

Памятка DLG 425

# Надежное хранение зерна

Очистка, сушка и охлаждение



# DLG Membership. Giving knowledge a voice.



## Join DLG.

For more than 130 years DLG has been a forum for the exchange of ideas, a major source of information and a catalyst for progress.

With the aim of shaping, together with you, the future of agriculture, agribusiness and the food sector.

[www.DLG.org/Membership](http://www.DLG.org/Membership)



# Памятка DLG 425

## Надежное хранение зерна

Очистка, сушка и охлаждение

### Авторы

- Государственно сертифицированный фермер Хайнц Генгенбах, Агри Сервисес, г. Обер-Рамштадт
- Бакалавр аграрных наук Альберт Шпррой, фирма RKL e. K., г. Рендсбург
- Дипломированный инженер Ральф Е. Кольб, фирма Frigor Tec, г. Амтцель
- Дипломированный аграрный инженер Мальте Бомбьен, г. Шведенэк

Вся информация и рекомендации без каких-либо гарантий и обязательств

Издатель:

DLG e.V.  
Центр сельского хозяйства  
Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main

1-е издание, выпуск: Июнь 2019

© 2019

Дублирование и перепечатка отдельных разделов текста, рисунков или изображений – в том числе и в учебных целях - только с предварительного разрешения DLG e.V., отдел маркетинга, Servicebereich Marketing, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main, тел.: +49 69 24788-209, M.Biallowons@DLG.org

## Содержание

<b>1. Введение</b>	<b>5</b>
<b>2. Факторы риска</b>	<b>5</b>
2.1 Предотвращение потерь от дыхания зерна	5
2.2 Влажность, температура и время	5
2.3 Полевые плесени и плесени хранения	7
2.4 Поражение вредителями	8
<b>3. Стабильность при хранении и её поддержание</b>	<b>8</b>
3.1 Очистка	8
3.1.1 Предварительная очистка является минимальным стандартом	8
3.1.2 Сравнение воздушных/пневматических и решетных/барабанных сепараторов	9
3.2 Сушка	9
3.2.1 Системы сушки	9
3.2.2 Когда окупается сушка?	13
3.3 Хранение	14
3.3.1 Требования к зернохранилищу	14
3.3.2 Напольные хранилища/амбары	14
3.3.3 Хранение в силосных башнях	15
3.4 Вентиляция	16
3.4.1 Вентиляторы	17
3.4.2 Основные правила вентилирования с использованием наружного воздуха	17
3.4.3 Показатели вентилирования	18
3.5 Охлаждение	19
3.5.1 Принцип работы и техника	19
3.5.2 Экономическая эффективность	20
<b>4. Литература</b>	<b>22</b>

## 1. Введение

Зерно должно соответствовать торговым стандартам и быть здоровым.

- **Соответствует торговым стандартам**

в целом очищенное зерно, практически свободное от пыли и отходов от очистки и аспирации.

- **Здоровым считается**

безупречная, сухая, не смоченная и свободная от вредителей (живые вредители включая клещей в любой стадии) зерновая масса.

## 2. Факторы риска

### 2.1 Предотвращение потерь от дыхания зерна

В пригодном для хранения зерне в рамках поддержания жизнеспособности зародыша происходит минимальный обмен веществ, т.е. зерно впитывает кислород из окружающего воздуха и выделяет тепло, влагу и углекислый газ. В результате наблюдаются потери сухой массы. Если, например, на хранение поступает партия зерна с влажностью 22% и температурой 20°C, то через 15 дней потери от дыхания составят 1% от общей массы. При партии в 100 т это уже 1 т.

Кроме того, прохладное и сухое зернохранилище является обязательным условием предотвращения потерь всхожести и жизнеспособности.

### 2.2 Влажность, температура и время

К важнейшим инструментам в зернохранилище относятся измерительные приборы для определения влажности и температуры в зерновом ворохе, а также термометр и гигрометр для определения показателей окружающего воздуха. Успех или неудача хранения зависят по большей части от этих четырех факторов.

Самыми дешевыми являются некалибруемые влагомеры зерна. Преимуществами этих простых измерительных приборов являются компактный размер и малый вес. Эти влагомеры легко транспортируются и поэтому просты в эксплуатации. Перед приобретением следует подробно изучить отчеты об испытаниях Немецкого сельскохозяйственного общества (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG)). В них имеются данные о точности приборов. Чтобы опреде-

Таблица 1. Влияние влажности вороха на спектр вредителей на примере пшеницы в Германии (Биологический консалтинг Prozell und Schöller GmbH)

Влажность зерна	Соответствующая относительная влажность воздуха	Потенциальные вредители
< 9%	< 30%	Отсутствуют
9–14%	30–70%	Жучки и моль
14–18%	70–90%	Жучки, пылевые вши, моль, клещи, плесени
> 18%	> 90%	Жучки, пылевые вши, моль, клещи, плесени, бактерии

лить среднее отклонение, рекомендуется каждый год проводить пару сравнительных проб на своем приборе и на калиброванном приборе. Также перед приобретением следует обратить внимание на то, может ли прибор во время измерений компенсировать разницу температур между окружающим воздухом и пробой.

Именно различная температура между отдельными пробами зерна и окружающим воздухом является по большей части причиной колебаний точности измерений.

Наряду с влажностью зерна большое значение имеет прежде всего температура зерна. Самым простым решением до сих пор являются аналоговые ручные термометры, хотя они все чаще вытесняются электронными вариантами. Простые термометры расположены в первую очередь в пробоотборных протыкающих щупах, которые, как и зонды-измерители для сена, необходимо втыкать в ворох на глубину до трех или четырех метров.

Электронные приборы состоят из двух компонентов:

- из датчиков, встроенных в пластиковый кабель или в стаканчики
- из устройства, с которого можно считывать температуру.

Простые отображающие устройства стоят около 200 евро, электронные считывающие приборы – от 400 евро.

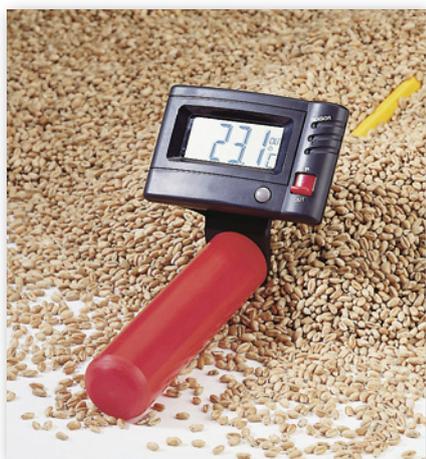


Рисунок 1. Термометр, фото производителя (фото: Pfeuffer)



Рисунок 2. Гигрометр, фото производителя (фото: Pfeuffer)

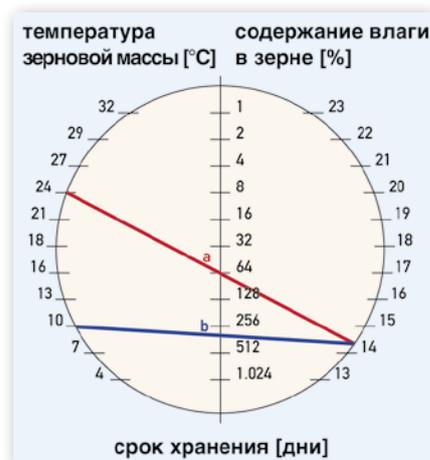


Рисунок 3. Определитель времени хранения (источник: FrigorTec)

Влажность воздуха также необходимо измерять. Текущая влажность окружающего воздуха является важной основой для принятия решений о необходимых мерах. На практике используются гигрометры. Электронные измерители параметров воздуха необходимы, если управление вентиляционной системой осуществляется в сочетании с температурными датчиками.

Чтобы добиться долговременной стабильности хранения в зернохранилище, имеет смысл снизить температуру с помощью охлаждения. Например, при снижении температуры с 24 °C до 10 °C в зерне с влажностью 14,5% можно увеличить допустимую продолжительность хранения **в пять раз** (См. рис.3: линия а по сравнению с линией b).

### 2.3 Полевые плесени и плесени хранения

Будучи живыми организмами, зёрна обладают естественной флорой, состоящей из бактерий, дрожжей и плесеней. Если порог влажности в 14% (в пшенице, ржи и ячмене) и в 12% (в овсе и зернобобовых) не превышает, то зерно может стабильно храниться на протяжении месяцев даже при летних температурах.

Но гигиенические риски из-за микробных вредителей возникают уже перед началом хранения. В общем следует различать, вызвано ли поражение полевыми плесенями или плесенями хранения.

Уже в поле зерно может быть поражено «полевыми плесенями», например, образующей спорынью *Claviceps purpurea* и различными видами фузариумов. Различные виды фузариумов особенно опасны, так как они образуют в числе прочего микотоксины, т.е. плесневые яды.

Эти микотоксины полевых плесневых грибов возникают еще на стадии нахождения зерна в колосе. Микотоксины – естественные продукты обмена веществ плесневых грибов, создающие риск для здоровья людей и животных. В зерне большое значение имеет дезоксиниваленол (Deoxynivalenol/DON) и ниваленол. Интерес представляет и эстрогенно активный зеараленон, который может рассматриваться в качестве токсина-спутника DON и чаще всего содержится в пробе. Кроме того, в зернохранилищах доминируют плесени хранения (амбарные плесени). Из-за их деятельности при неправильном хранении могут образоваться другие микотоксины, например, охратоксин А (ОТА) и афлатоксин. Однако еще перед хранением фермер имеет максимальные возможности влияния на масштаб поражения. Предварительная очистка и, при необходимости, сушка зерна являются важными профилактическими мероприятиями. Хорошая вентиляция предотвращает образование конденсата, больших колебаний температур также следует избегать.



Рисунок 4. Здоровые зерна пшеницы (справа) и (слева) пораженные фузариумами (фото: Miedaner)

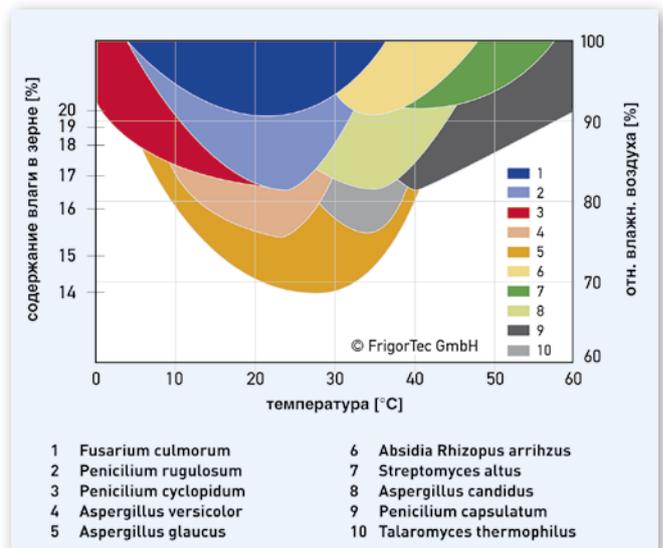


Рисунок 5. Развитие вторичных плесеней (плесеней хранения) в зависимости от температуры и влажности по Lancy

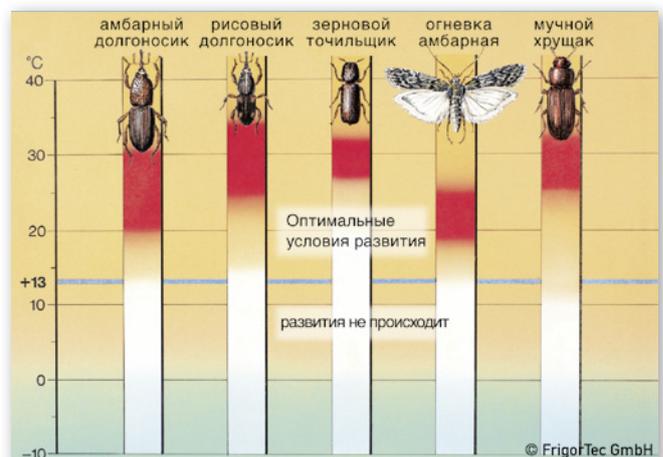


Рисунок 6. Развитие опасных видов насекомых в зависимости от температуры

## 2.4 Поражение вредителями

Профилактические меры имеют абсолютный приоритет в борьбе. Лучший вредитель – тот, который не проник в хранилище. Кто организует в хозяйстве враждебную для вредителей среду, имеет в будущем меньше проблем. Полностью избежать проникновения вредных насекомых можно только в газонепроницаемых силосных башнях или камерах без каких-либо остаточных зерен. При хранении в сухой среде и при температуре ниже 10 °С зерно насекомые не развиваются; клещи развиваются очень медленно, если только соблюдаются условия достаточной для этого влажности. Проблемы начинаются с возникновением благоприятного для вредителей микроклимата. Но его можно контролировать путем регулирования трех факторов: пыли, тепла и влажности.

Обязателен регулярный контроль температуры. Повышение температуры в зерновом ворохе приводит к поражению жуками, клещами или плесневыми грибами.

## 3. Стабильность при хранении и её поддержание

### 3.1 Очистка

Для эффективного контроля влажности и тепла в зерновом ворохе следует с помощью жестко настроенной воздуходувной системы максимально ликвидировать механическую засоренность в убранном зерне (легкие примеси, такие как испорченные зерна, мякина и пыль). Это обеспечивает более равномерное качество и сохранность зерна здоровым. Очистка зерна перед хранением сокращает расходы на вентиляцию и сушку. Предварительная очистка перед сушкой (воздушный сепаратор/веялка) сокращает затраты энергии на сушку на 3–5%, а при использовании решетчатого сепаратора/триера – на 5–8%. Путем очистки можно сократить содержание сорных примесей, например, незрелых зерен, семян сорняков, спорыньи, мешочков голови, мякины и пр., а, значит, и потенциальное содержание токсинов.

#### 3.1.1 Предварительная очистка является минимальным стандартом

Ворохоочиститель сослужит хорошую службу при закладке зерна на хранение и при отгрузке из хранилища. Благодаря отделению максимально большой доли примесей, как, например, пыли

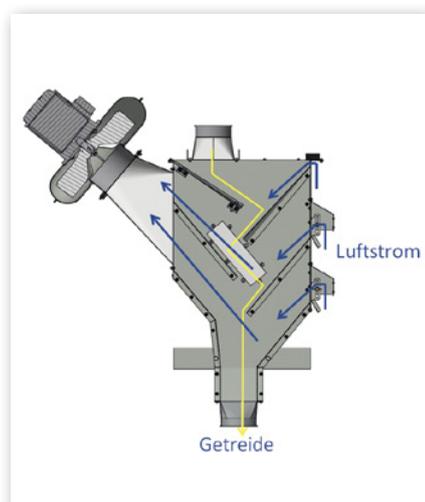


Рисунок 7. Схема сепаратора Тур NDV (источник: Neuegro)



Рисунок 8. Сепаратор Тур NDV (источник: Neuegro)



Рисунок 9. Решетчатый сепаратор/триер (источник: Neuegro)

и других легких фракций (мелких организмов), и, в зависимости от конструкции, песка и земли, значительно облегчаются последующие процессы. Ворохоочистители работают по принципу веялки. Поднимающийся поток воздуха удаляет из зерна пыль и легкие примеси с всасываемым и нагнетаемым воздухом, в большинстве случаев ворохоочистители используют в комбинации с циклонным пылеуловителем, который отделяет примеси и воздух. Аспираторы также сослужат хорошую службу для удаления легких фракций как, например, солома, песок и пыль, благодаря всасыванию воздушным потоком. Это позволяет сэкономить до 5% энергии при сушке. Рекомендация: особенно интенсивно должен подвергаться предварительной очистке пораженный фузариумами урожай. Это позволит значительно стабилизировать качество зерна и зернобобовых. Частицы соломы и незрелые зерна, как правило, сильнее загрязнены токсинами, чем полноценное зерно.

### 3.1.2 Сравнение воздушных/пневматических и решетных/барабанных сепараторов

Таблица 2. Преимущества и недостатки воздушных и решетных сепараторов

Веялка (воздушный/пневматический сепаратор)	Решетный сепаратор (барабанная система, триер)
+ привлекательная цена	– более высокая цена
+ нет затрат на очистку при смене продукции	+ нет затрат на очистку при смене продукции
+ хорошая аспирационная производительность	+ хорошая аспирационная производительность
– нет отделения мелких зерен	– нет отделения мелких зерен
– не удаляются посторонние примеси	+ удаляются грубые примеси

Производительность оборудования по предварительной очистке должна быть на 10–20% выше производительности погрузочного конвейера.

## 3.2 Сушка

### 3.2.1 Системы сушки

#### 1. Шахтные проточные зерносушилки

Шахтная проточная зерносушилка является на сегодняшний день наиболее распространенной конструкцией сушилки и может рассматриваться в качестве стандарта. Она представляет собой прямоугольный высокий резервуар с проходящими горизонтально воздухопроводами, имеющими трапецевидную форму. Каждый из воздухопроводов имеет отверстие с одной стороны, приточные воздухопроводы – со стороны приточного воздуха, вытяжные воздухопроводы – со стороны вытяжного воздуха. Нагретый воздух течет из приточных воздухопроводов через зерновую массу в вытяжные воздухопроводы. Эта конструкция позволяет использовать все три вида потока воздуха для сушки. В результате зерно со всех сторон соприкасается с агентом сушки и оптимально отдает влагу. Шахтные проточные зерносушилки работают непрерывно. С помощью регулярной загрузки подлежащая сушке масса в интервальном порядке пропускается через сушильную шахту. Остальное регулирование процесса сушки происходит путем изменения скорости прохождения массы. Температура воздуха при сушке составляет как правило 80 °С. Благодаря испарительному холоду и короткому времени пребывания в сушилке качество потребительского продукта не снижается.



Рисунок 10. Шахтная сушилка  
(источник: Neuero)

Рекомендация: семенной материал следует сушить при более низких температурах.

Производительность сушки указывается, как правило, для снижения влажности с 19% до 15% (пшеница 750кг/м<sup>3</sup>). На практике для описания производительности сушки получили распространение стандартные условия окружающей среды в соответствии с контрольными нормами DLG. Согласно им, средняя температура окружающего воздуха составляет 20 °С при относительной влажности 65% и нормальном давлении воздуха. Так при нагревании этого наружного воздуха до температуры сушки образуется около 19,5 г/м<sup>3</sup> дефицита насыщения воздуха. Поэтому в зависимости от модели сушилки и потери эффективности количество воздуха, необходимое на тонну номинальной мощности, составляет ниже 3000 м<sup>3</sup>/ч/т, а тепловая мощность – около 60 кВт·ч.

Современные проточные сушилки используют рекуперацию тепла. Для этого воздух вытягивается из зоны охлаждения и добавляется к тёплому воздуху в зоне нагрева. Это становится возможным, так как воздух из холодной зоны не полностью исчерпывает дефицит насыщения.

Кроме того, охлаждённый воздух нагревается от подлежащей сушке массы, что позволяет впитать дополнительную влагу. Этот эффект позволяет современным сушилкам с использованием смешанной энергии расходовать менее 0,99 кВт·ч на 1 кг извлеченной влаги.

## 2. Ленточные/конвейерные сушилки

Конвейерные сушилки в сельскохозяйственной практике Германии являются скорее редкостью. Что в основном объясняется их высоким энергопотреблением. Этот вариант встречается, как правило, в местах с очень высокой влажностью урожая или же в сочетании с очень влажными культурами, как, например, зерновые травы и кукуруза. Конвейерная сушилка оснащена перфорированной непрерывной лентой для сушки. Обычно воздух проходит снизу через подлежащую сушке массу. Температура сушки в зависимости от модели составляет от 45 до 80 °С. Возникающий в результате дефицит насыщения составляет 7,5–19,5 г/м<sup>3</sup> воздуха.

Ленточные сушилки используют в процессе сушки только противоточный метод. В результате эффективность при удалении влаги с поверхности значительно ниже, чем при других способах сушки. Недостатком является одностороннее попадание теплого воздуха на зерновую массу. Таким образом, зерно перегревается в месте входа воздуха и остается недосушенным на выходе воздуха. При последующем смешивании зерновой материал в значительной степени гомогенизируется. Примечание: чувствительные культуры, такие как солодовый ячмень или семена зерновых, не подходят для этой системы сушки.

Эти недостатки уменьшаются в так называемых многоконтурных сушилках, в которых материал, подлежащий сушке, смешивается на отдельных ступенях.

### 3. Силосные зерносушилки

Эта конструкция сушилок получает все большее распространение в последние годы. Высокие инвестиционные затраты это покрываются простотой эксплуатации. Силосные зерносушилки, как правило, представляют собой цилиндрические силосные башни с полностью вентилируемым полом. Максимальная высота насыпи в 6,5 м обусловлена большим объемом воздуха и возникающим в результате сопротивления зерновой массы воздушным потокам. В силосных башнях предусмотрено равномерное распределение, так как форма строения и характеристика угла естественного откоса зерна способствуют образованию конуса в насыпи. Послойная закладка создает ровную поверхность. Кроме того, силосные зерносушилки всегда оснащены движущейся перемешивающей рамкой. На этой рамке расположены как минимум два перемешивающих винта, которые вертикально перемешивают зерновую массу. Как правило, перемешивающая рамка делает как минимум два оборота в сутки. В качестве плановой величины предусматривается 1 перемешивающий винт на 150 т зерновой массы. Для силосных зерносушилок, предназначенных для кукурузы, в план закладывается, как правило, 1 перемешивающий винт на 100 т зерна. Температура сушки для зерна составляет 45 °С. Сушка кукурузы производится при 60 °С. Дефицит насыщения сушащего воздуха составляет 7,5–12,5 г/м<sup>3</sup> воздуха. Преимуществами данной системы сушки являются гомогенизация зерновой массы за счет перемешивающей рамки, а также низкая потребность в обслуживании. Недостатком является недосушивание массы в нижнем уровне. Оно возникает в нижней части рамки, так как система перемешивающих винтов туда не достает. В результате слой в 50–70 см непосредственно на полностью вентилируемом полу остается не перемешанным и недосушенным. Там происходит устойчивое изменение качества зерновой массы. В этом пространстве меняются такие параметры качества как способность к прорастанию и содержание клейковины. Силосные зерносушилки обычно имеют удельную потребность в энергии более 1,34 кВт·ч на кг извлеченной воды. Они в основном устанавливаются на фермах среднего размера, и благодаря средней температуре сушки очень хорошо подходят для тепловых концепций со средними и крупными биогазовыми установками.

На практике проблемы возникали в основном при сушке зерновой кукурузы.

### 4. Аэрационная сушка в напольных хранилищах/амбарах

Аэрационная сушка в амбарах основана на принципе равновесной влажности. Так, например, возникает баланс между 14% влажности пшеницы и 65% относительной влажности при температуре воздуха 20 °С. Поэтому, воздух для сушки кондиционируется так, чтобы он соответствовал балансу влажности. Таким образом, поглощается около 1 г воды из 1 м<sup>3</sup> воздуха. Зерновая масса при влажности до 19% может размещаться в напольных хранилищах и подвергаться сушке проникающими воздушными потоками. Из-за низкого уровня забора влаги требуется высокая скорость подачи воздуха. Обычно практикуется скорость подачи воздуха 60 – 80 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>3</sup> зерна, которая в течение часа циркулирует по хранилищу. Сопротивление зерновой массы воздушному потоку способствует дополнительному повышению температуры и, тем самым, дальнейшему снижению сравнительной влажности воздуха в агенте сушки. Чтобы избежать больших колебаний влажности сушки используется технология частичной конвекции. Влажный воздух из зала всасывается и смешивается со свежим воздухом пе-

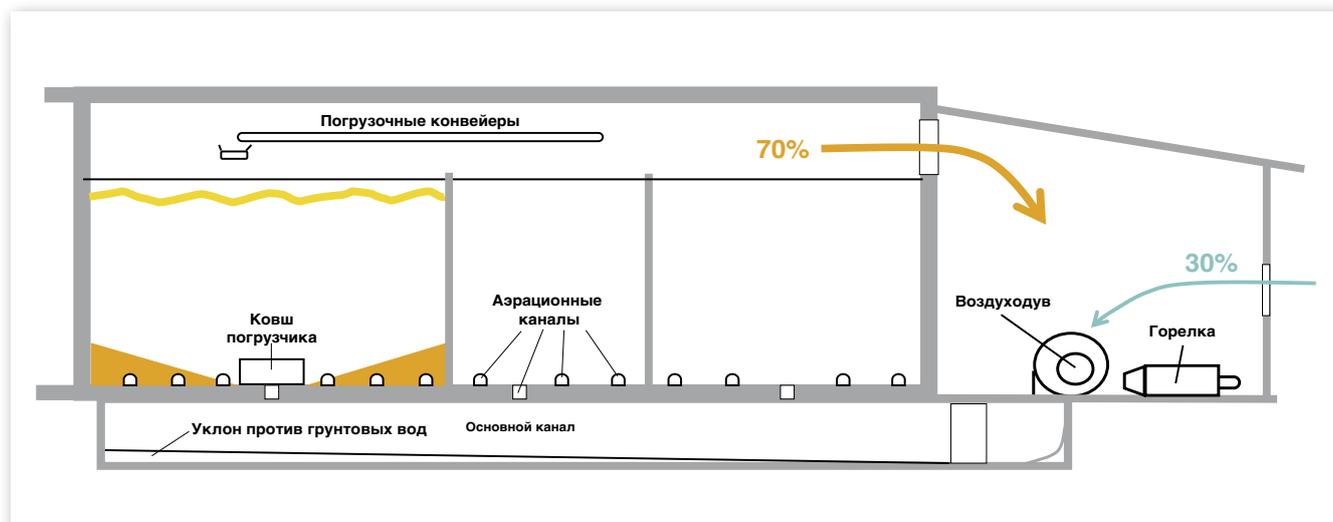


Рисунок 11. Амбар с аэрационной сушкой и подпольным каналом (источник: RKL)

ред тем, как радиальный вентилятор направляет его в главный воздухопровод. Таким образом, колебания влажности окружающего воздуха выравниваются и стабилизируют цикл сушки.

Как только предварительно высушенный воздух начинает поступать в зерновую массу, устанавливается горизонт сушки на уровне 70 см, и аэрация проводится до тех пор, пока не будет достигнут баланс влажности. После чего горизонт сушки начинает перемещаться вверх по зерновой насыпи. Цель сушки считается достигнутой, если над зерновой насыпью достигнута влажность воздуха 65%.

Обычно воздушный режим поддерживается на 70% за счет конвекционного и на 30% за счет свежего воздуха. Современные методы контроля с помощью соответствующих комбинированных датчиков относительной влажности воздуха и температуры регулируют воздушные клапаны и/или ширину их открытия и, тем самым, соотношение между конвекционным и свежим воздухом.

Типичным для системы является послойная закладка зерновой массы. Она осуществляется, как правило, с помощью полностью автоматизированного стационарного конвейера в амбаре. В качестве мобильного решения получили распространение конвейеры с откидным устройством. При хранении аэрационные сушилки предъявляют высокие требования к воздухопроводам и высоте амбаров. Расстояние между каналами зависит от удаления влаги, системы вентиляции и высоты насыпи. Если для направления воздуха используются гофрированные железные каналы, расстояние между каналами составляет 1,25–1,5 м. Для подпольных каналов требуется расстояние между ними 1–1,25 м. Высота амбаров вполне может варьироваться. Стандартом считается высота от 3 м до максимум 6 м. Более высокие амбары выгодны благодаря повышению температуры за счет компрессии и не требуют дополнительного термического нагрева. Однако они требуют особого внимания, так как в них возможно образование корки на поверхности насыпи. Эта корка должна каждые два дня разрушаться граблями на глубину 20 см.

Аэрационная сушка в амбарах относится к низкоэнергоемким технологиям. Они имеют специфическую энергоемкость 0,4–0,7 кВт·ч на 1 кг удаленной влаги. Но использование аэрационной сушки в амбарах ограничено, т.к. зерно влажностью более 19% так обрабатывать нельзя.

## 5. Аэрационная сушка в силосных башнях

Эта форма сушки является относительно новой в Европе и распространена не только в районах с ранним началом уборки. Силосные башни, в которых применяется аэрационная сушка, представляют собой цилиндрические конструкции с полностью вентилируемым полом. Обычно эти силосные башни загружаются с помощью мобильной конвейерной техники. Внутри башни предусмотрено пассивное распределение массы под действием потока зерна. Это лимитирует влажность обрабатываемого зерна на уровне максимум 18–19%. Более влажная зерновая масса не могла бы правильно скользить по желобам, что привело бы к образованию конуса в насыпи. А для равномерного воздушного потока при аэрационной сушке требуется ровная зерновая насыпь. При этом виде аэрационной сушки для снижения влажности на 1 % также требуется 15 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>3</sup> зерна в час. Высота насыпи составляет при высокой влажности зерна максимум 6,5 м.

Соппротивление зерновой массы воздушным потокам обеспечивает необходимое согревание и связанное с этим снижение относительной влажности воздуха для достижения равновесной влажности. Аэрационная сушка в силосных башнях работает в основном со свежим воздухом. При определенных внешних условиях (слишком высокая влажность наружного воздуха) может получиться, что равновесной влажности достичь невозможно.

Тогда воздух для сушки необходимо разогреть с использованием внешних источников до 5 °К. Это обычно происходит путем прямого нагрева пропаном. Непрямое нагревание также технически возможно. Как правило, время работы горелки составляет 3–8 % времени работы воздуходува. Дефицит насыщения составляет порядка 1 г/м<sup>3</sup> воздуха. Время сушки в зависимости от удаления влаги составляет около 14–21 дней. Специфическая энергоемкость составляет около 0,6–0,8 кВт·ч на 1 кг удаленной влаги

### 3.2.2 Когда окупается сушка?

Окупится ли сушка в собственном хозяйстве, зависит от многих параметров. Так, следует учитывать инфраструктуру сельских закупочных организаций, среднюю влажность убранный массы и разрыв уровней влажности внутри урожая. Так как рациональное охлаждение зерна также позволяет добиться снижения влажности, решение об организации собственной сушки стоит принимать только если влажность зерна сильно превышает закупочные стандарты. Уже снижением температуры в зернохранилище на 10 °К можно добиться снижения влажности на



Рисунок 12. Силосная башня с порционной сушилкой (фото: Генгенбах, LLH)



Рисунок 13. Нурия (фото: Генгенбах, LLH)

0,75 %. Таким образом, если перед реализацией зерна два раза провести эффективное охлаждение, то можно добиться снижения влажности на 1,5 %. Поэтому о необходимости сушки следует задумываться только при влажности зерна выше 15,5 %.

Тепловые системы сушки, такие как шахтные, силосные и даже конвейерные сушилки всегда рекомендуются, когда влажность культур в среднем превышает 15,5 %, неоднородна и сильно варьируется внутри одного урожая

Аэрационные сушилки рекомендуются в тех случаях, когда абсолютная влажность зерновой массы обычно не превышает 19 % и гомогенно распределена внутри больших партий урожая.

Во многих концепциях зерносушилок имеет смысл сочетать различные технологии сушки. Для разработки концепции зерносушилки рекомендуется пригласить профессионального проектировщика.

Таблица 3. Показатели вентиляции для поддержания хранения

	Шахтные проточные зерносушилки	Конвейерные зерносушилки	Силосные зерносушилки	Аэрационная сушка в амбарах	Аэрационная сушка в силосных башнях
Расположение	Вблизи побережий, низин рек, невысоких гор	Вблизи побережий, низин рек, невысоких гор	Вблизи побережий, низин рек, невысоких гор	В основном регионы с ранним началом уборки	В основном регионы с ранним началом уборки
Область применения	Товарное, кормовое, семенное зерно	Товарное и кормовое зерно	Товарное и кормовое зерно	Товарное, кормовое, семенное зерно	Товарное, кормовое, семенное зерно
Макс. влажность зерна	> 24 %	> 24 %	> 24 %	< 19 %	< 18 %
Температура сушки	80 °C	45–80 °C	45–60 °C	20–25 °C	20–25 °C
Дефицит насыщения*	19,5 г/м <sup>3</sup>	7,5–19,5 г/м <sup>3</sup>	7,5–12,5 г/м <sup>3</sup>	1–1,5 г/м <sup>3</sup>	1–1,5 г/м <sup>3</sup>
Специфическая энергоёмкость	0,99–1,65 кВт-ч/ кг <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	1,3–2,00 кВт-ч/ кг <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	1,34–1,8 кВт-ч/ кг <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	0,4–0,7 кВт-ч/ кг <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	0,6–0,8 кВт-ч/ кг <sub>H<sub>2</sub>O</sub>

\* Дефицит насыщения: водопоглощение воздуха (г/м<sup>3</sup>)

### 3.3 Хранение

#### 3.3.1 Требования к зернохранилищу

Кто хочет построить новое зернохранилище или модернизировать существующее, должен помимо вопросов экономической эффективности учесть различные функции, от которых зависит вся установка:

- Будет ли установка расположена снаружи или в помещении?
- Как будет осуществляться загрузка и/или разгрузка?
- Планируется ли проезд транспорта внутри установки?

#### 3.3.2 Напольные хранилища/амбары

Для хранения зерна идеально подходят ангары с прочными стенами из бетона или трапецидального металлического листа. Боковое давление зерновой насыпи также требует сооруже-

ния специальных стен в старых зданиях, поскольку простая кирпичная кладка не выдерживает давления. Пол должен состоять из бетона и быть усилен конструктивными стальными матами. Под бетоном необходима строительная пленка, чтобы предотвратить подъем влаги из земли в зерно. Для загрузки можно использовать как колесные погрузчики, так и конвейерные линии с самосвальными тележками, и для поперечного распределения со встроенными в самосвальные тележки метательными транспортерами и т.п. При организации хранения в напольном хранилище возможна полная механизация загрузки. Поперечные транспортеры (шнековые или лотковые) сглаживают и выравнивают поверхность зерновой насыпи. Это обеспечивает оптимальную вентиляцию. Форма отсеков хранилища должна выбираться в соответствии с потребностями вентилирования.



Рисунок 14. Насыпное хранение в амбаре  
(фото: LLH)

Проблема при хранении в напольных хранилищах ангарного типа состоит в том, что загруженное в хранилище зерно может быть загрязнено грызунами-вредителями, птицами или даже мелкими животными, как кошки, хорьки или ласки. Амбар должен строиться как полностью затемненное сооружение без естественного освещения, чтобы сократить залет птиц при открытых воротах. Если амбар оснащен стальными дверями с резиновыми прокладками и гладким, хорошо чистящимся полом, а также имеет непроницаемые стыки между стенами и крышей, то такое помещение может стать непроницаемым для насекомых и грызунов.

Использовать древесину в качестве строительного материала в амбарах не рекомендуется. Древесина дороже, плохо поддается чистке, а ее пористая структура способствует накоплению пыли. Она дает множество убежищ (трещины, щели) для вредителей (долгоносиков). А при химзащите запасов потребуются более высокие дозы внесения (см. раздел «защита припасов»).

Крысы и мыши прогрызают древесину в попытке попасть в зернохранилище. Максимум торцевая стена в амбарах может быть изготовлена из деревянных балок, так как они часто сдвигаются для въезда и выезда и обойдутся дешевле, чем, к примеру, распашные ворота из стального листа.

Примечание: при строительстве амбаров «непроницаемость для вредителей» должна специально указываться в договоре-подряде (герметичность ворот, герметичность стыков стен и крыши).

### 3.3.3 Хранение в силосных башнях

Силосные башни могут располагаться как в помещениях, так и вне их. По форме следует различать цилиндрические башни и системные секционные блоки. Цилиндрическая силосная башня для установки в помещениях состоит как правило из рифлено-листовых металлических элементов с или без вентиляционного и/или разгрузочного конусов внизу и закрепляется на

гладкой бетонной поверхности дубелями. Даже внутри помещений рекомендуется укрывать зернохранилища из-за опасности загрязнения птицами и пр.

Кто строит герметичное против проникновения насекомых хранилище, например, герметично закрывающуюся бетонную силосную башню, может не опасаться проникновения насекомых-вредителей. В башнях из рифлёнолистовых металлоконструкций такой уверенности можно достичь только путем комплексных мероприятий по изоляции, которые обеспечивают газонепроницаемость. Загрузка и разгрузка внутренних цилиндрических силосных башен осуществляется центрировано. Конструкция наружных силосных башен, чаще всего из стали, аналогична устройству внутренних силосных башен. При установке нескольких башен одинаковой высоты их можно расположить группой, чтобы загрузка и разгрузка могла осуществляться круговым погрузочным механизмом, расположенным над башнями или под ними.

При размещении в геометрически выгодной форме отдельные башни размещаются вокруг ковшового элеватора с большой высотой, который обеспечит низкие затраты на загрузку. Вместимость зависит от площади основания (радиус силосных колец и прочее) и высоты.

Наружные силосные башни с крышей абсолютно герметичны против грызунов и птиц. Стены гладкие, без трещин и легко поддаются чистке, хотя эта чистка по причине высоты конструкции связана со значительными затратами.

В специализированной торговле предлагаются тенты-чехлы из полиэстера для металлических силосных башен цилиндрической или угловой формы, устанавливаемых внутри старых зданий. Эти чехлы изготавливаются по индивидуальным замерам (с каналами для загрузки зерна и для отвода воздуха при вентиляции зерна).

Таким образом фермеры могут надежно защитить свое зерно в зернохранилищах от фекалий птиц. Очень выгодным будет вариант, при котором наружные силосные башни пристраиваются к списанному ангару/сарая, а приемка зерна, очистка, сушка и взвешивание будут размещаются в ангаре. Использование системных секционных блоков для помещений позволит наилучшим образом использовать имеющееся пространство. Эти секционные блоки состоят из оцинкованных, с предварительно обработанными краями элементов листового металла.

Стенки прямоугольных секций укрепляются ввинченными профилями и диагональными распорками. Системные секционные блоки могут устанавливаться как по одному в качестве отдельного силосного бункера, так и группой.



Рисунок 15. Силосные башни снаружи рядом с ангаром

### 3.4 Вентиляция

Зерна гигроскопичны. Между влажностью зерна и относительной влажностью окружающего воздуха в зависимости от температуры устанавливается равновесие. Если влажный или теплый воздух попадает на зерно, образуется конденсат и зерно портится. Окружающая температура

во время уборки в большинстве случаев слишком высока и поэтому непригодна для охлаждения. Вентилирование с использованием вентиляторов полностью зависит от погодных условий и в нашем среднеевропейском климате может использоваться только кратковременно.

- Не допускайте проникновения влажного воздуха на сухое зерно!
- Не допускайте проникновения теплого воздуха в охлажденное зерно!

### 3.4.1 Вентиляторы

Существуют мобильные и стационарные воздуходувы, которые имеют электрический или дизельный привод. Это радиальные воздуходувы. Рекомендуется использовать расширенную комплектацию с встроенной гигростатной регулировкой, чтобы избежать повторного увлажнения высушенного зерна при плохой погоде.

Вентиляторы, чаще всего речь идет о пневматических устройствах, хорошо работают как в цилиндрических башнях, так и в напольных/амбарных хранилищах. Чтобы предотвратить само-согревание и проникновение вредных насекомых, все имеющиеся вентиляционные соединения и заслонки вытяжного воздуха должны быть закрыты после завершения фазы вентиляции.

Вентиляторы на дизельном приводе особенно хорошо показали себя при аэрационной сушке в напольных/амбарных хранилищах, при этом для необходимого нагревания воздуха используется рабочее тепло мотора (когенерация). Потребление дизеля: около 20 л/час.

Чтобы сэкономить на инвестициях, можно объединить устройство для охлаждения зерна с аэрационной сушилкой (контролируемая вентиляция). При комбинировании систем можно выбрать охлаждающее устройство меньших размеров.

### 3.4.2 Основные правила вентилирования с использованием наружного воздуха

Зерно должно без промедлений, то есть сразу же после уборки, вентилироваться наружным воздухом.

Следующие правила используются при влажности зерна около 14–15% в момент уборки и относительной влажности воздуха 65%. Исключением является овес: 12,5% влажности зерна.

- Тщательная очистка зерна до закладки на хранение, как минимум с помощью веялки, лучше на триере воздушно-ситовым сепараторе, с циклонным пылеуловителем.
- Следует избегать образования насыпных конусов при закладке на хранение, а если это не удалось – предусмотреть выравнивание поверхности: в напольном хранилище с помощью щитка, установленного на вытяжной трубе, в наружном хранилище с помощью автоматически вращающихся распределителей зерна.
- После закладки на хранение зерну требуется немедленное вентилирование, когда аэратор закрыт и достигнута относительная влажность воздуха достигла более 65%: зерно потеет и от этой влаги необходимо сразу же избавиться. Рекомендация: первичная вентиляция может длиться 1–2 часа до максимум 75% относительной влажности воздуха. Требуется контроль влажности и тепла выходящего воздуха.
- В следующие дни при относительной влажности ниже 65% необходимо опять провентилировать до тех пор, пока не будет преодолена граница в 65%.
- Постепенное приближение температуры зерна к наружной температуре. Это позволит избежать образования конденсата на внутренних стенках силосной башни.

- Измерение температуры и влажности зерна до конца октября как минимум раз в 14 дней.
- Снова проветрить поздней осенью или зимой при минусовых температурах, когда относительная влажность наружного воздуха ниже 65%, чтобы при необходимости охладить зерно. Целевая температура в зерновом ворохе должна составлять как минимум 10–12 °С.
- Внимание: ни в коем случае не пускайте теплый воздух на охлажденное зерно – опасность поражения грибами и жуками!
- После каждого вентилирования следует закрывать вентиляционный канал, чтобы не запустить грызунов-вредителей и предотвратить повторное увлажнение из-за самосогревания.

Для охлаждения и вентилирования лучше всего подходят радиальные вентиляторы. Для расчёта необходимой производительности при 120 мм водного столба объем емкости в м<sup>3</sup> умножают на 15 м<sup>3</sup> воздуха/м<sup>3</sup>/ч, например: 1.000 м<sup>3</sup> × 15 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>/ч = 15.000 м<sup>3</sup>/ч.

Для 300 – 400 т зерна необходимо следующее оборудование:

1. Вентилятор с мин. 2,2 кВт приводной мощности и 5.000 м<sup>3</sup>/ч воздушной производительности. Для дополнительной надежности и, например, при работе с зерновыми, не полностью созревшими, или же при затянувшемся из-за погоды процессе созревания для достаточного проветривания следует использовать двигатель мощностью 4 кВт с производительностью 9.000 м<sup>3</sup>/ч.
2. Влагомер, цифровой гигрометр/термометр для определения относительной влажности и температуры воздуха. Рекомендуется устройство автоматического отключения вентилятора, если в воздухе более 65% относительной влажности.
3. Термостанга/щуп для измерения температуры зерна внутри насыпи.

### 3.4.3 Показатели вентилирования

Таблица 4. Цели и технологии вентилирования (источник: Мальте Бомбьен, с изменениями)

Технология	Цель вентилирования	Скорость подачи воздуха, м <sup>3</sup> /ч на м <sup>3</sup>	Макс. влажность зерна, %	Макс. высота насыпи, м	Макс. расстояние между каналами, м
Минимальная аэрация	Отвод тепла	3–5	< 18	6–8	2
Охлаждение наружным воздухом	Охлаждение	10–15	< 16	10–20	4
Повторное охлаждение после сушки	Охлаждение	20–25	< 16	10	4
Аэрационная сушка в хранилище	Сушка + охлаждение	70–75	< 20	< 4	1,2
Естественный теплообмен (Δ T > 10 °С)	Отвод тепла	1–3	< 16	–	–

### 3.5 Охлаждение

Консервирование зерновых и масличных охлаждением с использованием сухого прохладного воздуха является естественным способом защиты запасов. Благодаря охладителю зерна наступление «зимних условий» сдвигается на послеуборочный период. Важно быстро и эффективно привести зерно и масличные культуры в стабильное состояние хранения, тогда урожай сохранится «здоровым».

Преимущества консервирования зерна охлаждением:

- Защита против насекомых
- Защита от плесеней и образующихся в результате микотоксинов
- Минимизация потери массы за счет дыхания
- Экономия затрат на сушку
- Сохранение уборочной свежести
- Сохранение всхожести.

#### 3.5.1 Принцип работы и техника

Воздуходув охладителя зерна всасывает окружающий воздух (см. рис. 16). Всасываемый воздух фильтруется и охлаждается в холодильнике, при этом из воздуха конденсируется вода. Подключенное гигротермическое устройство разогревает холодный воздух за счет полученной из воздуха энергии, то есть без дополнительных энергозатрат. В результате воздух высушивается. Этот холодный и сухой воздух поступает в вентиляционную систему напольного/амбарного или силосного зернохранилища и продувается через зерно. Воздушный поток возвращается в окружающую среду через отверстия для выпуска отработанного воздуха. Вместе с отработанным воздухом выводятся и поглощенные тепло и влага. После охлаждения зерна охладитель сразу же выключается. Охладитель зерна работает независимо от погодных условий. Устройство может использоваться даже в дождь, снег, град, жару или туман.

Вентилятор охладителя должен иметь размеры, соответствующие ожидаемому сопротивлению. В силосных башнях при неблагоприятном коэффициенте потери устойчивости экономически эффективнее подключить параллельно несколько блоков, чтобы снизить противодавление.

Зерновой ворох изолирует себя сам. Охлажденное зерно нагревается вновь очень медленно. Зерно в насыпи имеет очень плохие показатели те-

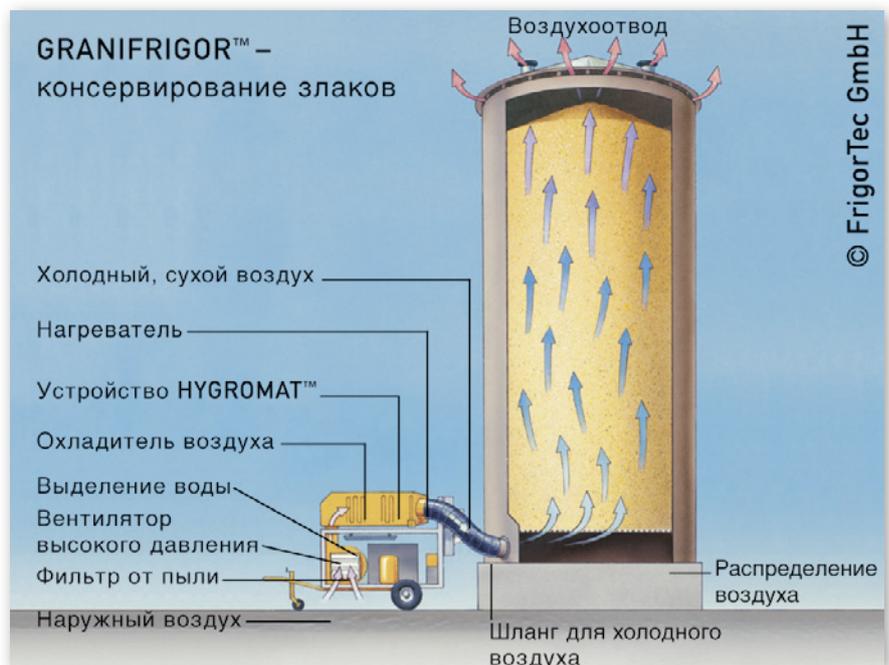


Рисунок 16. Принцип работы охладителя зерна

плопроводности. Во-первых, у зерен только точечные контакты друг с другом и поэтому лишь небольшая площадь для передачи тепла, во-вторых, слой покоящегося воздуха между зернами очень хорошо изолирует.

Когда зерно принудительно пронизывается потоком воздуха, ситуация меняется. Благодаря конвекции становится возможным хороший обмен энергии. Зерно охлаждается в течение 3 недель, максимум 6 недель. Затем охладитель выключается и зерно благодаря своей самоизоляции остается холодным в течение 6–8 месяцев.

### Подключение охладителя зерна

Перед запуском охладителя зерна необходимо предварительно нагреть компрессор в течение 24 часов. В результате хладагент из масляного резервуара в компрессоре испаряется в замкнутом контуре. Это происходит автоматически при подключении к источнику питания.

Внимание: хладагент и масло никогда не нужно менять или доливать! Если происходит сбой из-за низкого давления, сначала необходимо устранить утечку, а не просто долить хладагент. Однако такое случается крайне редко, обычно только после механического повреждения контура хладагента. Только когда шланг охлаждающего воздуха подсоединен так, что конденсат может стечь, и агрегат стоит строго горизонтально, можно запускать охладитель зерна.



Рисунок 17. Охладитель зерна, присоединенный к силосной башне (фото: FrigorTec)

### 3.5.2 Экономическая эффективность

- Чтобы вычислить экономическую эффективность консервирования охлаждением, необходимо учесть множество различных факторов. Эти факторы, однако, имеют различную значимость для разных видов зерновых и масличных культур:
- Практически нет потерь массы за счет дыхания
- Нет необходимости перегрузки в другое хранилище
- Не нужна химобработка
- Нет насекомых в зерновой массе
- Нет плесеней хранения и, поэтому, нет микотоксинов
- небольшое количество стрессовых трещин, что особенно значимо для кукурузы
- Меньше битых и дробленых зерен
- Нет окисления в семенах масличных
- Сохраняется всхожесть, что важно для пивоваренного ячменя и семян.

При серьезном рассмотрении экономических критериев срок окупаемости охладителя зерна в большинстве случаев составляет менее 2 лет. И всё же намного важнее учитывать надежность хранения зерна в хранилище. Использование охладителя зерна можно рассматривать в качестве своего рода «страховки». Качество зерна надежно сохраняется путем консервирования.

ния охлаждением. Благодаря эффекту испарения при охлаждении зерна расход энергии лишь немногим выше, чем при обычном вентилировании или при аэрационной сушке. Но, конечно, охладитель зерна должен соответствовать актуальному техническому стандарту.

В него входят: регулирование частоты вращения вентилятора холодного воздуха и вентиляторов конденсатора,

конденсатор и испаритель в контуре хладагента, полностью автоматическое управление с отдельными режимами работы, электродвигатели с высоким классом эффективности, благоприятное прохождение воздушных потоков, летний термостат, зимний термостат.

На рис.18 показана кривая остывания при охлаждении зерна. Видно, что несмотря на высокую температуру наружного воздуха, охлаждение зерна до температуры ниже 15 °С было достигнуто в короткие сроки. Кривая наружной температуры показывает соответствующую среднедневную температуру. График температуры наружного воздуха до осени также показывает, что температура зерна ниже 15 °С с аэрационной сушкой была бы возможна только в октябре.

Следует отметить, что для достижения хорошего эффекта теплопередачи между приточным воздухом и зерном, всегда требуется разница температур не менее 2 °С. Так как вентилятор, в зависимости от противодавления, нагревает наружный воздух на 2–4 °С, то наружная температура при аэрации должна быть заметно ниже желаемой температуры зерна.

Очень важным для экономической эффективности является установленное значение температуры охлаждения.

Для экономичной передачи энергии требуется разность температур между охлаждающим воздухом и температурой зерна в последней точке контакта (т.е. наверху).

Кроме того, охлаждающее устройство должно быть немедленно отключено при достижении целевой разницы температур 2 К (°С). Чтобы температура охлаждающего воздуха и температура зерна выровнялись, потребовалось бы не только много времени, но и невероятное количество энергии. Кроме того, дополнительные настройки летнего термостата, позволят прерывать процесс охлаждения во время дневной жары. Это дополнительно экономит энергию.

На практике надо исходить из следующего уровня затрат:

электроэнергия: 2,8 €/т пшеницы

техобслуживание: 390 €/год (специализированное предприятие)

инвестиции: 0,5–1 €/т пшеницы

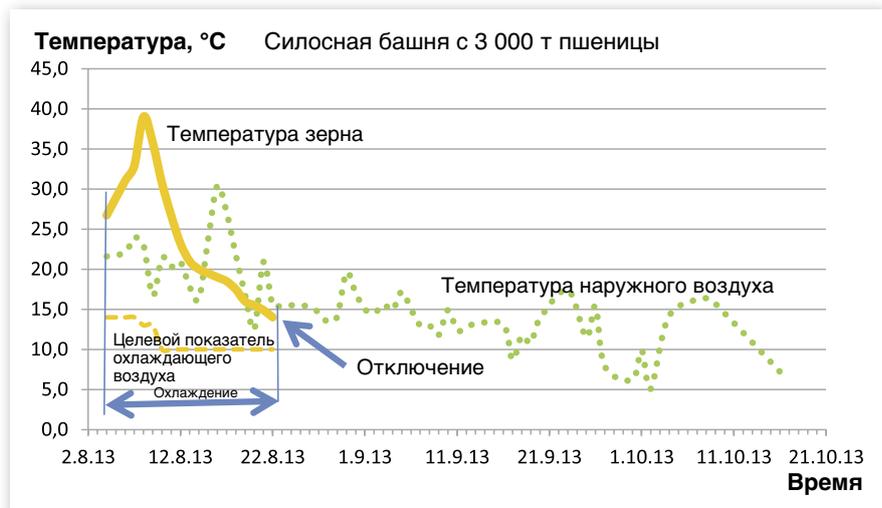


Рисунок 18. Кривая охлаждения пшеницы в хранилище при использовании охладителя зерна

#### 4. Литература

Gengenbach, Heinz u. a.: Getreidelagerung. Sauber – sicher – wirtschaftlich. 2013, DLG Verlag,  
Reihe: AgrarPraxis kompakt

Bombien, Malte; Isensee, Edmund; Reckleben, Yves: Getreidetrocknung-Handbuch: Trocknen, Fördern,  
Lagern, 2007, RKL, Rendsburg

Humpisch, Gerhard: Getreide lagern. Belüften und Trocknen. 2. erw. Auflage; AgriMedia GmbH



За поддержку  
при переводе и печати  
мы благодарим следующие фирмы:

**FRIGOR**  **TEC**  
Cooling to the point

[www.frigortec.com](http://www.frigortec.com)



**NEUERO**  
FARM- UND FÖRDERTECHNIK

[www.neuero-farm.de](http://www.neuero-farm.de)

**PFEUFFER**

[www.pfeuffer.com](http://www.pfeuffer.com)

Другие памятки DLG на английском языке:  
[www.DLG.org/Knowledge](http://www.DLG.org/Knowledge)



**DLG e.V.**  
**Membership Service**  
Eschborner Landstr. 122 • 60489 Frankfurt am Main  
Germany  
Tel. +49 69 24788-205 • Fax +49 69 24788-124  
Info@DLG.org • [www.DLG.org](http://www.DLG.org)