

## **ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЛОДОВ В ХОЛОДИЛЬНОЙ КАМЕРЕ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ**

Ялпачик В.Ф., к.т.н., докторант, Стручаев Н.И. – к.т.н, доцент  
*Таврический государственный агротехнологический университет*  
Тел.(0619) 42-13-06

**Аннотация** – в статье рассмотрены случаи изменения коэффициента теплоотдачи для горизонтального и вертикального расположения плодов имеющих цилиндрическую, коническую и плоскую форму в зависимости от изменения температуры.

**Ключевые слова** – коэффициент теплоотдачи, критерий Нуссельта, критерий Грасгофа, горизонтальное и вертикальное расположение плода, температура.

*Постановка проблемы и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами.* Проблема сохранения сельскохозяйственного сырья в настоящее время еще далека от своего разрешения. Одним из перспективных способов консервирования растительных продуктов является замораживание, технологические режимы и условия которого постоянно совершенствуются.

Теплофизические характеристики продуктов растительного происхождения играют существенную роль при расчете процессов холодильной обработки. Известно, что скорость охлаждения существенно зависит от величины коэффициента теплоотдачи [1, 2].

*Целью данной работы* явилось исследование влияния способа расположения плодов (горизонтально или вертикально), имеющих цилиндрическую, коническую и плоскую форму на изменение коэффициента теплоотдачи.

*Изложение основного материала исследований.* Объектами исследований являлись плоды баклажан, перца сладкого, початков кукурузы молочно-восковой спелости и фрагменты кабачков.

Нами рассмотрены случаи изменения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  для горизонтального и вертикального расположений плодов имеющих

цилиндрическую форму (початки кукурузы, баклажаны), коническую (перец сладкий) и плоской пластины (кружочки кабачков) в зависимости от изменения температуры.

Коэффициент  $\alpha$  для горизонтального расположения плодов, имеющих цилиндрическую форму определяли по формуле [3,4,6]:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}, \quad (1)$$

где  $Nu$  – критерий Нуссельта;

$\lambda$  – теплопроводность воздуха, Вт/(м·К);

$d$  – диаметр плода, м.

Критерий Нуссельта определяли по зависимости [3,4,6]:

$$Nu = (Gr \cdot Pr)^{0.25} \cdot \left( \frac{Pr_i}{Pr_A} \right)^{0.25}, \quad (2)$$

где  $Gr$  - критерий Грасгофа;

$Pr_{п}$ ,  $Pr_{в}$  – критерий Прандтля соответственно у поверхности плода и воздуха.

Критерий Прандтля определяли по полученным нами эмпирическим зависимостям

$$Pr = 2,3 \cdot 10^{-24} \cdot \dot{O}^3 + 10^{-6} \cdot \dot{O}^2 - 0,0007 \cdot T + 0,83, \quad (3)$$

где  $T$  – текущее значение температуры в холодильной камере, К<sup>0</sup>.

Критерий Грасгофа [6]:

$$Gr = \frac{\beta_t \cdot g \cdot d^3 \cdot \Delta t}{\nu^2}, \quad (4)$$

где  $\beta_t$  - коэффициент объемного расширения воздуха, определяемый по формуле  $\beta_t = \frac{1}{T}, \frac{1}{K^0}$ ;

$g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – разность температур плода и воздуха в холодильной камере, °С;

$\nu$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с.

Кинематическая вязкость определялась по полученной нами эмпирической зависимости

$$\nu = (-7,7 \cdot 10^{-7} \cdot \dot{O}^3 + 0,00055 \cdot \dot{O}^2 - 0,053 \cdot T + 2,8) : 10^{-6}. \quad (5)$$

Коэффициент  $\alpha$  для вертикального цилиндрического плода определяли по формуле (1) выбрав в качестве линейного размера длину плода  $h$ .

Критерий Нуссельта определяли по зависимости [3,4,6]:

$$Nu = 0,15(Gr \cdot Pr)^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_i}{Pr_A}\right)^{0,25}. \quad (6)$$

Критерий Грасгофа по формуле (4), также выбрав в качестве линейного размера длину плода  $h$ :

$$Gr = \frac{\beta_i \cdot g \cdot h^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \quad (7)$$

Проведенные расчеты показали (рис.1), что коэффициент  $\alpha$  при горизонтальном хранении плодов цилиндрической формы имеющих диаметр 0,07 м и длину 0,18 м практически в 2 раза больше чем при вертикальном. Следовательно, при замораживании плодов цилиндрической формы их необходимо располагать горизонтально, чем значительно сокращается расход энергии и время замораживания.

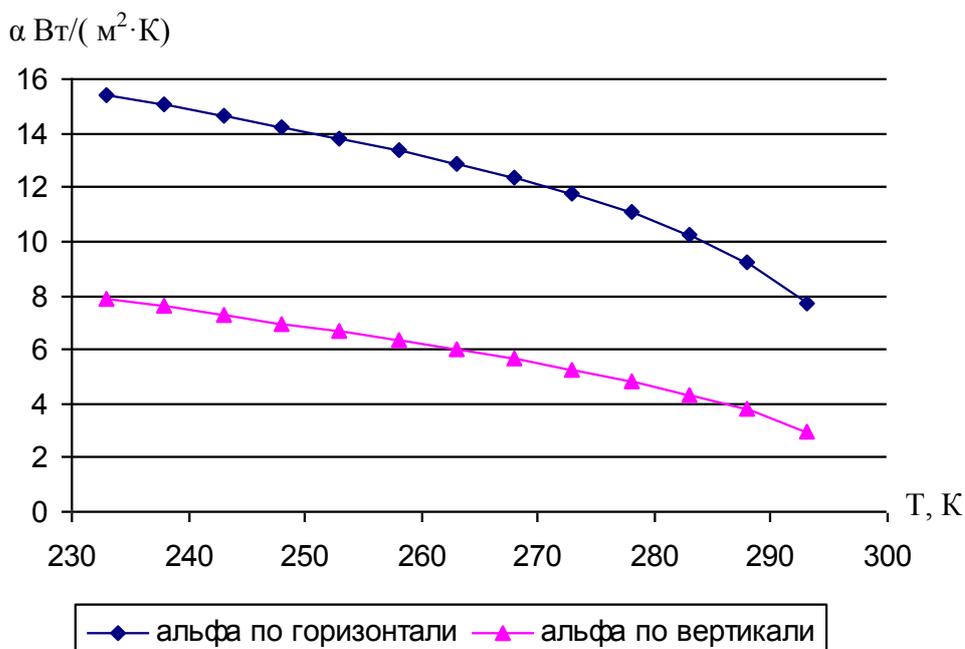


Рис.1 Изменение коэффициента теплоотдачи от температуры для цилиндрических плодов

При определении коэффициента  $\alpha$  и критерия Грасгофа для горизонтально расположенной пластины (кружочки кабачков) в формулах (1) и (4), подставляем диаметр пластины.

Критерий Нуссельта определяли по зависимости [4,5]

$$Nu = 0,96 Ra^{\frac{1}{6}}, \quad (7)$$

где  $Ra$  - критерий Релея.

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (8)$$

При определении коэффициента  $\alpha$  и критерия Грасгофа для вертикально расположенной пластины в формулах (1) и (4), вместо длины плода подставляем толщину.

Критерий Нуссельта определяли по зависимости [4,5]

$$Nu = 0,755(Pr^2 \cdot Gr)^{0,25}, \quad (10)$$

Выполним расчет для пластины размером, толщина 0,02 м, диаметр 0,08 м.

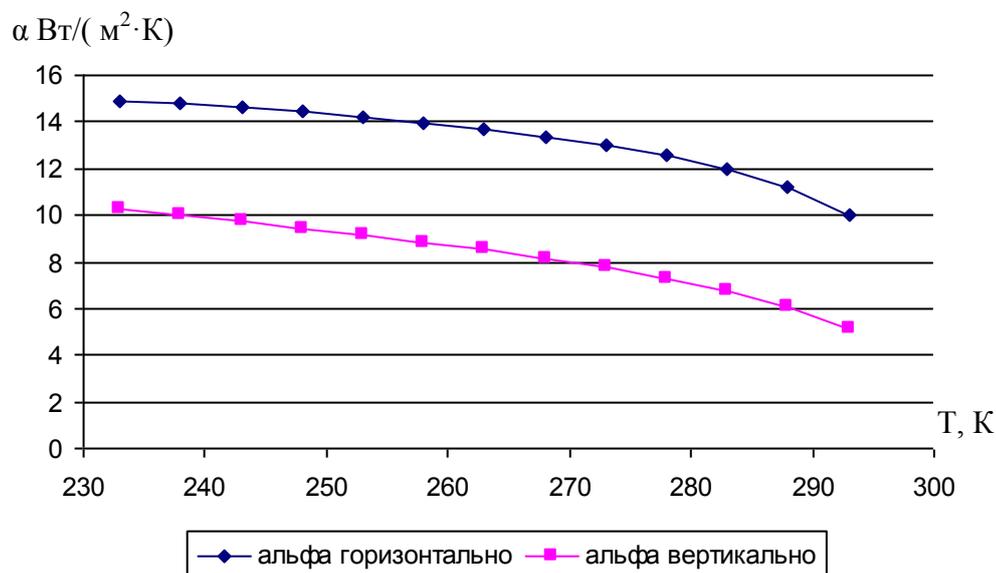


Рис. 2 Изменение коэффициента теплоотдачи от температуры для плодов, имеющих форму пластины.

Проведенные расчеты показали (рис.2), что коэффициент  $\alpha$  при горизонтальном хранении плодов в 1,5-2 раза больше чем при вертикальном.

Для плодов, имеющих конусную форму и расположенных горизонтально критерий Нуссельта определяли по зависимости: [3,5,6]

$$Nu = 0,615 Re^{0,486}, \quad (11)$$

где  $Re$  - число Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot d_{cp}}{\nu}, \quad (12)$$

где  $v$  - скорость движения воздуха, равна 0,6 м/с:

$d_{cp}$  - средний диаметр конуса, равен 0,05 м.

Для вертикально расположенного конуса критерий Нуссельта определяли по зависимости [3,5,6]

$$Nu = 0,664 \cdot Ra^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}, \quad (13)$$

$$Re = \frac{v \cdot h}{\nu}, \quad (14)$$

где  $h$  - высота, равна 0,08 м.

$\alpha$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)

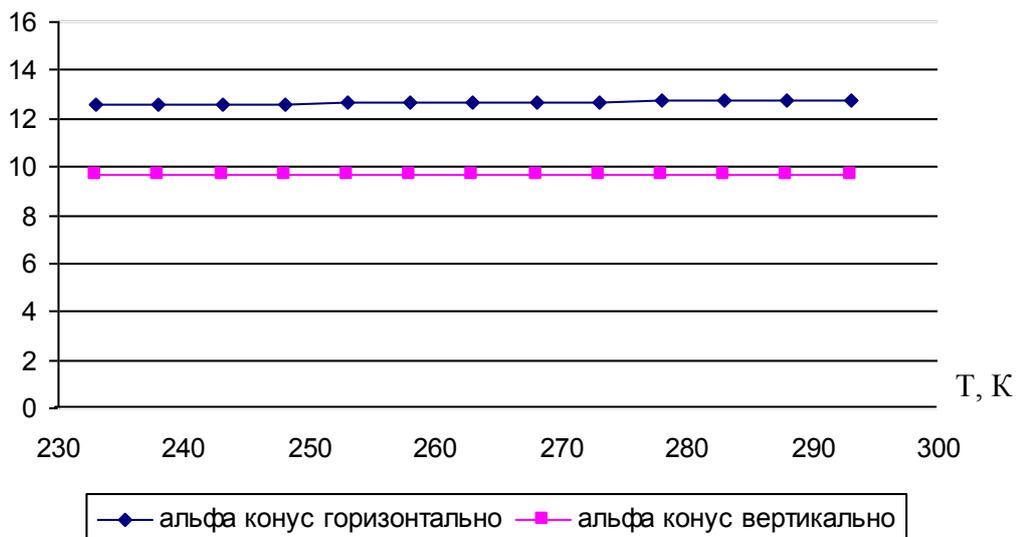


Рис.3 Изменение коэффициента теплоотдачи от температуры для плодов, имеющих коническую форму.

Приведенные расчеты показали (рис.3), что коэффициент теплоотдачи для плодов, имеющих форму конуса в 1,2-1,3 раза больше при горизонтальном расположении, чем при вертикальном

Следовательно при замораживании плодов имеющих цилиндрическую, коническую или плоскую форму их необходимо располагать горизонтально,

что позволит значительно сократить расход электроэнергии и время замораживания.

#### Литература

1. Буянов О.Н. Совершенствование процесса быстрого замораживания готовых блюд и комбинированных полуфабрикатов.// Автореф. дисс. канд. техн. наук, 1985. – с.17.
2. Венгер К.П., Выгодин В.А. Машинная и безмашинная системы хладоснабжения для быстрого замораживания пищевых продуктов. – Рязань.: “Узоречье”, 1999. – 143 с.
3. Кэйс В.М. Конвективный тепло и массообмен. М., «Энергия», 1972.448с.
4. Антуфьев В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева. М., «Энергия», 1966.184с.
5. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. М., Энергоатомиздат, 1990. 367с.
6. Исаченко В.П., Осипова В.А, Сукомел А.С. Теплопередача. М., Энергоиздат, 1981. 485с.

#### **INFLUENCING OF FORM AND LOCATION OF GARDEN-STUFFS IN COOLROOM ON COEFFICIENT OF HEAT EMISSION**

Yalpachik V.F., Struchaev N.I.

#### *Summary*

In the article the cases of change of coefficient of heat emission are considered for the horizontal and vertical location of garden-stuffs of having a, conical and flat cylindricity depending on the change of temperature