

Вектор нормальный к плоскости OYX с координатами $\overline{N}_2 = \{0; 0; 1\}$, позволяет получить зависимость для определения угла φ между плоскостью OYX и Q_n , как угла «наибольшего ската» или «крошения»:

$$\varphi = \arccos \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}. \quad (1.7)$$

В нашем примере по формуле (1.7) получено значение $\cos \varphi = 0,873$, следовательно, $\varphi = 29^\circ$.

Также угол φ можно определить по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{z_2}{-x_2 \sin \frac{\gamma}{2}} = \frac{18}{60 \sin 32^\circ 30''} = \frac{18}{60 \cdot 0,54} = 0,56; \quad (1.8)$$

откуда $\varphi = 29^\circ$.

Учитывая, что угол подъема лапы α определяется выражением:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{z_2}{x_2} = \frac{18}{60} = 0,3? \quad (1.9)$$

получим $\alpha = \operatorname{arctg} 0,3$ или $\alpha = 17^\circ$.

Также угол подъема лапы можно определить по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma, \quad (1.10)$$

по которой получаем следующие значения $\operatorname{tg} \alpha = 0,56 \cdot 0,54 = 0,3$, следовательно, $\alpha = \operatorname{arctg} 0,3 = 17^\circ$.

Достоверность проведенного теоретического обоснования подтверждается одинаковыми значениями параметров лапы полученных разными способами.

В результате теоретического обоснования получены зависимости для определения основных параметров универсального рабочего органа культиватора, для различных условий работы.

УДК 631.31

АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СУШКИ ЗЕРНОВОГО СЛОЯ

В.Н. Игонин, Ю.М. Исаев

Процесс сушки состоит из двух стадий или периодов начальный период длится небольшой отрезок времени от 30 секунд до 5 минут в зависимости от толщины слоя материала и характеризуется изменением температуры материала в слое и второй период продолжительный по времени характеризующийся постоянством температуры в слое материала. Первый период наименее изучен в виду нестационарности процесса. Ма-

тематическое описание процесса представляет практический интерес для определения режима сушки в сушильных установках.

Постановка задачи. Дан слой толщиной δ . Если толщина мала по сравнению с длиной и шириной, то можно считать его неограниченным.

При заданных граничных условиях, когда температура точек поверхностей справа и слева задана. Изменение температуры происходит только в одном направлении x , в двух других направлениях температура не изменяется ($\partial T / \partial y = 0$; $\partial T / \partial z = 0$), следовательно, в пространстве задача является одномерной. Начальное распределение температуры задано $T(x, 0) = T_0$. Нагревание происходит за счет разности температур.

Так как задача в пространстве одномерная, то дифференциальное уравнение принимает вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$\text{Начальные условия: при } \tau = 0; T(x, 0) = T_0; 0 < x < \delta, \quad (2)$$

$$\text{Граничные условия: при } x = 0; T(0, \tau) = T_1; x = \delta; T(\delta, \tau) = T_2. \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение совместно с начальными и граничными условиями однозначно формируют поставленную задачу.

Дифференциальное уравнение является уравнением параболического типа. Заменим искомую функцию

$$T(x, \tau) = u(x, \tau) + w(x), \quad (4)$$

где $w''(x) = 0$ и $w(x)$ должна удовлетворять граничным условиям

$$w(0) = T_1; w(\delta) = T_2, \quad (5)$$

а функция $u(x, \tau)$ удовлетворяет уравнению:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (6)$$

с однородными граничными условиями

$$u(0, \tau) = 0; u(\delta, \tau) = 0, \quad (7)$$

и начальным условием, которое находится из равенства

$$T(x, 0) = u(x, 0) + w(x) = T_0,$$

$$\text{откуда } u(x, 0) = T_0 - w(x). \quad (8)$$

Решим вначале уравнение Лапласа

$$\partial^2 w / \partial x^2 = 0, \quad (9)$$

удовлетворяющее граничным условиям (6).

Общее решение уравнения (9) запишется в виде $w = Ax + B$, учитывая граничные условия (6), найдем A и B.

$$\begin{cases} w(0) = T_1 \\ w(\delta) = T_2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} B = T_1 \\ A\delta + B = T_2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} B = T_1 \\ A = (T_2 - T_1)/\delta \end{cases}$$

Тогда

$$w = (T_2 - T_1)x/\delta + T_1 = T_2 \frac{x}{\delta} + T_1 \left(1 - \frac{x}{\delta}\right)$$

Далее решим уравнение (6) с однородными граничными условиями (7) и начальным условием

$$u(x,0) = T_0 - w(x) = T_0 - \frac{T_2 - T_1}{\delta}x - T_1 = T_0 - T_2 \frac{x}{\delta} + T_1 \left(\frac{x}{\delta} - 1\right) \quad (10)$$

Решение дифференциального уравнения (6) ищем в виде произведения двух функций, из которых одна является функцией только τ , а другая только x (метод разделения переменных):

$$u = u(x, \tau) = \varphi(\tau) \cdot \psi(x) \quad (11)$$

После подстановки последнего выражения в дифференциальное уравнение получим

$$\frac{\varphi'(\tau)}{a\varphi(\tau)} = \frac{\psi''(x)}{a\psi(x)} \quad (12)$$

Это возможно, если оба отношения равны постоянному числу λ :

$$\frac{\varphi'(\tau)}{a\varphi(\tau)} = \frac{\psi''(x)}{a\psi(x)} = -\lambda \quad (13)$$

Решая эти уравнения, получим

$$\varphi'(\tau) + \lambda a\varphi(\tau) = 0 \Rightarrow \varphi(\tau) = C_k \exp(-a\lambda\tau)$$

$$\psi''(x) + \lambda\psi(x) = 0 \Rightarrow \psi(x) = C_1 \cos\sqrt{\lambda}x + C_2 \sin\sqrt{\lambda}x$$

$$\psi(0) = C_1 = 0 \Rightarrow C_1 = 0$$

$$\psi(\delta) = C_2 \cos\sqrt{\lambda}\delta + C_2 \sin\sqrt{\lambda}\delta = 0$$

$$C_2 \sin\sqrt{\lambda}\delta = 0 \Rightarrow \sqrt{\lambda} = k\pi/\delta$$

$$\psi(x) = C_2 \sin\frac{k\pi}{\delta}x$$

Тогда

$$u_k(x, \tau) = \varphi(\tau) \cdot \psi(x) = \sin\frac{k\pi}{\delta}x \cdot C_k \exp\left(-a\left(\frac{k\pi}{\delta}\right)^2 \tau\right) \quad (14)$$

Сумму решений можно представить в виде ряда

$$u(x, \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} u_k(x, \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin \frac{k\pi}{\delta} x \cdot \exp \left(-a \left(\frac{k\pi}{\delta} \right)^2 \tau \right). \quad (15)$$

Это решение должно удовлетворять начальному условию (10)

$$u(x, 0) = \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin \frac{k\pi}{\delta} x = T_0 - \frac{T_2 - T_1}{\delta} x - T_1 \quad (16)$$

Откуда

$$b_k = \frac{2}{\delta} \int_0^{\delta} \left(T_0 - \frac{T_2 - T_1}{\delta} x - T_1 \right) \sin \frac{k\pi x}{\delta} dx = \frac{2}{k\pi} \left[(-1)^k (T_2 - T_0) - T_1 + T_0 \right]$$

Подставляя значение b_k в (15) получим:

$$u(x, \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[(-1)^k (T_2 - T_0) - (T_1 - T_0) \right] \sin \frac{k\pi}{\delta} x \cdot C_k \exp \left(-a \left(\frac{k\pi}{\delta} \right)^2 \tau \right)$$

Окончательно решение уравнения (1) запишется:

$$T = \frac{T_2 - T_1}{\delta} x + T_1 + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \left[(-1)^k (T_2 - T_0) - (T_1 - T_0) \right] \cdot e^{-\frac{ak^2\pi^2}{\delta^2} \tau} \sin \frac{k\pi}{\delta} x$$

При $T_0 = 20^\circ\text{C}$; $T_1 = 60^\circ\text{C}$; $T_2 = 40^\circ\text{C}$; $a = 10^{-7}$; $\delta = 0,01\text{м}$
 получим распределение температур при различных значениях τ .

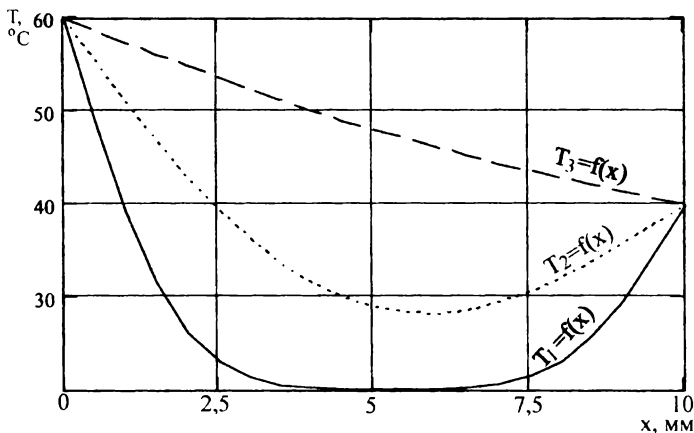


Рисунок 1. Распределение температуры T в слое толщиной x .

$T_1(x)$ – в момент времени $\tau = 10$ с, $T_2(x)$ – в момент времени $\tau = 1$ мин, $T_3(x)$ – в момент времени $\tau = 5$ мин,

При больших значениях τ уже при $\tau \approx 5$ мин распределение температуры

будет почти линейным

$$T = \frac{T_2 - T_1}{\delta} x + T_1$$

При граничных условиях второго рода:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (17)$$

Начальные условия: при $\tau = 0$; $T(x, 0) = T_0$; $0 < x < \delta$. (18)

Граничные условия: при $x = 0$; $T(0, \tau) = T_1$; $x = \delta$, $\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=\delta} = -q$. (19)

Решение уравнения (17) запишется

$$T = qx + T_1 + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \left[(-1)^k (T_1 - T_0 + q\delta) - (T_1 - T_0) \right] \cdot e^{-\frac{ak^2\pi^2}{\delta^2} \tau} \sin \frac{k\pi}{\delta} x \quad (20)$$

Таким образом, уравнение (20) является математическим описанием распределения температур в слое толщиной δ при нестационарном температурном режиме сушки зернового материала.

Литература

1. Игонин В.Н., Курдюмов В.И., Зубков А.Н. Устройство для сушки зерна. Энергосбережение в Поволжье, №1, 2001. с. 72...74.
2. Игонин В.Н. Курдюмов В.И., Курдюмова И.В. Устройство Для сушки зерна. Патент RU № 2179067. Оpubл. 10. 02. 2002 Бюл. № 4.

УДК 631.37

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТЕРА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЖИДКОГО И ПОЛУЖИДКОГО НАВОЗА

В.Н. Игонин, В.Г. Артемьев, Р.М. Гайсин

Анализ состояния механизации уборки и переработки жидкого и полужидкого навоза, птичьего помета, в частности свиной жижи показывает, что существующие технические средства сложны по конструктивному исполнению и технологичности изготовления, громоздки и энергоемки, а в настоящее время в большинстве хозяйствах не работоспособны.

Упрощение конструкции технического средства (транспортера) и резкое снижение затрат материалов достигается в рекомендуемом нами транспортере пружинного типа, принцип работы которого описывается в журнале «Энергосбережение в Поволжье», 2001, №3 (запатентовано).