

*На правах рукописи*



**ИВАШКИН АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ХРАНЕНИЯ СЕМЕННОГО ЗЕРНА В РАЗРЕЖЕННОЙ АТМОСФЕРЕ**

Специальность 05.20.01 Технологии и средства механизации сельского  
хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань – 2021

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

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор  
**Латышенко Михаил Борисович**

**Официальные оппоненты:**

**Баскаков Иван Васильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей

**Дринча Василий Михайлович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ, профессор кафедры «Технологические системы АПК»

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Защита диссертации состоится «21» декабря 2021 года в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета

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

Автореферат разослан «    » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, доцент



Юхин И.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В наши дни хранение зерна и особенно семенного фонда не утратило своей значимости. Дефицит продуктов питания в мире уже сейчас составляет более 60 млн. т, поэтому сохранить и довести до стола потребителей всю выращенную зерновую продукцию является актуальной и первоочередной задачей.

Ресурсы зерна и продуктов его переработки имеют стратегическое значение в обеспечении продовольственной безопасности Российской Федерации, служат одним из главных источников роста национального богатства страны.

Россия уверенно выходит на ведущее место в мире по производству и экспорту зерна. В современных экономических условиях, хозяйствам не только приходится производить зерно, но и хранить его. Из-за слабой оснащенности технической базы хозяйств, а порой не знания технологий хранения, имеют место потери массы и качества зерна.

Основными причинами этих потерь являются: биологические, возникающие в процессе дыхания зерна, потери от жизнедеятельности насекомых, вредителей, грызунов, которые могут проникнуть в зерновую массу. Кроме того, посев семенами низкого качества даже в благоприятных погодных условиях ведет к снижению урожайности более чем на 10%.

Разработка, применение в производстве научно-обоснованных технологий хранения семенного зерна, модернизация существующих зерноскладов и оборудования для обслуживания в этот период зерновой массы, является актуальной научной задачей.

**Степень разработанности темы исследования.** Исследования в области хранения зерна выполнены Е.А. Агрономовым, А.М. Голдовским, В.М. Дринча, В.Л. Кретовичем, Н.И. Соседовым, Е.Н. Ушаковой и др.

В работах В.И. Бровенко, М.П. Демьяненко, Е.Д. Казакова, И.А. Клеева, Н.П. Козьминой, В.В. Макарова, В.С. Сергеева, Б.П. Некрасова, В.С. Уколова, была установлена роль основных факторов хранения (температуры, влажности и доступности воздуха) на изменение продовольственных и репродуктивных свойств зерна, обоснованы требования к качеству зерна и разработаны режимы и условиям его хранения.

Значительный вклад по обоснованию режимов вентилирования зерна внесли И.В. Баскаков, М.Г. Голик, К.В. Дрогалин, И.А. Клеев, Б.Е. Мельник, В.С. Уколов, которыми изучены закономерности движения воздуха в зерновой насыпи и созданы различные установки для активного вентилирования зерна.

Обобщение результатов исследований и современного производственного опыта позволило установить, что семенное зерно пытаются хранить в металлических силосах. Это приводит к необоснованным потерям качества.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2016-2020 гг. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве» в рамках раздела 3.2. Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки, хранения и переработки сельскохозяйственных культур в условиях ЦФО РФ.

**Цель исследования:** Повышение эффективности хранения семенного зерна в разреженной атмосфере и определение технологических параметров.

**Задачи исследования:**

- проанализировать научно-производственный опыт хранения семенного зерна, выявить резервы повышения эффективности технологического процесса хранения;

- теоретически обосновать технологические параметры, влияющие на сохранность семенного зерна в условиях разреженной воздушной атмосферы;

– экспериментально уточнить рациональные значения параметров хранения семенного зерна в разреженной атмосфере;

- провести длительное хранение семенного зерна в разреженной атмосфере;

- оценить технико-экономический эффект от внедрения результатов исследования в производство.

**Объектом исследования** является технологический процесс хранения семенного зерна в металлическом контейнере с разреженной воздушной средой и принудительной аэрацией межзернового пространства.

**Предметом исследования** являются теоретические и экспериментальные зависимости хранения семенного зерна в металлическом контейнере, исследования образования конденсата влаги при аэрации зерновой массы и технологические параметры контейнера.

**Научная новизна** работы состоит в математическом моделировании температурно-влажностного режима хранения зерна в контейнере с разреженной атмосферой, в аналитических зависимостях обоснования параметров хранения семян в разреженной атмосфере.

**Теоретическая значимость.** Установлены теоретические и экспериментальные зависимости, позволяющие определить рациональные параметры хранения зерна в разреженной атмосфере.

**Практическая значимость** исследований заключается в том, что для хранения семенного зерна в разреженной атмосфере, установлены рациональные технологические параметры, даны практические рекомендации по борьбе с насекомыми-вредителями хлебных злаков в процессе сезонного хранения семян. Новизна технических решений подтверждена патентами на изобретение РФ № 2679053, 2689732, 2713802.

**Методология и методы исследования.** Теоретические исследования выполнены на основе известных положений, законов и методов физики, термодинамики, теоретической механики и математического анализа с использованием прикладных программ MatCad 14, Excel. При выполнении экспериментальных исследований применялись как стандартные, так и разработанные методики. Исследования проводились на сертифицированном оборудовании, обработка результатов проводилась с использованием методов математической статистики и программы Statistica 8. Оценка объекта исследования при проведении лабораторных и натурных испытаний осуществлялась согласно ГОСТ Р 53056-2008, ГОСТ 12038-84 ГОСТ 13586.5-2015, ГОСТ 28666.1-90, ГОСТ 28666.2-90, ГОСТ 28666.3-90.

**Положения, выносимые на защиту:**

- теоретически обоснованные и экспериментально уточненные рациональные технологические параметры хранения семенного зерна в разреженной атмосфере;
- результаты экспериментальных исследований качества хранения семенного зерна в разреженной атмосфере;
- оценка технико-экономического эффекта хранения семенного зерна в разреженной атмосфере.

**Степень достоверности результатов исследований.** Для осуществления экспериментальных исследований были использованы современные методики, лабораторные установки и приборы. Выводы, полученные в ходе исследований, обосновываются сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований (расхождение не превысило 5%) при доверительной вероятности 95%. Полученные в ходе выполнения исследований результаты, согласуются с результатами, которые опубликованы в независимых источниках по теме исследований и прошли апробацию в печати, в докладах, сделанных на международных и национальных конференциях.

**Реализация результатов исследования.** Полученные результаты исследования внедрены в хозяйствах Рязанской области: ООО «Разбердеевское» Спасского района, АО ПЗ «Дмитриево» Касимовского района, колхоза имени Ленина Касимовского района и ИП Сергеева Путятинского района.

**Личный вклад автора** в достижении поставленной цели исследования состоит в обосновании задач исследования, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обосновании технологических параметров хранения семенного зерна в разреженной атмосфере.

**Апробация результатов исследований.** Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрения на конференциях Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева: 69-ой Международной

научно-практической конференции «Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса» (2018 г.), Национальной научно-практической конференции «Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России» (2018 г.), Национальной научно-практической конференции «Тенденции инженерно-технологического развития агропромышленного комплекса» (2019 г.), 70-й Международной научно-практической конференции «Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса» (2019), 71-й Международной научно-практической конференции «Современные вызовы для АПК и инновационные пути их решения» (2020 г.), Национальной научно-практической конференции «Технологические новации как фактор устойчивого и эффективного развития современного агропромышленного комплекса» (2020 г.). Вятской ГСХА 18-й Международной научно-практической конференции «Знания молодых – будущее России» (2020), Омского ГАУ Международной научно-практической конференции «Перспективы развития отрасли и предприятий. Отечественный и международный опыт» (2020 г.).

**Публикации результатов исследования.** Основные положения диссертации опубликованы в 16 печатных работах, в том числе в 3 статьях в журналах, входящих в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ, в 1 статье в научном издании, включённом в базу Scopus и в 3 патентах РФ на изобретение. Объем публикаций составил 2,3 усл. п.л., из них соискателю принадлежит 0,9 усл. п.л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 132 наименований, в том числе 22 на иностранных языках, и 2-х приложений, изложена на 156 страницах, включает 40 рисунков и 19 таблиц.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

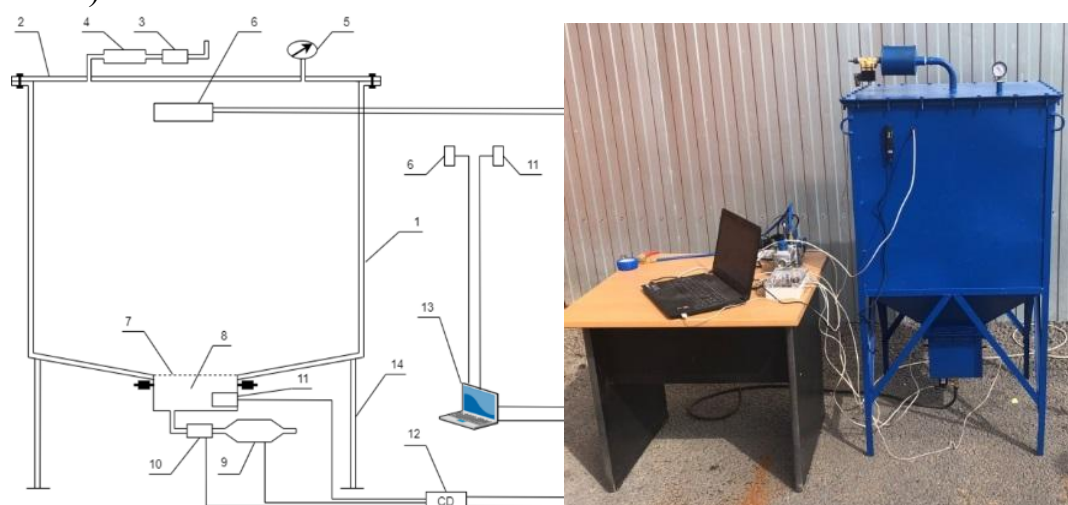
**Во введении** представлена актуальность проводимых исследований, определены цель, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования»** рассмотрены физические, биологические и биохимические свойства зерна и его способность замедлять свое дыхание и находиться в состоянии покоя. Проведён обзор литературных данных по анализу причин потери семенами хлебных злаков своих репродуктивных способностей в период их хранения под влиянием внешних климатических и природных факторов. Анализ существующих режимов и способов хранения зерна показал, что хранение семян зерновых культур в условиях разреженной атмосферы может быть

весьма перспективным, так как зерно, находящееся в состоянии покоя потребляет для поддержания своих жизнедеятельных функций меньшее количество кислорода из окружающей воздушной массы, чем микроорганизмы и насекомые-вредители. Вместе с тем, разрежение атмосферы не должно привести к изменению способа дыхания зерна, оно должно остаться аэробным.

На основе проведенного анализа научной литературы и передового опыта, сформулированы цель и задачи исследований.

**Во второй главе «Теоретические исследования хранения зерна в герметичном контейнере с разреженной атмосферой»** представлена разработанная конструктивная схема (патент РФ № 2713802) и общий вид контейнера для хранения семенного зерна в разреженной атмосфере (КХЗ) (рисунок 1)



1. - корпус контейнера; 2 - герметичная крышка; 3 - атмосферный электромагнитный клапан; 4 – емкость с осушителем воздуха; 5 - вакуумметр; 6 - регистратор влажности и температуры воздушной смеси; 7 – защитная сетка; 8 – емкость-накопитель углекислого газа; 9 - вакуумный насос; 10 – датчик контроля давления газа; 11 - датчик контроля содержания кислорода в воздушной смеси; 12 – контрольно-управляющее устройство; 13 - персональный компьютер; 14 – опорная стойка;

Рисунок 1 - Конструктивная схема и общий вид контейнера для хранения семенного зерна в разреженной атмосфере

При хранении семян в КХЗ, он через горловину заполняется зерном. Затем крышка 2 герметично закрывается. После включения контрольно-управляющего устройства 12 начинается процесс вакуумирования. Для этого в устройство подаётся команда на включение вакуумного насоса 9. Насос производит откачку воздуха из контейнера до установленной технологией хранения величины давления, при которой зерно будет храниться внутри герметичного контейнера. Образовавшийся в процессе дыхания углекислый газ из-за своей тяжести будет опускаться на дно контейнера и скапливаться в емкости-накопителе 8. Условия хранения семян в контейнере контролируются датчиками концентрации кислорода 11 и давления 10, регистратором

температуры и влажности воздуха 6, которые через контрольно-управляющее устройство соединены с персональным компьютером 13. При снижении концентрации кислорода в рабочем объеме контейнера ниже критической величины, при которой зерно может перейти на анаэробное дыхание, а также при повышении температуры и влажности воздуха в межзерновом пространстве, проводится принудительная аэрация зерновой массы.

Для аэрации, контрольно-управляющее устройство включает вакуумный насос 9, который производит откачку воздушной смеси из рабочего объема контейнера. Затем вакуумный насос отключается, и открывается атмосферный электромагнитный клапан 3, через который свежий воздух, проходя через емкость с осушителем воздуха 4, заполняет межзерновое пространство в контейнере. После того как давление воздуха в контейнере сравняется с давлением воздуха в окружающей среде, атмосферные электромагнитные клапаны закрываются и повторно включается вакуумный насос, который производит откачку воздуха до тех пор, пока вакуумметрическое давление достигнет величины, заданной технологическим процессом. Периодический контроль условий хранения семенного зерна в герметичном контейнере с разреженной атмосферой может проводить оператор с помощью персонального компьютера 13.

Ввиду того, что большую часть объемного и массового содержания воздуха составляют азот, кислород, аргон и углекислый газ, воздушная среда в межзерновом пространстве была рассмотрена как смесь, состоящая из этих компонентов.

В процессе аэробного дыхания семян, состав воздуха в межзерновом пространстве постоянно меняется, содержание углекислого газа увеличивается, а кислорода падает. Объем, занимаемый воздухом в герметичном контейнере, складывается из свободного от зерновой массы объема контейнера и объема воздуха, находящегося в межзерновом пространстве, и аналитически может быть определен из выражения:

$$V_{св} = \beta \cdot S \cdot V, \quad (1),$$

где  $V_{св}$  - свободный объем, занимаемый воздухом внутри герметичного контейнера, м<sup>3</sup>;  $\beta$  - степень заполнения контейнера зерновой массой,  $S$  - скважистость зерновой массы, %;  $V_k$  - внутренний объем контейнера, м<sup>3</sup>.

Скважистость зерновой массы может быть определена из выражения:

$$S = \frac{V_n - V}{V_n} \cdot 100, \quad (2),$$

где  $V_n$  — общий объем зерновой массы, м<sup>3</sup>;  $V$  — истинный объем зерен, м<sup>3</sup>.

Процесс дыхания семян характеризуется дыхательным коэффициентом (ДК), который равен отношению объема выделенного углекислого газа к объему поглощенного кислорода. При аэробном дыхании ДК будет равен



единице, то есть в герметичном контейнере доли углекислого газа и кислорода будут равны:

$$V_{CO_2} = V_{O_2} , \quad (3)$$

Тогда средняя молярная масса газовой смеси при дыхании семян будет описываться следующим выражением:

$$M_{cp} = \frac{1}{\frac{0,7550}{28,0134} + \frac{\omega_{O_2}}{31,9988} + \frac{0,01292}{39,948} + \frac{0,00046 + 1,3469(23,15 - \omega_{O_2})}{44,00995}} \quad (4)$$

На основании полученных выражений в программе Mathcad был построен график зависимости молярной массы воздушной смеси от массовой доли содержащегося в ней кислорода (рисунок 2).

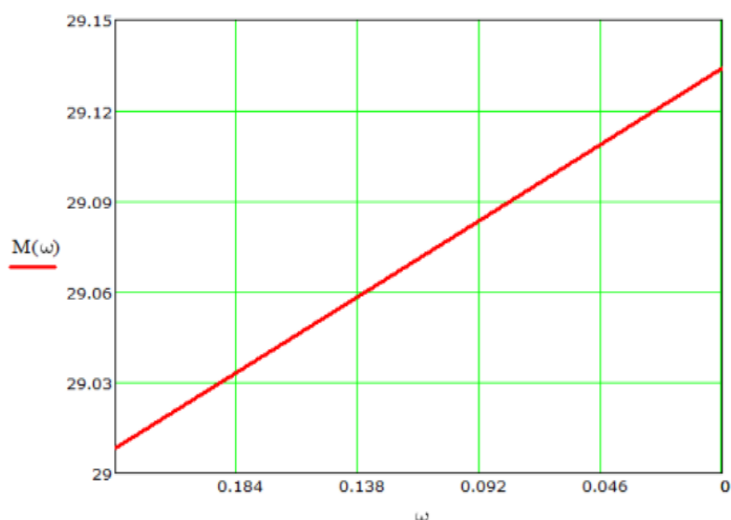


Рисунок 2 - График зависимости молярной массы воздушной смеси от массовой доли кислорода

Анализ графической зависимости показал, что с уменьшением концентрации кислорода, средняя молярная масса воздушной смеси возрастает из-за увеличения доли углекислого газа. Углекислый газ тяжелее других газов и может их вытеснять из нижней части контейнера. Увеличение доли углекислого газа может привести к переходу зерна, находящегося на дне контейнера, к анаэробному дыханию, поэтому при хранении зерна в разреженной воздушной среде, необходимо периодически контролировать содержание кислорода, особенно в нижней части контейнера.

Используя уравнение Менделеева-Клапейрона для идеального газа, было получено выражение:

$$P_{xp} \cdot V_{св} \cdot M_{603.см} = m_{603.см} \cdot RT_{xp}, \quad (5)$$

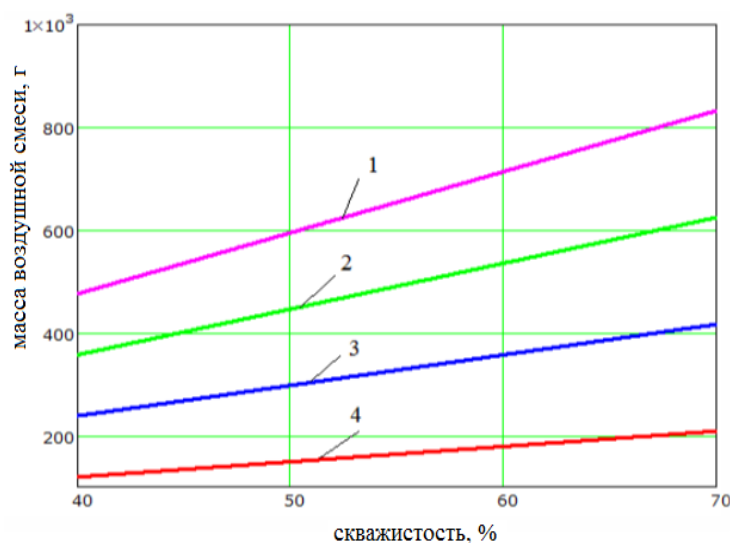
где  $P_{xp}$  — давление воздушной смеси внутри герметичного контейнера, Па;  $R$  — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $T_{xp}$  — температура воздушной смеси, °К;  $M_{cp}$  — молярная масса воздушной смеси, кг/моль;  $m_{603.см}$  — масса воздушной смеси в контейнере, кг.

Массовое содержание углекислого газа в воздушной смеси может быть определено из выражения:

$$m(CO_2) = \omega(CO_2) \cdot [P_{xp} \cdot \beta \cdot S \cdot V_k \cdot M_{воз см}] / (RT_{xp} \cdot 100\%) \quad (6)$$

Известно, что скважистость зерновой массы пшеницы составляет 35...45%, при насыпной плотности 750...850 кг/м<sup>3</sup>.

Используя полученные зависимости 6, был построен график зависимости массы воздушной смеси от скважистости и давления внутри герметичного контейнера для хранения семян в регулируемой воздушной среде (рисунок 3) при следующих условиях:  $T_{xp} = 293^\circ K$  в межзерновом пространстве контейнера  $V_r = 1,0 \text{ м}^3$ .



1- давление 100 кПа, 2 - давление 75 кПа, 3 - давление 50 кПа, 4 - давление 25 кПа

Рисунок 3 – График зависимости массы воздушной смеси от скважистости и давления внутри герметичного контейнера для хранения семян в регулируемой воздушной среде

Из выражения (6) также может быть определен объем емкости для накопления углекислого газа, имеющейся в конструкции герметичного контейнера с разреженной воздушной средой, и позволяющей избежать накопления углекислого газа  $CO_2$  в нижних слоях контейнера, что вызывает сокращение лишних циклов аэрации межзернового пространства для обеспечения достаточного количества кислорода для аэробного дыхания зерна. Объем емкости для накопления углекислого газа может быть определен из уравнения (7):

$$V_{CO_2} = \frac{m(CO_2) \cdot R \cdot T_{xp}}{M_{cp} \cdot p_{xp}}, \quad (7)$$

где  $V_{CO_2}$  – объём емкости для накопления углекислого газа, м<sup>3</sup>;  $M_{cp}$  – молярная углекислого газа, кг/моль;

Проведенные исследования позволили сделать заключение, что на сохранность семенного зерна в герметичном контейнере с разреженной

воздушной средой, оказывают влияние такие параметры как влажность зерна закладываемого на хранение, степень заполнения контейнера зерновой массой, предельное содержание кислорода в воздушной среде, разреженность воздушной среды, а также объем емкости-накопителя углекислого газа.

Процесс аэрации зерновой массы находящейся в КХЗ воздухом из окружающей среды, может сопровождаться опасностью образования конденсата влаги внутри контейнера из-за изменения температуры.

Для определения параметров состояния воздушной смеси с учетом затрат энергии на аэрацию зерновой массы, находящейся в контейнере, было сделано допущение, что процесс аэрации протекает адиабатно, без подвода тепла из окружающей среды,  $Q=0$ . Тогда на основании первого закона термодинамики может быть получено уравнение:

$$Q = U_{см} - (U_1 + U_2) + A, \quad (8)$$

где  $Q$  – теплота, подводимая к контейнеру для хранения семян (теплота при адиабатном процессе равна  $Q = 0$ ), Дж;  $U_{см}$  – внутренняя энергия свежей воздушной смеси в контейнере после аэрации, Дж;  $U_1$  – внутренняя энергия воздушной смеси в контейнере до аэрации, Дж;  $U_2$  – внутренняя энергия атмосферного воздуха в окружающей среде, Дж;  $A$  – внешняя работа воздушной смеси при заполнении контейнера во время аэрации, Дж.

Тогда температуру воздушной смеси в зерновой насыпи после аэрации можно определить из выражения:

$$T = \omega_1 T_1 + k \omega_2 T_2 + \frac{g_2 W_2^2}{2}, \quad (9)$$

где  $k = c_p / c_v$  – отношение изобарной и изохорной теплоемкостей;  $\omega_1 = m_1 / m$ ;  $\omega_2 = m_2 / m$  – массовые доли воздушной смеси, находящейся в контейнере до смешения и поступившего в контейнер наружного воздуха в процессе аэрации.

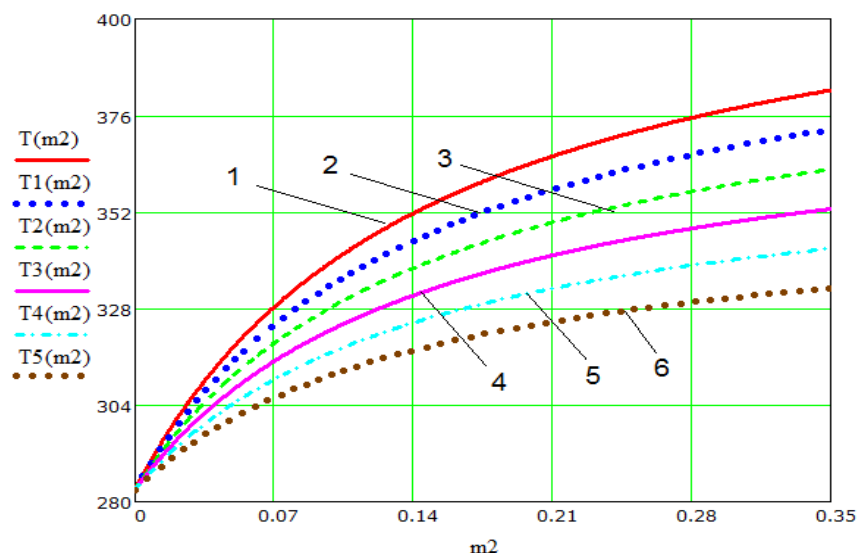
Для определения параметров осушителя, по формуле (9) было установлено количество влаги в наружном воздухе, поступающем в контейнер в процессе аэрации:

$$G = g_2 (d_1 - d_2) \cdot \tau_c, \quad (10)$$

где  $G$  – количество влаги, кг;  $g_2$  – удельный расход наружного воздуха для аэрации зерновой массы, кг/с;  $d_1$  – начальное влагосодержание воздуха, кг/кг;  $d_2$  – требуемое влагосодержание воздуха в осушителе, кг/кг;  $\tau_c$  – длительность осушения, с;

$$T_{см} = (T_1 \cdot m_1 + k \cdot T_2 \cdot m_2) / (m_1 + m_2), \quad (11)$$

Используя полученное уравнение (11), построена графическая зависимость, представленная на рисунке 4.



1-  $T_2=303$  °K ; 2-  $T_2=293$  °K, 3-  $T_2=283$  °K, 4-  $T_2=273$  °K; 5 – $T_2=263$  °K; 6-  $T_2=253$  °K

Рисунок 4 - Зависимость изменения температуры воздушной смеси от массы воздуха, поступающего в контейнер в процессе аэрации

Анализ полученной зависимости показал, что во время аэрации зерновой массы, находящейся в герметичном контейнере, температура поступающего воздуха повышается. Учитывая, что масса свежей воздушной смеси существенно ниже массы семян в контейнере, увеличение температуры не оказывает существенного влияния на температуру семян, но не исключена вероятность образования конденсата влаги из поступившего в контейнер наружного воздуха внутри контейнера.

Был проведен расчет параметров принятого осушителя, в результате которого было установлено, что для предотвращения образования конденсата влаги внутри герметичного контейнера в процессе аэрации межзернового пространства атмосферным воздухом при скорости воздушного потока 0,15...0,5 м/с и его влагосодержании в пределах 0,0015...0,002 кг/кг, необходимо иметь осушитель воздуха с параметрами: диаметр осушителя  $D = 0,1$  м; высота осушителя  $H=0,12$  м, масса адсорбента - силикагеля марки КСКГ  $G_c = 0,5$  кг.

**В третьей главе «Методика проведения лабораторных и натуральных исследований хранения семенного зерна в разреженной атмосфере»** представлены программа, общая и частные методики проведения лабораторных исследований, натуральных испытаний и обработки полученных результатов. Описано устройство лабораторной установки для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров контейнера с разреженной атмосферой и исследования влияния разрежения воздушной среды на жизнедеятельные функции насекомых-вредителей хлебных злаков.

**В четвертой главе «Результаты исследований хранения семенного зерна в разреженной атмосфере»** приведены результаты лабораторных исследований и натуральных испытаний.

Для определения оптимальных значений технологических параметров контейнера для хранения семенного зерна в разреженной атмосфере был проведён четырёхфакторный эксперимент, реализующий план Бокса-Бенкина второго порядка.

Полученные в ходе экспериментов результаты позволили определить уравнение множественной регрессии и установить связь между всхожестью семян  $Y$  и параметрами хранения семенного зерна в условиях разреженной атмосферы:  $X_1$  - влажность семян, %;  $X_2$  - предельное содержания кислорода в воздухе, %;  $X_3$  - давление воздушной смеси, кПа;  $X_4$  - степень заполнения контейнера зерновой массой, %

$$Y = 97.42 - 3.70X_1 - 3.30X_2 - 1.90X_3 - 2.092X_4 + 0.24X_1X_2 + 1.1X_1X_3 - 1.16X_1X_4 + 0.8X_2X_3 - 0.12X_2X_4 - 1.1X_3X_4 - 8.2X_1^2 - 4.22X_2^2 - 5.12X_3^2 - 3.81X_4^2 \quad (12)$$

В результате полученное уравнение регрессии характеризуется коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,9169$  и коэффициентом регрессии  $R = 0,9575$ , что показывает высокую достоверность соответствия полученных результатов экспериментов.

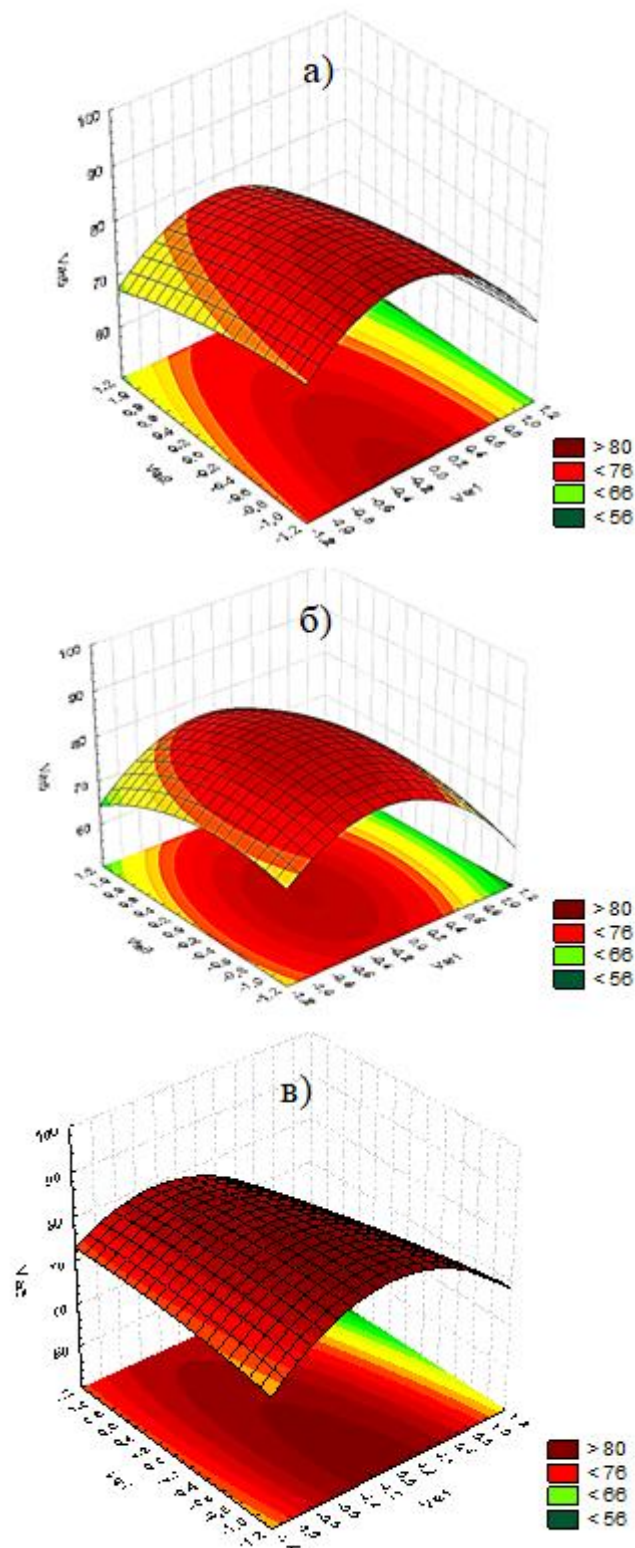
Проверка значимости коэффициентов модели показала, что степень заполнения контейнера семенным зерном  $X_4$  в выбранных пределах проведения эксперимента не оказывает существенного влияния на всхожесть зерна.

На основании полученного уравнения (12) были построены графические зависимости всхожести семенного зерна от технологических параметров контейнерного хранения в условиях разреженной воздушной среды (а - от влажности зерна и содержания кислорода в воздушной смеси в рабочем объеме контейнера; б - от влажности зерна и давления разреженной атмосферы в контейнере; в - от давления воздушной смеси в рабочем объеме контейнера и степени заполнения контейнера зерновой массой (рисунок 5).

Анализ полученных графических зависимостей позволил сделать следующие заключения: влажность зерна не должна быть выше 15,2%, предельное содержания кислорода в воздушной среде внутри контейнера не должно опускаться ниже 14%, давление воздушной смеси в рабочем объеме контейнера должно быть равно 66 кПа.

Результаты исследования влияния разреженности атмосферы на жизнедеятельность насекомых вредителей представлены в виде гистограммы на рисунке 6. Ее анализ показал, что при отсутствии разреженности воздуха, когда давление воздуха внутри бака равно атмосферному давлению (1 МПа), насекомые продолжают развиваться. Их популяция увеличивается, о чем

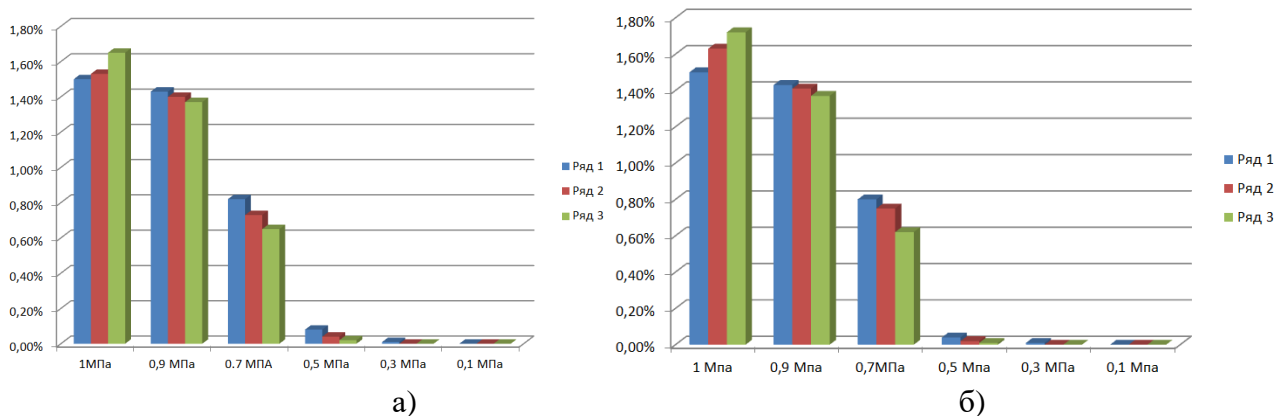
свидетельствует рост концентрации углекислого газа в межзерновом пространстве с 1,5 % до 1,65%.



а) от влажности зерна и содержания кислорода в воздушной смеси в рабочем объеме контейнера; б) от влажности зерна и давления разреженной атмосферы в контейнере; в) от давления воздушной смеси в рабочем объеме контейнера и степени заполнения контейнера зерновой массой

Рисунок 5 -Графические зависимости всхожести семенного зерна от технологических параметров контейнерного хранения в условиях разреженной воздушной среды:

С ростом разреженности атмосферного воздуха начинался процесс снижения жизненной активности насекомых. Так, при вакуумметрическом давлении 0,9 МПа, количество выделенного насекомыми вредителями диоксида углерода в среднем снизилось на 0,2%, а при разрежении 0,7 МПа на 0,8 - 0,9%. А при выдержке насекомых в разреженной атмосфере при давлении 0,3 МПа, уже на вторые сутки наблюдалось полное прекращение их жизнедеятельности.



Ряд 1 – 24 часа инкубации насекомых; Ряд 2 – 48 часов инкубации насекомых;  
Ряд 3 – 72 часа инкубации насекомых

а) Амбарный долгоносик; б) Зерновая моль

Рисунок 6 - Гистограмма влияния разреженной атмосферы на жизнедеятельность

После трехдневного нахождения насекомых в баке с вакуумметрическим давлением воздуха 0,3 МПа и ниже, жизнедеятельные функции насекомых-вредителей не восстанавливались, о чем свидетельствовало отсутствие роста содержания диоксида углерода в воздухе.

В ходе исследований проводились сравнительные испытания базового способа технологии хранения семян в металлическом силосе и разработанного способа с использованием контейнера с разреженной атмосферой.

В качестве базового способа был выбран существующий способ хранения зерна в металлическом силосе объёмом 10 м<sup>3</sup> фирмы NuaboMode № 18 – 00603, имеющий наиболее близкие технические характеристики к контейнеру с разреженной атмосферой.

Расчет экономического эффекта от применения герметичного контейнера с разреженной атмосферой показал, что себестоимость работ по сезонному хранению семенного зерна в контейнере снизилась на 58,25% за счет сокращения издержек от потери качества семян по сравнению с хранением в стандартном металлическом силосе. Полученная при этом прибыль составила 9480 рублей на тонну семян, срок окупаемости сделанных капиталовложений равен 1,76 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа отечественной и зарубежной научно-технической литературы и современного производственного опыта было установлено, что применение металлических силосов для хранения семенного зерна находит широкое применение. Вместе с тем данный способ имеет ряд существенных недостатков, а именно сложную энергозатратную систему активной вентиляции; возможность накопления углекислого газа в придонном слое силоса и переходу зерна, находящегося в этом слое на анаэробное дыхание; затруднена борьба с насекомыми-вредителями; низкий уровень автоматизации условий хранения семян.

2. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что возможно хранение семенного зерна в герметичных контейнерах с разреженной воздушной средой. При этом, способ хранения должен иметь следующие технологические параметры: влажность зерна не выше 15,2%, предельное содержания кислорода в воздушной среде внутри контейнера не ниже 14%, давление воздушной смеси в рабочем объеме контейнера 66 кПа. Для поддержания аэробного дыхания семян, находящихся на хранении в контейнере с разреженной атмосферой, проводится принудительная аэрация зерновой насыпи с целью замены отработанной воздушной смеси с содержанием кислорода ниже 14% на свежий наружный воздух.

3. Даже после длительного хранения (20 месяцев) элитные семена яровой пшеницы категории РС-3 в контейнере с разреженной атмосферой сохраняли свои посевные качества (чистота семян 97,9%, влажность 13,5%, лабораторная всхожесть 95,2%, масса 1000 семян 37 грамм, зараженность болезнями 0,1%, насекомыми 2,8 шт/кг, посторонние запахи отсутствуют), при этом естественная убыль зерна за время хранения не превышала нормы, установленной Приказом Минсельхоза РФ от 14.01.2009 N 3 (ред. от 02.07.2009) "Об утверждении норм естественной убыли зерна, продуктов его переработки и семян различных культур при хранении"

4. Анализ морфологических свойств растения показал, что оно развивалось, особенно в начальных стадиях развития, более интенсивно, что позволило получить приведенный урожай в размере 33 ц/га, тогда как урожай из семян, хранившихся по стандартной технологии, был равен 13,2 ц/га.

5. Себестоимость работ по сезонному хранению семенного зерна в контейнере снизилась на 58,25% за счет сокращения издержек на потерю качества семян. Полученная при этом прибыль составила 9480 рублей на тонну семян, срок окупаемости сделанных капиталовложений равен 1,76 года.

**Рекомендации производству.** Способ хранения семенного зерна в разреженной атмосфере для применения в АПК (Патент на изобретение № 2689732 РФ, Патент на изобретение № 2713802 РФ).



**Перспективы дальнейшей разработки темы.** Перспективой дальнейшей разработки темы являются исследования, связанные с более глубоким изучением термодинамических процессов, протекающих в зерновой насыпи в результате изменения температуры окружающей среды, для предупреждения возможного образования конденсата влаги внутри герметичного контейнера.

**Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:**

***Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России***

1. Ивашкин А.В. Результаты исследований жизнедеятельности насекомых-вредителей в период хранения зерна в контейнере с разреженной атмосферой [Текст] / М.Б. Латышенок, Н.М. Латышенок, А.В. Ивашкин, Н.А. Костенко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2019. - № 1 (41). - С. 119-123.

2. Ивашкин А.В. Лабораторные исследования сохранности семенного зерна в контейнере с разреженной атмосферой [Текст] / М.Б. Латышенок, Н.А. Костенко, Н.М. Латышенок, А.В. Ивашкин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2018. - № 3 (39). - С. 98-102.

3. Ивашкин А.В. Особенности вентиляции зерновой насыпи, находящейся на хранении в герметичном силосе с регулируемой воздушной средой [Текст] / М.Б. Латышенок, В.А. Макаров, Н.М. Латышенок, А.А. Слободскова, А.В. Ивашкин // Наука в центральной России. - 2020. - № 3 (45). - С. 40-46.

***Публикация в изданиях из международной глобальной базы Scopus***

4. A.V. Ivashkin. Prospects and method of seed grain storage in a container with gas-regulating medium / N.V. Byshov, M.B. Latyshenok, V.A Makarov, N.M. Latyshenok, A.V. Ivashkin, A.A. Manokhina and O.A. Starovoytova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 624 (2021) 012118.

***Патенты***

5. Патент на изобретение № 2679053 РФ, С1. Способ хранения зерна в емкости в регулируемой газовой среде и устройство для его осуществления [Текст] / А.В. Ивашкин, М.Б. Латышенок, В.А. Биленко, Е.Н. Рудомин, М.И. Голубенко; заявитель и патентообладатель А.В. Ивашкин, М.Б. Латышенок, В.А. Биленко, Е.Н. Рудомин, М.И. Голубенко. - № 2017145432; заявл. 22.12.2017; опубл. 05.02.2019. Бюл. № 4. - 17 с. : ил.

6. Патент на изобретение № 2689732 РФ, С1. Устройство для хранения зерна в регулируемой газовой среде и способ его осуществления [Текст] / М.Б. Латышенок, А.В. Ивашкин, В.А. Биленко, М.И. Голубенко, Е.Н. Рудомин; заявитель и патентообладатель М.Б. Латышенок, А.В. Ивашкин, В.А.

Биленко, М.И. Голубенко, Е.Н. Рудомин. - № 2018113368 /; заявл. 12.04.2018; опубл. 28.05.2019.Бюл. № 16. - 11 с. : ил.

7. Патент на изобретение № 2713802 РФ, С1. Устройство для хранения зерна в регулируемой воздушной среде и способ его осуществления [Текст] / М.Б. Латышонок, А.В. Ивашкин, Н.М. Латышонок, В.А. Биленко, М.И. Голубенко; заявитель и патентообладатель М.Б. Латышонок, А.В. Ивашкин, Н.М. Латышонок, В.А. Биленко, М.И. Голубенко. - № 2019112936 /; заявл. 26.04.2019; опубл. 07.02.2020.Бюл. № 4. - 15 с. : ил..

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная  
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 1492 подписано в печать 20.10.2021 г.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А.  
Костычева»  
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1  
Отпечатано в издательстве учебной литературы  
и учебно-методических пособий ФГБОУ ВО РГАТУ  
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*