

## СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ ЗЕРНА

Сорочинский В.Ф., д-р техн. наук, ст.науч.сотр.

Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки Российской академии сельскохозяйственных наук, г. Москва, Россия

*Приведены результаты анализа энергозатрат при сушке зерна с применением различных схем утилизации сушильного агента и охлаждающего воздуха. Проведена оценка удельных затрат теплоты на сушку зерна и коэффициентов полезного действия зерносушилок.*

*Results of the analysis of power inputs are resulted at drying of grain with application of various schemes of recycling сушильного the agent and cooling air. The estimation of specific expenses of warmth on drying of grain and efficiency of devices for grain drying is spent.*

Ключевые слова: зерно, сушка, теплота, топливо, утилизация, охлаждение, энергозатраты, анализ.

Сушка зерна является одним из наиболее энергоёмких процессов сельскохозяйственного производства. При валовом сборе зерна в России на уровне 80 – 100 млн. тонн в год в сушке нуждается обычно 50 – 55%, т.е. от 40 до 55 млн. тонн зерна со снижением влажности в среднем от 20 до 14%, хотя в отдельные годы количество влажного и сырого зерна увеличивается. Зерносушильный парк России насчитывал около 9 тыс. сушилок, из них в сельском хозяйстве около 6 тыс. сушилок производительностью от 5 до 10- 15 пл.т /ч и около 3 тыс. сушилок на элеваторах и хлебоприёмных предприятиях производительностью в основном от 24- 30 до 50 пл.т/ч. Это, как правило, зерносушилки советского производства со средними показателями расхода топлива 12,2 кг.усл.топл./пл.т и электроэнергии 3,0 кВт.ч/пл.т.

По экспертным оценкам из общего количества энергоресурсов, затраченных на производство зерна, прямые затраты на сушку достигают 30-35%, а доля энергозатрат в себестоимости сушки составляет 75-80%. Таким образом, для сушки зерна требуется не менее 0,5-0,7 млн. тонн натурального топлива и 120-165 млн. кВт.ч электроэнергии. Зерносушильный парк страны существенно устарел, 25-30% зерносушилок изношены и требуют замены. Переоснащение и замена зерносушилок отечественными производителями осуществляется медленно, примерно по 200 штук в год, неустановленное количество блочно-модульных сушилок с низким влагосъёмом поставляется из-за рубежа.

За последние 3-5 лет энергоресурсы значительно подорожали и имеют тенденцию к дальнейшему увеличению стоимости. Особенно сильно подорожал природный газ – в 2,5 – 3 раза, электроэнергия в 1,5 – 2 раза, дизельное топливо на 15 – 35%. Поэтому разработка новых технологий и оборудования, направленных на снижение затрат топлива и электроэнергии на сушку имеет определяющее значение для снижения энергозатрат при производстве зерна.

Цель настоящей статьи провести краткий анализ удельных энергозатрат на сушку зерна для различных зерносушилок и определения их коэффициента полезного действия. В настоящее время большинство зерносушилок как советского производства, так и зарубежных имеют низкий коэффициент полезного действия - на уровне 45-50%. Вместе с тем, в конце 80-х и 90-х годах рядом научно-исследовательских организаций – ВНИИЗом с его филиалами, Институтом тепломассообмена (Республика Беларусь), ОТИППом (Украина), МТИППом, Институтом теплофизики СО АН РФ и другими были проведены значительные исследовательские работы по развитию технологии и техники в элеваторной промышленности. Были созданы, а в большинстве случаев реконструированы шахтные зерносушилки с предварительным нагревом и рециркуляцией зерна, изотермическими режимами сушки, зонами промежуточной отлежки, утилизацией теплоносителя, сушильного агента и охлаждающего воздуха, технологическими схемами, обеспечивающими прямоточную и рециркуляционную сушку в зависимости от влажности, культуры и назначения зерна.

То есть на мировом уровне создана технология, базирующаяся на современных способах интенсификации процесса сушки зерна, обеспечивающая сушку зерна любой начальной влажности за один прием до сухого состояния. Для создания новых конструкций зерносушилок были привлечены предприятия Минсудпрома, при этом предполагалось, что сушилки производительностью до 20-25 т/ч должны быть прямоточными, а свыше 30 до 50 т/ч в одном агрегате – рециркуляционными. Но эту программу осуществить не удалось.

В настоящее время новые зерносушилки, поступающие в агропромышленный комплекс, в том числе в элеваторную промышленность, являются по конструкции блочно-модульными с производительностью

модуля 5-10-15 т/ч, а по технологической схеме прямоточными и рассчитаны в основном на снижение влажности на 4-5 %. Нарращивание мощности этих сушилок осуществляется как за счет установки модулей по высоте, так и блокированием модулей в ряд в единый зерносушильный комплекс.

В качестве недостатка этих конструкций необходимо отметить снижение производительности и увеличение удельных энергозатрат при сушке высоковлажного зерна, вследствие необходимости уменьшения температуры сушильного агента во избежание возможного перегрева зерна и сложности формирования из блочно-модульных прямоточных зерносушилок агрегата производительностью 40-50 т/ч для замены изношенных сушилок большой производительности по условиям их размещения и привязки на элеваторе. В качестве преимуществ можно отметить простоту конструкции, высокую степень автоматизации и монтажной готовности.

В Российской Федерации производителями зерносушилок являются ЗАО «Кировагропромтехника», ООО «ОКБ по теплогенераторам, г.Брянск, ОАО «Мельинвест» г. Нижний Новгород, ОАО «Тверьсельмаш», ОПКТБ СибИМЭ, г.Краснообск, ОАО «Брянксельмаш» и некоторые другие перешедшие на выпуск блочно-модульных зерносушилок, в том числе и по лицензиям с иностранными фирмами.

Несмотря на жесткую конкуренцию на рынке зерносушильной техники между отечественными производителями, в Россию поступают импортные сушилки производства США, Германии, Франции, Бельгии, Аргентины, Финляндии, Италии, Украины, Польши и других стран, как на предприятия сельхозпроизводителей, так и на элеваторы и хлебоприемные предприятия.

Всего для России свою зерносушильную технику представили около 17 иностранных фирм и большинство этих зерносушилок уже работают в агропромышленном комплексе. Вместе с тем, как отечественные, так и поставляемые в Россию иностранные зерносушилки имеют разный технический уровень, который определяет разные энергозатраты на сушку. в рекламном описании ряда сушилок часто не приводятся удельные затраты топлива и электроэнергии, а указывается только диапазон расхода топлива, отличающийся в  $1,5 \div 2$  раза от среднего расчетного значения, приводится только установленная электрическая мощность, не приводятся значения расходов сушильного агента и охлаждающего воздуха, начальной температуры зерна и охлаждающего воздуха, температуры нагрева зерна, режимы сушки и т.д.

Вместе с тем, для ряда сушилок на основании приведенных данных удастся оценить коэффициент полезного действия и в отдельных случаях он оказывается несоразмерным с технологией сушки зерна применяемой на этой сушилке.

Условно, по использованию различных технических средств для утилизации теплотерь, зерносушилки, в которых сушка и охлаждение зерна осуществляются в одном блоке, а предварительный нагрев зерна отсутствует, можно разделить на несколько групп (варианты использования НЧ, ВЧ, СВЧ, теплонасосов и т.д. здесь не рассматриваются):

- 1.Зерносушилки, не использующие утилизацию охлаждающего воздуха и сушильного агента;
- 2.Зерносушилки, использующие только утилизацию охлаждающего воздуха;
- 3.Зерносушилки, использующие утилизацию охлаждающего воздуха и, частично, утилизацию отработавшего ненасыщенного сушильного агента из нижних зон сушки;
- 4.Зерносушилки, использующие утилизацию охлаждающего воздуха и сушильного агента, в том числе насыщенного из верхних зон сушки.

В общем случае, в зависимости от технологии сушки и типа зерносушилки, можно привести следующие средние значения затрат тепла на конвективную сушку зерна (по пшенице) без теплообменника, приведенные к температуре атмосферного воздуха  $5^{\circ}\text{C}$  и снижению влажности зерна с 20 до 14%.

По первой группе удельные затраты теплоты составляют 5110 кДж/кг.исп.вл., а расход натурального топлива (дизельное) 8,4 кг/пл. т., т.е. 1,4 кг/т.% при коэффициенте полезного действия сушилки равном 49,2%. Использование утилизации охлаждающего воздуха приводит к снижению удельных затрат теплоты до 4800 кДж/кг.исп.вл., увеличению коэффициента полезного действия до 52,4%, снижению расхода натурального топлива до 7,9 кг/пл. т., т.е. 1,3 кг/т.%.

Для зерносушилок третьей группы удельные затраты теплоты составляют 4418 кДж/кг.исп.вл., коэффициент полезного действия 56,9%, расход натурального топлива 7,2 кг/пл. т., т.е. 1,2 кг/т.%. В настоящее время с такой схемой утилизации теплоты работают большинство современных зерносушилок. Коэффициент полезного действия зерносушилки может достигнуть значений 77,5% при затратах на сушку 3244 кДж/кг.исп.вл., расходе топлива 5,3 кг. нат. топл./пл.т, т.е.0,88 кг/т.% с дополнительной утилизацией теплоты насыщенного отработавшего сушильного агента. При этом используются специальные теплообменники для отбора тепла при конденсации водяного пара из сушильного агента и передачи его с использованием промежуточного теплоносителя для подогрева атмосферного воздуха, поступающего в топку сушилки.

Приведенные значения удельных затрат тепла на сушку для прямоточных зерносушилок являются средними значениями для каждого способа сушки и зависят от начальной и конечной влажности зерна,

начальной температуры зерна и атмосферного воздуха, температуры сушильного агента и конструкции зерносушилки. Возможность применения различных способов экономии затрат на сушку определяется технико-экономическими расчетами при сопоставлении снижения затрат на сэкономленное топливо и ростом стоимости самой сушилки для их реализации. При использовании теплообменника для нагрева сушильного агента коэффициент полезного действия зерносушилок снижается на 5-8%.

Следует отметить, что значительно снизить затраты на сушку до 20 % и повысить КПД сушилки до 61,5 % при удельных затратах тепла 4090 кДж/кг.исп.вл. можно с использованием способа двухстадийной сушки с применением активного вентилирования при медленном охлаждении зерна в вентилируемых бункерах, охладителях непрерывного действия, либо в хранилищах по методу «драйэрации» [1,2], который широко применяется при сушке зерна колосовых культур, кукурузы и бобовых культур. Экономия топлива в этом случае достигается за счет полезного использования тепла, ранее прошедшего на нагрев зерна, интенсификации процесса сушки за счет увеличения температуры сушильного агента на 15-20<sup>0</sup>С и сокращения потерь тепла с отработавшим в нижней части сушильной зоны ненасыщенным влагой сушильным агентом. Применение этого метода позволяет наряду с улучшением качества зерна также существенно повысить производительность прямоточных зерносушилок. Сушилки, работающие по этому методу, должны иметь гибкую технологическую схему и позволять переводить охлаждающую зону на сушку без реконструкции зерносушилки.

При прямом нагреве сушильного агента и сочетании метода драйэрации и утилизации охлаждающего воздуха и ненасыщенного отработавшего сушильного агента удельные затраты на сушку снижаются на 33,5 %, а расчетный КПД сушилки может увеличиться до 73,9 % при удельных затратах тепла 3400 кДж/кг.исп.вл.

Приведенные данные в целом согласуются с расчетами [3,4], показывающими достижение максимально возможных КПД, рассмотренных конвективных высокотемпературных сушилок соответственно на уровне 80-83 %.

Для конвективной высокотемпературной сушки зерна в соответствии с принципами и методами обезвоживания материалов [5] основные направления интенсификации заключаются в его предварительном нагреве до предельно допустимой температуры, обеспечивающей увеличение коэффициента диффузии влаги и рециркуляции части зерна, позволяющей использовать его как промежуточный теплоноситель и влагопоглотитель для повышения эффективности сушки. Эти положения легли в основу разработки целого ряда высокотемпературных прямоточных, а также рециркуляционных зерносушилок с предварительным нагревом зерна. До последнего времени до 40 % зерносушильного парка хлебоприемных предприятий России составляли рециркуляционные зерносушилки, использование которых рационально для зерносушилок значительной производительности при массовом поступлении влажного и сырого зерна и необходимости высушивания его за один пропуск через зерносушилку.

Эффективность работы рециркуляционных зерносушилок, как и прямоточных, также будет определяться степенью утилизации тепловых потерь. Самый простой способ предварительного нагрева сырого зерна осуществляется в тепломассообменнике зерносушилки при его контакте с нагретым рециркулирующим зерном. При этом, КПД сушилки возрастает до 52,6% при удельных затратах теплоты 4777 кДж/кг.исп.вл.

В рециркуляционных зерносушилках, где нагрев зерна осуществляется в камерах нагрева, сушка проводится в шахтах либо в процессе его охлаждения атмосферным воздухом, либо при подаче в шахты нагретого сушильного агента. При использовании в качестве сушильного агента атмосферного воздуха, эффективность сушки в значительной степени зависит от параметров атмосферного воздуха. При этом сушилка работает как бы по методу драйэрации с той только разницей, что охлаждение зерна происходит при скорости фильтрации воздуха, значительно превышающей его скорость фильтрации при активном вентилировании нагретого зерна, что снижает возможность использования для сушки теплоты нагретого зерна, особенно при низких температурах атмосферного воздуха.

В полной мере преимущества предварительного нагрева и рециркуляции зерна реализуются при рециркуляционно-изотермическом способе сушки, когда в зоны сушки вместо атмосферного подается нагретый воздух. Это позволяет поддерживать в процессе сушки температуру зерна на значениях близких к предельно допустимой температуре нагрева. За счет интенсификации процесса сушки удалось достигнуть значения коэффициента полезного действия равного 59,4 % при удельных затратах на сушку 4232 кДж/кг.исп.вл.

Дальнейшее снижение удельных затрат на сушку до 3897 кДж/кг.исп.вл. при коэффициенте полезного действия сушилки равном 64,5 % получено при дополнительной утилизации отработавшего теплоносителя из камеры нагрева в сушильную зону, а также организации промежуточных зон отлежки для предотвращения перегрева зерна при его сушке. По сравнению с прямоточной зерносушилкой экономия тепла на сушку составила 23,8 %. Максимальные значения коэффициента полезного действия равные

74,0 % получены по результатам испытаний рециркуляционно-изотермических зерносушилок, в которых осуществляется предварительный нагрев зерна, утилизация отработавшего сушильного агента и охлаждающего воздуха при осциллирующих режимах сушки.

Как и при оценке удельных затрат тепла на сушку в прямоточных зерносушилках, в рециркуляционных зерносушилках метод двухстадийной сушки зерна для их сокращения также имеет большое значение. По результатам испытаний зерносушилки РД2х25-70 на зерне риса с выпуском из охладительной шахты нагретого до 37-42<sup>0</sup>С зерна, его отлежкой с дальнейшим активным вентилированием в силосах элеватора удельные затраты на сушку сократились на 28,2 % и составили 3670 кДж/кг. исп.вл., а коэффициент полезного действия сушилки 68,5 %, при этом производительность сушилки возросла на 40,8 %.

Из сравнения удельных энергозатрат шахтных прямоточных и рециркуляционных зерносушилок при различных способах сушки следует, что действующие зерносушилки могут достигнуть коэффициента полезного действия равного 74 - 80 %, однако на практике для большинства зерносушилок эти значения не реализуются.

Современные прямоточные высокотемпературные зерносушилки имеют, как правило, технические средства для утилизации охлаждающего и ненасыщенного сушильного агента и работают на газовом топливе без теплообменника при коэффициенте полезного действия сушилки 55-57 %. Рециркуляционные зерносушилки с камерами нагрева эффективны при подаче в сушильные зоны нагретого воздуха, утилизации теплоносителя выходящего из камеры нагрева и осциллирующих режимах сушки, при этом коэффициент полезного действия зерносушилок достигает 60-65 %.

### Выводы

1. Установлено, что степень утилизации теплоты, пошедшей на сушку зерна, существенно влияет на энергозатраты как прямоточных, так и рециркуляционных зерносушилок, может повысить их коэффициент полезного действия на 25-31%, и отражает современный уровень развития зерносушения. При этом, возможность применения различных способов экономии затрат на сушку определяется технико-экономическими расчетами при сопоставлении снижения затрат на сэкономленное топливо с ростом стоимости самой сушилки для их реализации. При использовании теплообменника для подогрева сушильного агента коэффициент полезного действия зерносушилок снижается на 5-8%.
2. Современные прямоточные блочно-модульные зерносушилки обеспечивающие съём влаги не более 4-5% имеют, как правило, простую конструкцию и высокую степень автоматизации, однако возможности утилизации теплотерь в них ограничены. Увеличение их производительности до 30-50т/ч приводит к существенному увеличению модулей по высоте, либо необходимости наращивания модулей в параллельном ряду, что не всегда удобно по условиям привязки при замене действующих зерносушилок.
3. Для климатических условий Российской Федерации, где средняя влажность сырого зерна составляет 22,5%, перспективным направлением следует считать развитие зерносушильной техники на базе современных способов интенсификации процесса сушки: применении предварительного нагрева и осциллирующих режимов сушки; утилизации теплоносителя, сушильного агента и охлаждающего воздуха; гибкой технологической схеме зерносушилок, в которых сочетаются прямоточная и рециркуляционная схемы движения зерна.

### Литература

1. Сорочинский В.Ф. Эффективный способ двухстадийной сушки зерна [Текст] //Комбикормовая промышленность,1996, №4.- с.17-18.
2. Lasseran J.C. New developments in energy preservation for maize drying. Maize: Recent Proqress in Chemistry and Technoloqy[Текст], New Jork, USA. – 1992. – pp.53-76.
3. Алейников В.И. Пути снижения удельных затрат топлива и электроэнергии при сушке зерна[Текст] // Обзорная информация: серия «Элеваторная промышленность». – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР. – 1979. – 70 с.
4. Бурдо О.Г., Воскресенська О.В., Донкоглов В.Н. Тенденції розвидку зерносушильної техніки[Текст] // Зернові продукти і комбикорми, 2006, № 2. – с.48-53.
5. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов[Текст].- М.: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.