

# ХРАНЕНИЕ И СУШКА ЗЕРНА: СЛОЖНОСТИ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

**В. СОРОЧИНСКИЙ**, д-р техн. наук, заместитель директора по научной работе,  
ФГБНУ «ВНИИ зерна и продуктов его переработки»

## ХРАНЕНИЕ ЗЕРНА

В последние годы производство зерна в Российской Федерации постоянно увеличивается, составляя 110–135 млн т. К 2035 г. в соответствии с Долгосрочной стратегией развития зернового комплекса Российской Федерации планируется получить 140 млн т зерна. Для обеспечения сохранности зерна минимальные мощности хранения должны превышать объем урожая на 20–30%. Однако они составляют 120–146 млн т, что сопоставимо с валовым сбором зерна. По данным РЗС, на зерноперерабатывающих предприятиях вместимость зернохранилищ — 17,4 млн т; на заготовительных — 47,3 млн т; на сельскохозяйственных, включая амбары для хранения, которые не могут гарантировать сохранность качества и количества зерна, — 81,3 млн т.

В соответствии с Госпрограммой до 2020 г. предусматривается прирост современных мощностей единовременного хранения на 17,07 млн т. В то же время, согласно целевой программе Минсельхоза России, планируется дополнительное строительство, реконструкция и модернизация мощностей по подработке, хранению и перевалке зерновых и масличных культур только на 6,1 млн т, из них 2 млн т для первоначального приема, накопления и подработки зерна.

Прирост мощностей хранения в последние годы осуществляется в основном за счет строительства металлических зернохранилищ. Это объясняется меньшими по сравнению с железобетонными силосами капитальными затратами и сроками монтажа. Вместе с тем металлические силосы подвержены коррозии и большему износу, их эксплуатация требует более высоких затрат электроэнергии. Отсутствие теплоизоляции приводит к существенным ограничениям в использовании металлических силосов, особенно при значительном изменении климатических условий, характерных для многих регионов России.

Из-за высокой теплопроводности ограждающих стальных конструкций металлического силоса температура в верхнем и в пристенном слоях хранящегося зерна вследствие воздействия солнечного излучения может достигать высоких значений — до 55°C, что приводит к снижению качества зерна. При последующем охлаждении зерна из-за суточных колебаний температуры наружного воздуха на внутренних стенах силоса возможна конденсация водяных паров, в следствие чего происходит увлажнение и порча пристенного слоя зерна.

Требования к условиям хранения зерна в металлических силосах, соблюдение которых обеспечивает его сохранность, приведены в нормативных документах и методи-

ческих рекомендациях. В соответствии с этими документами запрещается загрузка и хранение в металлических силосах свежеубранного зерна, не прошедшего сушку и очистку. Разрешается хранение сухого и очищенного зерна максимальной влажностью 14% для южных районов РФ сроком до 6 месяцев для пшеницы, до 3 месяцев для ячменя и кукурузы. При этом все металлические силосы должны быть оборудованы системой дистанционного контроля температуры зерна (1 раз в 3 дня) и установками активного вентилирования с удельным расходом воздуха не менее 10 м<sup>3</sup>/(ч·т). Однако стоящие в настоящее время металлические силосы как иностранного (Германия, Испания, США и др.), так и отечественного производства оснащаются установками с удельной подачей воздуха не более 5 м<sup>3</sup>/(ч·т), что в российских климатических условиях не позволяет обеспечить длительную сохранность зерна.

## ЭЛЕВАТОРМЕЛЬМОНТАЖ СТРОИТЕЛЬСТВО ПРЕДПРИЯТИЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ



Строительство заводов под ключ.  
Осуществление функции генерального подрядчика

Полная номенклатура современных зерновых и мельничных самотеков из нержавеющей стали и из черной стали, с окраской порошковыми эмалями в электростатическом поле, футированных износостойкими листами

Нестандартизированное оборудование по чертежам заказчика для всех предприятий зерноперерабатывающей промышленности

Детали аспирации, вентиляции и электромонтажных изделий

Сборные силосы хранения сырья и комбикормов

**СТРОИТЕЛЬСТВО, МОНТАЖ,  
НАЛАДКА, ПУСК**

400074, г. Волгоград, ул. Козловская 50а  
тел. (8442) 944465, 944714  
тел./факс 945153  
e-mail: info@montaj.ru  
www.montaj.ru

**ВОЛГОГРАД  
55-ЛЕТНИЙ  
ОПЫТ РАБОТЫ**

Во ВНИИЗ было изучено влияние изменения температуры окружающей среды на температуру зерна пристенного слоя в металлических сilosах. В условиях постоянной и переменной температур атмосферного воздуха получены соответствующие уравнения:

$$\Theta_x = t_0 - \Theta_{us} (t_0 - \Theta_0), \quad (1)$$

$$\Theta_x = \Theta_0 + \Theta_{us} b\tau, \quad (2)$$

где  $\Theta_x$  — текущая температура зерна, °C;

$t_0$  — начальная температура атмосферного воздуха, °C;

$\Theta_{us}$  — относительная избыточная температура зерна, °C;

$\Theta_0$  — начальная температура зерна, °C;

$b$  — скорость изменения температуры атмосферного воздуха, °C/ч;

$\tau$  — продолжительность процесса, ч.

Относительная избыточная температура определялась при этом по уравнениям:

$$\Theta_{us} = (t_0 - \Theta_x)/(t_0 - \Theta_0) = erf(1/2 \sqrt{Fo_x}), \quad (3)$$

$$\Theta_{us} = 1 + \frac{1}{\sqrt{\pi} Fo_x} \left( \frac{2}{Bi_x} + 1 \right) \exp\left(-\frac{1}{4 Fo_x}\right) - \left( \frac{1}{Bi_x^2 Fo_x} + \frac{1}{Bi_x Fo_x} + \frac{1}{2 Fo_x} + 1 \right) erfc \frac{1}{2\sqrt{Fo_x}}, \quad (4)$$

где  $Bi$  — критерий Био;

$Fo$  — критерий Фурье;

$erf(u)$  — функция ошибок Гаусса.

Зная значение относительной избыточной температуры зерна, можно по уравнению (1) рассчитать изменение температуры зерна при стационарном прогреве металлической стенки сilosа (рис. 1). С увеличением толщины слоя зерна, то есть дальше от стенки, влияние температуры

атмосферного воздуха на величину нагрева зерна снижается, но остается существенным при толщине слоя 3–5 см. При толщине слоя от 0,5 до 3 см зерно нагревается до температуры, близкой к температуре окружающей среды. Слой зерна толщиной выше 20 см практически не меняет свою температуру.

Таким образом, обеспечить сохранность зерна при хранении в элеваторах можно только при наличии активной вентиляции и систем термометрии. К сожалению, большинство элеваторов не оснащены системами активной вентиляции необходимой мощности, а имеющиеся морально и физически устарели. Сейчас практически не проводятся разработка новых и модернизация действующих систем активного вентилирования, хотя существует много различных способов (рис. 2). В основном используется малоэффективный способ вертикального вентилирования при нагнетании воздуха в сilos и недостаточно надежное горизонтальное вентилирование при сочетании нагнетания и отсасывания воздуха из сilosа.

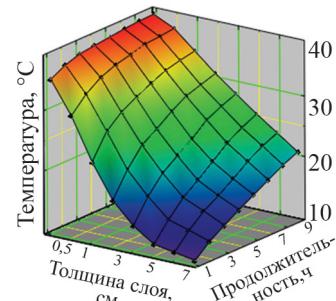


Рис. 1. Зависимость температуры нагрева пристенного слоя зерна пшеницы от толщины слоя и продолжительности нагрева  
( $\Theta_0 = 10^\circ\text{C}$ ,  $t_0 = 40^\circ\text{C}$ )

## СУШКА ЗЕРНА

Всего на элеваторах, комбинатах хлебопродуктов, комбикормовых и других предприятиях агропромышленного комплекса России эксплуатируются около 3600 стационарных и 1300 передвижных зерносушилок раз-

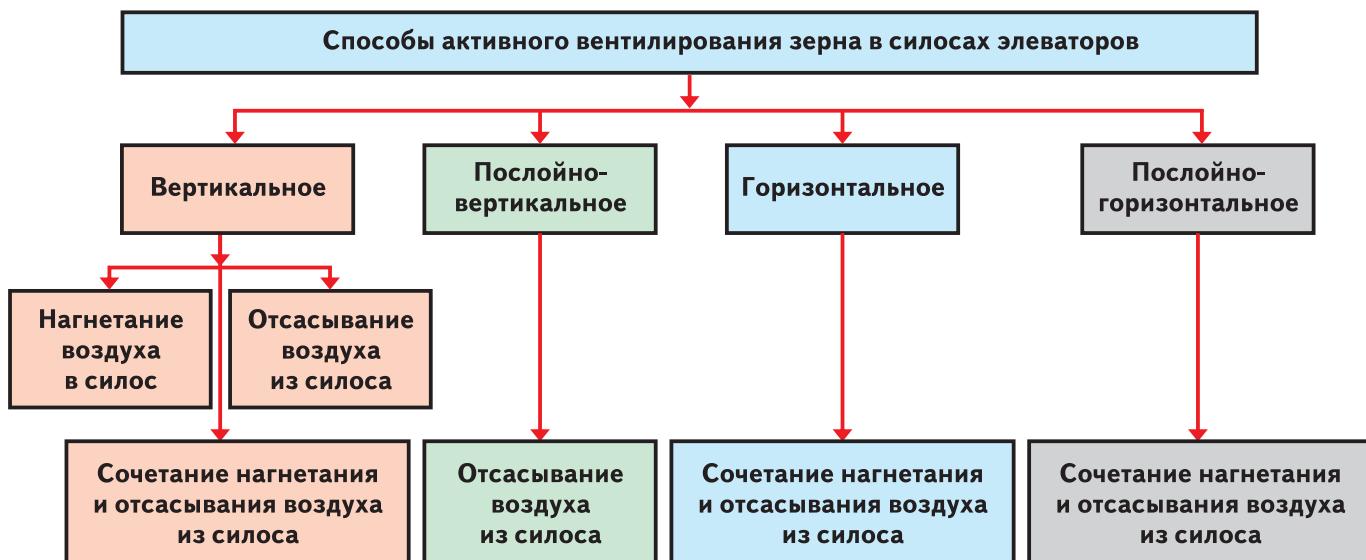


Рис. 2. Способы активного вентилирования зерна в сilosах элеваторов

личных конструкций и производительности. Из них около 60% морально и физически устарели, 20% требуют замены.

В настоящее время в России ООО «СКБ по сушилкам «Брянсксельмаш», ООО «Воронежсельмаш», АО «Мельинвест», АО «Агропромтехника», ОАО «Тверьсельмаш» и другие производят зерносушилки различных конструкций: шахтные, колонковые, жалюзийные, конвейерные и т.д. Значительное количество зерносушилок поступает из-за рубежа: США, Германии, Дании, Швеции, Польши, Франции, Италии, Украины, Великобритании, Финляндии, Аргентины. Но все они прямоточные и не предназначены для сушки зерна высокой влажности за один проход.

В России выращивают около 30 наименований различных зерновых, зернобобовых и масличных культур, которые существенно отличаются своими физическими, теплофизическими и биохимическими свойствами. В соответствии с действующей до недавнего времени Инструкцией №9-3-82 по сушке продовольственного, коровьего зерна, маслосемян и эксплуатации зерносушилок просушенного зерна в плановые единицы в зависимости от его влажности до и после сушки для различных культур предусмотрены соответствующие режимы сушки, обеспечивающие сохранение качества. Производительность зерносушилки будет отличаться и зависеть от обрабатываемой культуры. Для учета этого изменения и расчета энергозатрат на сушку в Инструкции №9-3-82 предусмотрены коэффициенты пересчета массы ( $K_e$ ) и пересчета массы просушенного зерна в плановые единицы при сушке различных культур ( $K_k$ ). При этом за плановую единицу принята одна тонна просушенного зерна при снижении влажности с 20 до 14%, то есть на 6%. Вместе с тем сведением коэффициентов пересчета становится неопределенным сравнение производительности зерносушилок при сушке разных культур и пересчете затрат топлива на сушку плановой тонны.

У зарубежных фирм, поставляющих в Россию зерносушильную технику, другой подход к определению производительности. Они указывают ее по 2–3 зерновым культурам при некотором заданном съеме влаги (как правило 3–5%), а также единые значения расхода топлива для этих культур при фиксированных атмосферных условиях. При этом остаются неясными значения показателей при изменении величины съема влаги, а также для большинства остальных зерновых и масличных культур. Это затрудняет планирование сушки зерна на предприятиях и сравнение зерносушилок по технико-экономическим показателям. В связи с этим на предприятиях часто возникают вопросы по реальной производительности зерносушилок и расчету необходимых затрат топлива и электроэнергии при сушке различных культур с разной начальной влажностью.

Зная производительность зерносушилки при сушке основной зерновой культуры — пшеницы и используя

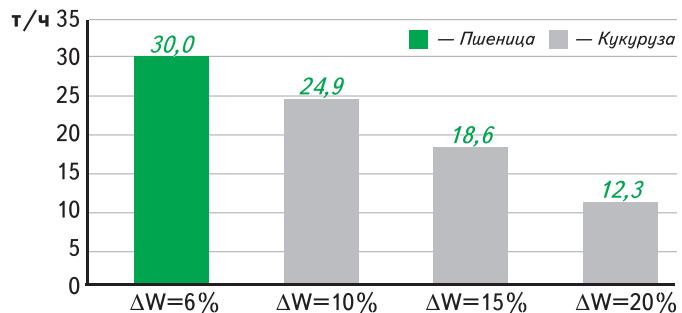


Рис. 3. Производительность зерносушилки при сушке пшеницы (съем влаги на 6%) и кукурузы (съем влаги на 10, 15 и 20%)

методы математической статистики, можно рассчитать предполагаемое изменение производительности прямоточных зерносушилок при сушке иных культур, естественно, в рамках соответствующих режимов сушки, обеспечивающих сохранение качества зерна. Это должно объединить два различных подхода для оценки производительности зерносушилки и ее технико-экономических показателей.

Для обобщения результатов и пересчета производительности были рассмотрены параметры зерносушилок (шахтные, жалюзийные, колонковые, башенные и передвижные) ведущих зарубежных и отечественных производителей, опубликованные в технических паспортах, статьях и рекламных проспектах. Температура сушильного агента при сушке пшеницы изменялась в пределах 70–95°C, ее начальная влажность — 18–20%, конечная — 14–15%, съем влаги при сушке пшеницы — 4–6%.

На рисунке 3 приведена производительность зерносушилки при сушке зерна пшеницы и кукурузы. По результатам обработки данных было получено уравнение для расчета производительности зерносушилки при сушке кукурузы:

$$\Pi_{кук} = \Pi_{пш} (0,428 + 0,137\Delta W_{пш} - 0,042\Delta W_{кук}), \quad (5)$$

где  $\Pi_{пш}$  — производительность при сушке пшеницы, т/ч;  
 $\Delta W_{пш}$  — съем влаги при сушке пшеницы, %;  
 $\Delta W_{кук}$  — съем влаги при сушке кукурузы, %.

Уравнение справедливо в диапазоне параметров:  $W_{пш} = 18–20\%$ ;  $\Delta W_{пш} = 4–6\%$ ;  $W_{кук} = 20–35\%$ ;  $\Delta W_{кук} = 5–21\%$ ; температура агента сушки — 90–125°C; коэффициент достоверности уравнения — 0,912.

Пример: если при сушке пшеницы производительность зерносушилки равна 30 т/ч, то при сушке кукурузы начальной влажностью 25, 30 и 35% она составит, соответственно, 24,9; 18,6 и 12,3 т/ч.

Аналогичным образом получена зависимость (рис. 4) и уравнение для расчета производительности зерносушилки при сушке семян подсолнечника:

$$\Pi_{nodec} = \Pi_{nu} (0,289 + 0,074\Delta W_{nu} - 0,024\Delta W_{nodec}), \quad (6)$$

где  $\Delta W_{nodec}$  — съем влаги при сушке семян подсолнечника, %.

Уравнение справедливо в диапазоне параметров:  $W_{nu} = 18\text{--}20\%$ ;  $\Delta W_{nu} = 4\text{--}6\%$ ;  $W_{nodec} = 13\text{--}25\%$ ;  $\Delta W_{nodec} = 6\text{--}18,5\%$ ; температура агента сушки —  $75\text{--}95^\circ\text{C}$ ; коэффициент достоверности уравнения — 0,868.

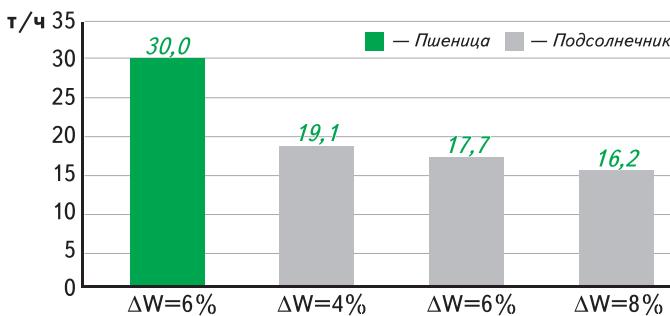


Рис. 4. Производительность зерносушилки при сушке пшеницы (съем влаги на 6%) и семян подсолнечника (съем влаги на 4; 6 и 8%)

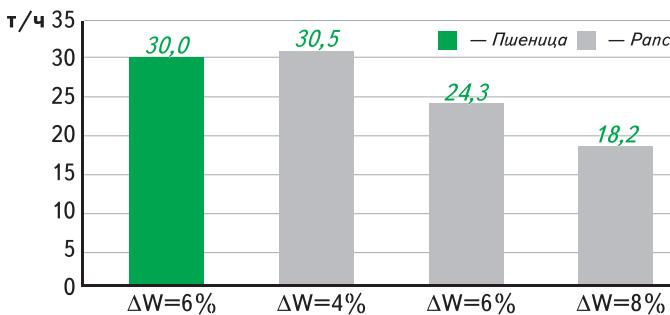


Рис. 5. Производительность зерносушилки при сушке пшеницы (съем влаги на 6%) и семян рапса (съем влаги на 4; 6 и 8%)

Производительность зерносушилки при сушке зерна пшеницы и семян рапса показана на рисунке 5.

Уравнение для расчета производительности зерносушилки при сушке семян рапса:

$$\Pi_{panc} = \Pi_{nu} (0,433 + 0,166\Delta W_{nu} - 0,103\Delta W_{panc}), \quad (7)$$

где  $\Delta W_{panc}$  — съем влаги при сушке семян рапса, %.

Уравнение справедливо в диапазоне параметров:  $W_{nu} = 18\text{--}20\%$ ;  $\Delta W_{nu} = 4\text{--}6\%$ ;  $W_{panc} = 13\text{--}22\%$ ;  $\Delta W_{panc} = 4\text{--}10\%$ ; температура агента сушки —  $60\text{--}90^\circ\text{C}$ ; коэффициент достоверности уравнения — 0,876.

Таким образом, для обеспечения длительного хранения зерна без потерь его качества увеличение мощностей хранения целесообразно осуществлять для южных и центральных регионов России за счет строительства металлических элеваторов, для Сибири и восточных регионов — железобетонных. Необходимо разработать системы активного вентилирования для увеличения удельных подач воздуха и предотвращения конденсатообразования в металлических сilosах. Также следует возобновить техническое переоснащение и модернизацию зерносушильного парка страны за счет производства отечественных высокопроизводительных и энергоэффективных рециркуляционных зерносушилок с теплогенераторами на жидкотопливном топливе для сушки зерна любой начальной влажности за один проход, выпуск которых в настоящее время прекращен. Важно продолжить научно-исследовательские работы по обеспечению условий длительного хранения пшеницы, подсолнечника, кукурузы и других культур, и определению нормативов безопасного хранения для различных климатических условий страны. ■

Список литературы предоставляемся по запросу.



## ИНФОРМАЦИЯ

**В Татарстане** в сельскохозяйственном производственном кооперативе агрофирмы «Рассвет» Кукморского района запустили первый корпус новой мегафермы на 1500 дойных коров. Общая сумма инвестиций в проект составила 930 млн руб. На производстве используется современное оборудование фирмы «Делаваль», позволяющее вести работу в едином технологическом режиме по ресурсосберегающим технологиям. Мегаферма оборудована современ-

ными доильными залами, доильно-молочным блоком «Параллель», роздильным отделением и изолятором для больных животных. Автоматизация процессов кормления и поения, продуманная система микроклимата позволяют рационально использовать как энергоресурсы и корма, так и трудовые ресурсы. Руководитель хозяйства «Урал» Газинур Хабибрахманов отметил, что строительство мегафермы будет проходить в три этапа и завершится к 2022 г. Все три корпуса

занимают 16 га. «Выполнение данного проекта позволит нарастить объемы реализации молока в СХПК агрофирма «Рассвет» до 16 тыс. т в год (45 т в день)», — рассказал заместитель начальника УСХиП Кукморского района Ильгам Ганиев.

По оперативным данным Минсельхозпрода РТ, в настоящее время в агрофирме «Рассвет» содержится 1100 дойных коров.

[mch.gov.ru/press-service/regions/v-tatarstane](http://mch.gov.ru/press-service/regions/v-tatarstane)