

часов после начала исследования, так как энергия прорастания на 38% превышает контрольное значение, среднее количество корешков на 52%, а средняя длина корешков на 19%.

А также, предлагаемый способ увеличивает амилолитическую активность солода. Наиболее значительно это заметно при обработке ячменя перед замачиванием, так как содержание мальтозы через 72 часа после начала солодоращения составляет в среднем 306,5ед./г., а через 96 часов – 424ед./г., что соответствует амилолитической активности светлого и темного солода соответственно. А содержание мальтозы в контрольном образце ни через 72 часа – 243,32, ни через 96 часов – 283ед/г. Из чего можно сделать выводы, что переменное неоднородное электрическое поле высокой напряженности действительно оказывает влияние на амилолитическую активность солода и позволяет сократить сроки солодоращения в среднем на 40%.

### **Литература**

1. Хорунжина С.В. Биохимические и физико-химические основы технологии солода и пива. – М.: Колос, 1999. – 312 с.: ил. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
2. Электротехнология/ В.А. Карасенко, Е.М. Заяц, А.Н. Баран, В.С. Корко. – М.: Колос, 1992.
3. В.А. Пашинский. Стимулирование прорастания пивоваренного ячменя. / В.А. Пашинский, О.В. Бондарчук // Агропанорама, №6, 2008. – С. 26-29.
4. Косминский Г.И. Технология солода, пива и безалкогольных напитков. Лабораторный практикум по техническому контролю производства. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998.

**УДК 664.723**

## **К ВОПРОСУ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ ЗЕРНА И СЕМЯН С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА**

**Цубанов А.Г., к.т.н., доцент**

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

### **Введение**

Технология сушки зерна и семян с утилизацией теплоты сушильного агента (СА) является одним из методов снижения расходов топлива в конвективных зерносушилках. Утилизация теплоты СА предполагает предварительный подогрев наружного атмосферного воздуха, используемого затем в процессе сушки [1]. При этом устанавливается теплоутилизатор (ТУ), в котором организуется теплообмен между отработавшим СА и

наружным атмосферным воздухом. Первой ступенью подогрева воздуха является ТУ, второй – основной воздухоподогреватель, предназначенный для получения СА заданной температуры.

Однако остаются открытыми вопросы о перспективах и возможностях такой технологии сушки зерна, о достигаемых размерах энергосбережения и требуемой при этом эффективности используемых ТУ. Задача данной работы – дать ответы на эти вопросы.

### **Основная часть**

Перспективы технологии сушки с утилизацией теплоты СА неразрывно связаны с достигаемой экономией топлива.

Исходными данными к решению поставленной задачи являются параметры теплового режима сушки: температура СА на входе и выходе камеры сушки, соответственно  $t_1$  и  $t_2$ , °С; температура  $t_0$ , °С, и влагосодержание  $d_0$ , г/кг, наружного атмосферного воздуха.

Ключевой вопрос при рассмотрении энергосбережения в данном случае – это определение температуры подогретого воздуха на выходе ТУ. Эта температура не может больше температуры отработавшего СА на выходе зоны (камеры) сушки. При этом она зависит от коэффициента эффективности работы ТУ.

Температура подогретого воздуха на выходе ТУ не должна быть больше значения, определяемого:

– условиями организации теплообмена в ТУ

$$t_3' = t_2 - \Delta t, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  – минимальный температурный напор в ТУ, °С;

– условиями эффективности работы ТУ

$$t_3'' = t_0 + E_t(t_2 - t_0), \quad (2)$$

где  $E_t$  – температурный коэффициент эффективности ТУ как теплообменника [2].

Из двух расчетных значений температуры по уравнениям (1) и (2) принимается меньшее значение.

Выбор температуры подогретого воздуха на выходе ТУ является технико-экономической задачей. На одной стороне технико-экономического анализа – достигаемая экономия топлива, а на другой – капитальные и эксплуатационные затраты при сооружении и использовании теплоутилизационной установки. Минимальный температурный напор во многом определяет габариты и материалоемкость ТУ и его необходимо принимать в пределах от 5 до 15 °С. При расчетах в первом приближении допустимо пользоваться температурным коэффициентом эффективности ТУ в пределах от 0,35 до 0,7. Было установлено, что удельный расход теплоты при испарении 1 кг влаги из продукта в процессе сушки составляет:

– при отсутствии утилизации теплоты СА

$$q_1 = A \frac{t_1 - t_0}{t_1 - t_2},$$

где  $A$  – параметр, характеризующий процесс сушки, кДж/кг, [3];

– при утилизации теплоты СА

$$q_2 = A \frac{t_1 - t_3}{t_1 - t_2}.$$

В таком случае относительное снижение расхода топлива при эксплуатации зерносушилок за счет утилизации теплоты отработавшего СА:

$$b = \frac{t_3 - t_0}{t_1 - t_0} = 1 - \eta - \frac{\Delta t}{t_1 - t_0}, \quad (3)$$

где  $\eta$  – КПД конвективной зерносушилки:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0}. \quad (4)$$

Достигаемая экономия топлива всецело определяется параметрами теплового режима сушки и коэффициентом эффективности ТУ или минимальным температурным напором в ТУ. Чем меньше КПД зерносушилки и минимальный температурный напор, тем больше размер энергосбережения.

При охлаждении отработавшего СА происходит фазовый переход в виде конденсация водяных паров, входящих в состав СА. Поэтому, характеризуя эффективность ТУ долей его действительной тепловой мощности от максимально возможной, следует использовать энтальпийный коэффициент эффективности:

$$E_h = \frac{h_3 - h_0}{h_2 - h_0}, \quad (5)$$

где  $h_3$ ,  $h_0$  и  $h_2$  – энтальпия подогретого (на выходе ТУ) воздуха, наружного воздуха и отработавшего СА, кДж/кг.

Именно энтальпийный коэффициент эффективности в полной мере характеризует энергоэффективность работы ТУ.

Для расчета энтальпии воздуха в зависимости от его температуры и влагосодержания было использовано известное уравнение [4]. При этом влагосодержание подогретого воздуха  $d_3$ , г/кг, и воздуха на выходе воздухоподогревателя  $d_1$ , г/кг, было принято равным влагосодержанию наружного воздуха  $d_0$ , г/кг.

Влагосодержание отработавшего СА, г/кг, [3]:

$$d_2 = d_1 + \frac{(1010 + 1,88d_1)(t_1 - t_2)}{A}. \quad (6)$$

**Секция 2: Перспективные технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства**

Расчеты были выполнены для типовых режимов сушки зерна и семян (таблица).

Таблица — Результаты расчетов

Параметры, единицы	Источник, формула	Вариант			
		1	2	3	4
$t_1, ^\circ\text{C}$	Принято	150	70	60	60
$t_2, ^\circ\text{C}$	Принято	47	35	35	30
$t_0, ^\circ\text{C}$	Принято	5	5	5	5
$d_0, \text{г/кг}$	Принято	3,5	3,5	3,5	3,5
$A, \text{кДж/кг}$	Принято	3925	3800	3800	3800
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Принято	7	7	7	7
$t_3', ^\circ\text{C}$	(1)	40	28	28	23
$E_t$	Принято	0,6	0,6	0,6	0,6
$t_3'', ^\circ\text{C}$	(2)	30,2	23	23	20
$t_3, ^\circ\text{C}$	Принято	30,2	23	23	20
$d_2, \text{г/кг}$	(6)	30,2	12,9	10,2	11,5
$E_h$	(5)	0,23	0,33	0,38	0,33
$\eta$	(4)	0,71	0,54	0,45	0,545
$b$	(3)	0,17	0,28	0,33	0,27

Анализ данных показывает, что ожидаемая экономия топлива оказывается достаточно большой (от 17 до 33%). Однако не следует забывать о том, что внедрение утилизации теплоты отработавшего СА сопровождается значительными капитальными затратами на сооружение теплоутилизационной установки. Требуется установить не только теплоутилизатор, но и фильтр-обеспыливатель, и дополнительный вентилятор по потоку отработавшего СА.

### Заключение

Несмотря на значительный эффект энергосбережения при рассматриваемой технологии сушки зерна и семян окончательное заключение о целесообразности ее применения может быть сделано путем составления технико-экономического обоснования.

Особое значение приобретает сопоставление утилизация теплоты с рециркуляцией отработавшего СА. Преимущества утилизации теплоты состоят в возможности использования сушильного агента с меньшей влажностью, что способствует сокращению продолжительности сушки. Однако утилизация теплоты потребует больших капитальных затрат.

### Литература

1. Данилов, О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке / О.Л. Данилов, Б.И. Леончик. –М.: Энергоатомиздат, 1986.

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-