019 15:00	17,8	33		
31.03.2019 18:00	17,8	30		
31.03.2019 21:00	13,7	42		Осадков нет
01.04.2019 00:00	10,8	54		
01.04.2019 03:00	9,8	57		
01.04.2019 06:00	8,1	63		
01.04.2019 09:00	9,6	57		
01.04.2019 12:00	15,0	43		
01.04.2019 15:00	14,6	40		
01.04.2019 18:00	11,5	32		
01.04.2019 21:00	6,6	38		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
02.04.2019 00:00	3,6	43		Осадков нет
02.04.2019 03:00	0,6	66		
02.04.2019 06:00	-1,0	82		
02.04.2019 09:00	2,9	69		
02.04.2019 12:00	7,7	37		
02.04.2019 15:00	8,4	35		
02.04.2019 18:00	7,3	36		
02.04.2019 21:00	5,9	43		
03.04.2019 00:00	4,4	48		Осадков нет
03.04.2019 03:00	2,8	49		
03.04.2019 06:00	1,3	54		
03.04.2019 09:00	2,8	46		
03.04.2019 12:00	7,7	22		
03.04.2019 15:00	8,2	20		
03.04.2019 18:00	6,6	29		
03.04.2019 21:00	5,5	36		
04.04.2019 00:00	4,1	46		3,6
04.04.2019 03:00	2,4	65		
04.04.2019 06:00	0,3	92	Снег непрерывный слабый	
04.04.2019 09:00	0,8	89	Снег непрерывный слабый	
04.04.2019 12:00	3,0	71	Снег неливневый	
04.04.2019 15:00	1,6	93	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
04.04.2019 18:00	0,8	94	Снег непрерывный слабый	
04.04.2019 21:00	0,6	96	Снег непрерывный слабый	
05.04.2019 00:00	0,4	96	Снег непрерывный слабый	3,4
05.04.2019 03:00	0,5	96	Снег непрерывный слабый	
05.04.2019 06:00	0,6	94	Снег непрерывный слабый	
05.04.2019 09:00	1,2	94	Снег непрерывный слабый	
05.04.2019 12:00	3,3	80		
05.04.2019 15:00	4,3	71		
05.04.2019 18:00	4,3	76	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	
05.04.2019 21:00	2,6	95	Дождь незамерзающий не- прерывный слабый	

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
06.04.2019 00:00	2,0	97		1
06.04.2019 03:00	0,5	96		
06.04.2019 06:00	1,0	97	Морось незамерзающая	
06.04.2019 09:00	2,2	97	Дымка	
06.04.2019 12:00	4,8	83		
06.04.2019 15:00	4,8	72		
06.04.2019 18:00	4,6	71		
06.04.2019 21:00	2,6	84		
07.04.2019 00:00	-0,3	96		Осадков нет
07.04.2019 03:00	-1,4	98		
07.04.2019 06:00	-2,2	98	Дымка.	
07.04.2019 09:00	3,1	91		
07.04.2019 12:00	9,1	51		
07.04.2019 15:00	12,5	40		
07.04.2019 18:00	12,3	38		
07.04.2019 21:00	8,4	57		
08.04.2019 00:00	6,1	66		Осадков нет
08.04.2019 03:00	4,8	70		
08.04.2019 06:00	3,7	77		
08.04.2019 09:00	6,9	63		
08.04.2019 12:00	12,7	40		
08.04.2019 15:00	15,5	33		
08.04.2019 18:00	14,2	36		
08.04.2019 21:00	10,1	54		
09.04.2019 00:00	7,2	73		Осадков нет
09.04.2019 03:00	5,2	85		
09.04.2019 06:00	4,6	87		
09.04.2019 09:00	9,8	73		
09.04.2019 12:00	15,2	52		
09.04.2019 15:00	16,3	51		
09.04.2019 18:00	15,4	58		
09.04.2019 21:00	14,0	64		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_в$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_в$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{ос}$, мм
10.04.2019 00:00	13,4	62		7
10.04.2019 03:00	12,4	64		
10.04.2019 06:00	11,6	67		
10.04.2019 09:00	11,0	89	Ливневый дождь слабый	
10.04.2019 12:00	17,6	55		
10.04.2019 15:00	20,8	38		
10.04.2019 18:00	19,6	39		
10.04.2019 21:00	15,6	46		
11.04.2019 00:00	14,2	52		Осадков нет
11.04.2019 03:00	11,7	63		
11.04.2019 06:00	9,5	74		
11.04.2019 09:00	15,0	54		
11.04.2019 12:00	20,2	40		
11.04.2019 15:00	21,6	30		
11.04.2019 18:00	19,5	36		
11.04.2019 21:00	16,4	47		
12.04.2019 00:00	13,5	54		0,4
12.04.2019 03:00	11,2	62		
12.04.2019 06:00	9,0	71		
12.04.2019 09:00	13,4	62		
12.04.2019 12:00	18,6	50		
12.04.2019 15:00	19,7	43		
12.04.2019 18:00	16,5	59		
12.04.2019 21:00	12,2	92	Ливневый дождь слабый	
13.04.2019 00:00	10,8	90		1,1
13.04.2019 03:00	8,3	87		
13.04.2019 06:00	6,6	85		
13.04.2019 09:00	6,8	84		
13.04.2019 12:00	9,0	80	Ливневый дождь	
13.04.2019 15:00	11,8	67		
13.04.2019 18:00	14,0	57		
13.04.2019 21:00	9,5	69		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_в$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_в$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{ос}$, мм
14.04.2019 00:00	7,3	78		5
14.04.2019 03:00	5,4	83		
14.04.2019 06:00	4,6	86	Ливневый дождь	
14.04.2019 09:00	4,6	82	Ливневый дождь слабый	
14.04.2019 12:00	5,4	89	Ливневый дождь слабый	
14.04.2019 15:00	8,0	75		
14.04.2019 18:00	6,4	91	Ливневый дождь слабый	
14.04.2019 21:00	6,4	94	Ливневый дождь слабый	
15.04.2019 00:00	6,5	94		8
15.04.2019 03:00	6,6	91		
15.04.2019 06:00	7,0	88		
15.04.2019 09:00	6,8	88	Морось незамерзающая	
15.04.2019 12:00	6,9	88		
15.04.2019 15:00	7,8	80	Ливневый дождь слабый	
15.04.2019 18:00	9,5	79		
15.04.2019 21:00	9,3	78		
16.04.2019 00:00	8,3	77		Осадков нет
16.04.2019 03:00	9,2	69		
16.04.2019 06:00	8,4	69		
16.04.2019 09:00	8,1	61		
16.04.2019 12:00	12,3	61		
16.04.2019 15:00	14,8	51		
16.04.2019 18:00	16,0	27		
16.04.2019 21:00	11,4	38		
17.04.2019 00:00	8,6	50		Осадков нет
17.04.2019 03:00	7,3	52		
17.04.2019 06:00	4,4	59		
17.04.2019 09:00	7,0	47		
17.04.2019 12:00	9,4	41		
17.04.2019 15:00	11,9	29		
17.04.2019 18:00	10,9	25		
17.04.2019 21:00	6,6	30		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
18.04.2019 00:00	3,8	41		Осадков нет
18.04.2019 03:00	0,8	53		
18.04.2019 06:00	-1,1	57		
18.04.2019 09:00	6,6	30		
18.04.2019 12:00	9,5	20		
18.04.2019 15:00	10,8	20		
18.04.2019 18:00	10,5	18		
18.04.2019 21:00	7,6	26		
19.04.2019 00:00	5,8	35		Осадков нет
19.04.2019 03:00	1,6	59		
19.04.2019 06:00	1,7	68		
19.04.2019 09:00	6,9	40		
19.04.2019 12:00	12,0	19		
19.04.2019 15:00	12,7	17		
19.04.2019 18:00	12,4	16		
19.04.2019 21:00	7,2	30		
20.04.2019 00:00	4,0	29		Осадков нет
20.04.2019 03:00	1,6	61		
20.04.2019 06:00	0,0	67		
20.04.2019 09:00	10,1	27		
20.04.2019 12:00	13,5	20		
20.04.2019 15:00	14,2	17		
20.04.2019 18:00	13,8	21		
20.04.2019 21:00	9,4	33		
21.04.2019 00:00	5,1	48		Осадков нет
21.04.2019 03:00	3,3	80		
21.04.2019 06:00	1,6	89	Дымка	
21.04.2019 09:00	11,0	39		
21.04.2019 12:00	15,1	22		
21.04.2019 15:00	16,7	18		
21.04.2019 18:00	16,2	17		
21.04.2019 21:00	10,9	34		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_в$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_в$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{ос}$, мм
22.04.2019 00:00	8,9	37		Осадков нет
22.04.2019 03:00	5,8	49		
22.04.2019 06:00	4,5	50		
22.04.2019 09:00	13,5	29		
22.04.2019 12:00	17,5	16		
22.04.2019 15:00	19,1	14		
22.04.2019 18:00	18,2	15		
22.04.2019 21:00	12,4	24		
23.04.2019 00:00	9,5	32		Осадков нет
23.04.2019 03:00	7,7	38		
23.04.2019 06:00	5,4	49		
23.04.2019 09:00	14,2	35		
23.04.2019 12:00	18,8	24		
23.04.2019 15:00	20,2	17		
23.04.2019 18:00	19,8	18		
23.04.2019 21:00	15,3	28		
24.04.2019 00:00	15,4	30		Осадков нет
24.04.2019 03:00	12,4	40		
24.04.2019 06:00	12,7	38		
24.04.2019 09:00	16,8	36		
24.04.2019 12:00	20,2	25		
24.04.2019 15:00	22,3	18		
24.04.2019 18:00	22,2	22		
24.04.2019 21:00	16,6	34		
25.04.2019 00:00	14,3	40		Осадков нет
25.04.2019 03:00	12,6	44		
25.04.2019 06:00	11,0	51		
25.04.2019 09:00	18,6	38		
25.04.2019 12:00	24,1	24		
25.04.2019 15:00	25,7	21		
25.04.2019 18:00	25,4	19		
25.04.2019 21:00	20,0	34		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_в$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_в$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{ос}$, мм
26.04.2019 00:00	17,4	39		Осадков нет
26.04.2019 03:00	15,6	46		
26.04.2019 06:00	14,8	49		
26.04.2019 09:00	19,5	34		
26.04.2019 12:00	24,8	24		
26.04.2019 15:00	25,2	18		
26.04.2019 18:00	24,4	18		
26.04.2019 21:00	19,4	35		
27.04.2019 00:00	14,0	59		Осадков нет
27.04.2019 03:00	10,4	75		
27.04.2019 06:00	12,8	61		
27.04.2019 09:00	17,8	46		
27.04.2019 12:00	22,3	35		
27.04.2019 15:00	25,2	22		
27.04.2019 18:00	24,8	19		
27.04.2019 21:00	20,3	22		
28.04.2019 00:00	17,8	26		3,1
28.04.2019 03:00	15,2	33		
28.04.2019 06:00	13,0	58	Ливневый дождь слабый	
28.04.2019 09:00	14,5	65	Ливневый дождь	
28.04.2019 12:00	20,1	52		
28.04.2019 15:00	14,2	81	Дождь с грозой без града	
28.04.2019 18:00	15,6	82		
28.04.2019 21:00	9,4	68		
29.04.2019 00:00	7,6	64		Осадков нет
29.04.2019 03:00	5,2	69		
29.04.2019 06:00	2,2	67		
29.04.2019 09:00	6,6	46		
29.04.2019 12:00	9,8	35		
29.04.2019 15:00	11,7	31		
29.04.2019 18:00	11,3	31		
29.04.2019 21:00	7,7	46		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
30.04.2019 00:00	4,8	58		Осадков нет
30.04.2019 03:00	4,7	53		
30.04.2019 06:00	3,4	55		
30.04.2019 09:00	8,4	44		
30.04.2019 12:00	12,2	29		
30.04.2019 15:00	12,6	27		
30.04.2019 18:00	11,8			
30.04.2019 21:00	8,0	50		
01.05.2019 00:00	4,4	78		2
01.05.2019 03:00	3,0	88		
01.05.2019 06:00	2,6	84		
01.05.2019 09:00	8,2	56		
01.05.2019 12:00	11,2	46		
01.05.2019 15:00	9,3	61	Дождь незамерзающий не- прерывный	
01.05.2019 18:00	6,6	85	Слабый дождь с грозой	
01.05.2019 21:00	6,2	93		
02.05.2019 00:00	6,8	94	Ливневый дождь слабый	19
02.05.2019 03:00	7,0	95	Дождь с грозой без града	
02.05.2019 06:00	8,0	96	Дымка	
02.05.2019 09:00	9,3	96		
02.05.2019 12:00	12,4	81	Ливневый дождь слабый	
02.05.2019 15:00	14,9	62		
02.05.2019 18:00	15,0	65		
02.05.2019 21:00	12,6	76		
03.05.2019 00:00	10,6	86		Осадков нет
03.05.2019 03:00	9,0	92		
03.05.2019 06:00	7,8	94		
03.05.2019 09:00	11,9	74		
03.05.2019 12:00	15,4	59		
03.05.2019 15:00	18,6	45		
03.05.2019 18:00	18,0	47		
03.05.2019 21:00	15,2	54		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_в$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_в$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{ос}$, мм
04.05.2019 00:00	10,8	73		Следы осадков
04.05.2019 03:00	11,0	71		
04.05.2019 06:00	9,4	79		
04.05.2019 09:00	15,0	60		
04.05.2019 12:00	19,8	46		
04.05.2019 15:00	22,4	33		
04.05.2019 18:00	16,8	54	Гроза, но без осадков	
04.05.2019 21:00	13,4	84		
05.05.2019 00:00	11,1	94		1
05.05.2019 03:00	10,8	85		
05.05.2019 06:00	9,0	92		
05.05.2019 09:00	16,6	66		
05.05.2019 12:00	21,4	51		
05.05.2019 15:00	23,6	36		
05.05.2019 18:00	22,6	31		
05.05.2019 21:00	15,2	67		
06.05.2019 00:00	11,4	78		Осадков нет
06.05.2019 03:00	9,8	94		
06.05.2019 06:00	9,0	96		
06.05.2019 09:00	20,0	47		
06.05.2019 12:00	23,6	37		
06.05.2019 15:00	24,9	32		
06.05.2019 18:00	23,7	34		
06.05.2019 21:00	17,8	58		
07.05.2019 00:00	13,9	75		Осадков нет
07.05.2019 03:00	11,1	89		
07.05.2019 06:00	11,8	81		
07.05.2019 09:00	22,0	38		
07.05.2019 12:00	24,9	33		
07.05.2019 15:00	25,8	27		
07.05.2019 18:00	24,0	33		
07.05.2019 21:00	18,6	58		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_в$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_в$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{ос}$, мм
08.05.2019 00:00	16,8	61		Осадков нет
08.05.2019 03:00	14,5	75		
08.05.2019 06:00	14,7	76		
08.05.2019 09:00	19,8	59		
08.05.2019 12:00	24,2	46		
08.05.2019 15:00	26,2	33		
08.05.2019 18:00	25,6	29		
08.05.2019 21:00	20,4	51		
09.05.2019 00:00	19,5	54	Гроза, но без осадков	Следы осадков
09.05.2019 03:00	17,6	62		
09.05.2019 06:00	17,0	64		
09.05.2019 09:00	20,2	59		
09.05.2019 12:00	19,5	65		
09.05.2019 15:00	20,3	63		
09.05.2019 18:00	21,9	54		
09.05.2019 21:00	19,5	59		
10.05.2019 00:00	16,3	76		5
10.05.2019 03:00	13,7	76		
10.05.2019 06:00	13,2	76		
10.05.2019 09:00	12,0	92	Ливневый дождь слабый	
10.05.2019 12:00	13,8	93	Ливневый дождь умерен- ный	
10.05.2019 15:00	15,3	93	Ливневый дождь слабый	
10.05.2019 18:00	16,6	85	Дождь с грозой без града	
10.05.2019 21:00	13,1	92	Ливневый дождь умерен- ный	
11.05.2019 00:00	12,5	99	Ливневый дождь	31
11.05.2019 03:00	12,1	97		
11.05.2019 06:00	11,9	92		
11.05.2019 09:00	15,4	72		
11.05.2019 12:00	18,0	59		
11.05.2019 15:00	20,4	49		
11.05.2019 18:00	20,6	44		
11.05.2019 21:00	14,8	72		

Продолжение таблицы Д

Дата Местное время	Температура воздуха на высоте 2 метра $T_{\text{в}}$, °C	Относи- тельная влажность воздуха $W_{\text{в}}$, %	Осадки в период наблюдений	Количество выпавших осадков за день $N_{\text{ос}}$, мм
12.05.2019 00:00	10,9	92		Следы осадков
12.05.2019 03:00	10,3	96		
12.05.2019 06:00	10,7	92		
12.05.2019 09:00	16,0	68		
12.05.2019 12:00	20,2	41		
12.05.2019 15:00	19,4	49		
12.05.2019 18:00	16,2	66		
12.05.2019 21:00	14,4	73	Ливневый дождь слабый	
13.05.2019 00:00	14,0	77	Ливневый дождь слабый	0,3
13.05.2019 03:00	13,2	83	Ливневый дождь	
13.05.2019 06:00	13,0	84		
13.05.2019 09:00	17,8	72		
13.05.2019 12:00	21,0	58		
13.05.2019 15:00	20,7	66		
13.05.2019 18:00	21,0	67		
13.05.2019 21:00	20,0	73		
14.05.2019 00:00	16,4	91		Следы осадков
14.05.2019 03:00	15,3	86		
14.05.2019 06:00	15,3	85		
14.05.2019 09:00	17,1	84	Ливневый дождь слабый	
14.05.2019 12:00	21,9	72	Ливневый дождь слабый	
14.05.2019 15:00	24,1	57		
14.05.2019 18:00	24,1	59		
14.05.2019 21:00	21,6	65	Гроза без осадков	
15.05.2019 00:00	16,0	91	Ливневый дождь умерен- ный	21
15.05.2019 03:00	15,2	96	Ливневый дождь умерен- ный	
15.05.2019 06:00	14,9	97	Ливневый дождь сильный	
15.05.2019 09:00	17,8	84		
15.05.2019 12:00	21,0	67		
15.05.2019 15:00	22,9	60		
15.05.2019 18:00	22,1	67		
15.05.2019 21:00	19,1	78		

* – Архив погоды составлен на основе данных сайта «Расписание погоды» rp5.ru [172].

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Основные статистические сведения о результатах анализа зависимости влажности зерна, хранящегося с аэрацией озоновоздушной смесью ($W_3^{O_3}$, %), от количества выпавших осадков (N_{oc} , мм), средней относительной влажности воздуха (W_6 , %) и средней температуры воздуха за период наблюдения (T_6 , °C) в программе «Statistica 6.1»

$$W_3^{O_3} = 10,12034 - 0,09026 \cdot T_6 + 0,00036 \cdot N_{oc} \cdot W_6.$$

Основные статистические сведения о полученном уравнении регрессии представлены в таблице Е.

Таблица Е – Основные статистические сведения о полученном уравнении регрессии

$R = 0,90143815$		$R^2 = 0,81259074$		$Adjusted R^2 = 0,76573843$		
$F(2,8)=17,344$		$p < 0,00123$		Стандартная ошибка оценки: 0,40426		
№ 11	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(8)	p-уров.
Свободный член			10,12034	0,238714	42,39521	0,000000
T_6	-0,835263	0,153063	- 0,09026	0,016540	-5,45699	0,000604
$N_{oc} \cdot W_6$	0,331189	0,153063	0,00036	0,000167	2,16375	0,062424

Основные условные обозначения, принятые в таблице Е, приведены ниже.

$R = 0,90143815$ – коэффициент множественной корреляции.

$R^2 = 0,81259074$ – коэффициент детерминации.

$Adjusted R^2 = 0,76573843$ – скорректированный коэффициент детерминации.

p – значение t-критерия, который используется для проверки гипотезы о равенстве нулевого свободного члена регрессии.

$F(2,8)$ – значение и число степеней свободы F-критерия: $F(2,8)=17,344$.

№ 11 – количество экспериментальных точек.

BETA – стандартный коэффициент при независимой переменной в уравнении регрессии.

St. Err. of BETA – стандартные ошибки коэффициентов.

B – коэффициенты уравнения регрессии.

St. Err. of B – стандартные ошибки коэффициентов уравнения регрессии.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Основные статистические сведения о результатах анализа зависимости влажности зерна, хранящегося с вентиляцией атмосферным воздухом (W_3^B , %), от количества выпавших осадков (N_{oc} , мм), средней относительной влажности воздуха (W_6 , %) и средней температуры воздуха за период наблюдения (T_6 , °C) в программе «Statistica 6.1»

$$W_3^B = 9,565033 - 0,184633 \cdot T_6 + 0,001463 \cdot N_{oc} \cdot W_6 - 0,011285 \cdot N_{oc} \cdot T_6 + 0,005749 \cdot W_6 \cdot T_6.$$

Основные статистические сведения о полученном уравнении регрессии представлены в таблице Ж.

Таблица Ж – Основные статистические сведения о полученном уравнении регрессии

$R = 0,86308832$		$R^2 = 0,74492145$		$Adjusted R^2 = 0,57486908$		
$F(4,6) = 4,3805$		$p < 0,05369$		Стандартная ошибка оценки: 0,62694		
№ 11	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(6)	p-уров.
Свободный член			9,565033	0,695452	13,75369	0,000009
T_6	-1,48423	0,690440	- 0,184633	0,085888	-2,14969	0,075138
$N_{oc} \cdot W_6$	1,16783	0,503239	0,001463	0,000631	2,32063	0,059398
$N_{oc} \cdot T_6$	-2,40033	0,926590	-0,011285	0,004356	-2,59049	0,041185
$W_6 \cdot T_6$	2,51331	1,102018	0,005749	0,002521	2,28065	0,062744

Основные условные обозначения, принятые в таблице Ж, приведены ниже.

$R = 0,86308832$ – коэффициент множественной корреляции.

$R^2 = 0,74492145$ – коэффициент детерминации.

$Adjusted R^2 = 0,57486908$ – скорректированный коэффициент детерминации.

p – значение t-критерия, который используется для проверки гипотезы о равенстве нулевого свободного члена регрессии.

$F(4,6)$ – значение и число степеней свободы F-критерия: $F(4,6) = 4,3805$.

№ 11 – количество экспериментальных точек.

BETA – стандартный коэффициент при независимой переменной в уравнении регрессии.

St. Err. of BETA – стандартные ошибки коэффициентов.

B – коэффициенты уравнения регрессии.

St. Err. of B – стандартные ошибки коэффициентов уравнения регрессии.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Основные статистические сведения о результатах анализа зависимости влажности зерна, хранящегося в металлических силосах без аэрации (W_3^{nem} , %), от количества выпавших осадков (N_{oc} , мм), средней относительной влажности воздуха (W_6 , %) и средней температуры воздуха за период наблюдения (T_6 , °C) в программе «Statistica 6.1»

$$W_3^{nem} = 17,76372 + 0,11447 \cdot N_{oc} - 0,10499 \cdot W_6 - 0,26349 \cdot T_6.$$

Основные статистические сведения о полученном уравнении регрессии представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные статистические сведения о полученном уравнении регрессии

$R = 0,83654811$		$R^2 = 0,69981275$		$Adjusted R^2 = 0,57116107$		
$F(3,7) = 5,4396$		$p < 0,03019$		Стандартная ошибка оценки: 0,5609		
№ 11	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(7)	p-уров.
Свободный член			17,76372	2,499397	7,10721	0,000192
N_{oc}	1,46318	0,508662	0,11447	0,039796	2,87653	0,023769
W_6	- 2,16271	0,784376	- 0,10499	0,038079	- 2,75724	0,028208
T_6	- 2,37786	0,677070	- 0,26349	0,075027	- 3,51199	0,009833

Основные условные обозначения, принятые в таблице 3, приведены ниже.

$R = 0,83654811$ – коэффициент множественной корреляции.

$R^2 = 0,69981275$ – коэффициент детерминации.

$Adjusted R^2 = 0,57116107$ – скорректированный коэффициент детерминации.

p – значение t-критерия, который используется для проверки гипотезы о равенстве нулевого свободного члена регрессии.

$F(3,7)$ – значение и число степеней свободы F-критерия: $F(3,7) = 5,4396$.

№ 11 – количество экспериментальных точек.

BETA – стандартный коэффициент при независимой переменной в уравнении регрессии.

St. Err. of BETA – стандартные ошибки коэффициентов.

B – коэффициенты уравнения регрессии.

St. Err. of B – стандартные ошибки коэффициентов уравнения регрессии.

ПРИЛОЖЕНИЕ И

СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ И ТРАКТОРОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ НАЗНАЧЕНИЯ МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
	СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ
№ СДС СХТ ПН.RU.OS01.H0150	Срок действия с 04.05.2006г. по 03.05.2007г.
№ 000182 *	
ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ СДС СХТ ПН.RU.MCX.OS01 ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР (ОС СХТ ГИЦ)	
141500, Московская обл., г. Солнечногорск-4, ул. Центральная, 1А	т. (495) 994-10-72
ПРОДУКЦИЯ Очиститель зерна фракционный ОЗФ-80/40/20 ТУ 4735-001-09111971-2005 Серийный выпуск	код ОК 005 (ОКП): 47 3521
СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ТУ 4735-001-09111971-2005 п.п. 1.2.8; 1.2.10.1; 1.2.10.2; 1.2.10.3; 1.2.11; 1.2.14; 1.2.15 (см. приложение)	
код ТН ВЭД СНГ: 8437 10 000 0	
ИЗГОТОВИТЕЛЬ ООО "ОсколАгро" ИНН 3114008601 адрес: 309641, г. Новый Оскол Белгородской обл., ул. Кооперативная, 40 т. (47233) 4-44-56 факс (47233) 4-44-14	
СЕРТИФИКАТ ВЫДАН ООО "СемМаш" ИНН 3666113482 адрес: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 13а т. (4732) 53-78-61 факс (4732) 53-97-52	
НА ОСНОВАНИИ Протокола испытаний № 14-14-2006 от 28.02.2006г. ФГУ "Центрально-Черноземная МИС". Сертификата соответствия РОСС RU.MC06.B01312 от 04.05.2006г.	
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Продукция маркируется Знаком соответствия Системы СДС СХТ ПН Знак наносится на изделия и инструкции по эксплуатации. Схема сертификации - 1.	
	Руководитель органа В.А. Стрекалёв подпись
Эксперт	А.И. Журавлёв подпись

Рисунок И1 – Сертификат соответствия СДС СХТ ПН.RU.OS01.H0150
очистителя зерна фракционного ОЗФ-80/40/20

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р ГОСТАНДАРТ РОССИИ	
СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ	
	№ РОСС RU.MC06.B01312 Срок действия с 04.05.2006г. по 03.05.2007г.
7040814	
ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ РОСС RU.0001.11MC06 ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР (ОС СХТ ГИЦ) 141500, Московская обл., г. Солнечногорск-4, ул. Центральная, 1А т. (495) 994-10-72	
ПРОДУКЦИЯ Очиститель зерна фракционный ОЗФ-80/40/20 ТУ 4735-001-09111971-2005 Серийный выпуск	код ОК 005 (ОКП): 47 3521
СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ГОСТ 12.2.003-91 п.п. 2.1.2; 2.1.3; 2.1.5; 2.1.7; 2.1.8; 2.1.9; 2.1.10; 2.1.11; 2.1.13; 2.1.14; 2.3.5; 2.4.10; 2.5.1.	
код ТН ВЭД России: 8437 10 000 0	
ИЗГОТОВИТЕЛЬ ООО "ОсколАгро" ИНН 3114008601 адрес: 309641, г. Новый Оскол Белгородской обл., ул. Кооперативная, 40 т. (47233) 4-44-56 факс (47233) 4-44-14	
СЕРТИФИКАТ ВЫДАН ООО "СемМаш" ИНН 3666113482 адрес: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 13а т. (4732) 53-78-61 факс (4732) 53-97-52	
НА ОСНОВАНИИ Протокола испытаний № 14-14-2006 от 28.02.2006г. ФГУ "Центрально-Черноземная МИС".	
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Продукция маркируется Знаком соответствия по ГОСТ Р 50460-92 Знак наносится на изделия и руководстве по эксплуатации. Схема сертификации - 1.	
	Руководитель органа _____ Эксперт _____
	В.А. Стрекалёв инициалы, фамилия А.И. Журавлёв инициалы, фамилия
Сертификат имеет юридическую силу на всей территории Российской Федерации	

Бланк изготовлен ЗАО "ОПЦИОН" (лицензия № 05-05-09/003 МФ РФ уровень Б) тел. (495) 257 2432, 208 7617, г. Москва, 2006 г.

Рисунок И2 – Сертификат соответствия №РОСС RU.MC06.B01312
очистителя зерна фракционного ОЗФ-80/40/20

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Масса составных частей початков кукурузы, выращенных при полевом опыте

Таблица К1 – Масса составных частей початков кукурузы, выращенных из семян, хранящихся в силосах без обработки

Масса, г		
початка	стрелы	зерна
109,73	25,35	84,38
75,08	15,38	59,7
122,52	24,43	98,09
77,12	15,3	61,82
124,02	36,07	87,95
107,49	17,94	89,55
112,19	29,22	82,97
95,43	24,29	71,14
107,56	17,77	89,79
112,76	33,23	79,53
95,25	17	78,25
253,8	54,2	199,6
97,62	20,52	77,1
103,63	21,18	82,45
114,65	24,68	89,97
205,7	37,6	168,1
71,58	26,36	45,22
203,69	38,9	164,79
50,99	15,18	35,81
48,59	10,91	37,68
175,12	37,39	137,73
168,55	33,37	135,18
89,72	17,25	72,47
174,83	38,53	136,3
27,87	7,31	20,56
88,66	26,07	62,59
150,77	34,43	116,34
178,44	42,43	136,01
157,71	37,06	120,65
181,35	35,83	145,52
159,19	25,92	133,27
Итого		

Масса, г		
початка	стрелы	зерна
130,67	27,58	103,09
78,74	18,56	60,18
174,17	31,35	142,82
108,38	17,17	91,21
115,88	25,58	90,3
142,08	26,79	115,29
153,52	26,12	127,4
95,76	25,71	70,05
120,56	21,83	98,73
109,18	20,73	88,45
89,6	16,91	72,69
138,23	29,35	108,88
125,78	29,89	95,89
147,08	41,54	105,54
58,17	13,4	44,77
82,26	16,88	65,38
44,56	12,5	32,06
58,2	19,33	38,87
46,81	18,73	28,08
43,97	11,23	32,74
58,49	24,04	34,45
45,3	10,27	35,03
56,38	24,49	31,89
34,37	9,75	24,62
31,76	10,83	20,93
43,36	15,59	27,77
29,96	16,46	13,5
19,31	13	6,31
14,88	4,89	9,99
27,85	9,2	18,65
10,98	3,04	7,94
6277,85	1433,84	4844,01

Таблица К2 – Масса составных частей початков кукурузы, выращенных из семян, хранящихся в силосах с аэрацией воздухом

Масса, г		
початка	стрелка	зерна
181,3	40,87	140,43
143,11	51,8	91,31
158,44	25,34	133,1
92,62	19,39	73,23
65,78	42,11	23,67
167,39	37,74	129,65
91,78	21,61	70,17
142,37	32,73	109,64
75,54	18,7	56,84
190,3	37,41	152,89
130,35	43,67	86,68
122,98	19,99	102,99
73,03	14,08	58,95
166,71	30,66	136,05
174,48	61,93	112,55
105,31	24,84	80,47
148,1	39,81	108,29
113,71	29,24	84,47
61,58	15,6	45,98
238,2	49,46	188,74
208,82	40,65	168,17
250,79	50,41	200,38
130,13	25,97	104,16
164,15	48,84	115,31
123,78	23,15	100,63
57,5	9,66	47,84
118,3	89,07	29,23
76,08	38,08	38
86,02	22,63	63,39
132,67	22,89	109,78
110,5	22,88	87,62
73,55	24,94	48,61
Итого		

Масса, г		
початка	стрелка	зерна
145,93	39,26	106,67
98,97	20,77	78,2
121,07	39,14	81,93
92,91	17	75,91
77,25	15,41	61,84
62,7	19,54	43,16
69,16	17,6	51,56
65,82	13,96	51,86
59,15	24,64	34,51
64,99	12,37	52,62
74,81	16,34	58,47
86,78	16,86	69,92
63,88	17,1	46,78
32,97	11,27	21,7
95,57	27,12	68,45
65,79	15,25	50,54
62,19	28,68	33,51
33,76	12,73	21,03
63,2	13,36	49,84
67,75	17,12	50,63
13,95	2,51	11,44
29,14	8,47	20,67
26,74	6,34	20,4
24,93	7,8	17,13
40,26	16,43	23,83
43,76	13,74	30,02
42,89	26,15	16,74
20,48	7,88	12,6
21,67	16,64	5,03
22,13	11,58	10,55
8,07	2,68	5,39
42,78	26,48	16,3
Итого		
6016,82	1618,37	4398,45

Таблица К3 – Масса составных частей початков кукурузы, выращенных из семян, хранящихся в силосах с обработкой озонОВОЗДУШНОЙ смесью

Масса, г			Масса, г		
початка	стрелка	зерна	початка	стрелка	зерна
155,52	34,65	120,87	115,58	36,69	78,89
134,21	39,22	94,99	104,75	34,29	70,46
191,48	45,69	145,79	104,17	23,31	80,86
178,14	32,71	145,43	103,86	22,5	81,36
222,03	43,03	179	105,52	28,02	77,5
196,09	42,6	153,49	64,82	14,78	50,04
174,97	34,76	140,21	78,78	18,55	60,23
158,45	54,23	104,22	110,43	29,32	81,11
78,2	16,98	61,22	97,88	28,2	69,68
172,15	38,78	133,37	84,42	20,53	63,89
216,34	61,35	154,99	92,72	31,23	61,49
159,88	33,31	126,57	56,86	11,89	44,97
128,19	26,99	101,2	85,26	21,21	64,05
118,96	25,12	93,84	70,44	32,57	37,87
233,22	74,97	158,25	54,02	12,19	41,83
258,42	76,91	181,51	98,29	42,53	55,76
227,7	76,7	151	73,32	14,62	58,7
120,55	43,4	77,15	70,62	52,96	17,66
169,05	56,16	112,89	68,52	17,11	51,41
124,55	28,09	96,46	33,77	8,69	25,08
103,06	26,46	76,6	22,97	6,9	16,07
136,61	44,88	91,73	51,79	17,16	34,63
118,43	22,8	95,63	74,01	25,65	48,36
105,56	26,61	78,95	14,27	8,89	5,38
140,7	52,21	88,49	38,77	10,28	28,49
192,25	38,36	153,89	19,66	11,35	8,31
211,01	39,81	171,2	36,14	21,14	15
186,14	36,73	149,41	48,37	10,89	37,48
140,99	28,96	112,03	55,93	25,25	30,68
89,95	13,85	76,1	35,51	10,87	24,64
99,87	21,97	77,9	47,13	8,6	38,53
151,9	39,8	112,1	18,35	14,12	4,23
142,43	26,29	116,14	42,51	27,45	15,06
110,55	32,22	78,33			
Итого			7526,99	2036,34	5490,65

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Внедрение научных исследований в КФХ «Нектар» Красногвардейского района Белгородской области

УТВЕРЖДАЮ Проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» д.т.н., профессор  Гулевский В.А. «<u>28</u>» <u>декабря</u> 20<u>18</u> г.	УТВЕРЖДАЮ Глава КФХ «Нектар» 309912, Россия, Белгородская область, Красногвардейский район, с. Калиново, ул. Октябрьская, д. 47. Телефон 8 (47247) 6-29-63 E-mail: denis_may@list.ru  Битюцкий Ю.А. «<u>28</u>» <u>декабря</u> 20<u>18</u> г.
---	---

Акт

передачи и внедрения результатов исследований по влиянию процесса озонирования на эффективность сушки зерна

Крестьянско-фермерское хозяйство «Нектар» получило материалы исследований по определению влияния процесса озонирования на эффективность сушки зерна, проведённые 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) к.т.н., доцентом Баскаковым Иваном Васильевичем.

Полученные материалы содержат:

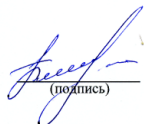
- теоретические предпосылки улучшения эффективности сушки зерна за счёт применения процесса озонирования;
- влияние процесса озонирования на эффективность сушки зерна озимой пшеницы;
- влияние процесса озонирования на эффективность сушки семян соевых бобов и их посевные качества;
- влияние процесса озонирования на эффективность сушки зерна кукурузы.

Проведённые исследования показали, что предварительное озонирование влажного вороха перед сушкой зерна эффективно на всех рассматриваемых культурах:

- при сушке зерна озимой пшеницы использование предварительного озонирования способствовало ускорению влагоотдачи в первый час работы на 0,3%. За данный отрезок влажность в озонированной партии снизилась на 4,1%. В исходном образце за час сушки удалось снизить наличие влаги на 3,8%;
- при сушке семян соевых бобов за первый час влажность озонированных бобов снизилась на 1,9%, что составляет 7,8% по отношению к первоначальному значению;
- при сушке зерна кукурузы за первые полчаса работы влажность озонированной партии снизилась на 6,23%. В исходном образце за 30 минут сушки удалось снизить наличие влаги только на 1,48%.

Переданные материалы исследований представляют несомненный практический интерес для КФХ «Нектар» и используются хозяйством при сушке зерна, в результате чего зафиксировано повышение влагоотдачи до 6%.

Тракторист - Машинист КФХ «Нектар»

 (подпись) Д.Ю. Битюцкий

Доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ,
к.т.н. доцент

 (подпись) И.В. Баскаков

Заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ,
к.т.н. доцент

 (подпись) В.И. Оробинский

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Внедрение научных исследований в учебно-научно-технологическом центре
«Агротехнология» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный
университет имени императора Петра I»

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный аграрный университет
имени императора Петра I»

25.09.2014 Бухтояров Н.И.

**Акт о внедрении результатов
научно-исследовательской работы**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» подтверждает, что учебно-научно-технологическим центром «Агротехнология» при хранении семян зерновых культур использован процесс озонирования, рекомендованный кандидатом технических наук, доцентом ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» Баскаковым И.В.

Применение усовершенствованной технологии хранения посевного материала, включающей периодическое озонирование, позволило не только обеспечить полную сохранность семян, но также увеличить их полевую всхожесть на 5...10% в зависимости от сорта и погодно-климатических условий.

Учитывая важность проблемы, получения качественных семян, считаем целесообразным дальнейшее внедрение в производство результатов научных исследований по совершенствованию технологий хранения посевного материала, опубликованных кандидатом технических наук, доцентом Баскаковым И.В. в различных научных изданиях, а также приведённых в рукописи его диссертационной работы.

Представители
учебно-научно-технологического
центра «Агротехнология»:

директор

Тарабрин Д.С.

агроном

Власова Л.М.

Представители кафедры

сельскохозяйственных машин,
тракторов и автомобилей:

доцент

Баскаков И.В.

профессор

Оробинский В.И.

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Внедрение научных исследований в ООО «Воронежсельмаш»

**ВОРОНЕЖСЕЛЬМАШ**
vselmash.ru

ООО «ВОРОНЕЖСЕЛЬМАШ»

394056, Россия, г. Воронеж, ул. Солдатское поле, д.285/5

Тел. +7(473) 206 77 77 info@vselmash.ru

ИНН 3664104210 КПП 366301001

ОГРН 1103668017551

Исх. № 464 от 12.11.2019г.**Ректору ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный аграрный университет
имени императора Петра I»
Бухтоярову Н.И.**

ООО «Воронежсельмаш» подтверждает, что кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» Баскаков И.В. участвовал в проектировке перспективных технологических линий зерноочистительно-сушильных комплексов и элеваторов.

На основе проведенных научных исследований Баскаков И.В. обосновал и предоставил компании практические рекомендации по совершенствованию конструкции зерноочистительных машин, которые позволят увеличить долю сортировальных решет в решётных станах до 70%, что повысит производительность серийных сепараторов в 1,2...1,5 раза. Также была аргументирована необходимость проведения предварительного озонирования зерна кукурузы перед сушкой. При этом повышение эффективности влагоотдачи составляет 1,2...1,4 раза. Обосновано применение озонной обработки при хранении посевного материала с предоставлением основных конструктивных параметров подобного силосного зернохранилища, защищённого патентом РФ на изобретение №2659904. Озонирование силосов позволит увеличить лабораторную всхожесть семян на 2...4%.

Полученные результаты исследований ООО «Воронежсельмаш» использует при проектировке перспективных технологических линий зерноочистительно-сушильных комплексов и элеваторов.

Генеральный директор
ООО «Воронежсельмаш»



Р.Н. Карпенко

ПРИЛОЖЕНИЕ О

Внедрение научных исследований в ООО НПКФ «Агротех-Гарант Берёзовский»
Рамонского района Воронежской области

**УТВЕРЖДАЮ:**

Директор

ООО НПКФ «Агротех-Гарант Берёзовский»

Кичигин В.И.

15 ноября 2019 г.

**Акт о внедрении результатов
научно-исследовательской работы**

ООО НПКФ «Агротех-Гарант Берёзовский» подтверждает, что предприятие при послеуборочной обработке зерна и семян различных культур в ходе настройки фракционного очистителя ОЗФ-80 и других зерноочистительных машин пользовалось практическими рекомендациями кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» Баскакова И.В.

Грамотный подбор решетных полотен и квалифицированная регулировка скорости воздушного потока в каналах первой и второй аспирациях позволили увеличить выход основной фракции на 1,8...3,6% в зависимости от обрабатываемой культуры. При этом содержание полноценного зерна повысилось на 2,5...4,7%. Выход фуражной фракции увеличился на 3,5...5,2% в зависимости от исходного состояния зернового вороха.

На основании полученных результатов рекомендуем при выборе режимов работы зерноочистительных сепараторов применять практические рекомендации кандидата технических наук, доцента Баскакова И.В., которые опубликованы в различных научных изданиях, а также приведённые в рукописи его диссертационной работы.

Представители
ООО НПКФ «Агротех-Гарант
Берёзовский»:
главный инженер
Тарарыков Д.А. 
инженер мехотряда
Алехин В.А. 

Представители ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
аграрный университет имени
императора Петра I»:
доцент Баскаков И.В. 
профессор Оробинский В.И. 

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Внедрение научных исследований в Липецкой области



**АДМИНИСТРАЦИЯ
ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ**

398014, г. Липецк, пл. Ленина - Соборная, 1

www.admir.lipetsk.ru

Ректору ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный аграрный университет
имени императора Петра I»

Бухтоярову Н.И.

20.11.2012 № УМ-3696

Администрация Липецкой области подтверждает, что при совершенствовании технологических линий зерноочистительно-сушильных комплексов сельскохозяйственными предприятиями региона использовались результаты исследований по дезинсекции зернового вороха посредством озонирования кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» Баскакова И.В.

Использование озоновоздушной смеси при дезинсекции зернового материала позволило снизить заражённость зерна на 60...97% в зависимости от стадии развития вредителей и исходного состояния вороха. Выявлена эффективность озонной обработки против амбарного долгоносика и зерновой моли. Режимы озонирования, концентрация озона и время экспозиции обоснованы Баскаковым И.В.

Учитывая важность проблемы, снижения заражённости зернового вороха, считаем целесообразным дальнейшее внедрение в производство озонной дезинсекции при послеуборочной обработке и хранении зерна. При обосновании режимов работы озонаторной установки рекомендуем использовать результаты исследований кандидата технических наук, доцента Баскакова И.В., которые опубликованы в различных научных изданиях и рукописи его диссертационной работы.

Заместитель главы

Администрации Липецкой области

 Н.Ф. Тагинцев

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Внедрение научных исследований в учебный процесс ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

РЕКОМЕНДОВАНО

Учебно-методической комиссией
агроинженерного факультета
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ,
протокол от 21.11.2019 г. № 3
Председатель _____ Костиков О.М.

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный аграрный универси-
тет имени императора Петра I»
Бухтояров Н.И.
21.11. 2019 г.

АКТ

о внедрении результатов научных исследований в учебный процесс

Комиссия в составе представителей кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ: заведующего кафедрой Оробинского В.И., доцента Баскакова И.В. и членов учебно-методической комиссии агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ Афоницева Д.Н., Шацкого В.П. составила настоящий акт о том, что результаты научных исследований, выполненных на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ доцентом Баскаковым И.В. под руководством профессора Оробинского В.И., внедрены в учебный процесс при подготовке магистров по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия» при изучении дисциплины «Проектирование технологий и технических средств в сельскохозяйственном производстве».

Результаты исследований используются при выполнении обучающимися курсового проекта, а также при проведении лабораторных работ, связанных с определением эффективности сушки зернового материала. Кроме того, результаты научных исследований используются при чтении лекций и в ходе выполнения выпускных квалификационных работ на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей.

Использование представленных результатов научных исследований в учебном процессе способствует повышению качества образования и совершенствованию профессиональной подготовки обучающихся.

Представители

учебно-методической комиссии
агроинженерного факультета
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ:
_____ Афоницев Д.Н.
_____ Шацкий В.П.

Представители

кафедры сельскохозяйственных
машин, тракторов и автомобилей
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ:
_____ Баскаков И.В.
_____ Оробинский В.И.