

УДК 621.565

*М.Г. Хмельнюк, Н.В. Жихарєва, О.В. Ольшевська*

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна

**ДОЦІЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ТОВЩИНА СУЧАСНИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПЛОДОВООВОЧЕСХОВИЩ**

*В роботі розглянуто вплив доцільно-економічної товщини ізоляції на оптимізацію енерго- та ресурсозберігаючої системи охолодження плодоовочесховищ. Наведена методика розрахунку. Надані результати розрахунку доцільно-економічної товщини сучасних теплоізоляційних матеріалів.*

**Ключові слова:** ізоляційні матеріали; оптимізація; тепло масообмін; енерговитрати; плодоовочесховище

*М.Г. Хмельнюк, Н.В. Жихарева, О.В. Ольшевская*

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039, Украина

**ЦЕЛЕСООБРАЗНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТОЛЩИНА СОВРЕМЕННЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПЛОДОВООВОЩЕХРАНИЛИЩ**

*В работе рассмотрено влияние целесообразно экономической толщины изоляции на оптимизацию энерго- и ресурсосберегающих систем охлаждения плодоовощехранилищ. Приведена методика расчета. Приведены результаты расчета целесообразно-экономической толщины современных теплоизоляционных материалов.*

**Ключевые слова:** изоляционные материалы; оптимизация; теплообмен; энергозатраты; плодоовощехранилище

DOI: 10.15673/0453-8307.3/2015.39270



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**I. ВСТУП**

Аналіз літературних джерел за темою зберігання плодоовочевої продукції при застосуванні холоду показує, що проблема оптимізації підприємств є комплексною і пов'язана з багатьма факторами технологічного та конструктивного порядку, одним з яких є визначення економічно доцільної товщини теплоізоляції. [1,2,3].

Зменшення витрат та підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва можлива при умові створення розмежованої мережі холодильників малої та середньої місткості з цехами попередньої обробки, які розташовані в сільській місцевості поряд з місцями вирощення [5,6]. Ця задача найбільш ефективно і швидко може бути вирішена будівництвом мобільних холодильників, які укомплектовані сучасним аміачним холодильним обладнанням. З даною метою розробляються проекти оптимальних холодильних модулів.

З метою зниження втрати холоду під час роботи холодильних підприємств, застосовують високоефективні теплоізоляційні матеріали, що дозволяє ліквідувати будь-які теплопритоки в холодильній камері. Теплоізоляційні матеріали працюють в агресивних умовах експлуатації: по-

перше сталість низьких температур, по-друге перманентна дифузія водяної пари через огорожуючі конструкції, тобто зволоження.

Захист огорожуючої конструкції від зволоження можливо досягти при застосуванні комплексу заходів:

- виконанням неперервного ефективного гідро пароізоляційного шару зі сторони більш теплого середовища;
- герметизацією місць проходження через пароізоляційний шар анкерів, болтів та ін. елементів;
- розташуванням матеріалів в конструкції огороження в такому порядку, щоб їх опір паропроникненню знижувався в напрямку до більш холодної поверхні.

Задачею, яка вирішується в даній статті є визначення економічно-доцільної товщини прошарку теплоізоляції з урахуванням повітроділення при активному вентиляванні штабеля плодоовочевої продукції в умовах динамічно змінюваної температури зовнішнього повітря.

З огляду на вищезазначені пункти вибір високоефективного теплоізоляційного матеріалу є однією з ключових моментів при проектуванні.

## II. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Для підтримання заданої температури в камері холодильника необхідно, щоб всі теплопритоки відводилися камерним обладнанням. При підборі відповідного холодильного обладнання, перш за все, необхідно враховувати тепло-припливи через захисні конструкції камери зберігання. Ці теплопритоки є змінними в часі, що зв'язане з добовими, сезонними або іншими короткостроковими коливаннями температури зовнішнього повітря.

Теплове навантаження на холодильну установку є найбільшою або в самий жаркий літній період року, або під час найбільшого експлуатаційного навантаження (наприклад, в період охолодження плодоовочевої продукції).

В інженерній практиці проектування холодильників, як правило, користуються методикою теплового розрахунку огорожень, за якою всі теплопритоки вважаються постійними в часі і приходяться на літній період року. Наприклад, для умов Одеської області (48 градусів північної широти) як розрахункову температуру зовнішнього повітря приймають  $t_n = 32$  С [4].

Процес передачі тепла через огороження, всі параметри якого залишаються незмінними в часі, називається стаціонарним і є найбільш простим випадком теплопередачі.

До стаціонарної теплопередачі звичайно прагнуть привести важливі для проектування огорожень і систем розрахункові умови. В цьому випадку розрахунок теплопередачі зводиться до розгляду порівняно простих стаціонарних температурних полів і теплових режимів конструкцій. Найпростішим є одновимірне стаціонарне температурне поле, яке для багат шарового огороження може бути визначене диференціальним рівнянням [1].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right] = 0 \quad (1)$$

Конструкції сучасних багат шарових огорожень характеризуються розподілом функцій між окремими матеріальними шарами (рисунком 1). В загальному випадку захист складається з конструктивного (основного) шару, теплоізоляційного шару, а також паро- або гідроізоляційного шару, внутрішнього і зовнішнього фактурних шарів. У відношенні режиму теплопередачі основними є конструктивний і теплоізоляційний шари. Конструктивним звичайно є шар з матеріалу високої густини, а тому із значною теплопровідністю і погано проникний для водяної пари і повітря.

Одновимірне температурне поле огороження може бути розраховане достатньо просто:

для кожного однорідного матеріального шару, згідно рівняння (1), має місце лінійний розподіл температури [1].

Встановлено, що теплозахисні властивості багат шарового огороження визначаються опором  $R_0$ , який дорівнює сумі опорів теплопровідності окремих матеріальних шарів  $R_i$  і опорів теплообміну на внутрішній  $R_e$  і зовнішній  $R_n$  поверхнях:

$$R_0 = R_e + \sum R_i + R_n \quad (2)$$

де

$$R_e = 1/\alpha_e, R_n = 1/\alpha_n, R_i = \delta_i/\lambda_i$$

$\delta_i$  – товщина і-го шару;  $\lambda_i$  – теплопровідність матеріалу і-го шару.

Економічно доцільний опір теплопередачі  $R_{0, \text{ек}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{год}^0 \text{С} / \text{кДж}$ , захисної конструкції слід приймати, виходячи з умови забезпечення найменших зведених витрат  $\Pi$ , грн /  $\text{м}^2$ , який визначається за формулою [4,6].

$$\Pi = C_D + \frac{(t_n - t_e) z_3 m C_T l_T}{R_0 E_{n.n.}} \quad (3)$$

де  $C_D$  – одноразові витрати (собівартість будівельно-монтажних робіт, грн/ $\text{м}^2$ ). При визначенні зведених витрат по рівнянню (3) допускається одноразові витрати  $C_D$  визначати без врахування накладних витрат і планових накопичень. При розробці типових проектів  $C_D$  слід визначати для умов, встановлених чинними інструкціями для визначення кошторисної вартості будівництва і типових проектів.

Розглянемо розрахунок економічно доцільної товщини ізоляції багат шарової теплозахисної конструкції з точки зору найменших зведених витрат (3). Для цього визначимо явну залежність зведених витрат від товщини шару ізоляції  $\Pi = \Pi(\delta_{iz})$ .

Передусім, одноразові витрати  $C_D$  є лінійною функцією товщини термоізоляції

$$C_D = C_0 + C_{iz} \delta_{iz} \quad (4)$$

де  $C_0$  – постійні одноразові витрати, які не залежать від вартості термоізоляції, грн/ $\text{м}^2$ ;  $C_{iz}$  – вартість теплової ізоляції, грн /  $\text{м}^3$ .

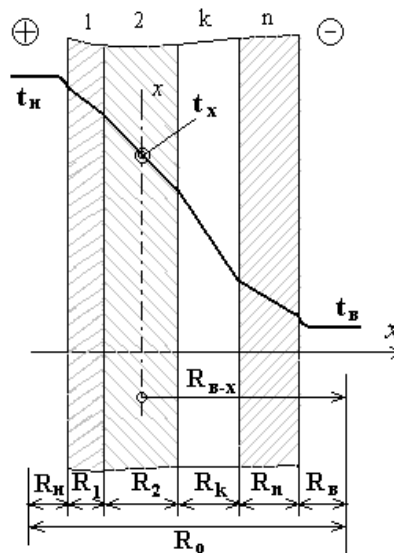


Рисунок 1 – Одновимірне температурне поле багат шарового огороження.

Зведені витрати визначаються наступною залежністю:

$$P = P(\delta_{uz}) = C_0 + C_{uz}\delta_{uz} + \frac{k}{\bar{R}_0 + \frac{\delta_{uz}}{\lambda_{uz}}} =$$

$$= C_0 + C_{uz}\delta_{uz} + \frac{k\lambda_{uz}}{\bar{R}_0\lambda_{uz} + \delta_{uz}},$$

де величина  $k = \frac{(t_n - t_e)z_3 m C_T l_T}{E_{н.н.}}$

З умови мінімальності зведених витрат  $\frac{\partial P}{\partial P_{uz}} = 0$  знаходимо

$$C_{uz} - \frac{k\lambda_{uz}}{(\bar{R}_0\lambda_{uz} + \delta_{uz})^2} = 0 \quad (6)$$

звідки товщина термоізоляції, яка забезпечує найменше значення зведених витрат, визначається залежністю

$$\delta_{uz}^{ЕК} = \sqrt{\frac{S \cdot \lambda_{uz}}{C_{uz}}} - R_S \cdot \lambda_{uz} \quad (7)$$

### III. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Сучасний попит на екологічні та високоефективні матеріали змушує виробників теплоізоляційних конструкцій шукати нові рішення у сфері виготовлення та виробництва нового типу теплоізоляційних матеріалів. Кожному виду ізоляції висувається велика кількість вимог: екологічність, економічність, довговічність, надійність, безпечність та ін.

Базуючись на наведеній методиці розрахунку та зазначеним вимогам до теплоізоляційних матеріалів. Саме таким вимогам відповідають матеріа-

ли Тепловер – сухі будівельні суміші із додаванням теплоізоляційних наповнювачів. Матеріал розроблено на основі природних мінералів вермікуліту та перліту і використовується для теплоізоляції штукатурним способом. Тепловер органічно поєднує високі енергозберігаючі властивості з простою застосування та безпекою для здоров'я людини.

Матеріал має високу паропропускну здатність, створюючи комфортний мікроклімат у приміщеннях. Повітряна волога не затримується всередині приміщень і не накопичується у стінах, вона видаляється назовні просто через огорожуючі конструкції і теплоізоляцію.

Для подальшого визначення доцільності та можливості використання даного матеріалу у якості ізоляції холодильних камер та приміщень кондиціонування та вентиляції виконаємо його порівняння з ізоляційними матеріалами, які на даному етапі розвитку низькотемпературної техніки мають широке застосування.

До таких ізоляційних матеріалів можна віднести: пінополіуретан, пінополістирол, ПСБС та мінеральну вату.

Конструкції сучасних багат шарових огорожень характеризуються розподіленням функцій між окремими матеріальними шарами. В загальному випадку захист складається з конструктивного (основного) шару, теплоізоляційного шару, а також паро- або гідроізоляційного шару, внутрішнього і зовнішнього фактурних шарів. У відношенні режиму теплопередачі основними є конструктивний і теплоізоляційний шари. Конструктивним звичайно є шар з матеріалу високої густини, а тому із значною теплопровідністю і погано проникний для водяної пари і повітря.

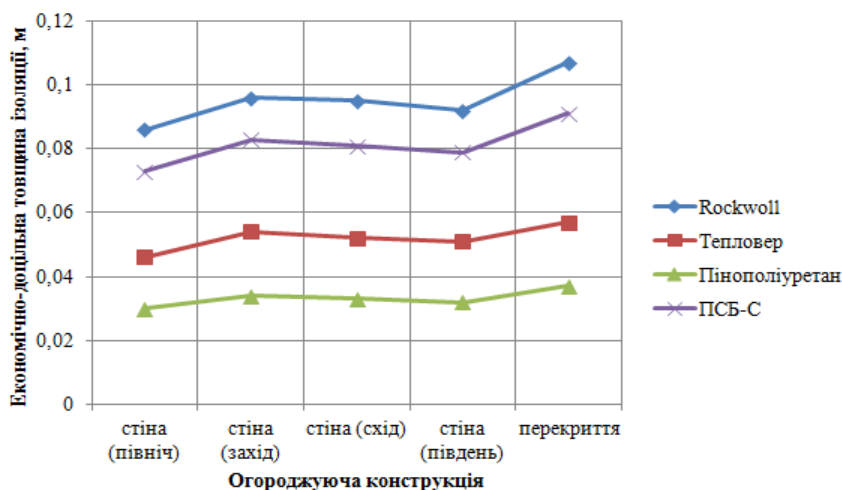


Рисунок 2 – Залежність економічно-доцільної товщини ізоляції від матеріалу та орієнтації стіни у просторі.

### IV. ВИСНОВКИ

Доцільно-економічна товщина ізоляції є складовою комплексної економіко-математичної моделі холодильного зберігання плодоовочевої

продукції. Ця модель враховує не тільки теплофізичні аспекти, але й також і фактори по мінімізації змінної частини зведених витрат, які пов'язані з витратами енергії та води.

В основу теплофізичної складової моделі по

кладені з одного боку оптимальні параметри зберігання, які забезпечують мінімальні природні витрати при тривалому зберіганні плодоовочевої продукції, а з іншого – економічна доцільність товщини теплоізоляції огороджуючих конструкцій в залежності від холодопродуктивності охолоджуючої системи для відповідної кліматичної зони.

При проектуванні холодильників-плодоовочесховищ, враховуючи, що теплоізоляція огороджуючої конструкції складає до 40% від вартості капіталовкладень на будівництво холодильників, необхідно проводити розрахунок економічно доцільної товщини термоізоляції, забезпечують мінімум зведених витрат.

Було визначено економічно-доцільну товщину шару теплоізоляції з урахуванням способу повітророзподілу при активному вентиляванні штабеля плодоовочевої продукції в умовах динамічно змінюваної температури зовнішнього повітря. Наприклад для південної зони м Одеса економічно-доцільна товщина шару теплоізоляції складає:  $\delta_{із}=0.032$  (пінополіуретан) і  $\delta_{із}=0.079$  м (ПСБ-С),  $\delta_{із}=0.092$  м (Rockwool) і  $\delta_{із}=0.051$  м (Тепловер) (рисунок 2).

Конструктивна реалізація оптимізаційних розрахунків економічно-доцільної товщини ізоляції сучасних теплоізоляційних матеріалів дозволить значно зменшити витрати плодоовочевої продукції при тривалому зберіганні, знизити енергетичні та капітальні витрати. Оптимізація системи охолодження плодоовочесховищ повинна здійснюватися при індивідуальному підході до кожного холо-

дильного об'єкту, з врахуванням кліматичних та економічних показників розташування холодильника, а також технологічних особливостей зберігання плодоовочевої продукції.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Лабай, В.Й.** Тепломасообмін [Текст] / В.Й. Лабай. – Львів:Тріада плюс, 2004. – 260 с.
2. **Жихарева, Н.В.** Повышение эффективности системы охлаждения плодоовощехранищ [Текст] / Н.В. Жихарева, М.Г. Хмельнюк // Вестник международной академии холода. – 2013. – Выпуск 4. – С. 16–20.
3. **Жихарева, Н.В.** Підвищення ефективності активного вентилявання при зберіганні плодоовочевої продукції [Текст] / Н.В.Жихарева, М.Г.Хмельнюк // Наукові праці – 2014. – Випуск 45. Т.1. – С. 116–120.
4. **Жихарева, Н.В.** Чинники, що впливають на оптимізацію системи охолодження плодоовочесховищ [Текст] / Н.В. Жихарева // Збірник наукових праць 2-ї Міжнародної науково-технічної конференції. “Сучасні проблеми холодильної техніки і технології” – 2002. – С. 137–142.
5. **Жихарева, Н.В.** Оптимізація режиму роботи холодильної установки плодоовочесховищ [Текст] / Н.В.Жихарева, М.Г.Хмельнюк // Холодильна техніка та технологія. – 2012. – №5 (139). – С. 16-20.
6. **Жихарева, Н.В.** Математична модель процесів зберігання плодоовочевої продукції [Текст] / Н.В.Жихарева // Науково-виробничий журнал «Харчова наука і технологія» – 2013. – № 4 (25) – С. 107-111.

*M. Khmelniuk, N. Zhikhareva, O. Olshevska*

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaya str., Odessa, 65082, Ukraine

## EXPEDIENT-ECONOMIC THICKNESS OF MODERN INSULATING MATERIAL FOR FRUIT-VEGETABLE WAREHOUSES

*The impact of expedient-economic insulation thickness on energy and resource saving fruit-vegetable warehouses cooling systems optimization is examined in the paper. The method of calculation is presented. The calculation results for expedient-economic thickness of modern insulating materials are introduced.*

**Key words:** *insulating materials; optimization; heat-mass exchange; energy losses; fruit-vegetable warehouses*

## REFERENCES

1. **Labay V.Y. 2004.** Teplomasoobmin. L'viv:Triada plus, 260 p.
2. **Zhikhareva N.V., Khmelniuk M.G. 2013.** Povyshenie effektivnosti sistemy ohlazhdeniya plodoovoschexranish. *Vestnik mezhdunarodnoy akademii holoda*, (4), 16–20.
3. **Zhikhareva N.V., Khmelniuk M.G. 2014.** Pidvyshchennya efektyvnosti aktyvnoho ventilyuvannya pry zberihanni plodoovochevoyi produktsiyi. *Naukovi pratsi*, 45(1), 116–120.
4. **Zhikhareva N.V. 2002.** Chynnyky, shcho vplyvayut' na optymizatsiyu systemy okholodzhennya

- plodoovocheskhovyshch. *Zbirnyk naukovykh prats' 2-yi Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. "Suchasni problemy kholodyl'noyi tekhniki i tekhnolohiyi"*, 137–142.
5. **Zhikhareva N.V., Khmelniuk M.G. 2012.** Optymizatsiya rezhymu roboty kholodyl'noyi ustanovky plodoovocheskhovyshch. *Kholodyl'na tekhnika ta tekhnolohiya*, 5(139), 16–20.
6. **Zhikhareva N.V. 2014.** Matematychna model' protsesiv zberihannya plodoovochevoyi produktsiyi. *Naukovo-vyrobnychyy zhurnal «Kharchova nauka i tekhnolohiya»*, 4(25), 107–111.

Отримана в редакції 12.03.2015, прийнята до друку 23.04.2015