

ОБОСНОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЛОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАМОРАЖИВАНИЯ

СТРУЧАЕВ Н.И.

кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологии и тепловых процессов

ПОСТОЛ Ю. А.

кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологии и тепловых процессов

ГУЛЕВСКИЙ В. Б.

кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологии и тепловых процессов

ЖУРАВЕЛЬ Д.П.

доктор технических наук, доцент кафедры технического сервиса и систем в АПК

КОВАЛЬОВ А.В.

старший преподаватель кафедры электротехники и электромеханики им. профессора В.В. Овчарова

*Таврический государственный агротехнологический университет
г. Мелитополь, Украина*

Постановка проблемы. Длительное хранение сельскохозяйственного сырья в настоящее время является весьма актуальной проблемой. Замораживание - один из эффективных способов продления сроков использования плодов и овощей после уборочного периода, технологические режимы и условия которого постоянно совершенствуются.

При расчете процессов холодильной обработки теплофизические характеристики плодов и овощей играют существенную роль. Известно, что скорость охлаждения зависит от величины коэффициента теплоотдачи [1,2,3].

Цель работы. Исследование влияния ориентации плодов цилиндрической, конической и плоской формы, на изменение коэффициента теплоотдачи, а именно при размещении их горизонтально и вертикально на несущих поверхностях в процессе замораживания.

Основная часть. Нами исследовано изменение коэффициента теплоотдачи α плодов имеющих цилиндрическую (початки кукурузы), коническую (перец сладкий) и форму пластины (кружочки кабачков) в зависимости от изменения температуры, при размещении их горизонтально и вертикально на несущих поверхностях в процессе замораживания.

Коэффициент теплоотдачи α для горизонтального расположения плодов, имеющих цилиндрическую форму определяли по формуле [4]:

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

где Nu – критерий Нуссельта;

λ – теплопроводность воздуха, Вт/(м·К);

d – диаметр плода, м.

Критерий Нуссельта определяли по зависимости [5,6]:

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

где Gr - критерий Грасгофа;

Pr_n , Pr_b – критерий Прандтля соответственно поверхности плода и воздуха.

Критерий Прандтля и критерий Грасгофа определяли по полученным нами эмпирическим зависимостям

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

где T – текущее значение температуры в холодильной камере, К.

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

где β_t - коэффициент объёмного расширения воздуха, $1/T$;

$$\beta_t = \frac{1}{T}, \quad (5)$$

g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$;

Δt – разность температур плода и воздуха в холодильной камере;

ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$.

Кинематическая вязкость определялась по полученной нами эмпирической зависимости

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

Коэффициент теплоотдачи α для вертикального цилиндрического плода определяли по формуле:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{h}, \quad (7)$$

где h – длина плода, м.

Критерий Нуссельта определяли по зависимости:

$$Nu = 0,15 (Gr \cdot Pr)^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_i}{Pr_A} \right)^{0,25}. \quad (8)$$

Критерий Грасгофа

$$Gr = \frac{\beta_t \cdot g \cdot h^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \quad (9)$$

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

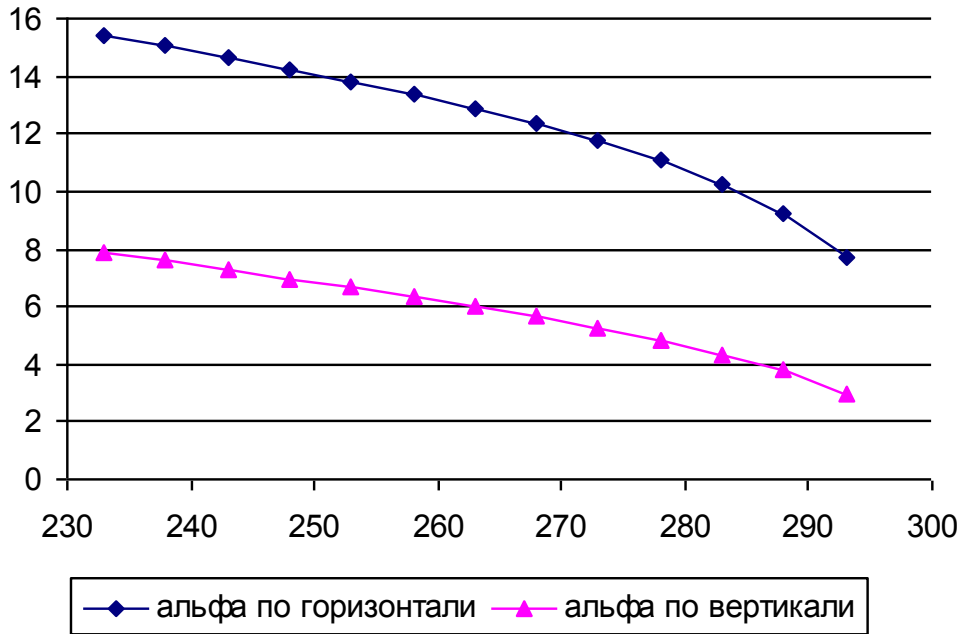


Рис.1 Изменение коэффициента теплоотдачи от температуры для цилиндрических плодов

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

Критерий Нуссельта определяли по зависимости:

$$Nu = 0,96 Ra^{\frac{1}{6}}, \quad (10)$$

где Ra - критерий Релея.

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (11)$$

При определении коэффициента теплоотдачи α и критерия Грасгофа для вертикально расположенной пластины в формулах (7) и (9), вместо длины плода подставляем толщину.

Критерий Нуссельта определяли по зависимости:

$$Nu = 0,755 (Pr^2 \cdot Gr)^{0,25}, \quad (12)$$

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

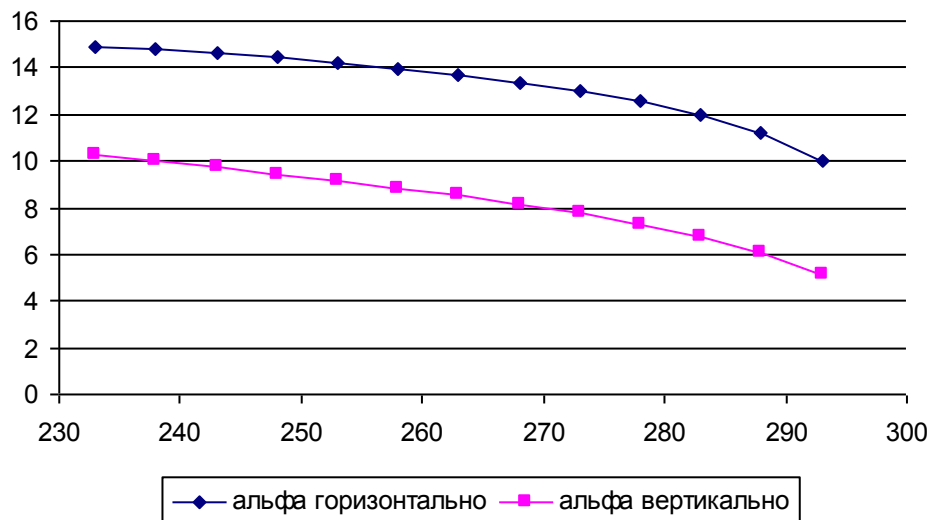


Рис. 2 Изменение коэффициента теплоотдачи от температуры для плодов, имеющих форму пластины

Проведенные расчеты показали (рис.2), что коэффициент теплоотдачи α при горизонтальном расположении плодов в 1,5-2 раза больше чем при вертикальном.

Для плодов, имеющих форму конуса и расположенных горизонтально критерий Нуссельта определяли по зависимости:

$$Nu = 0,615 Re^{0,486}, \quad (13)$$

где Re - число Рейнольдса

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

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

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

Для вертикально расположенного конуса критерий Нуссельта определяли по зависимости:

$$Nu = 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \quad (15)$$

$$Re = \frac{v \cdot h}{\nu}, \quad (16)$$

где h - высота, равна 0,08 м.

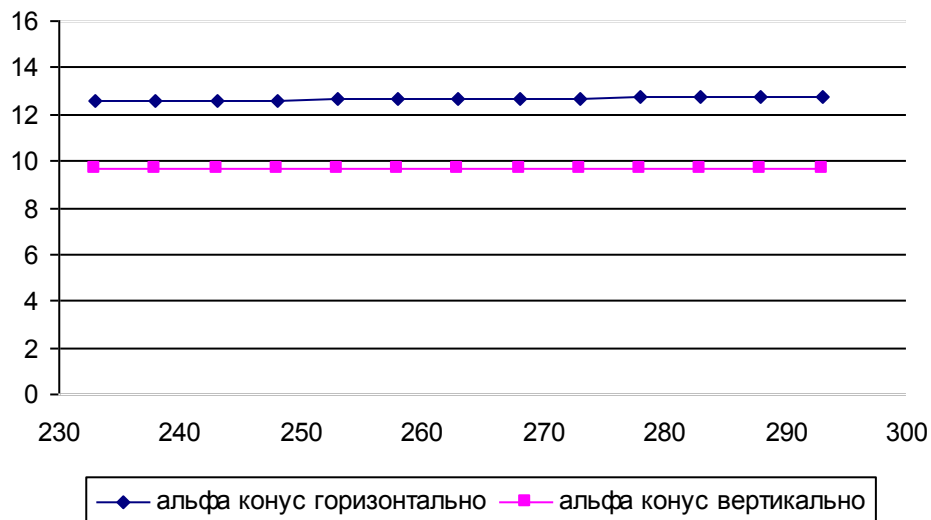


Рис.3 Изменение коэффициента теплоотдачи от температуры для плодов, имеющих коническую форму.

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

Выводы. При замораживании плодов имеющих цилиндрическую, коническую или плоскую форму их необходимо располагать горизонтально.

Для плодов имеющих цилиндрическую форму это позволит сократить расход энергии на замораживание в два раза.

Для плодов имеющих плоскую форму это позволит сократить расход энергии замораживание в полтора-два раза.

Для плодов имеющих коническую форму это позволит сократить расход энергии замораживание в 1,2-1,3 раза.

Использованная литература

1. Определение количества теплоты при замораживании и размораживании./Стручаев Н.И.// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Том2. Випуск 165. – Харків: ХНТУСГ, 2015. – с.130-131.

2. Теплофизические расчеты при замораживании и дефростации плодоовощной продукции / В. Ф. Ялпачик, Ф. Е. Ялпачик, Н. И. Стручаев // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ. - Мелітополь, 2013. - Вип. 13, т. 1. - С. 196-204.

3. Обоснование толщины подмороженного слоя кусочков кабачков и тыквы в процессе подготовки к длительному хранению в замороженном виде / В. Ялпачик, Н. Стручаев, В. Тарасенко //MOTOROL: Tom 10A/ Uniwersytet Przyrodniczy w Lubline. - Lublin, 2008. - С. 187-190.

4. Постол Ю.А., Стручев Н.И. Параметрический анализ потоков энергии процесса замораживания овощной продукции// Матеріали 7 Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті І.І. Мартиненко// Енергозбереження технологічних процесів. Мелітополь: – 2017. - С.111-112.

5. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві : навч. посібник : допущено М-вом аграр. політики / В. А. Дідур, М. І. Стручаєв ; за ред. В. А. Дідура. - К. : Аграрна освіта, 2008. - 233 с.

6. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. М., Энергоатомиздат, 1990. 367с.

7. Исаченко В.П., Осипова В.А, Сукомел А.С. Теплопередача. М., Энергоиздат, 1981. 485с.