

---

---

$$\tau = \tau' + \tau''$$

Таким образом, продолжительность сушки зависит в основном от разового влагосъёма, то есть снижения влажности за один проход зерна через сушилку, который, в свою очередь, ограничивается предельной температурой нагрева и видом высушиваемого зерна. Создавая при сушке зерна оптимальные значения данных параметров, на выходе можно добиться требуемого качества продукции.

#### **Библиографический список:**

1. Гинзбург А.С. Теплофизические свойства зерна, муки и крупы / А.С. Гинзбург, М.А. Громов. - М.: Сельхозгиз, 1984. - 317с.
2. Полонская Ф.М. Тепло- и массообмен в периоде постоянной скорости сушки // Журнал технической физики, т. 23, вып. 5. - 1953. С.52.

УДК 631:333

## **МАТЕРИАЛЬНЫЙ И ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНСЫ ЗЕРНОСУШИЛКИ**

***В.И. Курдюмов д.т.н., профессор***

***А.А. Павлушин, к. т. н.***

***Г.В. Карпенко к. т. н., доцент***

***С.А. Сутягин, инженер***

***ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная  
сельскохозяйственная академия»***

***8(8422)55-23-75, andrejpavlu@yandex.ru***

**Ключевые слова:** *сушка зерна, теплообмен, массоперенос, влагообмен.*

*Рассмотрены материальный и тепловой балансы процесса сушки зерна, представлены особенности данных параметров при конвективной и контактной сушке, приведены основные зависимости по определению теплового баланса.*

Сушка, нагрев и охлаждение зерна – типичные нестационарные процессы тепломассопереноса, т. е. процессы, которые сопровождаются изменением температуры и влажности зерна, а также плотности потоков теплоты и влагосодержания, под действием которых происходит перенос теплоты и влаги внутри зерна, появляются термические и объёмные напряжения.

Интенсификация переноса теплоты и влаги способствует ускорению сушки, но возникающие при этом напряжения могут привести к ухудшению качества зерна – образованию трещин, раскалыванию, снижению выхода крупы и т. д. Поэтому важно установить оптимальный режим сушки [1].

Материальный баланс сушилки играет большую роль при расчётах процесса сушки и оптимизации данного процесса. В начале расчётов необходимо определить

начальное  $\omega_1$  и конечное  $\omega_2$  влагосодержание зерна.

Влажность зерна может быть выражена в процентах ко всей зерновой массе или в процентах к массе абсолютно сухого вещества, т. е.

$$\omega = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{з}}} \cdot 100; \omega_{\text{с}} = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{сз}}} \cdot 100$$

где  $\omega$  - влажность зерна, % по отношению ко всей массе влажного зерна;  $\omega_{\text{с}}$  - влажность зерна, % по отношению к массе абсолютно сухого вещества;  $m_{\text{в}}$  - масса влаги, содержащейся во влажном зерне, кг;  $m_{\text{з}}$  - масса влажного зерна, кг;  $m_{\text{сз}}$  - масса абсолютно сухого вещества зерна, кг.

В практике сушки зерна и при расчете сушилок обычно используют влажность  $\omega$ , но при лабораторных исследованиях процесса сушки часто удобнее вести расчеты по влажности  $\omega_{\text{с}}$ . Параметры  $\omega$  и  $\omega_{\text{с}}$  (%) можно пересчитать по следующим формулам:

$$\omega = \frac{100\omega_{\text{с}}}{100+\omega_{\text{с}}}; \omega_{\text{с}} = \frac{100\omega}{100-\omega}$$

Масса влаги, которая удаляется из зерна во время сушки, можно определить из выражения:

$$W = G_1 - G_2 = G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2}, \quad (1)$$

где  $G_1$  - масса влажного зерна, входящего в сушилку, кг;  $G_2$  - масса высушенного зерна, выходящего из сушилки, кг;  $W$  - масса влаги, удаляемой из зерна, кг.

Выполняя расчёт зерносушильных установок, необходимо отнести производительность сушилок по влажности или высушенному зерну к единице объёма сушильной камеры или площади поверхности нагрева. Эта величина называется напряжением зерносушилки. Оно зависит от типа сушильного аппарата, исходной влажности зерна и других факторов.

Напряжение поверхностного нагрева по влагосодержанию для конвективных зерносушилок, кг/(м<sup>3</sup>·ч),

$$A_V = \frac{W}{\tau V}, \quad (2)$$

где  $V$  - объём сушильной камеры, м<sup>3</sup>;  $\tau$  - время сушки, ч.

Для контактных зерносушилок напряжение поверхностного нагрева по влагосодержанию, кг/(м<sup>2</sup>·ч),

$$A_F = \frac{W}{\tau F}, \quad (3)$$

где  $F$  - площадь поверхности нагрева, м<sup>2</sup>;  $W$  - масса удаляемой влаги, кг.

Тепловой баланс зерносушилки можно представить в виде зависимости:

$$\begin{aligned} LI_0 + Wc_{\text{вл}}v_1 + G_2c_{\text{м}}''t_1 + G_{\text{тр}}c_{\text{тр}}i_{\text{тр}}'' + Q_{\text{к}} + Q_{\text{д}} = \\ = LI_2 + G_2c_{\text{м}}''t_2 + G_{\text{тр}}c_{\text{тр}}i_{\text{тр}}'' + Q_{\text{п}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $L$  - количество абсолютно сухого воздуха, которое необходимо для сушки, кг/ч;  $I_0, I_2$  - теплосодержание соответственно наружного и отработанного воздуха, кДж/кг;  $c_{\text{вл}}, c_{\text{м}}'', c_{\text{тр}}$  - удельная теплоёмкость влаги, высушенного продукта и транспортных устройств соответственно, кДж/(кг·°C);  $t_1$  - температура влаги и зерна

---

на входе в сушильную камеру, °С;  $t_2$  - температура зерна на выходе из сушильной камеры, °С;  $G_z$ ,  $G_{TP}$  – масса высушенного зерна и транспортных устройств, кг/ч;  $t_{TP}$ ,  $t_{TP}''$  - соответственно температура транспортных устройств на входе в зерносушилку и на выходе из неё, °С;  $Q_k$  – теплота, поступающая в сушильную камеру от калорифера, кДж/кг;  $Q_d$  – теплота, поступающая в сушильную камеру от дополнительных нагревателей, кДж/ч;  $Q_n$  – потери теплоты в окружающую среду, кДж/ч [2].

Данная зависимость описывает внутренний тепловой баланс в сушильной камере и характеризует отклонение реального процесса сушки от теоретического.

Таким образом, теоретически моделируя процессы тепло- и массопереноса, можно достичь на практике оптимальных режимных параметров процесса сушки зерна в разрабатываемых зерносушилках.

#### **Библиографический список:**

1. Афанасьева Т.Д. Хранение и сушка зерна / Т.Д. Афанасьева, Н.И. Рыбалка. - Алма-Ата: Казсельхозгиз, 1963. - 263с.
2. Чагин О.В. Оборудование для сушки пищевых продуктов / О.В. Чагин, Н.Р. Кокина, В.В. Пастин: Иван. хим.-технол. ун-т: Иваново, 2007. - 138 с.

УДК 631:333

## **ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ЗЕРНА И ЗЕРНОСУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

***В.И. Курдюмов, д. т. н., профессор***

***А.А. Павлушин, к. т. н.***

***ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная  
сельскохозяйственная академия»  
8(8422)55-23-75, andrejpavlu@yandex.ru***

**Ключевые слова:** *системный анализ, этапы математического моделирования при планировании эксперимента по исследованию процесса сушки зерна, статистические критерии оценки математической модели.*

*Рассмотрены основы системного анализа при проектировании зерносушильных установок, представлены различные виды моделирования процесса сушки зерна, описаны этапы математического моделирования и их статистическая критериальная оценка.*

Разработка и проектирование новых методов и способов реализации процесса сушки зерна заключается в решении комплекса взаимосвязанных задач, к которым относят исследование и учет свойств зерна, выбор способа подвода теплоты