

2. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: справ. пособие / Л.Д.Богуславский и [др.]; под ред. Л.Д.Богуславского и В.И.Ливчака. – М.: Стройиздат. 1990.
3. Синяков, А.Л. Энергосбережение в конвективных зерносушилках путем рециркуляции сушильного агента /А.Л. Синяков, И.А.Цубанов // Агропарорама, №5, 2009. – С.40–44.
4. Жидко, В.И. Зерносушение и зерносушилки / В.И.Жидко, В.А.Резчиков, В.С.Уколов. – М.: Колос, 1982.

УДК 664.723

### ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СУШКИ ЗЕРНА ПРИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА

**Цубанов А.Г., к.т.н., доцент**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

#### **Введение**

Вопросы энергосбережения и снижения энергоемкости сельскохозяйственной продукции являются составляющими государственной политики в Беларуси. В настоящее время согласно Республиканской программе строительства и модернизации зерноочистительно-сушильных комплексов в Беларуси проводится работа по обновлению сушильного оборудования в сельском хозяйстве.

Особое значение придается снижению расходов топлива и энергии при сушке зерна. Совершенствование отечественного сушильного оборудования проводится в основном по двум направлениям: использование воздуха при сушке зерна и семян вместо газозвушной смеси; развитие зоны охлаждения, устройство охладительной шахты с целью уменьшения расходов теплоты в сушильной шахте.

Однако при этом применяются традиционные технологии сушки и не решаются проблемы уменьшения энергоемкости самого сушильного процесса.

Перспективной, с точки зрения снижения расходов топлива в зерносушилках, является технология сушки зерна при рециркуляции сушильного агента (СА) с целью повторного его использования при сушке.

Расчет рециркуляции СА и ее влияние на расходы топлива рассмотрены в работах [1-4]. Однако не дана методика расчета экономии топлива при использовании воздуха в качестве СА.

Трудно согласиться с исходным моментом при анализе рециркуляции СА, заключающимся в выборе (задании или принятии) коэффициента ре-

циркуляции [1-3]. В действительности коэффициент рециркуляции не может быть принят произвольно, он определяется в зависимости от заданных параметров теплового режима сушки [4].

Цель данной работы – установить влияние параметров сушки на снижение расходов топлива и предложить методику расчета экономии топлива в конвективных зерносушилках при рециркуляции СА.

### Основная часть

Исходя из поставленной задачи, были приняты исходные данные: температуры СА на входе и выходе камеры сушки, соответственно  $t_1$  и  $t_2$ , °С; температуру  $t_0$ , °С, и влагосодержание  $d_0$ , г/кг, атмосферного воздуха; разность добавлений и расходов теплоты  $\Delta$ , кДж/кг, в камере сушки; влагосодержание  $d_2$ , г/кг, отработавшего СА на выходе камеры сушки.

Величина  $\Delta$  характеризует внутренний тепловой баланс камеры сушки и используется при расчете параметра  $A$ , кДж/кг, определяющего полезно использованную при сушке теплоту:

$$A = 2500 + 1,88t_2 - \Delta.$$

Нами установлено, что относительная экономия топлива  $b$  в рассматриваемых условиях определяется коэффициентом рециркуляции и КПД конвективной зерносушилки:

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

где  $k$  – коэффициент рециркуляции;  $\eta$  – КПД конвективной зерносушилки.

Коэффициент рециркуляции характеризуется отношением массы рециркулирующей части СА ко всей его массе. Используя ранее предложенные уравнения [4], была получена зависимость:

$$k = \frac{A(d_2 - d_0) - (1010 + 1,88d_0)(t_1 - t_2)}{[A + 1,88(t_1 - t_2)](d_2 - d_0)}. \quad (2)$$

В формуле (2) учтено, что при сушке воздухом отсутствует увлажнение воздуха в процессе его нагрева.

КПД конвективной зерносушилки:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0}. \quad (3)$$

Таблица 1 – Исходные данные к расчету

Вариант	Температура, °С			$d_0$ , г/кг	$A$ , кДж/кг
	$t_1$	$t_2$	$t_0$		
1	150	47	5	3,5	3925
2	70	35	5	3,5	3925
3	70	35	5	3,5	4500

Таблица 2 – Результаты расчета

Параметры, единицы	Номер формулы	$\varphi_2, \%$				
		80	70	60	50	40
<b>Вариант 1</b>						
$d_2, \text{г/кг}$	–	58,8	50,8	43,1	35,5	–
$k$	(2)	0,49	0,415	0,31	0,16	–
$\eta$	(3)	0,71	0,71	0,71	0,71	–
$b$	(1)	0,14	0,12	0,09	0,045	–
<b>Вариант 2</b>						
$d_2, \text{г/кг}$	–	29,5	25,7	21,9	18,1	14,4
$k$	(2)	0,64	0,59	0,5	0,37	0,18
$\eta$	(3)	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
$b$	(1)	0,295	0,27	0,23	0,17	0,08
<b>Вариант 3</b>						
$d_2, \text{г/кг}$	–	29,5	25,7	21,9	18,1	14,4
$k$	(2)	0,69	0,635	0,56	0,45	0,27
$\eta$	(3)	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
$b$	(1)	0,315	0,29	0,26	0,21	0,12

Согласно зависимости (2) к увеличению экономии топлива приводит: увеличение влагосодержания СА на выходе камеры сушки; уменьшение влагосодержания атмосферного воздуха; уменьшение разности температур СА на входе и выходе камеры сушки; увеличение параметра А.

Из вышеперечисленных параметров только влагосодержание СА, уже отработавшего в камере сушки, и отчасти параметр А доступны для изменения и являются управляющими параметрами, позволяющими выполнить регулирование режима работы конвективных зерносушилок.

Методика расчета экономии топлива при рециркуляции СА в конвективных зерносушилках включает следующие этапы: определение коэффициента рециркуляции по уравнению (2); расчет КПД конвективной зерносушилки по формуле (3); вычисление относительной экономии топлива по формуле (1).

Особое значение при расчетах энергосбережения имеет влагосодержание отработавшего СА. Следует его принять исходя из условий обеспечения наибольшей экономии топлива и благоприятных для сушки условий.

При выборе влагосодержания отработавшего СА требуется учесть следующее: относительная влажность  $\varphi_2$  принимается не больше 80%; значение влагосодержания должно удовлетворять условию:

$$d_2 > \frac{Ad_0 + (1010 + 1,88d_0)(t_1 - t_2)}{A}$$

Предложенная методика была использована для расчета влияния влагосодержания отработавшего СА и параметра  $A$  на экономию топлива в конвективных зерносушилках. Исходные данные к расчету представлены в таблице 1. Результаты расчета приведены в таблице 2.

Увеличение коэффициента рециркуляции и снижение КПД зерносушилки приводит к увеличению экономии топлива при сушке. Именно этим объясняется большая экономия топлива в вариантах 2 и 3 по сравнению с вариантом 1.

При увеличении влажности отработавшего СА наблюдается заметное увеличение экономии топлива. Сдвиг процесса сушки в область более влажного СА всегда сопровождается большей экономией топлива при сушке. Влияние параметра  $A$  (величины  $\Delta$ ) на экономию топлива происходит в меньших размерах (варианты 2 и 3).

#### **Заключение**

Предложенная методика расчета экономии топлива при рециркуляции сушильного агента – воздуха в конвективных зерносушилках базируется на определении коэффициента рециркуляции и КПД зерносушилки.

Следует задаваться влагосодержанием отработавшего СА и при принятом его значении находить коэффициент рециркуляции и снижение расхода топлива.

Размеры экономии топлива однозначно определяются параметрами режима сушки и работы конвективных зерносушилок. Действенным средством увеличения достигаемой экономии топлива является повышение влажности отработавшего СА до максимально возможного значения. Нельзя надеяться на существенное уменьшение расхода топлива при большом КПД зерносушилки.

#### **Литература**

1. Данилов, О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке / О.Л. Данилов, Б.И. Леончик. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Кочетков, А.В. Снижение энергозатрат за счет совершенствования технологического процесса сушки рециркуляцией сушильного агента /А.В.Кочетков, Е.Г.Мигуцкий, В.А.Седнин //Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ), №1, 2010. – С.67-77.
3. Промышленные теплообменные процессы и установки /А.М. Бакластов, В.А.Горбенко, О.Л.Данилов и др.; Под ред. А.М.Бакластова. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Синяков, А.Л. Энергосбережение в конвективных зерносушилках путем рециркуляции сушильного агента /А.Л. Синяков, И.А.Цубанов // Агропорнама, №5, 2009. – С.40-44.