

УДК 631.365

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЯ ШАХТНОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ

В.П. Чеботарев,

зав. каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, докт. техн. наук, доцент

*В статье изложено обоснование и методика расчета основных параметров модуля шахтной зерносушилки.*

*Ключевые слова: зерносушилка, шахта, выгрузное устройство, агент сушки, воздухоподогреватель.*

*The article deals with substantiation and a technique for calculating the main parameters of the module of the grain dryer.*

*Keywords: grain dryer, mine, unloading device, drying agent, air heater.*

### 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 технико-экономические параметры. Обоснованное теоретическое определение этих параметров в зависимости от условий и обрабатываемой культуры позволяет разработать оптимальную по технико-экономическим показателям конструкцию зерносушилки.

Целью настоящей работы является определение параметров модуля шахтной зерносушилки и коробов для подвода и удаления агента сушки.

### 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, воздухоподогревателя и вентиляторов. Производительность зерносушилки определяется следующей зависимостью:

$$G_{пл.м} = G_0 K_W K_K K_H / \tau_c, \quad (1)$$

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

$K_W$  – 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 весу высушенного зерна будет равна:

$$G_0 = G_{пл.т} \tau_c / K_W K_K K_H. \quad (2)$$

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

$$m_{w_3} = G_0 \frac{w_{30} - w_{3к}}{100 - w_{3к}} = G_K \frac{w_{30} - w_{3к}}{100 - w_{30}}, \quad (3)$$

где  $w_{30}$  и  $w_{3к}$  – 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:

$$G_0 \frac{w_{30}}{100} + m_{ac} \frac{d_0}{1000} = G_0 \frac{w_{3к}}{100} + m_{ac} \frac{d_k}{1000}, \quad (4)$$

где  $m_{ac}$  – масса использованного агента сушки, кг;  
 $d_0$  и  $d_k$  – влагосодержание агента сушки до и после сушки, г/кг.

Разность величины влаги в зерне до начала и после окончания процесса сушки является производительностью зерносушилки по испаряемой влаге. Она определяется согласно следующему выражению:

$$m_{w_3} = m_{ac} \frac{d_k - d_0}{10}, \quad (5)$$

а фактический вес высушенного зерна будет равен:

$$G_0 = \frac{m_{ac} (d_k - d_0)}{10(w_{30} - w_{3к})}. \quad (6)$$

В свою очередь, расход сухого воздуха будет равен:

$$Q_L = \frac{10G_0(w_{30} - w_{3K})}{\rho_{ac}(d_K - d_0)\tau_c}, \quad (7)$$

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

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

$$m_{ac} h_0 + Q_{кал} + G_0 c_3 T_{30} = m_{W_3} c_6 (100 - T_{30}) + m_{W_3} r_0 + m_{ac} h_K + G_0 c_3 T_{3K} + Q_{потери}, \quad (8)$$

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

$c_3$  и  $c_6$  – удельная теплоемкость соответственно зерна и воздуха, Дж/(кг К);

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

$T_0$  и  $T_K$  – температура зерна до и после выхода из сушилки, К;

$Q_{потери}$  – потери теплоты при сушке, кДж;

$r_0$  – удельная теплота парообразования, кДж/кг.

Из выражения (8) 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  $Q_{потери}$  введен тепловой коэффициент полезного действия зерносушилки  $\eta_Q$ . Тогда теплота, вырабатываемая воздухонагревателем для обеспечения процесса сушки, будет равна:

$$Q_{кал} = \frac{1}{\eta_Q} (m_{ac}(h_K - h_0) + G_0 c_3 (T_{3K} - T_{30}) + m_{W_3} c_6 (100 - T_{30}) + m_{W_3} r_0). \quad (9)$$

Удельный расход теплоты на испарение 1 кг влаги соответственно определится:

$$q_T = \frac{Q_{кал}}{m_{W_3}} = \frac{1}{\eta_Q m_{W_3}} (m_{ac}(h_K - h_0) + G_0 c_3 (T_{3K} - T_{30}) + m_{W_3} c_6 (100 - T_{30}) + m_{W_3} r_0). \quad (10)$$

С другой стороны, удельный расход теплоты 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 теплоты  $q_T$ , будет равна:

$$Q_{кал} = G_0 q_T \frac{W_{30} - W_{3K}}{100 - W_{3K}}. \quad (11)$$

Кроме того, количество теплоты, необходимое для сушки, определяется также согласно следующему выражению:

$$Q_{кал} = Q_L (h_0 - h_A), \quad (12)$$

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

$Q_L$  – масса поданного агента сушки, кг.

У большинства известных зерносушилок температура агента сушки составляет 70 ... 150 °С, а удельный расход теплоты – 740...810 ккал/кг испаренной влаги. На процесс сушки расходуется 75... 90 кВт тепловой энергии на плановую тонну высушенного зерна [5]. Поэтому на основании зависимости (11) производительность зерносушилки определяется в первую очередь интенсивностью подвода теплоты в зерновую массу. Увеличение объема подводимой теплоты может быть осуществлено двумя путями: повышением количества подаваемого агента сушки или увеличением продолжительности процесса сушки. Эффективный путь решения данной проблемы – перевод охлаждающей зоны в сушильный 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:

$$\eta_{охл} = \frac{c_3 m_{3K} (T_3 - T_0)}{c_{ac} m_{ac} (T_{ac} - T_0)}, \quad (13)$$

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

$T_{ac}$  – 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 охлаждающей 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:

$$n_K = \frac{2Q_L}{(F_{под} + F_{отв})v_{ac}}, \quad (14)$$

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

Тогда необходимая вместимость зерносушильного модуля будет равна:

$$E_c = \frac{G_0}{\tau_c \rho_{нп}} + K_{призм} F_K l_K n_K, \quad (15)$$

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

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

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

$l_K$  – длина короба, м.

Высота сушильного модуля соответственно определится на основе его вместимости:

$$H_{см} = (E_c - F_K l_K n_K (1 + K_{призм})) / l_K (S_{кр} + H_K) \cdot (B_K + S_K), \quad (16)$$

где  $H_k$  – высота короба, м;  
 $S_{кр}$  – шаг расстановки рядов коробов, м;  
 $S_k$  – шаг расстановки коробов в ряду, м;  
 $B_k$  – ширина короба, м;

Производительность выгрузного устройства, для обеспечения надежного протекания процесса сушки, должна быть равна

$$q_{выгр} = \frac{G_0}{\tau_c} \quad (17)$$

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. На каждую плановую тонну высушенного зерна должно использоваться 3500...4000 м<sup>3</sup> агента сушки [5].

#### **Заключение**

Для обеспечения высоких технико-экономических показателей при сушке зерна конструкция шахты зерносушилки должна определяться: параметрами коробов – длиной, шириной и высотой, а также шагом расстановки коробов в ряду и рядов коробов в сушильном модуле. В процессе сушки на плановую тонну высушенного зерна должно расходоваться 75... 90 кВт·ч тепловой энергии. Кроме того, охладительная зона должна быть вынесена за пределы сушильного модуля, а высвободившаяся часть модуля должна использоваться для сушки зерна. Рав-

номерно распределенная подача агента сушки на весь объем модуля шахты зерносушилки должна осуществляться на уровне 3500... 4000 м<sup>3</sup> на плановую тонну высушенного зерна.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мальтри, В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. Мальтри, Б. Петке, 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: справоч. пособие / В.А. Шаршунов, Л.А. Рукшан. – Мн.: Мисанта, 2010. – 587 с.
3. Типовые рекомендации по подбору и замене топочных агрегатов зерносушилок в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь / А.Н. Рубаник [и др.]. – Мн., 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 // Научно-технический бюллетень ВИМ. – 1982. – Вып. 51. – С. 31- 35.
5. Чеботарев, В.П. Сушка зерна. Теория, расчет, эксперимент / В.П. Чеботарев, И.В. Чеботарев. – Мн.: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – 520 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.10.2017

**“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.**

**Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).**

**Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.**

**Стоимость подписки на 1-е полугодие 2018 года: для индивидуальных подписчиков - 18,30 руб., ведомственная подписка - 19,89 руб.**