

линейной скорости на концах молотков на производительность и энергоемкость, однако при этом мало изучено влияние передаточного отношения между вальцами, межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке на параметры процесса измельчения.

При этом также отсутствуют обобщенные зависимости производительности, энергоемкости, модуля помола, фракционного состава измельчения от факторов влияющих на процесс измельчения.

Литература

1. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных / Афанасьев В.А. [и др.] - Воронеж: ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт», 2007.-389 с.
2. Елисеев, В.А. Исследование процесса измельчения зерна ударом: дис. ...канд. тех. наук / В.А. Елисеев. – Воронеж, 1962. – 135с.
3. Дорофеев, Н.С. Исследование процесса двухстадийного измельчения зерна: дис. ... канд. тех. наук / Н.С. Дорофеев. – Воронеж, 1966. – 208с.
4. Сундеев, А.А. Исследование технологического процесса измельчения зерна кормов: дис....канд. тех. наук / А.А. Сундеев. – Воронеж, 1968. – 156с.
5. Балацкий, О.Т. Исследование процесса измельчения зернового и гранулированного сырья при производстве комбикормов для молодняка животных: дис. ... канд. тех. наук / О.Т. Балацкий. – Киев, 1979. – 171с.
6. Одегов, В.А. Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна / В.А. Одегов // Дисс. ... кон. тех. наук: 05.20.01 / Зон. Науч.- исслед. ин-т с/х Сев-Восточ. им Н.В. Рудского. – Киров, 2005. – 187с.
7. Шагдыров, И.Б. Технология и параметры многоступенчатых измельчителей фуражного зерна с внутренней сепарацией / И.Б. Шагдыров // Дисс. ... д. тех. наук: 05.20.01 / ФГБОУ ВПО «бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова». – Новосибирск, 2013.
8. Поярков, М.С. Совершенствование рабочего процесса молотковых дробилок с жалюзийными сепараторами при одно- и двухступенчатом измельчении зерна: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / М.С. Поярков. – Киров, 2001. – 253с.
9. Филинков, А.С. Повышение эффективности одно- и двухступенчатых дробилок зерна за счет совершенствования конструктивно-технологических схем: дис. ... канд. тех. наук / А.С. Филинков – Киров, 2002. – 226с.

УДК 664.723

СНИЖЕНИЕ РАСХОДОВ ТОПЛИВА ПРИ СУШКЕ ЗЕРНА И СЕМЯН

Цубанов А.Г., канд. техн. наук, доцент, Цубанов И.А.

(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)

В сельском хозяйстве Республики Беларусь работают около 3,2 тысяч зерноочистительно-сушильных комплексов (ЗСК) и около 1,3 тысяч отдельно установленных зерносушилок (ЗС). Около 50% зерносушилок, предусмотренных в составе ЗСК или отдельно установленных, эксплуатируются более 8 лет. Многие из них имеют срок эксплуатации более 15 лет и требуют замены и реконструкции.

Программой Правительства РБ на 2011–2015 годы запланировано строительство 796 новых ЗСК, а также модернизация и ремонт 741 действующих ЗС.

Сушка зерна и семян относится к энергоемким технологическим процессам. Из общего количества энергоресурсов, затраченных на производство зерна, прямые энергозатраты на очистку и сушку достигают 35%. Доля энергозатрат в себестоимости сушки зерна составляет 75-80%. Непроизводительные потери тепловой энергии при сушке могут достигать 50% и более.

Поэтому снижение расходов топлива в зерносушилках является одним из направлений энергосбережения в сельском хозяйстве, а разработка новых технологий и оборудования, снижающих энергозатраты на сушку, – актуальной проблемой, решение которой имеет особое значение для уменьшения себестоимости товарного зерна.

Из теплового баланса конвективной зерносушилки следует, что теплота, затраченная на нагрев сушильного агента (СА), расходуется на нагрев зерна, на компенсацию теплопотерь оборудования и воздухопроводов и удаляется из сушилки с отработавшим СА. Теплота, затраченная в сушилке непосредственно на испарение влаги из зерна, аккумулируется СА и уносится вместе с ним в атмосферу. Она не учитывается в тепловом балансе зерносушилки, но входит в состав полезно использованной теплоты при сушке и используется при расчете КПД зерносушилки.

Снижение расходов топлива при сушке достигается за счет тепловой изоляции оборудования и воздухопроводов, использования теплоты нагретого при сушке зерна и утилизации теплоты отработавшего СА [1,2].

Теплота нагретого зерна позволяет продолжить сушку зерна в процессе его охлаждения, при этом достигается снижение влажности зерна на 1–3%. С этой целью устанавливают дополнительные шахты охлаждения или вентилируемые бункера для увеличения продолжительности охлаждения зерна после сушки. В этом случае говорят о сушке по методу драйаэрации (сушить и вентилировать), суть которого заключается в применении сушки в сочетании с активным вентилированием и медленным охлаждением зерна в вентилируемых бункерах, охладителях или в хранилищах.

Большая часть потерь теплоты происходит с СА (воздухом), уже использованным при сушке и удаляемым из шахты (камеры) сушки. Теплота отработавшего СА составляет около 80% теплоты, израсходованной на сушку. Поэтому утилизацию теплоты отработавшего СА следует отнести к основным способам снижения расходов теплоты и топлива на сушку.

С этой целью предусматривают установку тепловых насосов и теплоутилизаторов, применяют рециркуляцию СА.

Перспективной представляется схема с рециркуляцией СА (воздуха), когда часть удаляемого из шахты (камеры или барабана) воздуха повторно используется при сушке. При этом не требуется дополнительное оборудование (теплоутилизаторы или тепловые насосы).

Республиканской программой строительства и модернизации комплексов и сушилок предусматривается переход к сушке подогретым воздухом, а не продуктами сгорания в смеси с воздухом. Это позволяет уменьшить расходы топлива на 3–7%, предотвратить воздействие канцерогенных веществ на зерно и получить экологически чистый продукт.

Характеризуя энергоэффективность ЗС, пользуются такими показателями как КПД, полезно использованная при сушке теплота и удельный расход топлива.

Следует отметить, что в литературе нередко в понятия КПД и полезно использованная теплота вкладывается разный смысл. Это приводит к противоречивым сведениям об энергоэффективности сушильного оборудования.

КПД конвективной зерносушилки при отсутствии рециркуляции сушильного агента (воздуха) следует определять как

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0}, \quad (1)$$

где t_1 и t_2 – температуры воздуха на входе и выходе сушильной камеры (шахты), °С;
 t_0 – температура наружного (атмосферного) воздуха, °С.

При наличии рециркуляции воздуха учитывают ее влияние на КПД зерносушилки

$$\eta_p = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0 - k(t_2 - t_0)}, \quad (2)$$

где k – коэффициент рециркуляции как отношение массы рециркулирующей части воздуха ко всей его массе.

Из уравнений (1) и (2) следует, что увеличение коэффициента рециркуляции сопровождается увеличением КПД. Однако коэффициент рециркуляции не может быть принят произвольно. Его значение однозначно определяется параметрами наружного воздуха, сушильного агента (воздуха) на входе и выходе зоны сушки, а также значением полезно использованной при сушке теплоты.

Полезно использованная при сушке теплота q_1 , кДж/кг, расходуется на испарение влаги из продукта в процессе сушки, на нагрев продукта и на компенсацию теплопотерь через стены сушильной камеры в окружающую среду:

$$q_1 = (r_0 + c_p t_2 - c_w t') + q_1' + q_1'' \quad (3)$$

где r_0 – теплота парообразования, кДж/кг;

c_p – удельная изобарная теплоемкость водяных паров, кДж/(кг·К);

c_w – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К);

t' – температура продукта при поступлении на сушку, °С;

q_1' и q_1'' – удельные расходы теплоты на нагрев зерна, а также в окружающую среду через стены сушильной камеры (шахты), кДж/кг.

Удельные расходы теплоты определены из расчета на 1 кг испаренной влаги непосредственно при сушке зерна.

При температурах воздуха не более 150 °С следует подставить числовые значения теплофизических параметров в уравнение (3):

$$q_1 = (2500 + 1,88t_2 - 4,2t') + q_1' + q_1'' \quad (4)$$

Очевидно, что полезно использованная теплота определяется тепловым режимом процесса сушки и работы сушильного оборудования и не зависит от наличия или отсутствия рециркуляции сушильного агента.

Удельный расход теплоты в зоне сушки на 1 кг испаренной влаги:

$$q = q_1 / \eta \quad (5)$$

Рассмотрим снижение расходов топлива при рециркуляции воздуха.

Исходя из уравнений (1), (2) и (5) нетрудно установить, что относительное снижение расходов теплоты и топлива непосредственно на сушку b за счет рециркуляции воздуха определяется следующей зависимостью:

$$b = k(1 - \eta) \quad (6)$$

Зависимость (6) позволяет сделать вывод, что нельзя надеяться на значительное снижение расходов топлива в сушильном оборудовании с высоким КПД. При сушке продовольственного зерна, когда $\eta \sim 0,7$ и $k \sim 0,5$, нельзя надеяться на снижение расходов топлива при сушке более чем на 15%. В то же время при сушке семенного зерна ($\eta \sim 0,5$ и $k \sim 0,6$) ожидаемое снижение расхода топлива может составить 30%.

Приведенные данные относятся к процессам сушки при повышенной влажности воздуха, когда его относительная влажность на выходе зоны сушки составляет 80%. Если допустимая влажность воздуха ограничена и относительная влажность отработавшего воздуха 50–60%, то и коэффициент рециркуляции, и возможности снижения расхода топлива уменьшаются в среднем в 1,5 раза.

Вопросы уменьшения расходов топлива при сушке зерна и семян должны рассматриваться в комплексе с выбором параметров теплового режима сушки.

Размеры экономии топлива при использовании рециркуляции воздуха определяются параметрами теплового режима сушки и работы конвективных зерносушилок. Действенным средством увеличения достигаемой экономии топлива является повышение влажности отработавшего СА до максимально возможного значения.

Возможность применения различных методов энергосбережения обосновывается

технико-экономическими расчетами с учетом снижения расходов топлива, стоимости топлива и повышения стоимости самой сушилки при реализации этих методов.

Литература

1. Данилов, О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке / О.Л. Данилов, Б.И. Леончик. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.
2. Синяков, А.Л. Энергосбережение в конвективных зерносушилках путем рециркуляции сушильного агента / А.Л. Синяков, И.А.Цубанов // Агропанорама, №5, 2009. – С.40-44.

УДК 637.12.04

**СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЛОЧНОГО ЖИРА
ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ МОЛОКА ПО МОЛОКОПРОВОДУ**

Костюкевич С.А., канд. с.-х. наук, доцент

(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)

Введение

Имеются многочисленные данные об изменении отдельных компонентов молока при транспортировке по молокопроводу. При этом решающее значение имеет протяженность молокопровода, его разводка и расположение конечной ветви. При длинном молокопроводе (135 м) без технологических подъемов над кормовыми проездами жирность молока составила 3,95–3,98%, что на 0,24–0,40% выше, чем при использовании короткого молокопровода [2].

Из всех видимых структурных элементов молока лучше других выявляются жировые шарики. Они находятся во взвешенном состоянии в водных растворах молока и в совокупности составляют в нем молочный жир, или самую крупную дисперсную эмульсионную систему. В 1 см³ натурального молока коровы насчитывается от 2 до 5 млрд. жировых шариков. Диаметр их колеблется в пределах от 0,5 до 20 мкм. Крупных жировых шариков (15–20 мкм) на каждое поле зрения микроскопа встречается 2–3. В основном диаметр жировых шариков равен 1–4 мкм.

Установлено, что крупные шарики (4–6 мкм) перемещаются в молоке вверх очень медленно – на несколько миллиметров в час. Жировой шарик диаметром 10 мкм за 24 часа поднимается только на 15 см, а шарик диаметром 2 мкм – на 0,6 см. При увеличении диаметра в 14 раз движение шариков ускоряется в 230 раз. Еще быстрее поднимаются кучки слипшихся жировых шариков [4].

Во время транспортировки молока по молокопроводу изменяются размеры и качество оболочек жировых шариков. При этом разрушаются оболочки шариков, дробятся белковые частицы, дисперсность их изменяется пропорционально дисперсности жира. При движении молока по молокопроводу происходит разрушение белковых оболочек жировых шариков, что приводит к увеличению дестабилизированного жира и свободных жирных кислот в молоке на 25–42 % или в 1,3–1,6 раза. Объясняется это следствием механического воздействия, в результате чего жировые шарики группируются в конгломераты, оседающие на внутренних стенках доильного оборудования [1; 3].

Многочисленными исследователями (И.П. Баранова, 1987; И.П. Баранова, П.Ф. Стариков, Н.Н. Голубцов, 1988; Е. Админ, Л. Лебедев, В. Федоров, 1988; А.Г. Атраментов, 1990) доказано, что устойчивое дисперсное состояние молочного жира характерно для первоначальной стадии его получения. В дальнейшем, при движении молока по молокопроводу происходит разрушение белковых оболочек жировых шариков. При этом оголенный жир слипается и оседает на внутренних стенках доильно-молочного оборудования, что приводит к снижению его количества в молоке [4; 5].

В последнее время для улучшения прохождения молока по молокопроводу, снижения потерь и дестабилизации основных компонентов молока применяют обработку