

3. Сыроватка, В.И. Исследование основных закономерностей процесса измельчения зерна в молотковой дробилке кормов: дис. ... канд. тех. наук / В.И. Сыроватка. – Москва, 1963. – 129с.

УДК 621.372.632:621.365.5

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗЕРНОСУШИЛКЕ С ИНДУКЦИОННЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ

**Н.Т. Исембергенов, д.т.н., профессор,  
А.Ж. Сагындикова доктор PhD**

*Казахский национальный аграрный университет,  
г.Алматы, Республика Казахстан*

### **Введение**

В сельскохозяйственном производстве, на элеваторах и хлебоприемных предприятиях для сушки зерна применяются установки различной технологической конструкции и различного принципа действия. При разработке технологических конструкций зерносушилок на каждом этапе основное внимание уделяется экономии тепловой энергии, составляющей 90% всех энергетических затрат [1]. В связи с этим, разработка технических решений, направленных на интенсификацию и энергосбережение технологического процесса сушки зерна, является актуальной научно-технической задачей отрасли агропромышленного производства в Республике Казахстан.

### **Основная часть**

В настоящее время доказана возможность эффективного применения электрического нагрева для сушки зерна. Были сконструированы, испытаны и даже применены на практике высокочастотные зерносушилки [2]. Зерно, подвергаемое сушке в таких установках, соответствуют всем технологическим требованиям, а в ряде случаев превосходило по качеству зерно, просушенное традиционным, конвективным способом. Экономические изменения в нашей стране выявили спрос на миниатюризацию установок, были созданы минизерносушилки, обладающие относительно невысокой потребляемой мощностью, высокоэкономичные, простые в употреблении и обслуживании, а главное – достаточно дешевые.

С целью повышения эффективности процессов тепловой обработки зерна, повышения пропускной способности установки, обеспечения более равномерного распределения зерна по греющей поверхности (увеличение коэффициента заполнения), а, следовательно, и для более равномерного прогрева обрабатываемого зернового слоя авторами предложена установка с индукционными нагревателями, рисунок 1.

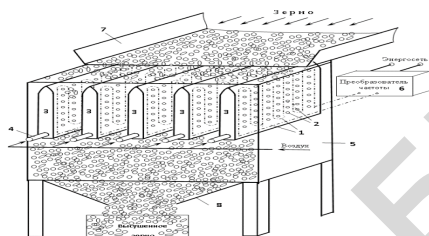


Рисунок 1 – Установка для сушки зерна с индукционными нагревателями

Ограниченное распространение контактного способа передачи теплоты связано с тем, что на протяжении всей истории развития средств механизации сушки зерна требовалось создавать установки большой производительности, применение в которых данного способа не обеспечивало требуемых экономических показателей. Однако накопленный опыт показывает, что создание мини сушилок возможно на основе применения контактного способа передачи теплоты зерну от электрического нагревательного устройства [3]. Нагревательные элементы выполнены с возможностью регулирования расстояния между ними. Нагревательная пластина изготовлена из двух жестяных пластин внутри которых расположен электрический провод. При пропускании тока через электрический провод, который в свою очередь нагревает жестяные пластины, они передают полученное тепло зерну.

Разработанная установка универсальна, так как использование замкнутого магнитопровода в греющих пластинах и находящегося зерна между двумя параллельными пластинами, позволяет проводить тепловую обработку зерна и для большинства сельскохозяйственных культур различных размерно-массовых характеристик.

На примере разработанной установки выведено уравнение теплового баланса. В установившемся режиме плотность теплового потока между двумя параллельными поверхностями тела зависит от

температурного напора, толщины стенки и теплофизической константы – теплопроводности  $\lambda$  [3]:

При этом изменение теплового потока характеризуется количеством теплоты, которое рассматривается в данном объеме обрабатываемого зерна:

$$\left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right] dv, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности зернового материала [Вт/(м·°C)];

$$dv = dx dy dz.$$

Энергетический баланс для элементарного объема зерна, подвергаемого тепловому воздействию в установке для индукционного нагрева зерна может быть представлен в виде:

$$c\rho \frac{\partial t_{гп}}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t_{гп}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial t_{гп}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial t_{гп}}{\partial z} \right) + q, \quad (2)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость материала греющей поверхности [кДж/(кг·°C)];  $\rho$  – насыпная плотность зерна [кг/м<sup>3</sup>];  $t_{гп}$  – температура греющей поверхности [°C];  $\tau$  – экспозиция теплового воздействия [с];  $q = c\rho dv \frac{\partial t}{\partial \tau}$  – количество теплоты, передаваемое от греющей

поверхности к единичному объему зернового материала [кДж].

Следовательно, рассматриваемую задачу можно считать одномерной и задать следующие краевые условия для рассматриваемого случая:

$$t(0, \tau) = f(z), \quad (3)$$

$$\left. \begin{array}{l} t|_{z=0} = t|_{z=l} = t_{гп} = \text{const} \\ \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \end{array} \right\} \quad (4)$$

На рисунке 1 изображены две греющиеся пластины С и D, где  $a$ ,  $l$ ,  $b$  – ширина, длина и толщина греющей поверхности соответственно [м]. Полученная зависимость характеризует условия распределения температуры в сушильной камере в любой момент теплопроводности для рассматриваемого случая.

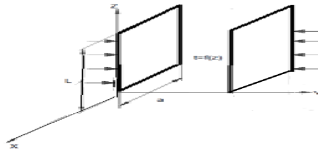


Рисунок 2 – Передача теплоты зерну от плоской греющей поверхности

$$\theta(z, \tau) = C \sin kze^{-ak^2\tau} + D \cdot \cos kze^{-ak^2} \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент влагопроводности материала [ $\text{м}^2/\text{ч}$ ].

Постоянные  $D_n$  в каждом частном решении будут иметь свои собственные значения, так как сумма частных распределений температуры для любого заданного времени представляет собой действительное распределение температуры.

Далее после проведенных преобразований, получим уравнения (5) для случая, когда внешняя поверхность греющей пластины имеет качественную теплоизоляцию ( $\frac{\partial \theta(0, \tau)}{\partial z} = 0$ ):

$$t(z, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n \frac{\pi}{l} e^{-\mu_n^2 \frac{\pi^2 \tau}{b^2}} \cdot \frac{2}{l} \int_0^b f(z) \cos \mu_n \frac{\pi}{l} dz \quad (6)$$

где  $\mu_n = k_n b = (2n-1) \frac{\pi}{2}$

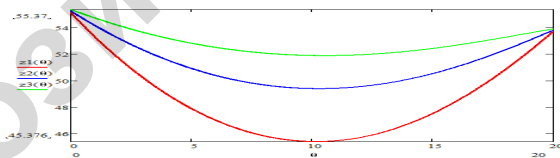


Рисунок 3 – График температуры нагрева от различного расстояния пластинами

Для подтверждения правильности выполненных теоретических расчетов необходимо провести экспериментальные исследования и установить температурный градиент подогрева зерна при существовавшей системе и при наличии обогреваемых пластин, а также определить максимальную производительность. Экспериментально

установлена погрешность измерения температуры зерна в месте подключения датчика №3 она составляет 3-4°С в сторону увеличения. Температура наружного воздуха -18°С, внутри помещения +16°С. Полученная зависимость позволяет обосновать влажность зерна от длительности нагрева греющей поверхности.

#### **Заключение**

Таким образом, количество теплоты, необходимое для нагрева зерна и удаления из него влаги при контактном способе передачи теплоты, зависит от температуропроводности материала греющей поверхности, разности температур греющей поверхности обрабатываемого зерна (температурного градиента) и экспозиция теплового воздействия.

#### **Литература**

1. Лыков А.В. Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск: Изд-во Акад. наук БССР, 1954. – 357 с.
2. Лыков А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. – Госэнергоиздат, 1956. – 452 с.
3. Трисвятский Л.А. Хранение зерна. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1975. – 400

УДК 631.879:631.3

### **ОБОСНОВАНИЕ УГЛА НАКЛОНА РЕБЕР ЖЕЛОБКОВ КАТУШЕК К ДОЗАТОРАМ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

**Л.Я. Степук<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, И.М. Морозова<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,  
В.В. Миккульский<sup>1</sup>, аспирант**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь

#### **Введение**

По результатам многочисленных теоретических и экспериментальных исследований [1 – 6] доказано, что расположение ребер желобков катушки под углом относительно оси её вращения, обеспечи-