

Научная статья

УДК 631.563

EDN BBXARI

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-68-79>

Концептуальные вопросы сохранения качества зерна при послеуборочной обработке и хранении

Юрий Жигмитович Дондоков¹, Иннокентий Николаевич Аммосов²,
Василий Михайлович Дринча³, Варвара Петровна Друзьянова⁴,
Надежда Ивановна Кондакова⁵

^{1, 2, 3, 5} Арктический государственный агротехнологический университет
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

⁴ Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

¹ ooo-centaurus@mail.ru, ² amminnik@yandex.ru, ³ vdrincha@list.ru, ⁵ Konadiv57@mail.ru

Аннотация. Уменьшение потерь в процессе производства зерна является наиболее перспективным направлением обеспечения потребностей населения в продовольствии. Выявлено, что существенное влияние на потери зерна оказывают технологии его производства, уровень которых зависит от экономического развития стран. Минимальные потери зерна, около 5 %, в процессе послеуборочной обработки и хранения имеют место при высоком уровне технологий, которые применяются преимущественно в развитых странах. В то же время в развивающихся странах потери зерна составляют около 20 %. При неблагоприятных условиях, например, при ожидании обработки влажного зерна на токах, потери могут достигать до 30–50 %. Целью исследований явился анализ концептуальных технологических положений минимизации потерь и сохранения качества зерна в процессах его послеуборочной обработки и хранения. Основным методом исследований включал ретроспективный и системный анализ технологических процессов послеуборочной обработки зерна основных зерновых культур, а также биотических и абиотических факторов, влияющих на качество зерна и его сохранность. Рассмотрено изменение качества зерна в процессе его послеуборочной обработки, которое характеризовали внутренними и приобретенными свойствами. Обсуждены параметры ухудшения качества зерна, роль аэрации и сушки в сохранении качества. Особое внимание обращено на необходимость тщательного анализа влияния способа сушки на качество зерна при разработке стратегии сушки зерна и послеуборочной обработки. Представленные схемы конструктивных особенностей хранилища для безопасного хранения семян в мешках и система мониторинга зерновой массы в насыпи являются научно значимыми и могут быть применены в конструкторских бюро, разрабатывающих технологии и машины для обработки и хранения зерна.

Ключевые слова: зерно, показатели качества зерна, послеуборочная обработка зерна, хранение зерна, конструкция зернохранилища, мониторинг зерновой массы

Для цитирования: Дондоков Ю. Ж., Аммосов И. Н., Дринча В. М., Друзьянова В. П., Кондакова Н. И. Концептуальные вопросы сохранения качества зерна при послеуборочной обработке и хранении // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 68–79. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-68-79>.

Original article

Conceptual issues of preserving grain quality during post-harvest treatment and storage

Yuriy Zh. Dondokov¹, Innokentiy N. Ammosov², Vasilii M. Drincha³,
Varvara P. Druzyanova⁴, Nadezhda I. Kondakova⁵

^{1, 2, 3, 5} Arctic State Agrotechnological University

Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

⁴ North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov

Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

¹ ooo-centaurus@mail.ru, ² amminnik@yandex.ru, ³ vdrincha@list.ru, ⁵ Konadiv57@mail.ru

Abstract. Reduction of losses in the process of grain production is the most promising direction for meeting the needs of the population for food. It was revealed that grain losses are significantly affected by production technologies, the level of which depends on the economic development of countries. Minimal grain losses, about 5%, during post-harvest processing and storage occur with high technologies, which are used mainly in industrial countries. At the same time, grain losses in developing countries amount to about 20%. Under unfavorable conditions, for example, when waiting for wet grain to be processed on threshing floors, losses can reach 30–50%. The aim of the research is to analyze the conceptual technological provisions for minimizing losses and maintaining grain quality during its post-harvest processing and storage. The main research method included retrospective and system analysis of technological processes of post-harvest grain handling of main cereal crops, as well as biotic and abiotic factors affecting grain quality and its safety. The change in grain quality during its post-harvest handling, which was characterized by internal and acquired properties, was considered. The parameters of grain quality deterioration during post-harvest handling and storage, the role of aeration and drying in maintaining quality were discussed. Particular attention was paid to the need for a thorough analysis of the effect of the drying method on grain quality when developing a grain drying strategy and post-harvest handling. The presented schemes of the design features of a storage facility for safe storage of seeds in bags and a system for monitoring grain mass in bulk are scientifically significant and can be applied in design bureaus developing technologies and machines for grain handling and storage.

Keywords: grain, grain quality indicators, post-harvest grain processing, grain storage, grainary design, grain mass monitoring

For citation: Dondokov Yu. Zh., Ammosov I. N., Drincha V. M., Druzyanova V. P., Kondakova N. I. Conceptual issues of preserving grain quality during post-harvest treatment and storage. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:68–79. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-68-79>.

Введение. Продовольственная безопасность предполагает доступ всех людей в любое время к достаточному количеству продовольствия для здоровой и активной жизни. Она является важным обязательством для каждой страны.

Учитывая значимость производства зерновых в обеспечении продовольственной безопасности, увеличение объемов их производства должно основываться на научных основах послеуборочной обработки и сохранности зерна, чтобы минимизировать потери зерна и снижение его качества [1].

Период уборки урожая имеет относительно короткую продолжительность, а потребление зерна продолжается в течение всего года. Зерно хранится в хозяйствах для собственного потребления, обычно на корм скоту или для семенных целей. Трейдеры и маркетинговые агентства хранят зерно для получения финансовой выгоды путем приобретения его в

период уборки и продажи весной, когда цены на зерно существенно выше, чем в уборочный период.

Мировое производство зерна в 2023–2024 гг. увеличилось на 70 млн. тонн и достигло 2,3 млрд. тонн, в основном за счет увеличения производства пшеницы и кукурузы. Известно, что более половины глобального ежедневного потребления калорий обеспечивается продуктами из зерна основных зерновых культур. Уменьшение потерь в процессе производства зерна является наиболее перспективным направлением удовлетворения потребностей населения в продовольствии [2].

Потери зерна в процессе послеуборочной обработки и хранения оцениваются количественными и качественными показателями. Количественные потери зерна обычно связывают с уменьшением его веса, тогда как качественные – с ухудшением биологических и физических свойств зерна [3, 4].

Минимальные потери основных зерновых культур, около 5 %, в процессе послеуборочной обработки зерна и хранения имеют место при высоких технологиях, которые применяются преимущественно в развитых странах. В то же время в развивающихся странах потери достигают около 20 %. В неблагоприятных условиях, например, при ожидании обработки влажного зерна на токах, потери могут достигать до 30–50 % [5, 6].

Послеуборочная обработка зерна в развивающихся странах характеризуется следующими свойствами: в подавляющем большинстве случаев отсутствуют поточные технологии, зерно обрабатывается на разрозненных машинах; сушка зерна происходит под действием солнечных лучей; хранение зерна осуществляется в условиях доступности грызунам, птицам и другим вредителям; предпосевная подготовка семян осуществляется на простейших машинах, зачастую неспециализированных.

В результате, технологии послеуборочной обработки зерна и его хранения характеризуются большими количественными и качественными потерями.

Для соответствующих технологий, применяемых в промышленно развитых странах, характерны следующие свойства: все зерно обрабатывается с применением поточных технологий; консервация зерна осуществляется с применением сушки, управляемой газовой средой в зернохранилищах, а также консервации органическими кислотами; все более широкое распространение получает способ хранения зерна с применением установок для искусственного охлаждения воздуха; практически все зернохранилища оснащены эффективными системами аэрации зерна; высокий уровень мониторинга и управления путем автоматизации всех процессов с применением технологий контроля промышленного оборудования через Интернет; высокий уровень стратегического управления технологиями с применением систем внутреннего контроля качества всей цепочки производства зерна [7].

Проблемы сохранения качества зерна в процессе хранения становятся все более значимыми, поскольку стандарты качества зерна в отношении вредителей, пестицидов и других загрязняющих веществ на национальных и международ-

ных рынках включают все более строгие нормы. Повышение стойкости зерна при хранении является постоянной проблемой как для промышленно развитых, так и для развивающихся стран. В отечественном зернопроизводстве сохранение качества зерна на всех этапах послеуборочной обработки выступает одной из главнейших задач повышения конкурентоспособности зернового производства.

Целью работы явилось исследование концептуальных технологических положений минимизации потерь и сохранения качества зерна в процессах его послеуборочной обработки и хранения.

Представленные материалы являются обобщенным результатом многолетних экспериментальных исследований авторов статьи, посвященных повышению эффективности технологий послеуборочной обработки зерна и подготовки семян, а также стойкости зерна при хранении.

Объектом исследований стали технологические процессы послеуборочной обработки зерна основных зерновых культур, а также биотические и абиотические факторы, влияющие на качество зерна и его сохранность.

Результаты исследований и их обсуждение. Термин «качество» имеет разное значение для разных субъектов, занимающихся обработкой зерна, хранением, переработкой и использованием зерна, хотя для все их важно получение зерна высокого качества. Например, зерновые трейдеры нуждаются в сухом, без насекомых и повреждений зерне, которое обладает высокой стойкостью при хранении; мукомолы заинтересованы в зерне с хорошим внешним видом, вкусовыми и кулинарными свойствами; семеноводы нуждаются в семенном зерне с высокими посевными свойствами (всхожестью, силой роста, энергией прорастания и др.).

Различия в качестве зерна начинаются с сорта, выбранного производителем, а затем на него влияют климатические и почвенные условия в период вегетации, методы возделывания, погодные условия во время уборки урожая и способ уборки.

Принято считать, что каким бы ни было состояние зерна при уборке урожая, качество зерна в целом не может быть улучшено при хранении, транспортировке

и переработке; напротив, данное качество легко теряется.

Поскольку насекомые-вредители и микроорганизмы размножаются в зерне, своим присутствием они увеличивают количество посторонних примесей и загрязнение зерна. При этом вырабатывается метаболическое тепло, масса зерна уменьшается, образуется дробленая фракция и зерновая пыль. Загрязнение и посторонние вещества – термины, которые часто используются как синонимы, но их важно различать. Посторонние примеси из зернового материала могут быть выделены при помощи воздушно-решетных машин и пневматических сортировальных столов, тогда как загрязнители зерна (такие как растворимые отходы жизнедеятельности вредителей; горюче-смазочные материалы; пестициды; патогенные микроорганизмы, распространяемые грызунами и насекомыми; токсины, образуемые плесеньями) не могут быть выделены из зерна и они приводят к существенному снижению его качества.

Физическое повреждение зерна, то есть дробление, расщепление или растрескивание зерновок, делает его более подверженным заражению насекомыми и микроорганизмами. Такие повреждения могут возникнуть на любом этапе послеуборочной обработки, но особенно во время обмолота, сушки и межоперационной транспортировке.

Зерно может быть повреждено вредителями, если оно восприимчиво к заражению и не защищено от них. Ряд насекомых-вредителей повреждают зерно путем жевания или сверления. Плесень и бактерии развиваются как внутри зерен, так и на их поверхности, вызывая изменение цвета и очаговые повреждения, которые могут быть единственными проявлениями инфекции. Зерно также может обесцветиться в результате теплового повреждения, вызванного, например, образованием «очагов самосогревания» в зерне, хранящемся насыпью.

Для сохранения качества зерна чрезвычайно важно поддержание его влажности в оптимальном диапазоне. Если процентное содержание влаги в зерне выше или ниже ожидаемого в условиях окружающего климата, или выходит за пределы требований стандартов, считается, что ка-

чество зерна может снижаться. Данное явление может возникнуть из-за недостаточной или чрезмерно интенсивной сушки.

Высокое содержание влаги в зерне способствует заражению его как насекомыми, так и микроорганизмами, и ускоряет процессы метаболизма, что приводит к нежелательным химическим изменениям, прорастанию, старению или повышению температуры, а, следовательно, к тотальному снижению качества зерна. Ненормально низкое процентное содержание влаги, как правило, представляет меньше проблем. Зерно вряд ли будет сильно заражено насекомыми, если оно очень сухое, а риск микробиологического заражения низок или незначителен. Однако при слишком интенсивной сушке или пересушенном зерне оно может стать очень хрупким, что приводит к расщеплению зерновок, образованию трещин и увеличению количества мелкого дробленого зерна. Величина влагосъема (снижения влажности за один пропуск через сушилку) существенно влияет на образование трещиноватости зерновок [8].

Так, при уменьшении влажности зерна кукурузы с 22 до 18 % при температуре сушки 71 °C, вследствие теплового напряжения образуется около 5 % зерновок с многочисленными трещинами; при уменьшении влажности до 16 % количество таких зерновок составляет 86,9 %; при уменьшении влажности до 14 % многочисленные трещины получает все зерно.

Снижение влагосъема кукурузы в процессе высокотемпературной сушки до 4–5 % за один пропуск влажного зерна через сушилку, особенно в критически важном диапазоне 15–20 %, позволяет существенно ограничить образование трещин от температурного напряжения. На образование трещин в процессе сушки оказывает не только тип зерна, но и его сорт, а также изначальная исходная влажность.

Зерно злаковых культур достигает физиологической и функциональной зрелости при влажности от 35 до 45 % в зависимости от культуры. Оптимальное значение влажности для безопасного хранения составляет от 10 до 14 % в зависимости не только от урожая, но и от температуры зерна в процессе хранения.

Вместе с тем качество зерна, стойкость его при хранении зависят не только

от средней влажности, но и от влажности отдельных зерен.

Средняя влажность свежесобранного зерна зависит в основном от метеорологических условий в период уборки и может колебаться в широких пределах (от 13 до 35 %). Влажность же отдельных зерен в момент уборки значительно отличается от среднего значения. Как видно из графика на рисунке 1, при среднем значении влажности, равной 22 %, около 10 % зерен имеют влажность ниже 17 % и более 20 % зерен – выше 25 % [8].

Неоднородность влажности зерна может служить причиной его самосогревания даже при средней влажности, соответствующей кондиционной. На неоднородность влажности зерна влияют условия созревания и уборки, а также сорт. Для уменьшения неоднородности зерна по влажности рекомендуется подвергать его аэрированию или сушке.

Самый дешевый способ сушки – естественная сушка с использованием солнечного тепла и испаряющего эффекта воздушного потока (ветра). Зерно можно хранить в открытых продуваемых сооружениях или разложить тонким сло-

ем на земле, подносах или матах для сушки. Естественная сушка, хотя и приемлема для традиционных нужд сельского хозяйства, оставляет зерно открытым для пыли, заражения насекомыми, нападения птиц и других позвоночных, что может привести к потерям качества и количества.

Сушка естественным воздухом возможна, когда равновесная относительная влажность воздуха ниже такого значения, при котором зерно находится в состоянии равновесной влажности. Во влажных зонах естественная сушка позволяет удалить значительное количество влаги из зерна, хотя количество удаляемой влаги из зерна естественной сушкой, как правило, никогда не бывает достаточным для безопасного уровня.

При применении естественной сушки, например, вороха семян трав, рекомендуется применять двухступенчатую технологию сушки, при которой на первом этапе используют естественную сушку атмосферным воздухом (щадящую), а на втором – применяется сушка с подогревом воздуха.

Способы сушки зерна нагретым воздухом классифицируются на два типа:

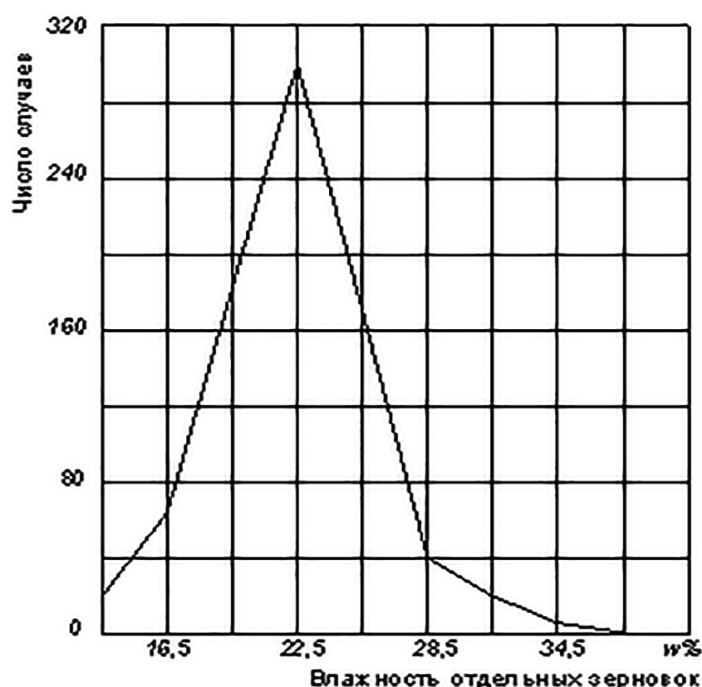


Рисунок 1 – Распределение зерновок свежесобранного комбайнового зерна по влажности [8]

Figure 1 – Distribution of grains of freshly harvested combine grain by moisture content [8]

низкотемпературная сушка при одновременной обработке больших объемов зерна и высокотемпературная при одновременной сушке малых объемов зерна. *Низкотемпературная сушка* (атмосферным воздухом, подогретым на 5–10 °С выше окружающей среды) может применяться на этапах временного или долгосрочного хранения. *Высокотемпературная сушка* обычно осуществляется в специально разработанных сушилках для облегчения воздействия на зерно агента сушки.

При низкотемпературной сушке основным ограничивающим фактором ее продолжительности является ухудшение качества зерна, вызванное, как правило, ростом плесени. Однако, управление толщиной слоя зерна и расходом воздуха является важным ресурсом для предотвращения роста плесени. Максимально допустимое время сушки при низкотемпературной сушке зависит от типа зерна, а также от его исходной влажности и температуры.

Высокотемпературная сушка целесообразна в тех случаях, когда необходимо высушить большие объемы зерна за короткое время. Однако для сохранения высокого качества зерна следует контролировать максимальные температуры сушки и ее интенсивность. Если во время сушки зерно перегревается, его качество может пострадать несколькими способами. При температуре теплового агента (воздуха) выше 45 °С зародыш зерновки будет уничтожен, что сделает непригодным зерно в качестве посевного материала. Кукурузу для крахмальной промышленности нельзя сушить при температуре выше 60 °С; в противном случае процесс отделения крахмала будет нарушен, поскольку клейковина затвердеет или станет жесткой и прилипнет к крахмалу. Изменения качества пшеницы, которая подвергается перегреву, могут проявиться в виде муки низкого качества, которая становится неприятной на вкус или имеет плохие хлебопекарные свойства.

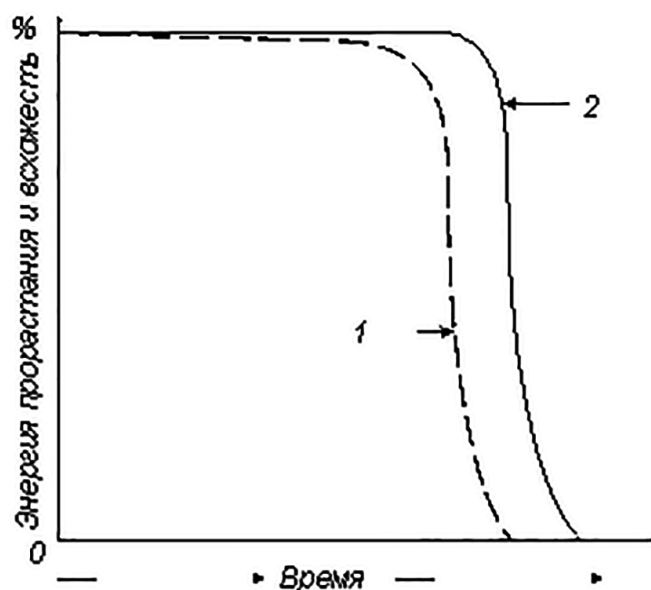
Таким образом, своевременная уборка урожая и сушка имеют важное значение для получения высококачественного зерна. При этом сушка зерна является не только эффективным способом обеспечения его качества, но и важным процессом подготовки зерна к хранению.

Сохранение качества зерна при хранении. Основной задачей надлежащей практики хранения является поддержание условий в зерне, которые позволят сохранить на соответствующем уровне те качества или свойства, которые конечный пользователь считает важными (при посеве, переработке и т. д.). В основном это означает предотвращение повреждений и ухудшения качества зерна, вызванных насекомыми, клещами и микроорганизмами, а также защиту от птиц и грызунов. Если птиц и грызунов можно исключить, интенсивность ухудшения или потери качества во время хранения будут зависеть от микросреды и климатических условий. Минимальными потерями качества зерна будут тогда, когда оно сухое и прохладное, поскольку скорость роста микроорганизмов зависит от влажности и температуры, а насекомых, как правило, от температуры.

Зерновки или отдельные семена представляют живые организмы, которые, как и все живые существа, характеризуются долговечностью и, в конечном итоге, погибают. Всхожесть и энергия прорастания семян достигают наивысшей точки, когда они впервые достигают физиологической зрелости, то есть после периода послеуборочного дозревания. После этого начинается снижение биологического потенциала семян. Данную тенденцию нельзя обратить вспять или устранить, но ее можно замедлить путем надлежащего хранения.

Скорость, с которой происходит старение, варьирует в зависимости от типа и сорта зерна, зависит от биотических факторов, условий окружающей среды, а, прежде всего, от времени. Таким образом, семена сохраняют свою жизнеспособность в течение определенного периода, а затем энергия прорастания начинает уменьшаться и быстро падает, пока партия семян полностью не потеряет всхожесть. Энергия прорастания начинает снижаться раньше, чем всхожесть (рис. 2) [9].

При длительном хранении зерно может претерпеть изменения структуры, цвета, вкуса, пищевой ценности, а также посевных свойств из-за воздействия влаги и температуры (даже при отсутствии насекомых и микроорганизмов). Временные изменения не обязательно делают зерно непригодным для употребления в пищу,



1 – энергия прорастания семян; 2 – всхожесть семян

1 – seed germination energy; 2 – seed viability

Рисунок 2 – Тенденция неизбежного ухудшения качества семян по мере их старения с течением времени [9]

Figure 2 – Tendency of inevitable deterioration of seed quality as they age over time [9]

но они могут сделать его менее вкусным или менее приемлемым для потребителя по эстетическим соображениям.

Безопасные условия хранения достигаются за счет сочетания оптимальных конструкций строительных сооружений и методов для минимизации температуры и влажности в хранилище, а также с использованием специальных машин (осушителей, кондиционеров, холодильных установок) для контроля (снижения) температуры и влажности воздуха в хранилище. Оптимальное управление процессом хранения позволяет поддерживать требуемые условия при минимальных затратах.

Наиболее экономически эффективным способом обеспечения безопасных условий хранения является проектирование и изготовление строительных сооружений, максимально соответствующих требованиям зернохранилищ. Основные решения по управлению процессом хранения включают в себя подготовку семян надлежащим образом, строительство и обслуживание зернохранилища.

Требования к хранилищам для кратковременного хранения семян (до следующего сезона) ограничиваются преиму-

щественно специальными строительными требованиями к конструкциям, обеспечивающим условия для безопасного хранения семян в естественных условиях (рис. 3).

В хранилищах с бетонным полом мешки с семенами следует укладывать на паллеты, что позволяет образовать воздушное пространство между мешками и полом, так как влага может передаваться через бетонные полы капиллярным движением. Хранилища семян также должны хорошо проветриваться и быть защищены от грызунов и птиц.

Вытяжные вентиляторы должны обеспечивать удаление горячего воздуха с верхней части здания, а влажного – с уровня пола. Их следует оснащать защитными экранами для предотвращения поступления осадков внутри здания. Вентиляционные отверстия на крыше хранилища могут быть постоянно открыты, а вентиляционные отверстия вблизи уровня пола должны иметь плотно закрывающуюся дверцу или крышку, чтобы их можно было закрыть, за исключением определенных моментов, когда атмосферный воздух подходит для вентиляции. Перед вентиляцией следует проверять относительную влажность на-

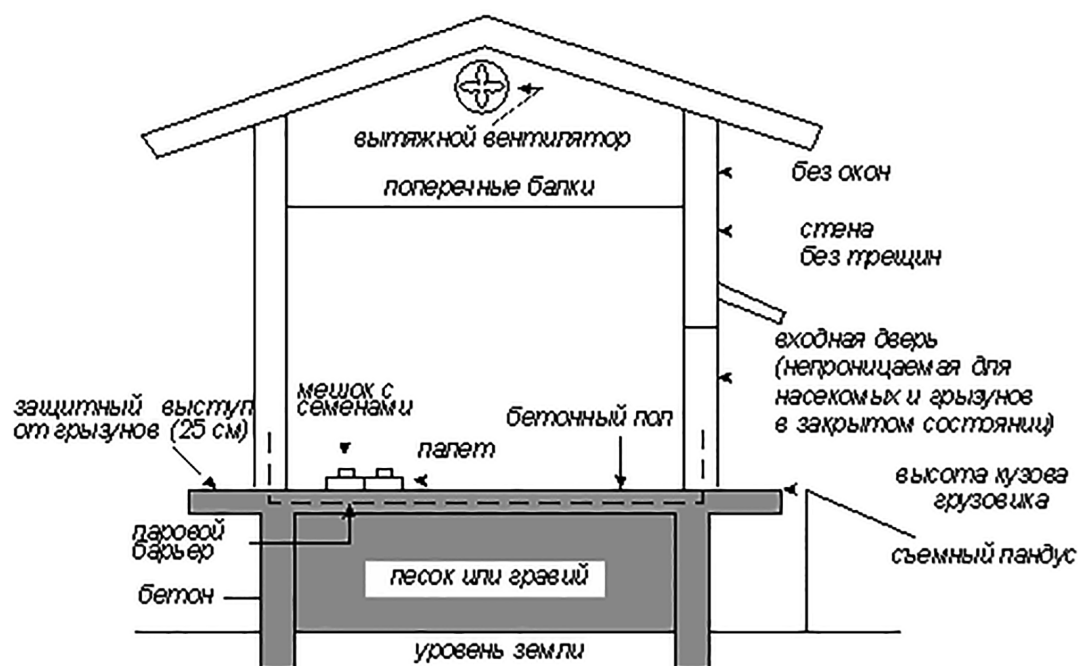


Рисунок 3 – Схема основных конструктивных особенностей хранилища для безопасного хранения семян (в естественных условиях) в мешках

Figure 3 – Scheme of the main design features of the storage facility for safe seed preserving (under natural conditions) in bags

ружного воздуха. При этом она не должна превышать уровень равновесной влажности, соответствующий равновесной влажности хранимых семян. В целом, хранилища следует вентилировать только в сухие дни, между серединой утра и серединой полудня, когда относительная влажность воздуха самая низкая.

Хранилища для безопасного хранения семян при естественных условиях могут использоваться для: кратковременного хранения семян, не прошедших послеуборочную обработку; кратковременного хранения очищенных семян, если они находятся в пористых мешках (джут или ткань); хранения семян с низкой влажностью (высушенных до менее 8 % для крахмалистых семян и менее 6 % для масличных семян), запечатанных в паро- непроницаемые упаковки.

Вследствие низкой теплопроводности и удельной теплоемкости зерна, оно при хранении насыпью выделяет биологическое тепло, вырабатываемое метаболическими процессами зерна и насекомыми, которое плохо рассеивается, что приводит к образованию «очагов самосогревания». Для предотвращения данного явления в

процессе хранения зерна в обязательном порядке рекомендуется все зернохранилища оснащать аэрационными системами, применение которых позволяет повысить стойкость зерна за счет управления биотическими факторами при хранении.

Легкие и мелкие примеси в поступающем на хранение зерне включают дробленые и колотые зерновки, посторонние материалы и пыль. Они способствуют развитию насекомых-вредителей и препятствуют эффективной аэрации зерна в силосе или бункере.

Зерновая пыль состоит из мелких частиц (размером от 15 до 120 мкм) крахмальных гранул, отрубей или кусочков мякины, образующихся при трении зерен во время обработки. При определенных концентрациях зерновая пыль образует взрывоопасную смесь с воздухом. Для решения проблемы выделения легких и частично мелких примесей в технологиях обработки зерна рекомендуется увеличить кратность обработки воздушным потоком в традиционных технологиях путем применения турбинных сепараторов после сушки, перед загрузкой зерна в зернохранилища.

Важным фактором, влияющим на стойкость зерна при хранении, является подверженность зерна травмированию, дроблению и образованию зерновой пыли при обращении с ним. Различные культуры и сорта одного и того же зерна (например, пшеницы) могут иметь различную твердость, которая является важным свойством, поскольку может влиять на устойчивость зерна к повреждениям во время обработки и атак насекомых.

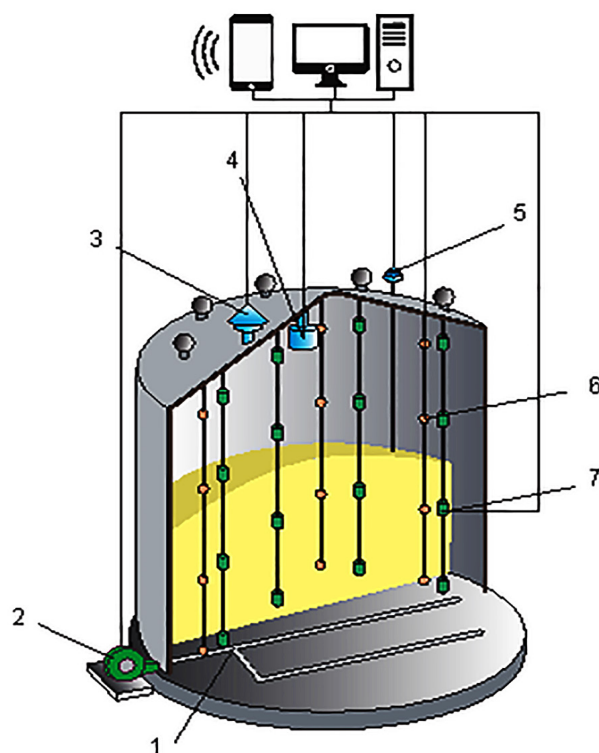
На основании проведенного анализа сохранения качества зерна в процессе его хранения, нами разработана **система мониторинга зерновой массы в насыпи**.

Для определения температуры рекомендуется термометрическая система, включающая свисающие кабели, компьютерную систему управления во всей массе зерна с локальным и дистанционным мониторингом, а также технологию контро-

ля промышленного оборудования через Интернет (рис. 4).

Предложенная система мониторинга бункерного зерна обеспечивает непрерывный контроль состояния зерновой насыпи в течение всего периода хранения, а также может быть использована для сохранения качества зерна путем управления работой аэрационной системы 1, работающей от одного или нескольких вентиляторов 2. По показаниям датчика расходов воздуха 3 определяют реальные нормы аэрации зерна. В зависимости от выбранной задачи и стратегии аэрации зерна нормы аэрации корректируют.

На основании показаний датчика углекислого газа 4 определяют интенсивность дыхания зерна, которая является основным критерием состояния зерна. Уровнемер зерна 5 предназначен для контроля реальной высоты насыпи. Термопары или



- 1 – воздухораспределительные каналы системы аэрации; 2 – вентилятор аэрационной системы; 3 – датчик контроля расхода воздуха через вытяжной вентиляционный клапан; 4 – датчик CO₂; 5 – уровнемер зерна; 6 – термометрическая система; 7 – датчик относительной влажности воздуха в межзерновом пространстве
- 1 – air distribution channels of the aeration system; 2 – aeration system fan; 3 – air flow control sensor through the exhaust ventilation valve; 4 – CO₂ sensor; 5 – grain level gauge; 6 – thermometric system; 7 – relative humidity sensor in the intergrain space

Рисунок 4 – Система мониторинга зерна в процессе его хранения

Figure 4 – Grain monitoring system during its storage

термисторы в термометрической системе 6 могут регистрировать температуру на различных глубинах по всей массе зерна и показывать изменения, а также контролировать перемещение в бункере фронтов охлаждения зерна в процессе аэрации.

Чтобы использовать температуру для мониторинга начальной порчи, ее следует измерять с интервалом 0,5 м во всей массе зерна. Микроэлектронные датчики температуры могут быть развернуты внутри массы зерна в виде сетки для непрерывного мониторинга температуры межзернового воздуха с высокой точностью.

Для контроля порчи хранящегося зерна рекомендуется измерять равновесную относительную влажность воздуха в межзерновом пространстве, что является косвенным способом измерения влажности зерна на основе уравнений равновесной влажности. Новые или коммерчески модифицированные датчики относительной влажности воздуха 7, включающие коррекцию ошибок уравнения равновесной влажности зерна, могут предсказать влажность зерна с более высокой точностью. Интегрированный датчик температуры и влажности является эффективным инструментом для управления процессом хранения зерна.

Одним из эффективных параметров контроля состояния зерна является концентрация углекислого газа в зерновой массе. Применение датчиков CO_2 с точностью 0,1 % позволяет обнаружить ухудшение качества зерна в 80 % случаев. Эти датчики можно устанавливать вблизи вентиляционных отверстий. Определение температуры воздуха в межзерновом пространстве и структуры воздуха позволяет определить место порчи внутри зерновой массы. С развитием микроэлектронной технологии можно изготавливать и размещать микродатчики CO_2 внутри зерновой массы и тем самым повысить точность определения очагов порчи зерна в зерновой насыпи.

Достижения в области технологий сбора и обработки данных успешно используются по всему миру для поддержки принятия решений в различных сельскохозяйственных процессах. Они включают датчики урожая, позволяющие оценивать урожайность зерна до уборки, наличие сорняков, питательных веществ растений

и сорняков, водный стресс и содержание белка в зерне.

Новые информационные технологии позволят повысить урожайность зерна и его качество, эффективность использования ресурсов, а также сократить потери питательных веществ и негативное воздействие на окружающую среду.

Заключение. Качество зерна в процессе послеуборочной обработки и его хранения зависит от многих факторов: уровня технологий возделывания и уборки зерна; правильного выбора и эксплуатации систем сушки и временного хранения, машин для очистки и сортирования зерна; биотических и абиотических факторов в процессе хранения; обработок зерна; состояния окружающей среды в период хранения.

Снижение интенсивности дыхания зерна путем его сушки предотвращает качественное ухудшение, которое может возникнуть вследствие роста микроорганизмов и деятельности насекомых и клещей. Сам процесс сушки может отрицательно влиять на качество зерна, если система сушки не выбрана и не эксплуатируется в соответствии с биологическими особенностями зерна и его состоянием.

Применение датчиков и приложений технологий контроля промышленного оборудования через Интернет позволит контролировать и прогнозировать качество зерна на протяжении всей технологии возделывания, уборки, послеуборочной обработки и хранения зерна. *На основании анализа сохранения качества зерна в процессе его хранения, нами разработана система мониторинга зерновой массы в насыпи.*

При этом для определения температуры рекомендуется термометрическая система, которая включает свисающие кабели, компьютерную систему управления во всей массе зерна с локальным и дистанционным мониторингом, а также технологию контроля промышленного оборудования через Интернет. Предложенная система мониторинга бункерного зерна обеспечивает непрерывный контроль состояния зерновой насыпи в течение всего периода хранения, а также может быть использована для сохранения качества зерна путем управления работой аэрационной системы.

Список источников

1. Rosentrater K. A. (Eds.). Storage of cereal grains and their products. Woodhead Publishing and Cereals, 2022. 754 p.
2. Rodrigues D. M., Coradi P. C., Timm N. S., Fornari M., Grellmann P., Amado T. C. [et al.]. Applying remote sensing, sensors and computational techniques to sustainable agriculture: from grain production to post-harvest // Agriculture. 2024. Vol. 14. No. 1. P. 161. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010161>.
3. Иванов Н. М., Стрикунов Н. И., Леканов С. В. Технологии и техника для послеуборочной обработки зерна и семян : монография. Новосибирск : Сибирский Федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 2021. 277 с.
4. Фейденгольд В. Б., Алексеева Л. В., Закладной Г. А. Меры борьбы с потерями зерна при заготовках, послеуборочной обработке и хранении на элеваторах и хлебоприемных предприятиях. М. : ДеЛи принт, 2007. 302 с.
5. Nath B., Chen G., O'Sullivan C. M., Zare D. Research and technologies to reduce grain postharvest losses: a review // Foods. 2024. Vol. 13. No. 12. P. 1875. <https://doi.org/10.3390/foods13121875>.
6. Смелик В. А., Новиков М. А., Перекопский А. Н., Ерошенко Л. И. Послеуборочная обработка зерна и семян в условиях регионов повышенного увлажнения : монография. СПб. : Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2023. 162 с. EDN ANWRIL.
7. Дринча В. М., Дондоков Ю. Ж., Аммосов И. Н., Александров Н. П., Машиев Ч. Г. Проблемы и перспективы развития технологий аэрирования зерна // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2024. № 3 (94). С. 30–40. https://doi.org/10.53980/24131997_2024_3_30.
8. Птицын С. Д. Зерносушилки. Технологические основы, тепловой расчет и конструкции. М. : Машиностроение, 1966. 212 с.
9. Аммосов И. Н., Дринча В. М., Борисенко И. Б. Технологические аспекты подавления насекомых-вредителей зерна аэрированием // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 537–544. EDN ZAYZSS.

References

1. Rosentrater K. A. (Eds.). Storage of cereal grains and their products, Woodhead Publishing and Cereals, 2022. 754 p.
2. Rodrigues D. M., Coradi P. C., Timm N. S., Fornari M., Grellmann P., Amado T. C. [et al.]. Applying remote sensing, sensors and computational techniques to sustainable agriculture: from grain production to post-harvest. Agriculture, 2024;14;1:161. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010161>.
3. Ivanov N. M., Strikunov N. I., Lekanov S. V. *Technologies and equipment for post-harvest processing of grain and seeds: monograph*, Novosibirsk, Sibirskii Federal'nyi nauchnyi tsentr agrobiotekhnologii Rossiiskoi akademii nauk, 2021, 275 p. (in Russ.).
4. Feydengold V. B., Alekseeva L. V., Zakladnoy G. A. *Measures to control grain losses during harvesting, post-harvest processing and storage at elevators and bread receiving enterprises*, Moscow, DeLi print, 2007, 302 p. (in Russ.).
5. Nath B., Chen G., O'Sullivan C. M., Zare D. Research and technologies to reduce grain postharvest losses: a review. Foods, 2024;13;12:1875. <https://doi.org/10.3390/foods13121875>.
6. Smelik V. A., Novikov M. A., Perekopskiy A. N., Eroshenko L. I. *Post-harvest treatment of grain and seeds under conditions of high moisture regions: monograph*, Saint-Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2023, 162 p. EDN ANWRIL (in Russ.).
7. Drincha V., Dondokov Yu., Ammosov I., Alesksandrov N., Mashiev Ch. Problems and prospects of grain aeration technologies. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo*

gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniya, 2024;3(94):30–40. https://doi.org/10.53980/24131997_2024_3_30 (in Russ.).

8. Ptitsyn S. D. *Grain dryers. Technological bases, thermal calculation and constructions*, Moscow, Mashinostroenie, 1966, 212 p. (in Russ.).

9. Ammosov I. N., Drincha V. M., Borisenko I. B. Technological aspects of suppression of insect pests of grain by aeration. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2022;2(66):537–544. EDN ZAYZSS (in Russ.).

© Дондоков Ю. Ж., Аммосов И. Н., Дринча В. М., Друзьянова В. П., Кондакова Н. И., 2024
Статья поступила в редакцию 05.11.2024; одобрена после рецензирования 02.12.2024; принята к публикации 03.12.2024.

The article was submitted 05.11.2024; approved after reviewing 02.12.2024; accepted for publication 03.12.2024.

Информация об авторах

Дондоков Юрий Жигмитович, кандидат технических наук, доцент, Арктический государственный агротехнологический университет, ooo-centaurus@mail.ru;

Аммосов Иннокентий Николаевич, старший преподаватель, Арктический государственный агротехнологический университет, amminnik@yandex.ru;

Дринча Василий Михайлович, доктор технических наук, профессор, Арктический государственный агротехнологический университет, ORCID: 0000-0003-1083-5370, vdrincha@list.ru;

Друзьянова Варвара Петровна, доктор технических наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова;

Кондакова Надежда Ивановна, старший преподаватель, Арктический государственный агротехнологический университет, Konadiv57@mail.ru

Information about the authors

Yuriy Zh. Dondokov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Arctic State Agrotechnological University, ooo-centaurus@mail.ru;

Innokentiy N. Ammosov, Senior Lecturer, Arctic State Agrotechnological University, amminnik@yandex.ru;

Vasilii M. Drincha, Doctor of Technical Sciences, Professor, Arctic State Agrotechnological University, ORCID: 0000-0003-1083-5370, vdrincha@mail.ru;

Varvara P. Druzyanova, Doctor of Technical Sciences, Professor, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, druzvar@mail.ru;

Nadezhda I. Kondakova, Senior Lecturer, Arctic State Agrotechnological University, Konadiv57@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.