

Затрати електроенергії на охолодження і зберігання плодоовочевої продукції в залежності від режимів роботи охолоджуючих і вентиляційних систем

По роботі розглянуті питання визначення величини енергоспоживання системою охолодження плодовоовочесховища і шляхів їх зниження.

плодовоовочесховища, системою охолодження, холодильне, імпульсно-періодичних режимів, зони охолодження плоду

На підприємствах АПК затрати електроенергії на вироблення холоду, відповідно проектним даним, повинні складати 25-30% від загальної кількості споживаної енергії, але фактично, за даними прямих вимірів, вони досягають 50-60% [1]. В подальшому доля енерговитрат на холодильну обробку може збільшуватись у зв'язку із стійкою тенденцією до зниження температур зберігання і інтенсифікації процесів термообробки продукції.

Тому питання зниження енерговитрат в теперішній час стають дуже актуальними у зв'язку із постійною напруженістю паливо-енергетичного балансу господарств і збільшенням потужностей підприємств, які виробляють плодовоовочеву продукцію.

Згідно до результатів досліджень і узагальнень [1,3] основним фактором, що впливає на енерговитрати при холодильному зберіганні є експозиція охолодження продукції; її зменшення шляхом інтенсифікації процесу дозволяє значно зменшити питомі витрати енергії на одиницю продукції, що реалізується.

Другим напрямком підвищення енергетичної ефективності процесу охолодження є застосування режимів „імпульсно-шокового охолодження” [3], тобто короткочасна (імпульсна) обробка продукції повітрям низької температури. Оскільки усі заходи інтенсифікації пов'язані із затратами енергії, необхідно з'ясувати їхню енергетичну ефективність.

Метою досліджень є визначення технічної і енергетичної ефективності імпульсно-періодичних режимів обробки плодовоовочевої продукції холодом.

Відповідно [4] потужність холодильного агрегату визначається співвідношенням:

$$N = \frac{Q_0}{\left(\frac{T_0}{T_k} + \xi \cdot t_0 \right) \eta_m \frac{q_0}{l_a}}, \text{ кВт} \quad (1)$$

де q_0 - холодопродуктивність 1 кг холодоагенту, кДж/кг;

T_0, t_0 - температура кипіння (в °К і °С) холодоагенту;

T_k - температура конденсації;

ξ - коефіцієнт, що враховує втрати при транспортуванні холоду;

$$Q = \frac{\Delta T}{R} - \text{навантаження на повітря охолоджувача};$$

ΔT - різниця температур повітря в камері і киплячого холодоагенту;

R - термічний опір ланки повітря-конструкція охолоджувача;

b - коефіцієнт, для аміачних компресорів $b = 0.001 \div 0.002$;

l_a - теоретична робота стиснення в циклі, кДж/кг.

Споживана енергія на отримання холоду визначається із очевидного співвідношення:

$$E = N_k \cdot \tau_o, \quad \text{кВт} \quad (2)$$

де τ_o - час охолодження продукції, год.

Втрати продукції в процесі охолодження можна визначити за кількістю видаленої вологи, що визначається законом Дальтона і з поправкою В.З.Жадана [3], може бути визначена із співвідношення:

$$W = \beta \cdot F \cdot \varepsilon_u (P_n(\theta) - P(d)) \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{1}{R \cdot T}, \quad \text{кг} \quad (3)$$

де β - коефіцієнт вологообміну;

F - поверхня продукції, м²;

ε_u - коефіцієнт випаровувальної здатності;

$P_n(\theta)$ - насичуюча пружність пари над поверхнею матеріалу, Па;

$P(d)$ - насичена пружність пари в оточуючому повітрі, Па;

θ, d - температура поверхні матеріалу і вологовміст повітря, відповідно, °С та г/кг·с.п.

Значення насичуючої пружності пари над поверхнею матеріалу можна визначити за формулою Алямовського [5]:

$$P_n(\theta) = 650.6 \cdot \exp(0.0622 \cdot \theta), \quad \text{Па}. \quad (4)$$

Кількість збереженого продукту:

$$G_n = G(1 - \Delta G), \quad (5)$$

де $\Delta G = \frac{W}{G}$ - усушка;

G - маса врожаю.

Тоді питомі витрати енергії визначаються співвідношенням:

$$e = \frac{N \cdot \tau}{G(1 - \Delta G)}, \quad \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{t}. \quad (6)$$

Значення коефіцієнту вологообміну від поверхні продукту до повітря, що проходить крізь шар (яблук) можна визначити з залежності [6]:

$$\beta = \frac{D}{d_e} 0.989 \cdot \text{Re}^{0.59} \cdot \text{Sc}^{0.33}, \quad \frac{\text{кг}}{\text{год} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{мм рт.ст.}} \quad (7)$$

де Re, Sc - критерії Рейнольдса і Шмидта;

D - коефіцієнт дифузії водяної пари у повітрі;

d - діаметр плоду, м.

Як показано в нашій роботі втрати маси плодом при охолодженні залежать в основному від різниці температури поверхні і центру плоду ($\Delta \theta_i = \theta_{\text{п}_i} - \theta_{\text{ц}_i}$), а

величини температури поверхні і об'єму плоду визначаються рішенням рівняння теплопровідності виду:

$$\frac{\partial \theta(r, \tau)}{\partial \tau} = a_e \left(\frac{\partial^2 \theta(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \theta(r, \tau)}{\partial r} \right), \quad (8)$$

$$\text{де } a_e = \frac{\lambda}{\rho_0 c_e};$$

$$c_e = c - \frac{r \cdot \varepsilon}{\nu_T} = \frac{c(Rb + \varepsilon)}{Rb};$$

$$\nu_T = \frac{d\theta}{dU};$$

Rb - критерій Ребіндера.

Критерій Ребіндера характеризує співвідношення теплоти, що втрачається на нагрівання тіла до теплоти на випарування з нього води. Критерій ε характеризує частину вологи яка випаровується всередині плоду.

Відведення температури від плоду визначається коефіцієнтом конвективної тепловіддачі, що входить до граничних умов III роду. Збільшення інтенсивності відведення теплоти від плоду при поверхневому випаруванні вологи будемо враховувати введенням коефіцієнту теплообміну при випаруванні вологи:

$$\alpha' = (\alpha_k + \alpha_e). \quad (9)$$

Тоді граничні умови запишемо у вигляді:

$$-\lambda \frac{\partial \theta(r, \tau)}{\partial r} = \alpha' [T_c - \theta(r, \tau)]. \quad (10)$$

Рішення рівняння (8) при граничних умовах (9,10) при використанні одного члена ряду ($F_0 > F_{01}$ - стадія регулярного режиму) відоме і має вигляд:

$$\theta = t_c + (\theta_0 - t_c) D(\mu_1) \frac{R \sin\left(\mu_1 \frac{r}{R}\right)}{\mu_1 \cdot r} \cdot e^{-\mu_1^2 \frac{a_e}{R^2} \tau}, \quad (11)$$

$$\text{де } D(\mu_1) = \frac{2(\sin \mu_1 - \mu_1 \cos \mu_1)}{\mu_1 - \sin \mu_1 \cdot \cos \mu_1};$$

$$\mu_1 - \text{корні характеристичного рівняння, } \operatorname{tg} \mu_1 = -\frac{1}{Bi-1} \mu_1;$$

θ_0 - початкова температура плода;

t_c - температура охолоджуючого повітря.

Величина μ_1 залежить від умов теплообміну плоду з повітрям і визначається критерієм

$$\text{БИО } (Bi = \frac{\alpha'}{\lambda} R).$$

Отримана залежність відрізняється від відомих тим, що враховує теплоту яка втрачається на внутрішнє випаровування вологи і взаємозв'язок температури з вологовмістом, так, як $a_e = f(\varepsilon, r_0, Rb)$.

Оскільки температура повітря (за прийнятою схемою процесу) змінюється тільки за координатою то її значення визначимо з теплового балансу повітря і сировини:

$$t = t_1 \cdot e^{-T_1 \cdot Z} + \theta(1 - e^{-T_1 \cdot Z}), \quad (12)$$

$$\text{де } T_1 = \frac{\alpha \cdot f}{L \cdot c_p \cdot \rho \cdot H};$$

α, f - коефіцієнт і поверхня теплообміну продукту з повітрям, відповідно $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ та м^2 ;

H - висота шару (штабеля), м;

$q(\theta)$ - питомі тепловиділення продукцією, Вт/т ;

L, c_p, ρ - питомі витрати повітря, його теплоємність і густина, відповідно, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{т}$, $\text{кДж/кг} \cdot \text{К}$, кг/м^3 ;

t, θ - температура охолоджуючого повітря і продукту, $^{\circ}\text{C}$;

τ, Z - час і поточна координата.

Розв'язок рівняння (11) з урахуванням (12) дає можливість визначити нестационарне поле температури в плоді в процесі охолодження.

Для визначення кінетики „розігріву” продукту в штабелі, тобто змінення середньої температури плодів при відсутності примусового вентилявання і вимкнених холодильних приладів у часі за умов наявності теплопритоків від зовнішнього повітря і сонячної радіації запишемо систему рівнянь теплового балансу у вигляді:

$$\alpha \cdot f(t - \theta) = -q(\theta)m, \quad (13)$$

$$J \cdot F + k_1 \cdot F_1(t_3 - t) = \alpha \cdot f(t - \theta), \quad (14)$$

де J, F - тепла потужність сприйнятого випромінювання зовнішньої поверхні F ;

k_1, F_1 - коефіцієнт теплопередачі огороження і його поверхня;

m - маса плодів у сховищі;

t_3 - температура зовнішнього повітря.

Із системи рівнянь (13-14) отримаємо залежність температури повітря в сховищі від внутрішніх та зовнішніх теплопритоків:

$$t = \frac{(J \cdot F + q(\theta)m)}{k_1 \cdot F_1} + t_3, \quad (15)$$

Підвищення температури продукту відбувається за рахунок теплопритоків зовні та тепловиділень самого продукцією.

Отримані залежності дозволяють визначити основні показники процесу: експозицією охолодження продукції (на прикладі зберігання), питомі витрати енергії на охолодження, втрати продукції при охолодженні та зберіганні і на їх основі визначити раціональні параметри імпульсно-періодичного охолодження.

Результати обчислювальних експериментів виконані за отриманими рівняннями наведено на рис. 1.

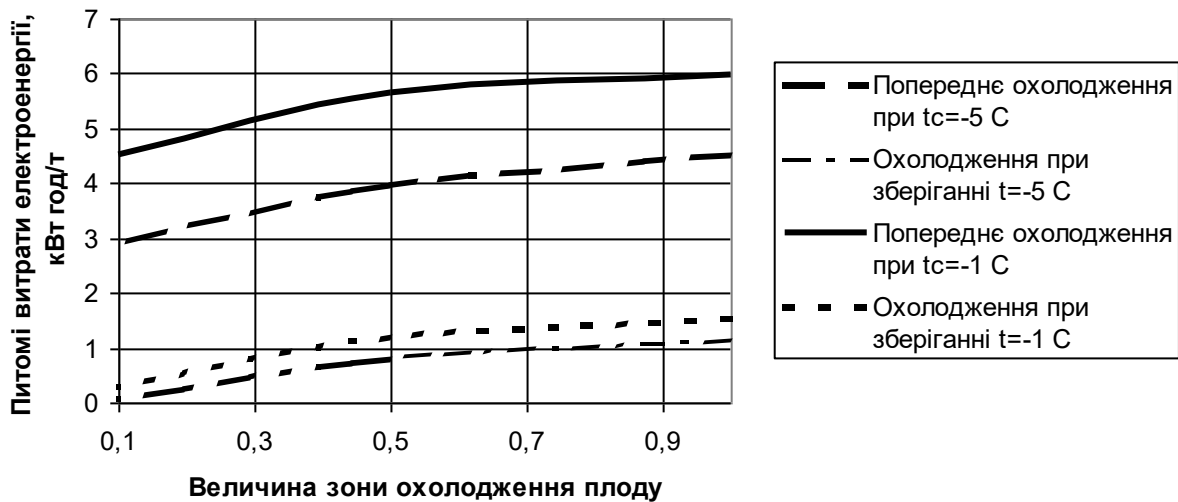


Рисунок 1 – Питомі витрати електроенергії в залежності від відносної величини зони охолодження плоду

Аналізом проведених досліджень встановлено, що зменшення відносної величини зони охолодження плоду до 0,2 (25% об'єму плоду) дозволяє знизити питомі витрати електроенергії на 24-36 % в залежності від режиму охолодження.

Список літератури

- 1 Чумак І.Г., Онищенко В.П., Шахневич В.И. и др. Экономия энергоресурсов и сокращение потерь продукции при холодильной обработке. К: Урожай, 1990.– 168 с.
- 2 Чумак І.Г. Пути повышения эффективности охлаждающих систем производственных холодильников. М.: ЦНИИТЭИ мясомолпром, 1981.- 26 с.
- 3 Жадан В. З. Теплофизические основы хранения сочного растительного сырья на пищевых предприятиях. М.: Пищевая промышленность, 1976.- 235 с.
- 4 Чумак І.Г., Чепуренко В.П. Холодильные установки. М.: Лег. и пищ. промышленность, 1981.- 344 с.
- 5 Алямовский И.Г. Теплообмен при охлаждении плодов и овощей в штабелях// Холодильная техника, 1973 №6.– С.36-39.
- 6 Чуклин С., Чумак І., Файнзильберг Е. Современные холодильники для хранения фруктов. Кишинев: Картя Молдова, 1970.- 168 с.

В работе рассмотрены вопросы определения величины энергопотребления системой охлаждения плодоовоще хранилища и пути их снижения.

In work questions of energy consumption size definition by cooling system of fruits and vegetables storehouse, and ways of their reduction are considered.

Одержано 08.09.05