

“Мы заставим картошку  
волшебным образом, в одно мгновение,  
сбрасывать с себя шкуру”

Ю.К. Олеша “Зависть”

УДК 664.03

## **Обоснование топологии рабочих органов импульсного воздействия при переработке пищевого сырья**

Головацкий В.А., Алексеев Г.В., Вороненко Б.А.

gva54@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный университет  
низкотемпературных и пищевых технологий

*В данной работе приводится математическое описание теплового процесса при первичной обработке пищевого сырья на стадии очистки. Полученное аналитическое решение может быть предложено для инженерных расчетов процесса импульсного воздействия на пищевое сырье при его переработке.*

Ключевые слова: импульсное воздействие, тепло- и массоперенос, число Фурье, очистка.

## **Substantiation of topology of working bodies of pulse influence at processing of food raw materials**

Golovatsky V.A, Alekseev G. V, Voronenko B. A.

gva54@mail.ru

St.-Petersburg state university and food technologies

*In the given work the mathematical description of thermal process is resulted at preprocessing of food raw materials at a clearing stage. The analytical decision can be offered for engineering calculations of process of pulse influence on food raw materials at its processing.*

Keywords: pulse influence, number of Fure, clearing

Совершенствование технологического оборудования, на основе более углубленного изучения протекающих процессов играет важную роль [1-3].

Изучение тепловых процессов, протекающих при переработке пищевого сырья, является актуальной проблемой. Многие процессы переработки сложны и базируются на современных научных исследованиях.

Однако, в виду сложности задач, связанных с отсутствием стандартных методов решения, многие тепловые процессы на стадии первичной обработки сырья не изучены вообще. Целью данной работы является математическое описание тепловых процессов при первичной обработке пищевого сырья на стадии очистки.

Тепловой процесс, возникающий при снятии кожуры овощей или же оболочки зерновых, может быть описан известным уравнением теплопроводности для тела сферической формы [4,5]

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t}{\partial r} = \frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau}, \quad (0 < r < R, \tau > 0), \quad (1)$$

где  $t(r, \tau)$ - температура;

$\tau$ - время;

$r$ - радиус обрабатываемого продукта (например, картофеля);

$R$ - радиус рабочей камеры машины (радиус пружины для картофелеочистительной машины непрерывного действия);

$a$  - коэффициент теплопроводности;

Начальная температура процесса постоянная:

$$t(r, 0) = t_0 = \text{const} \quad (2)$$

Граничными условиями, при которых протекает процесс, являются граничные условия первого рода:

$$\left. \begin{aligned}
 t_1 = t_{\min} & \quad \partial \Omega \in \tau_1 \\
 t_2 = t_{\max} & \quad \partial \Omega \in \tau_2 \quad (t_1 > t_2)
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

условие симметрии - граничное условие второго рода

$$\frac{\partial \theta}{\partial r} = 0 \quad (4)$$

и условие физической ограниченности температуры в центре шара

$$\theta < \infty \quad (5)$$

Период  $T = \tau_2$  ( $0 < \tau_2 < T$ ),  $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$  (6)

Число циклов:

$$N = \frac{2\pi R}{L}, \quad (7)$$

где  $L$  - длина части внешней окружности клубня, которую абразив проходит за период  $T$ .

Поставленная краевая задача решена методом интегрального преобразования Лапласа [6], и распределение полей температуры в теле получено в следующем безразмерном виде:

$$T(X, Fo) = 1 - \frac{Fo_1}{Fo_2} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{2(1 - e^{-\frac{(n\pi)^2 Fo_2 (1 - \frac{Fo_1}{Fo_2})})}}{1 - e^{-\frac{(n\pi)^2 Fo_2}} \cdot \frac{\sin(n\pi X)}{\pi n X}} \cdot e^{-\frac{(n\pi)^2 Fo_1}{Fo_2}} - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(P_1 \cos(\frac{2\pi m}{Fo_2} (Fo - \frac{Fo_1}{2})) + P_2 \sin(\frac{2\pi m}{Fo_2} (Fo - \frac{Fo_1}{2}))) \sin(\pi m \frac{Fo_1}{Fo_2})}{ch(2 \sqrt{\frac{\pi m}{Fo_2}}) \cdot \cos(2 \sqrt{\frac{\pi m}{Fo_2}})} \cdot \frac{\pi m X}{\pi m X}, \quad (8)$$

где  $\theta = \frac{T - T_0}{T_1 - T_0}$  - безразмерная относительная температура,

$$0 < T < 1;$$



где  $X = \frac{r}{R}$  - безразмерная координата;

$Fo = \frac{\alpha \tau}{R^2}$  - число Фурье (критерий гомохронности поля потенциала теплопереноса);

$$Fo = \frac{\alpha \tau}{R^2} \quad (11)$$

#### Выводы

1. Разработанная математическая модель в виде аналитического решения соответствующей краевой задачи теплопроводности дает возможность прогнозировать и управлять температурным полем тела сферической формы (клубня картофеля), предотвращая перегрев продукта, и тем самым влиять на его качество.
2. Существенное влияние на температуру отношения  $\frac{Fo_1}{Fo_2}$  свидетельствует о важности влияния топологии покрытия на потребительские характеристики очищенного картофеля.
3. Полученное решение позволяет решить обратную задачу по нахождению времени, необходимого для достижения нужной температуры в любой точке обрабатываемого тела.
4. Задав время  $\tau_1$ , можно определить интервалы  $[\tau_1, \tau_2]$ , за которое температура тела достигает своей верхней границы, т.е. оптимальное соотношение периодов  $[0, \tau_1]$  и  $[0, \tau_2]$ , что дает возможность минимизировать расход энергии на поддержание соответствующего режима.

5. Полученное аналитическое решение может быть предложено для инженерных расчетов процесса импульсного воздействия на пищевое сырье при его переработке.

#### **Список литературы:**

1. Головацкий В.А. Совершенствование процессов и аппаратов для переработки пищевого сырья. – СПб.: НИЭУиД, 2008.-123с.
2. Алексеев Г.В., Головацкий В.А., и др. Патент на изобретение №2228795 от 20.05.2004. Устройство для измельчения пищевого сырья.
3. Арет В.А., Николаев Б.Л., Николаев Л.К. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции.- СПб.: ГИОРД, 2009.- 448 с.
4. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 536с.
5. Вороненко Б.А. ,Ключкин В.В., Аналитическое исследование температурного поля слоя масличных семян при управляемых теплопроводных воздействиях //МЖТ, 1997,№3-4. –С.1-4.
6. Мартыненко В.С. Операционное исчисление.К.: Выща шк., 1990.-359с.