

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



Кафедра ОПХВ імені
професора Ф.Ю. Ялпачика

ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи
з дисципліни „Основи холодильних технологій“
для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр»
з напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування»

Мелітополь, 2019

Тепловий розрахунок процесу охолодження. Методичні вказівки для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» з напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування» - Таврійський державний агротехнологічний університет, 2019. – 12 с.

Розробники: к.т.н., доцент Загорко Н.П.,
к.т.н., доцент Тарасенко В.Г.

Рецензент: доц. кафедри
електротехнології та теплових процесів _____ М.І. Стручаєв

Розглянуто і затверджено на засіданні кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика

«___» «_____» 2019 р., протокол № ____.

Розглянуто та рекомендовано до друку методичною Радою факультету інженерії та комп'ютерних технологій

«___» «_____» 2019 р., протокол № ____

Лабораторна робота

Тепловий розрахунок процесу охолодження

Мета роботи: визначити основні задачі теплового розрахунку. Навчитися розраховувати тривалість охолодження

В результаті виконання даної роботи студент повинен

знати: методику розрахунків процесу охолодження

вміти: визначати тривалість охолодження

Самостійна підготовка до заняття: За підручниками та лекційним курсом ознайомитися з теоретичним матеріалом по темі лабораторної роботи.

Питання для самоперевірки

1. Чому необхідно визначати тривалість охолодження?
2. Від чого залежить безрозмірна температура?
3. Що характеризує критерій Біо ?
4. Як визначити коефіцієнт тепловіддачі?
5. Що таке критерій Фур'є?
6. Як визначається кількість теплоти, що відводиться при охолодженні?

Теоретичне обґрунтування

Задачею теплового розрахунку є визначення тривалості охолодження харчових продуктів і кількості теплоти, яку вони виділяють у процесі охолодження.

Тривалість охолодження. Цей параметр служить основою для розрахунку необхідної місткості апаратів та камер холодильної обробки продуктів, оцінки ефективності їх роботи, а також для визначення кількості теплоти, відведеної в процесі охолодження, підбору холодильного устаткування.

Найбільш просто **тривалість охолодження продуктів** можна знайти, користуючись номограмами (див. додаток Є), які

виражають графічну залежність безрозмірної температури θ від критеріїв Фур'є і Біо.

Безрозмірну температуру θ обчислюють за виразом:

$$\theta = \frac{t - t_c}{t_H - t_c}, \quad (1)$$

де t – кінцева температура продукту;

t_H – початкова температура продукту;

t_c – температура охолодженого середовища.

Критерій Біо, що характеризує ефективність теплообміну поверхні продукту з охолодженим середовищем, розраховують за формулою:

$$Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda}, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні продукту до охолодженого середовища, Вт/(м²·К);

δ – половина товщини продукту, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності продукту, Вт/(м·К).

Коефіцієнт теплопровідності продукту, який входить у формулу для розрахунку критерію **Bi**, визначають за таблицею А1 додатка А, а **коефіцієнт тепловіддачі** — за критеріальною залежністю теплообміну при змушеному і природному русі охолодженого середовища у поверхні продукту.

Приблизно **коефіцієнт тепловіддачі** від продукту до повітря можна знайти за допомогою залежності Юргенса

$$\alpha = 1,16(5,3 + 3,6 \cdot \omega), \quad (3)$$

де ω — швидкість руху повітря у поверхні продукту, м/с.

Для наближених розрахунків **коефіцієнт тепловіддачі** від продукту до рідкого середовища при природній конвекції можна прийняти рівним **200 – 230 Вт/(м²·К)**, при швидкості руху рідини 0,5 м/с — 1000 Вт/(м²·К).

За знайденим значенням безрозмірної температури і критерієм Bi з *номограми* (див. додаток Є) для пластини, циліндра або кулі визначають точку перетинання відповідних прямих. З отриманої точки опускають перпендикуляр на ось абсцис і знаходять значення *критерію Фур'є*.

Критерій Фур'є, або безрозмірний час, визначається за формулою:

$$Fo = \frac{a\tau}{\delta^2}, \quad (4)$$

де a – коефіцієнт температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$;

τ – тривалість охолодження, с ;

δ – половина товщини продукту, м .

Звідки:

$$\tau = \frac{Fo \cdot \delta^2}{a}, \quad (5)$$

У такий спосіб обчислюють необхідну тривалість охолодження продукту від початкової температури t_H до кінцевої t на осевій лінії продукту.

Коефіцієнт температуропровідності a продукту, що входить у формулу для визначення τ , знаходять з таблиць теплофізичних характеристик продуктів.

У наближених розрахунках можна прийняти $a = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

Приклад. Визначити тривалість охолодження м'яса свинини в півтушах, якщо його початкова і кінцева температури відповідно рівні 37 і 2 °С, товщина стегової частини складає 0,2 м. Температуру і швидкість руху повітря прийняти рівними відповідно 0 °С і 3 м/с.

Рішення. Знаходимо безрозмірну температуру

$$\theta = \frac{t - t_C}{t_H - t_C} = \frac{2}{37} = 0,054$$

При заданій швидкості руху повітря коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні м'яса до охолодного середовища

$$\alpha = 1,16(5,3 + 3,6 \cdot \omega) = 1,16(5,3 + 3,6 \cdot 3) = 18,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Обчислюємо критерій Біо (λ знаходять за таблицею А1 додатку А)

$$Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda} = \frac{18,7 \cdot 0,1}{0,49} = 3,82$$

При тому, що стегнова частина півтуши по конфігурації близька до кулі, то критерій Фур'є знаходимо з номограми зміни температури в центрі кулі ($Fo = 0,7$).

Тоді тривалість охолодження

$$\tau = \frac{Fo \cdot \delta^2}{a} = \frac{0,7 \cdot 0,1^2}{1,25 \cdot 10^{-7}} = 5,6 \cdot 10^4 \text{ с} = 15 \text{ годин}$$

Кількість теплоти, що відводиться при охолодженні.
Кількість теплоти, що відводиться в процесі охолодження, визначають за виразом:

$$Q = mc(t_H - t), \quad (6)$$

або

$$Q = m(i_H - i), \quad (7)$$

де m – маса продукту, кг;

c – питома теплоємність продукту, кДж/(кг·К);

t_H – початкова температура продукту, °С;

t – кінцева температура продукту, °С;

$(i_H - i)$ – різниця питомих ентальпій продукту при його початковій і кінцевій температурах, кДж/кг.

Приклад. Визначити кількість теплоти, що відводиться від охолодженого м'яса яловичини масою 20 т у повітря камери. Початкову і кінцеву температури м'яса прийняти відповідно рівними 37 і 2 °С, а його питому теплоємність при масовій долі вологи $W = 0,7$ прийняти рівною 3,23 кДж/(кг·К).

Рішення. Кількість теплоти, що відводиться від м'яса, знаходимо за формулою 1.6:

$$Q = 20000 \cdot 3,23 \cdot (37 - 2) = 2261 \cdot 10^3 \text{ кДж}$$

Зміст роботи

- 1 Вивчити теоретичне обґрунтування і зробити короткі записи.
- 2 Провести розрахунки за варіантом.
- 3 Про виконану роботу зробити висновки.

