

СПОСОБЫ И РЕЖИМЫ СУШКИ ЗЕРНА Methods and modes of grain drying

А. А. Верхорубова, студент

Н. Л. Лопаева, кандидат биологических наук, доцент

Уральский государственный аграрный университет

(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Аннотация

Статья посвящена способам и режимам сушки зерна. В ней рассмотрены естественные и искусственные методы сушки, включая сушку на солнце, конвективные, вакуумные и инновационные технологии, а также оптимальные режимы обработки для разных культур и их типы. Уделяется внимание оборудованию, применяемому для сушки.

Ключевые слова: сушка зерна, влажность зерна, искусственные методы сушки, естественные методы сушки, режимы сушки, хранение зерна, сельскохозяйственное оборудование.

Summary

The article is devoted to methods and modes of grain drying. It discusses natural and artificial drying methods, including sun drying, convective, vacuum and innovative technologies, as well as optimal processing modes for different crops and their types. Attention is paid to the equipment used for drying.

Keywords: grain drying, grain moisture, artificial drying methods, natural drying methods, drying modes, grain storage, agricultural equipment.

Сушка зерна – один из этапов подготовки зерна к хранению, обеспечивающий сохранность урожая. Основная цель процесса – снижение влажности до уровня, при котором прекращаются биохимические реакции, ведущие к порче. Это предотвращает развитие плесени, самосогревание и потерю всхожести, а также сохраняет питательную ценность зерна для длительного хранения. Пренебрежение правилами сушки приводит к значительным потерям: например, при влажности выше нормы всего на 2-3% урожай может быть поражён грибами, что делает его непригодным для использования.

Для каждой культуры установлены строгие нормы влажности. Так, пшеницу сушат до 14%, кукурузу – до 13%, а рис – до 15%. Отклонение от этих значений влечёт экономические риски: пересушенное зерно теряет массу и становится хрупким, а недостаточно высушенное требует дополнительных затрат на вентиляцию или повторную обработку. Например, в странах с высокой влажностью воздуха недоработка в сушке кукурузы может привести к потерям до 20% урожая, что напрямую влияет на рентабельность сельхозпредприятий.

Сушка зерна осуществляется **естественным** и **искусственным** способом.

К естественному способу относится *солнечная сушка*, при которой зерно рассыпают тонким слоем на открытых площадках, используя энергию солнца и ветра. Этот метод не требует специального оборудования и энергозатрат, что делает его экономически выгодным для небольших хозяйств. Однако его эффективность напрямую зависит от погодных условий: дождь, высокая влажность воздуха или внезапное похолодание могут замедлить процесс или привести к порче урожая. Например, в тропических регионах, где частые ливни чередуются с солнечными днями, зерно нередко начинает прорастать или покрываться плесенью из-за

неравномерного высыхания. Кроме того, такой способ занимает много времени – для достижения оптимальной влажности пшеницы может потребоваться до 5-7 дней, что увеличивает риск потерь от птиц и грызунов. Большим минусом можно считать высоту насыпи 7-10 см, для чего требуется большая площадь.

Более контролируемый вариант естественной сушки – **воздушная сушка** в хранилищах с естественной вентиляцией. Зерно размещают в помещениях с вентиляционными отверстиями, через которые проходит воздух, снижая влажность за счёт естественной циркуляции. Этот метод подходит для регионов с сухим климатом, где относительная влажность воздуха не превышает 60-70%. Он позволяет избежать прямого воздействия осадков и снижает риск загрязнения, но требует тщательного планирования: толщина слоя зерна, размеры вентиляционных каналов и частота перемешивания должны строго соответствовать нормам. Например, для кукурузы слой не должен превышать 1.5 метра, иначе нижние слои останутся сырыми, что спровоцирует рост грибков. Главный недостаток воздушной сушки – её медленная скорость. В условиях повышенной влажности процесс может затянуться на несколько недель, а при отсутствии ветра – практически остановиться. Это делает метод непригодным для крупных партий зерна или культур с высокой начальной влажностью, таких как рис, который после уборки содержит до 25-28% воды. Тем не менее, в странах с устойчивым сухим климатом, например, в некоторых регионах Аргентины и Австралии, естественная вентиляция остаётся популярной благодаря низким эксплуатационным расходам и минимальному воздействию на структуру зерна, что особенно важно для семенного материала [1, 2].

Искусственные методы сушки зерна обеспечивают точный контроль параметров, что особенно важно для крупных хозяйств и регионов с нестабильным климатом. К ним относятся:

Конвективная сушка зерна. Она основана на передаче тепла от движущегося газообразного агента сушки – нагретого воздуха или его смеси с продуктами сгорания топлива (1-3%). Агент не только нагревает зерно, но и поглощает испаряющуюся влагу, унося её из массы. Направление движения агента может совпадать с движением зерна (прямоток), быть противоположным (противоток) или перпендикулярным (перекрёстный ток). Этот метод доминирует в сельском хозяйстве России, США, Канады и Европы благодаря универсальности и высокой производительности.

Зерно в конвективных сушилках обрабатывается в разных состояниях: в разрыхлённом, падающем, псевдооживленном (в пневмогазовых установках), неподвижном (при активном вентилировании) или движущемся сплошным слоем (в шахтных конструкциях). Шахтные сушилки, где зерно движется самотеком через вертикальные камеры с многоступенчатой подачей воздуха, обеспечивают более равномерную сушку и экономичны за счёт рециркуляции тепла. Но их производительность ниже (20-30 тонн/час), что ограничивает применение в крупных хозяйствах. Тем не менее, конвективная сушка остаётся оптимальным решением для большинства культур, балансируя между скоростью, объёмами и сохранением базовых качеств зерна [3].

Кондуктивная сушка основана на прямом контакте зерна с нагретыми поверхностями, такими как металлические пластины или ленты. Для такой сушки характерны большой расход топлива и неравномерный нагрев зернового материала, расположенного на разных уровнях от нагретой поверхности. Семена, контактирующие с горячей поверхностью, нагреваются сильнее, чем удаленные. Этот метод исключает прямой обдув горячим воздухом, что снижает риск окисления жиров и потери витаминов в масличных культурах. Например, для сои кондуктивная сушка при 40–50°C сохраняет до 95% исходного содержания протеина,

тогда как конвективная при тех же температурах может снизить этот показатель на 5-7%. Однако из-за неравномерного контакта зерна с поверхностями возможны локальные перегревы, особенно в крупных партиях. Кроме того, процесс требует больше времени: для достижения целевой влажности может потребоваться до 24 часов, что ограничивает применение метода в условиях массовой уборки. Тем не менее, кондуктивные сушилки незаменимы для обработки семенного материала, где даже минимальное тепловое воздействие должно быть строго дозированным [5].

Вакуумная (сублимационная) сушка – технология, при которой зерно помещают в герметичные камеры с пониженным давлением. Это позволяет снизить температуру испарения воды до 30–40°C, что полностью исключает тепловую деградацию питательных веществ. Например, при сушке риса вакуумным методом сохраняется до 98% исходного содержания витамина B1, который разрушается при традиционной конвекции. Однако оборудование для вакуумной сушки сложно проектировать и обслуживать: камеры должны выдерживать давление до 0.01 атмосферы, а система откачки воздуха потребляет значительное количество электроэнергии. Стоимость обработки тонны зерна может в 3–4 раза превышать затраты на конвективную сушку, поэтому метод применяется преимущественно для элитных сортов или органической продукции с высокой маржинальностью [1].

Сорбционный способ сушки зерна основан на поглощении влаги специальными материалами (силикагель, цеолиты) без нагрева. Зерно помещают в герметичные ёмкости с сорбентом, который «вытягивает» воду через разницу в парциальном давлении. Метод энергоэффективен, сохраняет питательные вещества и подходит для деликатных культур, например, семян с высокой всхожестью.

Однако процесс медленный (снижение влажности на 1% за 24 часа), требует замены сорбентов (например, прокалки силикагеля) и не годится для больших объёмов. Риск загрязнения зерна химическими сорбентами ограничивает применение в органическом земледелии. Используется в нишевых сферах: хранение элитных семян, лабораторные исследования.

Среди инновационных технологий выделяются инфракрасная (радиационная) и СВЧ-сушка. **Инфракрасные** излучатели нагревают зерно за счёт направленного теплового излучения, что ускоряет испарение влаги в 2–3 раза по сравнению с конвекцией. Например, для ячменя с начальной влажностью 18% инфракрасная сушка сокращает процесс с 8 до 3 часов, сохраняя всхожесть на уровне 99%. СВЧ-сушка использует микроволновое излучение, которое воздействует на молекулы воды внутри зерна, обеспечивая равномерное высыхание даже в плотных слоях. Оба метода минимизируют тепловую нагрузку на наружные слои, что предотвращает растрескивание оболочки, критичное для таких культур, как гречиха. Однако высокая стоимость оборудования – промышленная СВЧ-установка может стоить до \$200 000 – и повышенное энергопотребление (до 2 кВт·ч на килограмм испарённой воды) делают эти технологии малодоступными для большинства хозяйств. Кроме того, СВЧ-сушка требует точной настройки частоты и мощности излучения: отклонение параметров всего на 5-10% приводит к неравномерной обработке или локальному перегреву. Тем не менее, в премиум-сегменте, например, для сушки ферментированного какао-боба или специй, эти методы становятся стандартом, так как сохраняют не только питательные свойства, но и ароматические соединения, чувствительные к высоким температурам [4].

Во время сушки обязательно нужно соблюдать определённый **режим**. Выбор режима зависит от трёх факторов: типа культуры, исходной влажности и дальнейшего назначения. Например, семенное зерно требует щадящей обработки, чтобы сохранить всхожесть, а кор-

мовое может подвергаться более интенсивному воздействию. Для продовольственного зерна важен баланс между скоростью сушки и сохранением питательных свойств.

Существует три основных режима. **Мягкий** (до 45°C) применяется для семян: нагрев не должен повредить зародыш, поэтому для пшеницы, например, температура ограничивается 40-43°C при длительности обработки до 6 часов. **Стандартный** (45-60°C) подходит для продовольственного зерна – так пшеницу сушат до 14% влажности за 4-5 часов при 50-55°C. **Интенсивный** (свыше 60°C) используют для кормовых культур: кукурузу с начальной влажностью 30% обрабатывают при 65-70°C, снижая влажность до 13-14% за 2-3 часа, но такой режим может ухудшить содержание крахмала [2].

Оборудование.

Современные сушилки для зерна различаются конструкцией и назначением, адаптируясь к масштабам производства и особенностям культур. **Барабанные сушилки** подходят для крупных хозяйств: вращающийся барабан обрабатывает до 100 тонн зерна в час, но интенсивный нагрев воздуха до 150°C повышает риск пересушивания. **Шахтные сушилки** обеспечивают более равномерную обработку за счёт вертикальных камер, через которые зерно движется самотеком, а воздух подаётся поэтапно. Они экономичнее барабанных благодаря рециркуляции тепла, но их производительность ограничена 20–30 тоннами в час, что замедляет обработку во время массовой уборки.

Для небольших хозяйств актуальны **мобильные сушилки** – компактные установки, которые можно перемещать между полями и хранилищами. Они обрабатывают 3-5 тонн в час, но их гибкость компенсирует низкую мощность. **Ленточные сушилки** предназначены для деликатных культур, таких как бобовые или семена подсолнечника: зерно распределяется тонким слоем на перфорированной ленте, через которую подаётся тёплый воздух. Это предотвращает механические повреждения, однако ограничивает объёмы обработки.

Автоматизация упрощает контроль процесса. Датчики влажности в реальном времени корректируют температуру воздуха, а системы управления предотвращают перегрев. Например, в шахтных сушилках алгоритмы автоматически регулируют скорость подачи зерна и воздуха, снижая энергопотребление на 15–20%. Такие решения минимизируют человеческий фактор, но требуют регулярного обслуживания и повышают первоначальную стоимость оборудования [4, 5].

Таким образом, сушка зерна – процесс, от которого зависят сохранность и качество урожая. Выбор метода (солнечная, конвективная, вакуумная) определяется культурой, назначением зерна и ресурсами. Семена требуют щадящих режимов (до 45°C), корма – интенсивных (свыше 60°C). Автоматизация снижает риски перегрева и энергозатраты, а инновации (СВЧ, сорбционные технологии) повышают точность, но требуют инвестиций. Оптимальный подход – комбинация проверенных методов с адаптацией к условиям, что сокращает потери, сохраняет питательную ценность и повышает рентабельность сельхозпроизводства.

Библиографический список

1. Основы механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: учебник для СПО / В. Е. Бердышев, М. А. Новиков, В. А. Смелик [и др.]. СПб.: Лань, 2024. 268 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/405461>.
2. Хайртдинова Н. А. Технология хранения, транспортировки и реализации сельскохозяйственной продукции: учебное пособие / Н. А. Хайртдинова, Н. Н. Андреев,

Ф. А. Мударисов. Ульяновск: УлГАУ имени П. А. Столыпина, 2020. 196 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/207278>.

3. *Наумова М. П.* Технологии производства продукции растениеводства. Практикум по проведению учебной практики / М. П. Наумова, Н. В. Милехина. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2024. 208 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/366806>.

4. Основы механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: учебник для СПО / В. Е. Бердышев, М. А. Новиков, В. А. Смелик [и др.]. СПб.: Лань, 2024. 268 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/405461>.

5. *Глухих М. А.* Технология хранения и переработки зерна и семян / М. А. Глухих. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2024. 116 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/364502>.