

УДК 631.53

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ И АЭРАЦИОННОЙ СУШКИ ЗЕРНА

**Аммосов Иннокентий Николаевич**

Старший преподаватель

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

**Дондоков Юрий Жигмитович**

Кандидат технических наук, доцент

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

**Дринча Василий Михайлович**

Доктор технических наук, профессор

Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Россия

e-mail: vdrincha@list.ru

**Аннотация.** Сушка зерна – обширная тема, если рассматривать все виды зерна, а также различные почвенно-климатические условия его возделывания и сушки. В последние десятилетия повышение урожайности зерновых и внедрение таких культур, как масличный рапс, заставили многие хозяйства задуматься об увеличении сушильных мощностей зерна. Обработка зерна и подготовка его для безопасного хранения в основном сводятся к удалению влаги. Установлено, что для высокотемпературной сушки зерна шахтные зерносушилки конвективного и непрерывного способа сушки с перекрестным движением зернового потока и агента сушки являются наиболее перспективным типом сушильного оборудования. Определено, что одной из важных проблем растениеводства остается сокращение расхода ископаемого топлива и прежде всего жидкого топлива на сушку зерна. Определена устойчивая тенденция, как в высокотемпературных, так и в аэрационных сушилках применения топочных блоков с теплообменниками, что исключает загрязнение зерна продуктами сгорания топлива. Особо актуальными вопросами в обеих системах сушки является растущее применение альтернативных источников энергии взамен ископаемого топлива. Сравнительный анализ высокотемпературной и аэрационной сушки зерна отражает общую тенденцию мировой практики зерносушения, выражающуюся в распространении обеих систем сушки, которые могут эффективно применяться в сочетании друг с другом.

**Ключевые слова:** Зерно, влажность, температура, высокотемпературная сушка, аэрационная сушка, сушилка непрерывного действия; сушилка порционного действия, напольная сушилка, равновесная влажность зерна.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF HIGH-TEMPERATURE AND AERATION DRYING OF GRAIN

**Ammosov Innokentiy Nikolaevich**

Assistant Professor, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

**Dondokov Yuriy Zhigmitovich**

PhD in engineering science, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

**Drincha Vasilii Michailovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

e-mail: vdrincha@mail.ru

**Abstract.** Grain drying is a broad subject when one considers all grains and the various locations and conditions under which they are cultivated and dried. In recent decades improvements in cereal yield and the introduction of crops, such as oil seed rape, have caused many farmers to consider increasing the capacity of grain drying systems. Basically, grain conditioning and safe storage relates largely to the removal of moisture. It has been found that for high-temperature drying, mixed flow driers with convective and continuous drying outlets with cross-movement of grain flow and drying agent are the most promising type of drying equipment. It has been determined that one of the important problems in plant growing remains the reduction of fossil fuel consumption, primarily liquid fuel, for drying grain. A stable trend has been identified, both in high-temperature and aeration dryers, to use combustion units with a heat exchanger, which eliminates contamination of grain with fuel combustion products. Particularly relevant issues in both drying systems are the growing use of alternative energy sources to replace fossil fuels. A comparative analysis of high-temperature and aeration grain drying reflects the general trend in world grain drying practice, expressed in the spread of both drying systems, which can be effectively used in combination with each other.

**Keywords:** Grain, moisture content, temperature, heated air drying, aeration drying, continuous drier, batch drier, on floor drier, equilibrium moisture content of grain.

**Введение.** Сушка зерна восходит к началу цивилизации. Использование солнечной энергии и воздушного потока являлось основным способом удаления влаги из урожая в поле.

Зерносушение в России прошло длительный путь развития. До 19-века зерно с повышенной влажностью сушили в поле в снопах, укладываемых в суслонах, острогах, вешалках и сараях. При этом основой сушки являлось проветривание зерна. В начале 19-века хлеба сушили в овинах различных конструкций с применением печей для сжигания дров или соломы. Принцип принудительной подачи горячего воздуха стали использовать с 1832 г. в конструкции сушилки Майера [19].

Урожай, оставленный в поле для сушки, подвергался атакам насекомых, птиц, грызунов, диких животных, сильных ветров, а и иногда ливневых дождей, которые могли привести к порче и существенным потерям зерна. Однако, оставление зерна в снопах для досушки имело и положительные стороны, семенное зерно при этом быстрее проходило этап послеуборочного созревания и лучше сохраняло посевные свойства в сравнении с комбайновой уборкой.

Теоретические основы сушки зерна впервые были разработаны отечественными учеными в 19 веке. Первые шахтные сушилки, аналоги современных моделей, были разработаны во Всесоюзном НИИ с.-х. машиностроения в 1933 г [14, 15].

Между первой и второй мировыми войнами было построено несколько экспериментальных механических сушильных установок, а также несколько производственных установок находились в эксплуатации. Производственные сушилки в основном использовались для сушки фруктов, овощей и сена; сушки семенной кукурузы нагретым воздухом; и сушки сена в амбаре; обычно с помощью естественного принудительного воздуха.

После второй мировой войны высокопроизводительные сушилки стали обычной практикой. Рост мощностей сушки был связан с быстрым ростом механизации и ростом продуктивности земли и труда. Большие объемы урожая требовали высокопродуктивных сушилок [4, 5].

Интенсификация операций зернопроизводства от сбора урожая до хранения обуславливала необходимость разработки высокопроизводительных способов сушки с применением нагретого воздуха [21, 24].

На первых этапах разработки высокотемпературных сушилок преобладали исследования, посвященные быстрой сушке в неглубоких слоях, обычно при температуре ниже 93,3°C. Семенное зерно сушили при 46°C или ниже. Для продовольственного зерна средние температуры воздуха были ниже 55 °C, а для фуражного зерна температура не превышала 83 °C. Наряду с высокотемпературной сушкой параллельно развивалась сушка с использованием низких температур в глубоких слоях до 3,5 м, которая обычно проводилась непосредственно в бункерах или в горизонтальных хранилищах [2, 11,12].

Исследования высокотемпературной сушки показали, что на зерне основных бобовых и злаковых культур образуются трещины, особенно при быстрой сушке, что снижает качество и способность храниться без порчи. Разрабатывались различные методы для уменьшения повреждения зерна во время сушки. Высоковлажное зерно сушили поэтапно с применением драйэрации. Зерно циркулировало или перемешивалось во время сушки [22, 26].

После второй мировой войны и в 1950-х годах энергия стала дешевой и доступной. В этот период, хотя многие исследователи оценивали тепловую эффективность систем сушки, было мало стимулов для значительного снижения затрат на энергию. Однако расходы на топливо возросли, и по мере того, как доступность топлива становилась менее гарантированной, значительное внимание уделялось эффективности использования энергии.

Для уменьшения расходов энергии все большее внимание уделялось переработке зерна и консервации его путем охлаждения, а также использования солнечной энергии и других альтернативных источников. Оценивались большие риски, связанные с сушкой зерна на корню, при которой урожай оставляли в поле более длительное время, чтобы снизить содержание влаги перед уборкой урожая [7, 23, 29].

В последние годы эффективность использования энергии, наряду с новыми технологиями определяют себестоимость зерна и конкурентоспособность хозяйств [1, 13, 16].

В мировой структуре энергопотребления доля с.х. колеблется от 4 до 7%. Снижение расхода энергии в с.х. не может оказать значимое влияние на общее энергопотребление в мире или в отдельных странах. Однако, в условиях устойчивого роста цен на ископаемое топливо и роста дефицита углеродного топлива в мире, технологии с.-х. производства должны быть энергосохранными [10, 20, 27].

Доля затрат на сушку в общем энергопотреблении зерновых хозяйств существенным образом зависит от применяемых технологий возделывания зерновых культур. С внедрением минимальных технологий обработки почвы доля энергопотребления на высокотемпературную сушку в общей структуре растет. Например, в зернопроизводящих хозяйствах Англии в среднем энергозатраты на сушку превышают 50% (табл. 1) [6, 25].

Таблица. 1.

**Энергопотребление в зерновых хозяйствах**

Технологические операции	Выращивание зерновых с применением отвальной вспашки, %	Минимальная обработка почвы, %
Высокотемпературная сушка	43	66

Подготовка почвы и посев	39	7
Уборка урожая	13	19
Уход за растениями и транспортировка урожая	5	8

Наряду с высокотемпературной сушкой зерна, начиная с 50-х годов прошлого века находит применение аэрационная сушка в насыпи или ее еще называют низкотемпературной сушкой. Данного типа сушки применяются во всех зернопроизводящих странах мира. Однако, зернопроизводители испытывают существенные трудности в процессе выбора оптимального решения технологии сушки, зачастую противопоставляют один метод другому, в то время, когда они могут и дополнять друг друга.

Целью статьи является проведение ретроспективного анализа систем сушки зерна и сравнение технологических процессов высокотемпературной и низкотемпературной сушки.

**Материалы и методы исследования.** Исследования основаны на ретроспективном анализе технологий, процессов и технических средств сушки зерна за последние 200 лет. Основным методом исследований основывался на системном подходе, включающем оценку процессов сушки по критериям технологического развития, экономической эффективности и энерго-ресурсосохранности. Материалы исследований получены в процессе проведения многолетних экспериментальных исследований послеуборочной обработки зерна и подготовки семян.

**Результаты и обсуждение.** Одним из наиболее важных физиологических факторов успешного хранения зерна и выполнения операций его послеуборочной обработки является влажность урожая. Высокое содержание влаги в зерне приводит к проблемам с послеуборочной обработкой и его хранением, поскольку оно обладает низкой сыпучестью, становится уязвимым к воздействию грибов и насекомых-вредителей. Дыхание такого зерна увеличивается, а также оно может и прорасти.

Содержание влаги в растущем урожае от природы высокое и начинает снижаться только по мере созревания урожая и высушивания зерен. В естественном состоянии при низкой влажности, например, для основных зерновых культур при влажности ниже 14% и достаточно низких температур зерно находится в состоянии покоя, а затем может прорасти либо при повторном увлажнении дождем, либо в результате естественного выделения влаги при увеличении интенсивности дыхания.

В убранным зерне дыхание не прекращается, при этом может выделяется биологическое тепло и влага, которые в значительной степени зависят от влажности зерна и его температуры. Интенсивность дыхания органической примеси в

зерновом ворохе высокой влажности в несколько раз превышает основное зерно (табл. 2) [17, 18, 28].

Таблица 2.

### Интенсивность дыхания комбайнового зерна и его примесей

Культура	Засоренность, %	Влажность свежесобранной зерновой массы, %	Интенсивность дыхания в мг CO <sub>2</sub> на 100 г сухого вещества за 24 ч			Отношение интенсивности дыхания примесей к зерну
			ворох	зерно	примесь	
Рожь	12,9	28,3	194,5	103,6	433,9	3
Пшеница	4,1	32,6	240,2	190,4	568,6	3

Увеличение влажности зерна с 12 до 30% приводит не только к тысячекратному увеличению интенсивности дыхания зерна, но и к существенному росту колоний плесневых грибов.

Дыхания зерна приводит к потере сухого вещества, а также часто обуславливает снижение жизнеспособности и всхожести семян. Снижение влажности зерна и/или понижение его температуры позволяют снизить физиологическую активность зерна и перевести его в состояние покоя, при котором дыхание зерна минимально, а, следовательно, и минимальные потери в процессе его хранения.

Применение принципов высокотемпературной сушки зерна началось более 200 лет тому [19, 22]. С того момента сушильные системы эволюционно развивались и стали основными в зернопроизводстве во всем мире. Однако рост стоимости энергии, а также потребность в сушильных системах, обеспечивающих щадящий режим сушки, привели в 50-х годах прошлого века к все более широкому использованию аэрационных или низкотемпературных сушилок. Для проведения сравнительного анализа обеих систем сушки рассмотрим их основные терминологические и технологические особенности.

В высокотемпературных сушилках температура агента сушки или подогретого воздуха доходит до 40°C или выше, что означает, что сушка не зависит от погодных условий, так как относительная влажность воздуха при такой температуре ниже, чем при равновесной влажности зерна безопасной для его хранения. Скорость сушки высокая, так как зерно находится в тонком слое, продуваемом при больших расходах воздуха. За исключением самых простых конструкций, зерно перемещается во время сушки, обеспечивая более равномерное воздействие воздуха на высушиваемое зерно, что позволяет ограничить его пересушивание и термическое повреждение.

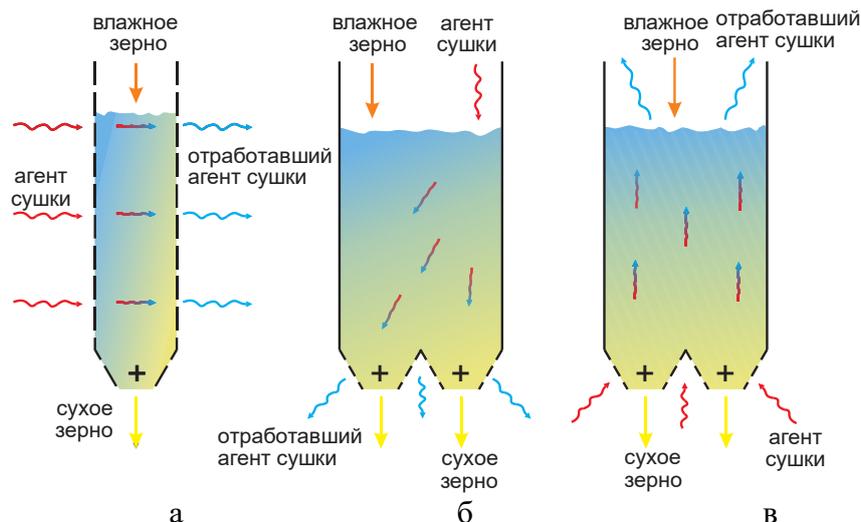
Современные высокотемпературные сушилки должны высушивать зерно до кондиционной влажности, охлаждать его и выгружать на транспортер, подающий сухое зерно на дальнейшую обработку или в зернохранилище, а в некоторых случаях осуществлять выгрузку в транспортное средство. Топочные блоки сушилок должны быть оснащены теплообменником для исключения загрязнения зерна продуктами горения топлива.

Наиболее распространены два типа высокотемпературных систем: порционного и непрерывного действия.

Установки порционного действия загружаются и выгружаются периодически, т.е. сушилка опорожняется между партиями влажного и сухого зерна. Сушилки данного типа целесообразно использовать для обработки небольших объемов зерна и использовать их в качестве мобильных. Удаление влаги из зерна зависит от длительности сушки, которое для достижения безопасной для хранения влажности зерна можно регулировать. Время охлаждения сухого зерна не зависит от времени сушки. Для повышения равномерности сушки в некоторых порционных сушилках можно рециркулировать и смешивать зерно в процессе сушки.

Наиболее распространенным высокотемпературным способом сушки зерна является конвективная сушка непрерывного действия, основанная на передаче тепла высушиваемому продукту за счет энергии нагретого агента сушки (нагретого воздуха или смеси воздуха с топочными газами). Установки этого типа обычно обрабатывают зерно в потоке и являются стационарными. Удаляемая влага зависит от длительности сушки, т. е. от времени прохождения зерна через сушильные секции, которое определяется скоростью выгрузки зерна. Длительность охлаждения также определяется интенсивностью выгрузки. Если скорость выгрузки зерна высокая может потребоваться его дополнительное охлаждение.

При этом способе сушки за счет сообщаемой продукту тепловой энергии идет испарение находящейся в продукте влаги, а унос водяных паров осуществляется сушильным агентом. Агент сушки при данном способе выполняет функции теплоносителя и влагопоглотителя. В практике зерносушения наиболее широкое распространение получил конвективный способ сушки при перекрестном движении зернового потока и агента сушки (рис. 1).

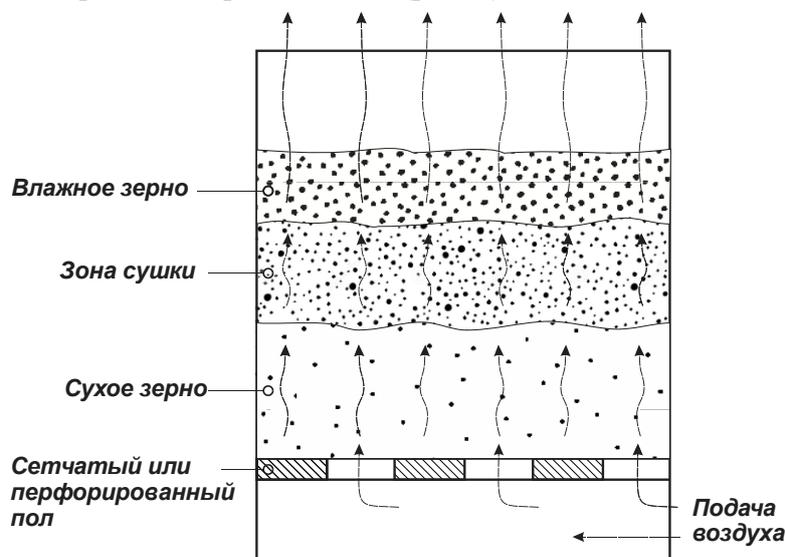


**Рис. 1.** Схемы процессов непрерывной конвективной сушки зерна при перекрестном движении зернового потока и агента сушки (а), прямотоке (б), противотоке (в).

В целом, было установлено, что сушилки с перекрестным движением зернового потока и агента сушки являются наиболее простыми по конструкции, сушилки с противотоком – наиболее эффективными по использованию тепловой энергии, а сушилки с прямотоком – наименее термически повреждают зерно.

Системы аэрационной сушки включают аэрацию статической массы зерна достаточным и равномерным потоком воздуха при температуре близкой к температуре окружающей среды. Данный процесс сушки относительно медленный, что обычно позволяет сушить зерно там, где оно будет храниться [3, 8, 9].

Аэрационная сушка общепринятый и проверенный метод консервации зерна. Она происходит в слое (зоне сушки), который образуется на входе воздуха и затем проходит через весь зерновой слой (рис. 2).



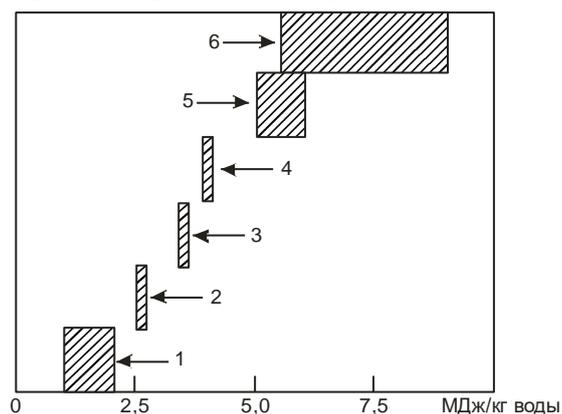
**Рис. 2.** Схема процесса аэрационной сушки зерна

Зерно перед зоной сушки остается влажным и может быть теплым, создаются благоприятные условия для развития плесеней и вредных насекомых, а, следовательно, и порчи зерна. Прогресс зоны сушки пропорционален скорости воздуха, определяемой нормой аэрации, которая для основных зерновых культур должна быть не менее 6 л/с на тонну зерна.

Влажное зерно перед зоной сушки охлаждается аэрацией, насыщенного влажной воздуха в зоне сушки. Это может привести к конденсации влаги на поверхности зерна, особенно при прохладном влажном ночном воздухе над основной массой. Однако, даже когда погодные условия не подходят для сушки, такое охлаждение является технологически важным, поскольку замедляет развитие клещей и грибов.

Для успешного завершения аэрационной сушки необходимым условием является достижение зоны сушки поверхности зерна (прохождение ее сквозь всю толщину слоя), до того, как зерно в этой области испортится.

Для сравнительного анализа сушильных систем зерна особый интерес представляют удельные затраты энергии на испарение 1 кг воды (рис. 3).



**Рис. 3.** Удельные затраты энергии основных способов сушки: 1 – аэрационная сушка зерна в насыпи естественным воздухом; 2 – скрытая теплота фазового перехода воды из жидкого состояния в пар; 3 – бункерные сушилки с осевым воздухоподводящим каналом; 4 – высокотемпературные сушилки со смешанным направлением движения зерна и агента сушки; 5 – высокотемпературные сушилки с поперечным направлением движения агента сушки к зерновому потоку и с рециркуляцией агента сушки; 6 – высокотемпературные сушилки с перекрестным направлением движения зерна и агента сушки и без его рециркуляции.

Удельные энергозатраты подавляющего большинства сушильных систем превышают значения скрытой теплоты фазового перехода воды из жидкого состояния в пар.

Аэрационная сушка зерна в насыпи естественным воздухом происходит за счет тепла, абсорбированного зерном из воздуха, проходящего сквозь зерновую

насыпь. При этом, покупная энергия расходуется только на привод вентиляторов. Этот процесс может быть эффективным только при оптимальном управлении. При этом предполагается, что около ½ % влаги из зерна может быть удалено на протяжении 24 часов расхода дополнительной энергии на снижение относительной влажности воздуха. Длительность аэрационной сушки при этом составляет не менее 10 дней. При недостаточном опыте операторов вполне возможно при этом способе расходовать больше энергии, чем при высокотемпературной сушке.

Потребление энергии в радиальных бункерных сушилках включает энергию потребную на привод вентиляторов и энергию для нагрева воздуха на 2...3°C выше по сравнению с атмосферным воздухом.

Расход энергии на сушку в бункерных радиальных сушилках ниже, чем в высокотемпературных сушилках. Однако стоимость оборудования бункерных сушилок выше, чем высокотемпературных сушилок. В общем следует подчеркнуть, что затраты энергии в сушильных системах обратно пропорциональны скорости сушки зерна.

Сравнительный анализ высокотемпературной и аэрационной сушки зерна позволил выявить их положительные и отрицательные технологические свойства (табл. 3).

Таблица 3.

### Сравнительные характеристики высокотемпературной и аэрационной сушки зерна

Факторы	Высокотемпературная сушка	Аэрационная сушка
Стоимость оборудования	Высокая	Низкая. Сушилка является зернохранилищем
Эксплуатационные расходы	Сопоставимые	
Скорость сушки	Быстрая – часы, так как сушка происходит в тонком слое	Медленная – дни или недели, так как зона сушки перемещается медленно и температуры воздуха низкие
Требуемые навыки управления	Низкие – следование инструкции производителя	Высокие – необходимо следить за влажностью зерна и погодными условиями
Влияние погодных условий	Отсутствует	Производительность сушки уменьшается при неблагоприятных погодных условиях
Влияние начальной влажности зерна	Реальной проблемы нет – может потребоваться снижение производительности сушилки или двукратный пропуск зерна	Уменьшается продуктивность сушки

Риски снижения качества зерна (порчи)	Низкий или нулевой риск при медленной сушке Риск перегрева и термического повреждения зерна Некоторый риск пересушивания	Высокий риск при медленной сушке. Низкий риск перегрева зерна. Некоторый риск пересушивания
---------------------------------------	--	--

Проведенный сравнительный анализ высокотемпературной и аэрационной сушки зерна может быть использован при выборе и оптимизации технологий сушки зерна и семян различных зерновых культур, а также мелкосемянных культур.

**Заключение.** Сушка зерна в технологиях послеуборочной обработки зерна, подготовки семян, и хранения – базовый процесс для доведения зерна до безопасной влажности, а также является инструментом планирования уборки, проведения послеуборочной обработки и предпродажной подготовки зерна. Сушка теперь рассматривается как часть системы производства зерна в большей степени, чем когда-либо раньше.

Для высокотемпературной сушки зерна основных зерновых культур шахтные зерносушилки конвективного и непрерывного способа сушки с перекрестным движением зернового потока и агента сушки являются и остаются на перспективу наиболее распространенным типом сушильного оборудования.

Одной из важных проблем растениеводства остается сокращение расхода ископаемого топлива и прежде всего жидкого на сушку зерна как весьма энергоемкую операцию в зернопроизводстве.

В последнее время прослеживается устойчивая тенденция, как в высокотемпературных, так и в аэрационных сушилках применение топочных блоков с теплообменником, что исключает загрязнение зерна продуктами сгорания топлива. Особо актуальными вопросами в обеих системах сушки является растущее применение альтернативных источников энергии взамен ископаемого топлива:

- биогаза из растительной массы и навоза;
- солнечной энергии;
- растительного масла, синтезируемого из отходов растениеводства;
- рапсового масла;
- растительного спирта, синтезируемого из отходов растениеводства;
- соломы, стержней кукурузы и других побочных продуктов растениеводства.

Проведенный сравнительный анализ высокотемпературной и аэрационной сушки зерна отражает общую тенденцию мировой практики зерносушения, выражающуюся в распространении обеих систем сушки, которые зачастую могут дополнять друг друга, сохраняя качество обрабатываемого материала и уменьшая расходы, связанные с консервацией зерна путем уменьшения его влажности.

### Список литературы

1. Аммосов И.Н. Технологические аспекты подавления насекомых-вредителей зерна аэрированием / Аммосов И.Н., Дринча В.М., Борисенко И.Б. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование, 2022. – № 2 (66). – С. 537–544.
2. Анискин В.И., Окунь Г.С. Технологические основы оценки работы зерносушильных установок. М: ВИМ, 2003, 168 с.
3. Анискин В. И., Рыбарук В. А. Теория и технология сушки и временной консервации зерна активным вентилированием. М.: ВИМ, 1978, 185 с.
4. Атанзевич В.И. Сушка зерна. М.: ДеЛи принт, 2007, 480 с.
5. Баум А.Е., Резчиков В.Е. Сушка зерна. М.: Колос, 1983, 223 с.
6. Дринча В.М. Сушки зерна и выбор сушилок в хозяйствах Скандинавии /Дринча В.М., Цыденжоржиев Б.Д.// Аграрный эксперт, 2009 – август. – С. 58-64
7. Дондоков Ю.Ж. Концептуальные положения сохранности зерна в процессе его хранения / Дондоков Ю.Ж., Аммосов И.Н., Дринча В.М. // Вестник АГАТУ, 2023 – №1(9). – С. 50-57
8. Дринча В.М. Технологические принципы бункерной сушки зерна /Дринча В.М., Цыденжоржиев Б.Д.// Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2011 – №3. – С. 38-41
9. Дринча В.М. Технологические основы сушки зерна атмосферным воздухом /Дринча В.М., Цыденжоржиев Б.Д.// Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2011 – №2. – С. 36-39
10. Птицын С.Д. Зерносушилки. Технологические основы, тепловой расчет и конструкции. М.: Машиностроение, 1966. С. 212.
11. Зеленко В.И. Карусельные сушилки. Тверь, 2002, 192 с.
12. Зимин Е.М. Пневмотранспортные установки для вентилирования, транспортирования и сушки зерна. Конструкция, теория и расчет. Кострома, 2000. 215 с.
13. Иванов Н. М. Технологии и техника для послеуборочной обработки зерна и семян: монография / Н. М. Иванов, Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов; СФНЦА РАН. – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2021. – 277 с.
14. Пилипюк В.Л. Технология хранения зерна и семян. М., Инфра-М., 2014, 457 с.
15. Пунков С.П. Хранение зерна, элеваторно-складское хозяйство и зерносушение /Пунков С.П., Стародубцева А.И. // М. ВО «Агропромиздат», 1980. 368 с.
16. Стрикунов, Н. И. Технологические основы компоновки оборудования семяочистительных линий / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1 (207). – С. 99-104. – DOI: 10.53083/1996-4277-2022-207-1-104-108

17. Трисвятский Л.А. Хранение зерна: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Хранение и технология переработки зерна" / Л. А. Трисвятский // М. Альянс, 2017. 350 с.
18. Фейденгольд В.Б. Меры борьбы с потерями зерна при заготовках, послеуборочной обработке и хранении на элеваторах и хлебоприемных предприятиях / Фейденгольд В.Б., Алексеева Л.В., Закладной Г.А., Львова Л.С., Темирбекова С.А. // М., ДеЛи принт, 2007, 302 с.
19. Чернопятов И. Руководство по сушке и хранению хлеба. С. Петербург. Общественная польза. 1867, 285 с.
20. Bala V.K. *Drying and Storage of Cereal Grains*. John Wiley & Sons, Ltd, 2017, 354 p.
21. Brooker D.B., Baaker-Arkema F.W., Hall C.W. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1992, 450 p.
22. Foster George H. *Heated. Air Grain Drying. Grain storage: Part of a system Westport, Connecticut*. The Avi publishing company, Inc. 1973, pp. 189-208.
23. *Grain drying, handling and storage handbook*. Iowa State University, Ames, MWPS-13, Second edition 1987, Iowa, 45 p
24. Hansen, R. C., M. A. Berry, H. M. Keener, and R. J. Gustafson. 1996. Current grain drying practices in Ohio. *Applied Engineering in Agriculture* 12(1): 65–69.
25. McLean K.A. *Drying and storing combinable crops*. Farming Press Ltd.-London. Suffolk, 1980, 281 p.
26. *Natural Air Grain Drying*. Saskatchewan Ministry of Agriculture. October 2008, 14 p.
27. Olesen Toftdahal H. *Grain drying. Innovation Development Engineering ApS*. Denmark, 1987, 308 p.
28. *The WA Guide to High Moisture Harvest Management, Grain Storage and Handling*. CBH group SEPWA. 2006, 68 p.
29. Warrick Chris. *Aerating stored grain cooling or drying for quality control / Warrick Chris // A Grains Industry Guide*. GRDC, Grain Storage Extension Project ([www.primarybusiness.com.au](http://www.primarybusiness.com.au)). 2016, 24 pp.