

УДК 664.723

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ  
СУШКИ ЗЕРНА В МОБИЛЬНОЙ  
ЗЕРНОСУШИЛКЕ

докт.техн.наук А.В. Голубкович,  
канд.техн.наук С.А. Павлов ГНУ ВИМ,  
И.Д. Лукин инженер,  
М.Ф.Машковцов канд.техн.наук  
Кировская МИС

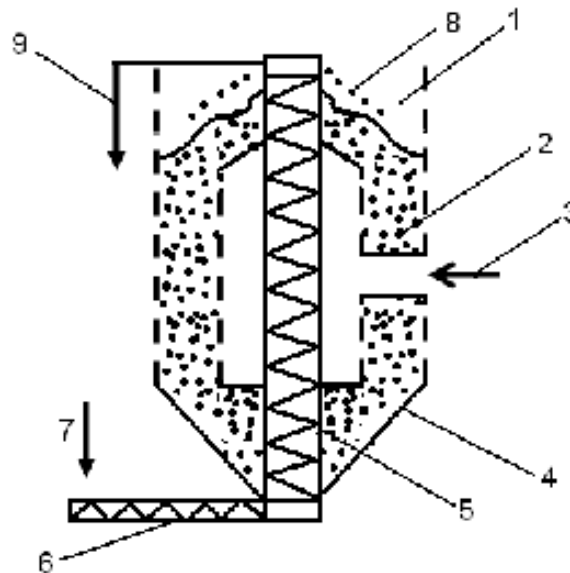
Сушку семян и зерна в сельском хозяйстве в основном ведут при постоянной температуре агента сушки. Однако при этом температура зерна быстро возрастает и достигает предельно допустимых значений, в то время как его влажность не достигает кондиционной. Это обстоятельство вынуждает использовать агент сушки с пониженной температурой. В противном случае снижаются качественные показатели зерна.

Использование осциллирующих режим сушки (попеременная подача высоко-и низкотемпературного агента сушки, например наружного воздуха) позволяет повысить эффективность сушки по сравнению с постоянной температурой.

Целью настоящей работы является расчет параметров осциллирующей сушки циркуляционных (периодического действия) сушилок. Эти сушилки и сопутствующие им технологии широко распространены в сельском хозяйстве – подавляющее большинство шахтных и колонковых зерносушилок на зерне повышенной влажности работают по циркуляционным технологиям, т.е. «сами на себя». Так же по этой технологии работают мобильные зерносушилки.

Технология осциллирующей сушки в мобильной зерносушилке следующая: заполняют зерном сушильную камеру и над и подсушильные бункеры, включают вертикальный шнек и зерно приходит в движение, а в су-

шильную камеру подают попеременно агент сушки и наружный воздух (рис 1).



#### Схема мобильной зерносушилки

1 – надсушильный бункер, 2 – сушильная камера, 3 – агент сушки, 4 – подсушильный бункер, 5 – вертикальный шнек, 6 – загрузочный шнек, 7 – влажное зерно, 8 – циркулирующее зерно, 9 – высушенное зерно.

Зерно в надсушильном бункере отлеживается, при этом перераспределяются в зерновках и в слое влага и температура. При поступлении зерна в сушильную камеру на него поочередно воздействуют подогретым и неподогретым агентом сушки.

Определим длительности периодов нагрева  $\tau_{\text{н}}$ , охлаждения  $\tau_{\text{ох}}$ , нахождения зерна в сушильной камере  $\tau_{\text{ц}}$  и минимальную высоту надсушильного бункера  $H$  в зависимости от производительности.

Отношение периодов нагрева  $\tau_n$  и охлаждения  $\tau_{ох}$  материала для осциллирующей сушки при одном и том же состоянии слоя – плотном или псевдооживленном, как правило принимают равным единице, чтобы с одной стороны не перегреть материал, а с другой – избежать необоснованных потерь тепла. Однако при достаточно длительной отлежке влага из ядра зерновок перемещается в оболочки и легко испаряется в сушильной камере при воздействии на зерно подогретым агентом сушки. Температура зерна при этом (изотермическая сушка) не только не повышается, но даже может быть несколько снижена [1].

Отлежка способствует повышению коэффициента диффузии и скорости контактного тепловлагообмена и в конечном счете к увеличению отношения  $\tau_n/\tau_{ох} = n$ .

Величину  $n$  можно приближенно оценить следующим образом: известно, что из 100% теплоты, затраченной на сушку зерна ~ 15% теплоты составляют потери на перемещение влаги внутри зерновки, которыми при отлежке можно пренебречь т.е на эти ~ 15 % можно увеличить  $\tau_n$  [2]. Установлено, что при отлежке происходит контактный перенос влаги между подсушенным и влажным зерном, которая не успевает проникнуть за время отлежки в ядро и испаряется из оболочки как свободная, со скоростью ~ 1%/ч также без повышения температуры зерна [3]. За время отлежки в 20...30 мин это количество теплоты, которым можно пренебречь составит ~ 10 %.

Таким образом для зерна с влажностью равной и более гигроскопичной ( $W \geq 21\%$ )  $n \approx 1,15 + 0,1 \approx 1,25$ , а для зерна с  $W < 21\%$ , когда контактным переносом можно пренебречь  $n \approx 1,15$ .

Длительность прохождения материала в сушильной камере составит

$$\tau_k = \frac{G_k}{\Pi_{ш}}, \quad (1)$$

где  $G_k$  – вместимость сушильной камеры, т, а  $\Pi_{ш}$  производительность шнека, т/ч.

Длительность отдельного цикла осциллирования  $\tau_i$  можно записать

$$\tau_i = \tau_n(n+1)/n \quad (2)$$

Количество циклов за оборот материала в сушильной камере

$$k = \frac{G_k n}{\Pi_{ш} \tau_n (n+1)} \quad (3)$$

Очевидно, что величина  $k$  должна представлять собой целое число, в этом случае режим сушки будет оптимальным и безопасным.

Величину  $\tau_n$  обычно принимают в интервале 3-6 мин или рассчитывают на основе теплового баланса нагрева зерна например, в пограничном слое, которое в наибольшей степени подвергается температурному воздействию.

Из теплового баланса нагрева зерна следует [4]

$$\tau_n = \frac{CK_1}{(1-\eta)f} \ell n \frac{(t_1 - \theta_{ox})}{(t_1 - \theta_{ng})} \quad (4)$$

где  $C$  – теплоемкость материала;  $K_1$  – коэффициент перехода от элементарного слоя к пограничному;  $\eta$  – доля теплоты, пошедшая на испарение влаги;  $f$  – удельная поверхность материала;  $t_1$ ,  $\theta_{ng}$ ,  $\theta_{ox}$  – соответственно средняя температура подогретого агента сушки, допустимая температура нагрева и охлаждения зерна. Для элементарного пограничного слоя зерна можно принять  $k_1 = 1$ ;  $\eta = 0,5$ ;  $f = 1 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Примем  $C = 1,9 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$ ;  $\theta_{ng} = 55^\circ\text{С}$ ;  $\theta_{ox} = 45^\circ\text{С}$  и из (4) получим  $\tau_n = 0,1$  ч. В этом случае  $k \approx 1,85$ ; если принять  $\tau_n = 0,083$  ч (5 мин) то  $k = 2$ .

Окончательно получим  $\tau_n = 0,083$  ч;  $\tau_{ox} = 0,066$  ч;  $\tau_i = 0,17$  и  $k = 2$ .

Длительность отлежки, при которой на поверхность зерновки перемещается большая часть влаги из её ядра при температуре  $\sim 45^\circ\text{С}$  составляет  $\sim 15$  мин [5]. Средняя температура зерна в процессе сушки при на-

чальной в  $20^{\circ}\text{C}$  и конечной  $45^{\circ}\text{C}$  составляет  $\theta = 32,5^{\circ}\text{C}$ . Приняв в первом приближении квадратичную зависимость длительности отлежки от температуры зерна получим минимально необходимую длительность  $\tau_{\text{от}}$  при  $\theta \approx 32,5^{\circ}\text{C}$

$$\tau_{\text{от}} \approx 15 \left( \frac{45}{32,5} \right)^2 \approx 30 \text{ мин.} \quad (5)$$

Вместимость надсушильного бункера можно записать

$$G = \frac{\pi D_m^2}{4} \gamma H, \quad (6)$$

где  $D_m$  - диаметр наружного цилиндра сушилки, м;  $H$  – высота надсушильного бункера, м;  $\gamma$  – объемная масса зерна, т/м<sup>3</sup>.

Его вместимость также можно записать в виде

$$G = \Pi_{\text{ш}} \cdot \tau_{\text{от}}, \quad (7)$$

Из (6) и (7) следует, что высота надсушильного бункера должна составлять не менее

$$H = \frac{4 \Pi_{\text{ш}} \tau_{\text{от}}}{\pi D_n^2 \gamma}, \text{ м}$$

Эффективность осциллирующей сушилки и проверка расчетных выражений были проведены при испытаниях мобильной сушилки SSI/21OT2, (ООО «Агрофирма «Коршик» Оричевского района Кировской области).

Сушилка SSI/21OT2 имеет следующую характеристику  $D_m = 3,15$  м; диаметр внутренней камеры  $D_{\text{вн}} \approx 2,5$  м; высота сушильной камеры  $H_k = 2,5$  м;  $\Pi_{\text{ш}} \approx 15$  т/ч. При  $\tau_{\text{от}} = 0,5$ ч;  $\gamma = 0,75$  т/м<sup>3</sup> величина  $H \approx 1,3$  м.

Высушивали зерновую смесь (пшеница + овес + ячмень) влажностью от 24,05 % до 12 % на фураж. Загрузили 17,4 т, разгрузили высушенную смесь в количестве 14,3 т, было испарено  $\sim 3,1$  т влаги, длительность суши

составила 4, 9 ч. Максимальная температура агента сушки составила 130<sup>0</sup>С, температура наружного воздуха 11<sup>0</sup>С.

Производительность сушиллки по сравнению с контрольным опытом, проведенным при тех же условиях, но с постоянной температурой агента сушки, равной 110<sup>0</sup>С, снизилась на ~ 14 %, но при этом удельный расход топлива (природного газа) снизился на ~ 13%. Температура высушенного материала в обоих случаях составила ~ 55<sup>0</sup>С.

При некотором снижении производительности мобильной сушиллке реализован энергосберегающий режим сушки за счет отлежки, повышенной температуры агента сушки и термовлагопроводности.

#### Л и т е р а т у р а

- 1 В.А. Шаршунов, Л.В. Рукшан, Сушка и хранение зерна, Минск, Мисанта, 2010, с.236.
- 2 В.И. Анискин, Г.С. Окунь, Технологические основы сушки работы зерносушильных установок, ГНУ ВИМ, М., 2003, 38-39.
- 3 С.Д. Птицын, Зерносушиллки, Машгиз, М., 1962, с.
- 4 Б.С. Сажин, Основы техники сушки, М., Химия, 1984, с 30.
- 5 В.М. Лурье, Исследование процесса охлаждения семенного зерна, автор. диссерт. на сосиск. учен. степ. канд. техн. наук М. ВИМ-ВИЭСХ, 1970, с 20.