

**Введение**

Теоретические исследования и практическая эксплуатация шахтных зерносушилок показывают, что параметры шахты и производительность ее выгрузного устройства существенным образом влияют на выработку всей зерносушилки [1, 2]. Они являются основными показателями, определяющими ее техникий уровень и основные конструктивно-технологические параметры. Обоснованное теоретическое определение этих параметров в зависимости от условий и обрабатываемой культуры позволяет разработать оптимальную по технико-экономическим показателям конструкцию зерносушилки.

**Основная часть**

Теоретический расчет параметров зерносушилки проводится на основе теплового и массового балансов высушиваемого зерна, агента сушки и охлаждающего воздуха. Основной задаваемый исходный параметр зерносушилки – производительность в плановых тоннах. В соответствии с требуемой производительностью определяются основные параметры шахтного модуля (сушильной емкости), выгрузного устройства, воздухонагревателя и вентиляторов. Производительность зерносушилки определяется следующей зависимостью:

$$G_{\text{пл.т}} = G_0 K_W K_K K_H / \tau_c,$$

где  $G_0$  – вес партии зерна до сушки,  $t$ ;

$K_W$  – безразмерный коэффициент, определяющийся в зависимости от начальной и конечной влажности зерна;

$K_K$  – безразмерный коэффициент, учитывающий вид высушиваемой культуры;

$K_H$  – безразмерный коэффициент, учитывающий назначение высушиваемого зерна;

$\tau_c$  – время сушки партии зерна,  $ч$ .

Коэффициенты  $K_W$ ,  $K_K$  и  $K_H$  определяются на основе экспериментально установленных табличных данных [3, 4].

Выработка зерносушилки по фактическому физическому объему высушенного зерна будет равна:

$$G_0 = \frac{G_{\text{пл.т}}}{K_W K_K K_H \tau_c}.$$

В процессе сушки влагосодержание зерна и агента сушки изменяется вследствие соответствующего перемещения влаги. Исходя из закона сохранения вещества, в зависимости от количества исходного или высушенного зерна количество испаренной влаги определится согласно выражению:

$$m_{w_3} = G_0 \frac{w_{30} - w_{3K}}{100 - w_{3K}} = G_K \frac{w_{30} - w_{3K}}{100 - w_{30}},$$

где  $w_{30}$  и  $w_{3K}$  – влажность зерна соответственно до и после сушки, %.

В процессе сушки испаряемая из зерна влага захватывается агентом сушки, вызывая повышение его влагосодержания. Следовательно, уравнение баланса влаги для сушильного модуля может быть представлено в следующем виде:

$$G_0 \frac{w_{30}}{100} + m_{ac} \frac{d_0}{1000} = G_0 \frac{w_{3K}}{100} + m_{ac} \frac{d_K}{1000},$$

где  $m_{ac}$  – масса использованного агента сушки, кг;

$d_0$  и  $d_K$  – влагосодержание агента сушки до и после сушки.

Разность величины влаги в зерне до начала и после окончания процесса сушки является производительностью зерносушилки по испаряемой влаге. Тогда она будет определяться согласно следующему выражению:

$$m_{w_3} = m_{ac} \frac{d_K - d_0}{10},$$

а фактический физический объем высушенного зерна будет равен:

$$G_0 = \frac{m_{ac}(d_K - d_0)}{10(w_{30} - w_{3K})}.$$

В свою очередь, расход сухого воздуха будет равен:

$$Q_L = \frac{10G_0(w_{30} - w_{3K})}{\rho_{ac}(d_K - d_0)\tau_c},$$

где  $\rho_{ac}$  – плотность агента сушки, кг/м<sup>3</sup>.

Оптимальные параметры режима сушки, обеспечивающие максимальную производительность зерносушилки, достигаются при минимальных затратах тепла. Уравнение теплового баланса сушильного модуля определяется согласно следующей зависимости:

$$m_{ac}h_0 + Q_{кал} + G_0 c_3 T_{30} = m_{w_3} c_v (100 - T_{30}) + m_{w_3} r_0 + m_{ac} h_K + G_0 c_3 T_{3K} + Q_{потери}, \quad (1)$$

где  $h_0$  и  $h_K$  – удельная энтальпия агента сушки до и после сушки, кДж/кг;

$c_3$  и  $c_v$  – удельная теплоемкость соответственно зерна и воздуха, Дж/(кг·К);

$Q_{кал}$  – теплота, выработанная воздухоподогревателем за время сушки, кДж;

$T_{30}$  и  $T_{3K}$  – температура зерна до и после выхода из сушилки, К;

$r_0$  – удельная теплота парообразования, Дж/кг;

$Q_{\text{потери}}$  – потери тепла при сушке, *кДж*.

Из выражения (1) определяется величина теплоты, которую должен сообщать воздухонагреватель (калорифер) агенту сушки. Для учета тепловых потерь в окружающую среду на нагрев элементов и механизмов сушилки в выражение вместо  $Q_{\text{потери}}$  введен тепловой коэффициент полезного действия зерносушилки  $\eta_Q$ . Тогда теплота, вырабатываемая воздухонагревателем для обеспечения процесса сушки, будет равна:

$$Q_{\text{кал}} = [m_{\text{ac}}(h_{\text{К}} - h_0) + G_0 c_3 (T_{\text{зк}} - T_{30}) + m_{W_3} c_{\text{в}} (100 - T_{30}) + m_{W_3} r_0] / (\eta_Q).$$

Удельный расход тепла на испарение 1 кг влаги соответственно определится:

$$q_T = Q_{\text{кал}} / m_{W_3} = [m_{\text{ac}}(h_{\text{К}} - h_0) + G_0 c_3 (T_{\text{зк}} - T_{30}) + m_{W_3} c_{\text{в}} (100 - T_{30}) + m_{W_3} r_0] / (\eta_Q m_{W_3}).$$

С другой стороны, удельный расход тепла может быть определен в зависимости от скорости сушки и параметров агента сушки. При прочих равных условиях производительность зерносушилки обратно пропорциональна необходимому времени сушки и прямо пропорциональна скорости сушки в первом периоде. Таким образом, необходимая теплопроизводительность воздухонагревателя для зерносушилки с учетом удельного расхода тепла  $q_T$  будет равна:

$$Q_{\text{кал}} = G_0 q_T \frac{W_{30} - W_{\text{зк}}}{100 - W_{\text{зк}}}. \quad (2)$$

Кроме того, количество тепла, необходимого для сушки, определяется также согласно выражению:

$$Q_{\text{кал}} = Q_L (h_{\text{ac}} - h_A),$$

где  $h_A$  – удельная энтальпия воздуха, *кДж/кг*;

$Q_L$  – масса поданного агента сушки, *кг*.

У большинства известных зерносушилок температура агента сушки составляет 70...150 °С, а удельный расход тепла – 740...810 *ккал/кг* испаренной влаги. Поэтому на основании зависимости (11) производительность зерносушилки определяется в первую очередь интенсивностью подвода тепла в зерновую массу. Увеличение объема подводимого тепла может быть осуществлено двумя путями: путем повышения количества подаваемого агента сушки или увеличения продолжительности процесса сушки. Эффективный путь решения данной проблемы – перевод охлаждающей зоны в сушильную и вынос процесса охлаждения за пределы сушильного модуля. Процесс охлаждения позволяет значительно снизить температурные напряжения в зерне, выровнять температуру высушенной зерновой массы и обеспечить условия длительного хранения зерна. Эффективность охлаждения зерна после сушки может быть оценена коэффициентом, определяемым согласно выражению:

$$\eta_{\text{охл}} = \frac{c_3 m_{3K} (T_3 - T_0)}{c_{\text{ac}} m_{\text{ac}} (T_{\text{ac}} - T_0)},$$

где  $c_{\text{ac}}$  – удельная теплоемкость агента сушки, Дж/(кг·К);

$T_3$  – температура зерна, К;

$T_0$  – температура наружного воздуха, К;

$T_{\text{ac}}$  – температура агента сушки, К.

Коэффициент эффективности охлаждения высушенного зерна зависит от большого количества различных факторов, однако необходимо обеспечивать в процессе охлаждения следующие условия: температура зерна после охладительной камеры не должна превышать температуру окружающего наружного воздуха более чем на 5...10 °С, кроме того, эта температура не должна быть ниже 0 °С. Число подводящих и отводящих коробов в шахтном модуле определится на основе требуемой подачи агента сушки:

$$n_K = \frac{2Q_L}{(F_{\text{под}} - F_{\text{отв}})v_{\text{ac}}}, \quad (3)$$

где  $F_{\text{под}}$  и  $F_{\text{отв}}$  – площадь сечения подводящего и отводящего коробов, м<sup>2</sup>;

$v_{\text{ac}}$  – скорость агента сушки, м/с.

Тогда необходимая вместимость зерносушильного модуля будет равна:

$$E_c = \frac{G_0}{\tau_c \rho_{\text{нп}}} + K_{\text{призм}} F_K l_K n_{Kp}, \quad (4)$$

где  $K_{\text{призм}}$  – коэффициент, учитывающий объем призм под коробами, которые не заполняются зерном;

$\rho_{\text{нп}}$  – насыпная плотность зерна, кг/м<sup>3</sup>;

$F_K$  – площадь сечения короба, м<sup>2</sup>;

$l_K$  – длина короба, м.

$n_{Kp}$  – число коробов, шт.

Высота сушильного модуля соответственно определится на основе его вместимости:

$$H_{\text{см}} = \frac{E_c}{F_K l_K n_{Kp}}. \quad (5)$$

Для обеспечения надежного протекания процесса сушки производительность выгрузного устройства должна быть равна:

$$q_{\text{выгр}} = \frac{G_0}{\tau_c}. \quad (6)$$

Вентиляционные системы современных зерносушилок ориентированы на применение высокопроизводительных и экономичных вентиляторов (КПД 0,7...0,8) при сравнительно невысоких удельных давлениях (500...750 Па) и значительных удельных подачах сушильного агента.

## Выводы

Для обеспечения высоких технико-экономических показателей при сушке зерна конструкция шахты и выгрузного устройства зерносушилки должна быть рассчитана согласно выражениям (3), (4), (5) и (6). Кроме того, охладительная зона должна быть вынесена за пределы сушильного модуля.

18.08.2014

## Литература

1. Мальтри, В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. Мальтри, Э. Петке, Б. Шнайдер; сокр. пер. с нем.: В.М. Комиссаров, Ю.Л. Фрегер; под. ред. В.Г. Евдокимова. – М.: Машиностроение, 1979. – 525 с.
2. Шаршунов, В.А. Сушка и хранение зерна: справочное пособие / В.А. Шаршунов, Л.А. Рукшан. – Минск: Мисанта, 2010. – 587 с.
3. Типовые рекомендации по подбору и замене топочных агрегатов зерносушилок в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь / А.Н. Рубаник [и др.]. – Минск, 2004. – 34 с.
4. Гормошин, Н.А. Теплообмен в зерновой массе при линейном начальном распределении температуры по толщине слоя / Н.А. Гормошин, В.А. Рыбарук, О.П. Поплевин / М.: Научно-технический бюллетень ВИМ, 1982. – Вып. 51. – С. 31–35.

УДК 62–523:621.316.71

**И.Б. Луцкы**

*(Тернопольский национальный педагогический университет им. В. Гнатюка, г. Тернополь, Украина)*

## **ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ЗЕРНА**

### Введение

Одной из основных проблем электротехнологических комплексов зерноскладов является их высокая энергоёмкость. По сравнению с научно обоснованными нормами эти затраты выше в среднем на 30 % [1]. Технологическим приемом, который обеспечивает существенное снижение энергии в области зернохранения, является активное вентилирование.

Расчет энергосберегающих режимов вентилирования должен основываться на детальном анализе процесса хранения зерна и факторов, являющихся решающими в определении параметров работы системы. Ведь в зерновой насыпи в период хранения происходит целый комплекс взаимосвязанных явлений, в том числе самосогревание, размножение насекомых-вредителей [2].

Для усовершенствования существующих электротехнологических комплексов активного вентилирования зерноскладов актуальным является установление взаимосвязей между параметрами режимов вентили-