



МЛНЧ-2015

Международные Лыковские научные чтения



ВЕБ-КОНФЕРЕНЦИЯ

**Первые Международные Лыковские научные чтения,
посвящённые 105-летию академика А.В. Лыкова**

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СУШКИ
И ТЕРМОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ
В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

22 - 23 СЕНТЯБРЯ 2015 ГОДА

*Веб-конференция «Первые Международные Лыковские научные чтения,
посвящённые 105-летию академика А.В. Лыкова – МЛНЧ-2015» прово-
дится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных
исследований - проект № 15-08-20703-г*

Москва 2015

УДК 687
ББК 37.23
А43

Председатель Оргкомитета
Председатель Комитета РосСНИО
по проблемам сушки и термовлажностной обработки материалов,
д.т.н., профессор Рудобащта Станислав Павлович

Заместители Председателя Оргкомитета
член-корр. НАН Р. Беларусь, д.т.н., профессор
Павлюкевич Николай Владимирович,
академик РААСН, д.т.н., профессор
Федосов Сергей Викторович

Учёный секретарь Оргкомитета
учёный секретарь Комитета РосСНИО по проблемам сушки и термовлажностной обра-
ботки материалов, к.т.н., профессор Кошелева Мария Константиновна

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СУШКИ И ТЕРМОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТ-
КИ МАТЕРИАЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И АГ-
РОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ** [Текст]: сборник научных статей Первых
Международных Лыковских научных чтений (22-23 сентября 2015 года) / РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, ЗАО «Университетская книга», Курск, 2015., 485 с.

ISBN 978-5-9907009-4-9

В сборник включены научные статьи российских и зарубежных учёных, представ-
ленные на вебинаре, в которых рассматриваются вопросы теории и математического
моделирования процессов сушки и термовлажностной обработки различных материа-
лов, проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в химической, пище-
вой, текстильной и лёгкой промышленности, в строительной индустрии, древесины,
вопросы экологической и производственной безопасности при проведении рассматри-
ваемых процессов, методы и средства контроля и управления данными процессами.

Материалы сборника предназначены для преподавателей вузов, аспирантов, научно-
технических и инженерно-технических работников различных отраслей промышленно-
сти и агропромышленного комплекса.

ISBN 978-5-9907009-4-9

УДК 687
ББК 37.23

© Российский государственный
аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2015
© ЗАО «Университетская книга», 2015
© Авторы статей, 2015

Секция 4. СУШКА И ТЕРМОВЛАЖНОСТНАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА

УДК [631.365 + 664.723] (477) : 662.99

**ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ
СУШКИ ЗЕРНА В УКРАИНЕ
ISSUES TECHNOLOGY AND ENGINEERING
OF GRAIN DRYING IN UKRAINE****Георгий Н. Станкевич
Georgy N. Stankevich***Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина, Одесса,
(e-mail: georg-st@mail.ru).**Odessa National Academy of Food Technologies, Ukraine, Odessa*

Аннотация: Проведен анализ состояния техники и технологии сушки зерна на хлебозаготовительных предприятиях Украины. Показаны преимущества и недостатки существующих и новых типов зерносушилок. Рассмотрены пути совершенствования технологии и техники сушки зерна, способствующие снижению затрат топлива, повышению производительности сушилок и обеспечению сохранности качества просушенного зерна.

Ключевые слова: зерно, зерносушилки, сушильный агент, топливо, качество зерна.

Abstract: The situation of grain drying technique and technology on Ukrainian grain procuring enterprises has been analyzed. The advantages and disadvantages of existing and new types of grain dryers has been reviewed. The improving ways of grain drying technique and technology, contributing to reduce fuel costs, improve productivity of dryers and secure the quality of the dried grain has been reviewed.

Keywords: grain, grain dryers, drying agent, fuel, grain quality.

Сушка зерна — одна из важнейших и одновременно наиболее энергозатратных технологических операций послеуборочной обработки и хранения зерна. Правильно просушенное зерно способно долгое время надежно храниться и обеспечивать после переработки высокое качество производимой из него пищевой продукции. Режимы сушки зерна различных культур, зависящие от назначения зерна, его влажности, способа сушки и продолжительности хранения для существующих в Украине в 90-е годы зерносушилок, регламентировались отраслевой инструкцией по сушке и эксплуатации зерносушилок, введенной в действие для предприятий Государственной акционерной компании «Хлеб Украины» в 1997 году [1].

Техника сушки зерна. В конце прошлого века в Украине начал стремительно изменяться парк зерносушильной техники. Помимо самых распространенных шахтных прямооточных зерносушилок ДСП-32от, небольшого количества шахтных рециркуляционных типа РД-2х25 и шахтных прямооточно-рециркуляционных А1-ДСП-50, страна начала наполняться импортными зерносушилками новых типов от разных производителей.

В первую очередь некоторые отечественные фирмы наладили поставку на предприятия *колонковых модульных зерносушилок* производства США («Mathews Company», «Farm Fans», «Delux», «Sukup» и других) на условиях лизинга. Была создана сеть сервисного обслуживания указанных зерносушилок, способная оперативно устранять на территории Украины возникающие при эксплуатации сушилок неполадки и поломки. Все это способствовало быстрому распространению колонковых модульных зерносушилок на предприятиях различных форм собственности.

Колонковые зерносушилки, в отличие от общеизвестных шахтных, не имеют газораспределительных коробов, характеризуются простотой конструкции и низкой металлоемкостью. В сушилках зерновые колонны толщиной 305 мм гравитационно движутся

между перфорированными стенками (решётами). Вентиляторы, подающие сушильный агент и наружный воздух, размещены непосредственно у сушильных камер или даже смонтированы в них. В отличие от отечественной практики, в этих сушилках, широко использован модульный принцип компоновки, когда из унифицированных узлов или модулей создают оборудование различной производительности, что упрощает изготовление, монтаж и уменьшает стоимость. Каждый модуль представляет собой самостоятельную сушилку с одним-двумя теплоventилиаторными агрегатами. При необходимости можно наращивать производительность сушилок, добавляя один или несколько модулей, устанавливая их один над другим с помощью автокрана.

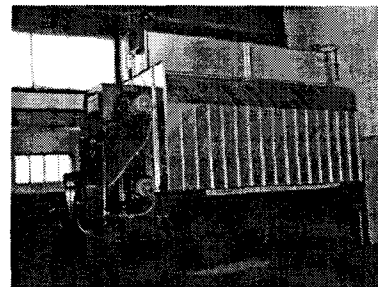


Рис. 1 — Колонковая модульная зерносушилка «Украина»

Со временем машиностроители Украины освоили изготовление колонковых моделей зерносушилок. Примером могут служить модели, производимые в г. Харьков (рис. 1) и г. Хорол. Сушилки «Украина» охватывают диапазон производительностей 5...50 т/ч при снижении влажности зерна пшеницы с 17 до 12 %. Они автоматизированы, оснащены современными теплогенераторами, работающими на природном или сжиженном газе. Теплогенераторы имеют все виды защит, обеспечивают любой режим сушки, полное сгорание топлива и высокую пожаробезопасность. Сушилки встраиваются в любую существующую в хозяйстве технологическую схему послеуборочной обработки и хранения зерна. Использование оцинкованного металла обеспечивает долговечность и надежность конструкции.

Использование оцинкованного металла обеспечивает долговечность и надежность конструкции.

В то же время колонковые зерносушилки имеют и ряд недостатков. Прежде всего, повышенная неравномерность нагрева и сушки зерна по всей толщине слоя (305 мм). Сушилки не защищены снаружи от действия ветров, которые могут приводить к существенному снижению скорости сушки зерна с подветренной стороны. При несоблюдении рекомендованных режимов сушки масличных культур отверстия ситовые поверхности сушилок могут «замазливаться». В случае временной остановки зерно в них быстро остывает, что приводит к перерасходу топлива на повторный разогрев зерна. При сушке мелкосеменных культур (рапс, сорго, лён, горчица) сушилки комплектуются ситами с уменьшенными размерами отверстий решет. Поэтому, последующая сушка на этих моделях традиционных зерновых культур приводит к снижению их производительности из-за повышенного аэродинамического сопротивления решет с мелкими отверстиями. И если хозяйство выращивает наряду с традиционными культурами и мелкосеменные, то в этом случае ему необходимо использовать разные сушилки с различными размерами отверстий в решетках: одни для традиционных культур, а другие — для мелкосеменных. Ситовые поверхности сушилок часто нужно очищать от примесей и пыли, что требует их остановки и выпуска зерна.

Отдельную группу представляют *колонковые башенные зерносушилки*. Их приобретают, как правило, крупные предприятия для сушки больших потоков зерна кукурузы (250 т/ч и более). Применяют такие зерносушилки и для подсушивания семян подсолнечника на маслоэкстракционных заводах. Толщина слоя в башенных сушилках аналогична колонковым — 305 мм. Для снижения неравномерности сушки зерна они имеют встроенные инверторы, позволяющие менять между собой внутренние и внешние потоки зерна. Башенные зерносушилки имеют такие же преимущества и недостатки, как и колонковые модульные зерносушилки (горизонтального типа).

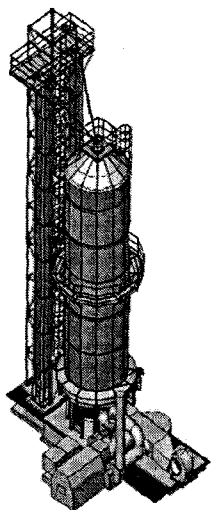


Рис. 2 – Комплекс сушильный КС-АСТРА на базе зерносушилки АСТРА-ИНГУЛ 11...17-3,6 с универсальным теплогенератором на твердом биотопливе и теплообменником

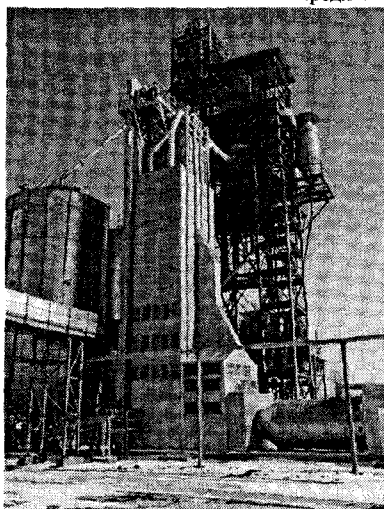


Рис. 3 – Усовершенствованная модель зерносушилки А1-ДСП-50Е

В Украине освоен выпуск башенных зерносушилок марки «АСТРА-ИНГУЛ» производительностью 25...44 т/ч при снижении влажности зерна пшеницы с 19 до 15 %. Мощность горелок составляет 1,6...3,0 МВт. В отличие от зарубежных башенных зерносушилок, у отечественных теплогенератор вынесен наружу, что практически исключает возможность возгораний, особенно при сушке семян подсолнечника. Все модели башенных сушилок компании «АСТРА» могут комплектоваться теплогенераторами, работающими и на альтернативном биотопливе — дрова, древесные отходы (опилки, щепа), агроотходы (солома в брикетах, лузга), торф, пеллеты и др. (рис. 2). При необходимости за теплогенератором, искрогасителем, камерой дожига и смесителем может устанавливаться теплообменник с экономайзером, позволяющий подавать в сушилку чистый горячий воздух. Экономия при использовании биотоплива очевидна, учитывая соотношение цен разных видов традиционного и альтернативного топлива и их теплотворную способность. Так, использование соломы в тюках для получения теплоносителя (пиролизное сжигание) экономичнее пеллет из соломы в 2,1 раза, природного газа — 3,3 раза, дизтоплива — в 8,3 раза.

Однако наиболее распространенными все же остаются шахтные зерносушилки, которые являются универсальными, обеспечивают более равномерную сушку и хорошее качество просушенного зерна.

Некоторые типы новых шахтных зерносушилок предложил старейший отечественный производитель — ОАО «Карловский машиностроительный завод» (KMZ Industries): это прямоточные ДСП-10, ДСП-20, прямоточно-рециркуляционные ДСП-25, А1-ДСП-50, спаренные 2□А1-ДСП-50 (сушильно-очистительный комплекс «Суховий») и последняя из разработок — усовершенствованная А1-ДСП-50Е (рис. 3). Эти сушилки позволяют обеспечить сушку зерна различных культур с производительностью в диапазоне 10...100 т/ч (при снижении влажности зерна пшеницы с 20 до 14 %). По затратам топлива (1,22 кг/т-%) они близки и импортным зерносушилкам.

В Украине значительно увеличилась доля импортных шахтных зерносушилок. В отличие от отечественных зерносушилок типа ДСП с двумя параллельно расположенными шахтами, импортные зерносушилки в большинстве — одношахтные. Как правило, они закрыты и теплоизолированы со всех сторон. Работают зерносушилки преимущественно на всасывание на газообразном топливе. По

сравнению с отечественными, в импортных сушилках применяются более мягкие и энергоэкономные нисходящие режимы сушки. Есть в Украине модели зерносушилок разных иностранных фирм с рекуперацией теплоты отработавшего в охлаждающей зоне воздуха и частично отработавшего в конце сушильной зоны сушильного агента, которые хорошо себя зарекомендовали на крупных предприятиях. Теплогенераторы сушилок зачастую позволяют работать как на смеси топочных газов, так и на чистом подогретом атмосферном воздухе. Некоторые сушилки комплектуются также системами очистки отработавшего сушильного агента и воздуха от пыли и легковесных примесей, что позволяет предприятиям выдерживать санитарные и экологические требования.

Небольшую группу составляют *мобильные (передвижные) зерносушилки*, используемые для сушки зерна в фермерских хозяйствах, сервисных предприятиях и передвижных механизированных отрядах, которые стремятся увеличить период использования зерноуборочных комбайнов, перемещая их с юга на север. Мобильные сушилки могут быть колонкового, башенного либо шахтного типа. Использование относительно недорогих передвижных сушилок, способных работать в любом месте и при любых погодных условиях, — это реальный путь повышения эффективности производства зерновых, бобовых и масличных культур.

В Украине выпускается передвижная зерносушилка «АСТРА-ИНГУЛ-М», предназначенная для сушки всех видов зерновых, масличных и бобовых культур: пшеницы, кукурузы, подсолнечника, рапса, сои и других. Особенностью этой сушилки является отсутствие шнековой или норийной системы (с изнашивающимися деталями, требующими постоянного обслуживания, да еще и повреждающих зерно), которая заменена пневмотранспортом (аэродинамическим перемещением зерна в процессе загрузки, циркуляции и выгрузки), что способствует также подсушиванию зерна и, что важно, обеспечивает постоянную очистку от пыли и легких примесей. Благодаря этому не требуется сепарация зерна при загрузке в сушилку. При этом повышается эффективность работы сушилки, экономится топливо и снижается вероятность возгораний.

Технология сушки. В зерносушилках, работающих на предприятиях Украины, реализованы различные технологические способы сушки, имеющие свои преимущества и недостатки. По способу подведения теплоты практически все зерносушилки являются конвективными с гравитационным медленно движущимся слоем зерна, что обеспечивает простоту конструкции сушилок. У этих зерносушилок сравнительно невысокий тепловой КПД, в большинстве на уровне 40 %. Его можно несколько повысить применением различных технологических и теплотехнических мероприятий. Нужно обратить внимание, что в качестве сушильного агента в подавляющем большинстве сушилок применяется смесь атмосферного воздуха и продуктов сгорания топлива — жидкого или газообразного. Применение нагретого воздуха, получаемого в теплогенераторах непрямого нагрева, повышает расход топлива на сушку (по разным оценкам на 20...40 %), что сдерживает применение этого экологически чистого способа сушки. Отмечаются случаи применения некоторыми предприятиями вместо светлых видов жидкого топлива более дешевого печного топлива, что приводит к резкому ухудшению качества просушенного зерна: происходит загрязнение его продуктами неполного сгорания топлива, в том числе и канцерогенными веществами.

Зерносушилки с кондуктивным (контактным) подводом тепловой энергии для подсушивания круп по сравнению с конвективными имеют еще меньший тепловой КПД, что объясняется меньшей площадью контакта поверхности зерна с сушильным агентом. Зерносушилки с другими способами подвода энергии (инфракрасным, микроволновым и др.) практически не получили промышленного применения из-за низкой производительности и повышенных энергозатрат.

Во многих перспектах к зерносушильной технике, активно продвигаемой на украинском рынке, относительно процесса сушки используются такие выражения как «порци-

онная сушка», «проточная», «рециркуляционная» и др. Эти термины, относящиеся к способам движения зерна в сушильках, часто путают между собой и неправильно понимают. Здесь нужно иметь в виду следующее. *Порционная сушка* применяется в простейших сушильках — бункерных, представляющих собой бункер с сетчатыми стенками. Загруженная в такую сушилку порция зерна продувается сушильным агентом вертикально или радиально (в зависимости от конструкции), высушивается до конечной влажности в неподвижном состоянии, охлаждается атмосферным воздухом и выгружается из сушилки. Если в этой сушилке организовать сушку порции зерна путем его циркуляции, то есть перекачкой зерна по замкнутому контуру (работа сушилки «сама на себя»), то это и есть *порционная циркуляционная сушка*. Недостаток первого способа — большая неравномерность сушки зерна по высоте слоя, второго — повышенное содержание механически поврежденного при циркуляции зерна. Оба способа имеют также повышенные затраты теплоты, поскольку после охлаждения и выпуска зерна и заполнения сушилки новой порцией сырого зерна металлические конструкции снова будут прогреваться, отбирая теплоту, подводимую к зерну.

Указанного недостатка не имеют *прямоточные зерносушилки*. В них происходит постоянная подача зерна в надсушильный бункер, его сушка в сушильных зонах, охлаждение в охладительной зоне и выпуск из сушилки. При этом прогревание конструкций сушилки стабилизируется, и теплота, подводимая к зерну, будет тратиться более рационально — на его сушку. По этому способу сушки работают все шахтные, колонковые и башенные зерносушилки. Однако, для запуска этих сушилок необходимо просушить находящееся в них зерно с помощью указанного выше порционного циркуляционного способа и, после достижения необходимой конечной влажности, сушилку переводят на более энергосберегающую и качественную прямоточную сушку. Равномерность сушки при таком способе выше, особенно в шахтных зерносушилках.

На некоторых зернозаготовительных предприятиях в связи с недостаточно высокой квалификацией операторов по сушке зерна встречается использование шахтных и колонковых сушилок для порционной циркуляционной сушки. Такое непонимание — прямой путь к перерасходу топлива и увеличению количества битого при сушке зерна.

Недостатком прямоточного способа сушки является ограниченный влаговсъем за один пропуск зерна через сушилку, следствием чего является необходимость предварительного формирования партий зерна с близкими значениями влажности, что оговаривается действующей инструкцией по сушке. Указанного недостатка не имеет *рециркуляционный способ* сушки, при котором в потоке можно сушить зерно с любой начальной влажностью. Особенностью рециркуляционных сушилок является то, что в них сушатся не сырое зерно, поступающее в сушилку, а его смесь с почти сухим (рециркулирующим) зерном, причем поток рециркулируемого зерна многократно превосходит поток сырого зерна, поступающего в сушилку. Именно это делает сушилку практически не чувствительной к колебаниям входной влажности сырого зерна, поскольку она практически не влияет на влажность смеси сырого и рециркулируемого зерна. Недостатком рециркуляционной сушки является некоторое увеличение количества битого зерна (через многократную его рециркуляцию) и повышенная неравномерность по влажности отдельных зерен в просушенной смеси. Однако при дальнейшем хранении влажности отдельных зерен постепенно выравниваются (хотя вследствие явления гистерезиса полного выравнивания влажности отдельных зерновок все же не происходит). Необходимо отметить, что в практике зерносушения применяются несколько схем рециркуляционной сушки зерна, описанных в специальной литературе [2].

Таким образом, лучшее качество просушенного зерна обеспечивают шахтные прямоточные зерносушилки. В случае сушки зерна с высокой влажностью лучше использовать несколько последовательно работающих прямоточных сушилок. Однако при этом надо иметь возможность формировать и накапливать отдельные партии зерна с близкими влажностями в досушильных бункерах или в зернохранилищах. Если такой

возможности нет, то можно воспользоваться одним из вариантов рециркуляционной сушки.

Режимы сушки. Под режимом сушки обычно понимают совокупность значений определенных параметров сушильного агента и зерна, в первую очередь температуру сушильного агента. Одноступенчатый температурный режим сушки используется в сушильках небольшой производительности, как правило, порционных. Наиболее распространены многоступенчатые восходящие или нисходящие режимы сушки. Более прогрессивными являются нисходящие режимы сушки, они более экономичны и предотвращают перегрев зерна в сушилке. Поэтому наиболее распространенные на предприятиях Украины зерносушилки ДСП-32от с восходящим режимом сушки реконструируют на нисходящие режимы.

Многие зарубежные сушилки вообще не имеют четкого разделения сушильных зон на отдельные степени сушки. В них температура сушильного агента постепенно снижается по мере сушки зерна, обеспечивая плавный бесступенчатый нисходящий режим сушки. Эти сушилки часто предусматривают частичное повторное использование отработанных сушильного агента и воздуха, что уменьшает на расход топлива на сушку. Доля таких совершенных сушилок в Украине быстро возрастает, несмотря на их более высокую стоимость. Конечно, в первую очередь их покупают крупные зернопроизводительские компании, особенно с иностранными инвестициями.

Некоторые технологические приемы сушки позволяют снизить расход топлива на сушку и повысить качество зерна. Это, например, двухэтапная сушка, известная за рубежом как «драйаерация». Суть способа заключается в том, что зерно в сушилке сушат не до конечной влажности, а недосушивают на 1,5...2,0 % и, не охлаждая его, направляют в бункер или металлический силос с системой активного вентилирования. После отлежки около 8...10 часов зерно постепенно охлаждают, удаляя остатки влаги, поднявшейся изнутри зерна на его поверхность. Такой способ широко применяют за рубежом при сушке зерна кукурузы, который позволяет уменьшить на 20...30 % удельный расход топлива и существенно снизить ее трещиноватость. В Украине этот способ сушки также успешно применяют, особенно при сушке кукурузы, например, на предприятиях крупнейшей компании «НИБУЛОН», поскольку он дает реальное повышение качества просушенной кукурузы и экономит топливо.

Известный способ сушки зерна с предварительным подогревом, позволяющий повысить производительность сушилок и снизить удельные затраты топлива на сушке, к сожалению в обновленном парке зерносушилок Украины не используется. Он сохранился лишь в небольшой части устаревших рециркуляционных зерносушилок типа РД-2х25. Подчеркнем также, что в зарубежных зерносушилках рециркуляционный способ сушки с предварительным нагревом зерна вообще не используется. И лишь в отечественных зерносушилках А1-ДСП-50 и ДСП-25 конструктивно предусмотрен как прямоточный так и рециркуляционный способ сушки (однако, без предварительного нагрева зерна). В некоторых случаях в поточных линиях сушки высоковлажного зерна кукурузы на базе спаренных зерносушилок, например, А1-ДСП-50, применяют рециркуляционные схемы сушки.

Экологические аспекты сушки зерна. Все зерносушилки, и шахтные, и колонковые, и башенные, при сушке зерна выбрасывают в окружающую среду отработанные сушильный агент и воздух, содержащие в себе пыль и легкие примеси. В шахтных сушильках с отводящими коробами кроме пыли и примесей может выдуваться также битое и щуплое зерно. Такие зерносушилки становятся источником загрязнения окружающего воздуха и прилегающей территории. На сегодняшнее время не существует надежных и дешевых способов очистки выбросов сушилок от загрязняющих веществ. Причин здесь несколько. Во-первых, это слишком большие объемы отработавших сушильного агента и воздуха, которые необходимо очищать (160 и более тыс. м³/ч), во-вторых, —

их повышенная влажность. Поэтому такой важный аспект как повышение экологичности зерносушилок — слишком дорого стоит.

Наиболее известные отечественные шахтные зерносушилки А1-ДСП-50 оснащены двухступенчатой системой очистки, состоящей из осадочных камер для гравитационной очистки отработавшего сушильного агента от легких примесей и инерционных пылеотделителей жалюзийного типа для очистки от пыли. Однако эффективность такой системы невысока — например, пыль и кукурузная красная пленка ею полностью не задерживаются.

Шахтные зерносушилки некоторых ведущих зарубежных фирм, полностью закрытые от внешней среды, для очистки отработанных сушильного агента и воздуха могут комплектоваться довольно громоздкими горизонтальными циклонами. Другие фирмы устанавливают на выходе из каждой сушильной зоны специальные устройства (циклофены) для осаждения пыли и легких примесей. Но при сушке, например, кукурузы в холодных климатических условиях, характерных для Украины, такие устройства от присутствующих в отработанном сушильном агенте влаги, пыли и легких примесей могут залипать и даже замерзать.

Колонковые модульные и башенные сушилки совсем не имеют устройств для уменьшения выбросов. Не имеют их и простые зерносушилки небольшой производительности, и тем более, передвижные. Однако экологическая проблема для последних и не стоит — она более важна для мощных сушилок, работающих вблизи жилых зон, и могущих привести к загрязнению окружающей среды.

Экологичность сушилок касается не только загрязнения их выбросами в окружающую среду, это касается также и загрязнения зерна продуктами неполного сгорания топлива, о чем шла речь выше, когда рассматривали способы подвода теплоты в зерносушилках.

Нужно отметить, что наибольшее загрязнение вредными продуктами зерно получает при сушке смесью воздуха и топочных газов. И это касается большинства зерносушилок. Степень загрязнения зерна зависит от топлива: наибольшее загрязнение дает печное топливо (его применение вообще не допустимо), значительно лучше в этом плане светлые виды жидкого топлива (дизельное, тракторный керосин) и практически не загрязняют зерно природный и сжиженный газ. Зерно совсем не загрязняется при сушке чистым подогретым в калориферах (теплогенераторах) наружным воздухом, но это увеличивает расход топлива, что и тормозит применение экологически чистых способов сушки нагретым атмосферным воздухом.

Энергосбережение в сушке зерна. В изложенном выше материале так или иначе шла речь об экономии топлива на сушку, повышении теплового коэффициента полезного действия (КПД) сушилок и их энергоэффективности. Из-за потерь теплоты на нагрев зерна, с отработавшим сушильным агентом, через стенки сушилки в окружающую среду, в виде термодинамических потерь, в большинстве зерносушилок только 40...55 % тепловой энергии расходуется полезно, то есть на испарение влаги.

Небольшой части тепловых потерь можно избежать, что и делается в некоторых конструкциях зерносушилок. Это полный возврат отработавшего теплого воздуха из зоны охлаждения на повторное использование. При этом часть теплоты все же теряется с охлаждаемым зерном, поскольку его невозможно охладить до температуры окружающей среды. Однако такой способ сушки все же позволяет сэкономить около 10 % топлива.

Результаты расчетов и многолетних производственных испытаний показывают, что на сушку можно возвращать также часть отработавшего в конце процесса сушки сушильного агента. Это позволяет экономить еще 15...20 % топлива.

Можно также меньше тратить теплоты на испарение влаги и в самой сушилке. Для этого нужно организовывать промежуточные отлежки зерна. Это снимает отрицательное действие явления термовлагопроводности, позволяет влаге из внутренних слоев

переместиться к поверхности зерна и тем самым облегчает ее испарение. Некоторые фирмы такую отлежку зерна предусматривают перед зоной охлаждения. Это наряду с экономией топлива, способствует лучшему охлаждению зерна на счет интенсивного испарения поверхностной влаги, что очень важно при сушке и охлаждении зерна в летнее время.

Нужно обратить внимание также на то, что расход топлива существенно зависит от температуры наружного воздуха и может изменяться в довольно широких пределах. Так, при возрастании температуры наружного воздуха с 5 °С (осенне-зимний период) до 30 °С (летние условия) расход топлива уменьшается на 50...60 %.

В последнее время нормы расхода топлива, указываемые в технических характеристиках отечественных и зарубежных зерносушилок, приводятся в расчете на 1 т %. Это не совсем правильно, поскольку не учитывается начальная и конечная влажность зерна, влияющих на расход теплоты на испарение влаги. Ведь снижение влажности зерна при сушке с 20 до 19 % по расходам теплоты не равносильно сушке зерна с 15 до 14 % влажности, хотя и в первом и во втором случае снимается тот же 1 % влаги. Практически нигде не указывается калорийность газа, для которого определяют расходы топлива на сушку.

Подытоживая можно заключить, что многие проблемные вопросы сушки являются общими для специалистов в области технологии и техники сушки зерна. И решать их нужно общими усилиями ученых и практиков, вынося и обсуждая на различных региональных и международных конференциях.

Список литературы

1. Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок. – Одеса-Київ: ДАК “Хліб України”, 1997. – 72 с.
2. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Анатазевич В.І. Сушіння зерна: Підручник. – Київ: Либідь, 1997. – 352 с.