

РАЗДЕЛ 3

ХОЛОДИЛЬНЫЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 631.243: 621.565.048:536.24:664.002

В.В. Клименко, О.В. Скрипник, М.В. Личук

Кіровоградський національний технічний університет, пр. Університетський, 8, Кіровоград, 25006

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО ХОЛОДУ В ПЛОДОВООВОЧЕ-СХОВИЩАХ

В статті розглянуто класифікацію плодоовочесховищ за основними ознаками, що визначають умови використання в них природного холоду. Запропоновано схемне рішення сховища з системою активного вентилявання зовнішнім повітрям, оснащеного динамічною теплоізоляцією і газогідратним акумулятором природного холоду. Використання газогідратного акумулятора природного холоду для локалізації теплопритоків дозволяє знизити енерговитрати на охолодження продукції в системі активного вентилявання та підвищити ексергетичний ККД в 1,2...1,8 рази.

Ключові слова: Плодоовоцесховище – Динамічна теплоізоляція – Акумулятор природного холоду – Газогідрати – Енерговитрати – Коефіцієнт зовнішніх теплопритоків – Частка втрат від усушки продукції – Ексергетичний ККД.

В.В. Клименко, О.В. Скрипник, М.В. Лычук

Кіровоградский национальный технический университет, пр. Университетский, 8, Кіровоград, 25006

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА В ПЛОДОВООВОЩЕХРАНИЛИЩАХ

В статье рассмотрена классификация плодоовощехранилищ по основным признакам, которые определяют условия использования в них естественного холода. Предложено схемное решение хранилища с системой активного вентилирования внешним воздухом, оснащенного динамической теплоизоляцией и газогидратным аккумулятором естественного холода. Использование газогидратного аккумулятора естественного холода для локализации теплопритоков позволяет снизить энергозатраты на охлаждение продукции в системе активного вентилирования и повысить эксергетический КПД в 1,2...1,8 раза.

Ключевые слова: Плодоовощехранилище – Динамическая теплоизоляция – Аккумулятор естественного холода – Газогидраты – Энергозатраты – Коэффициент внешних теплопритоков – Доля потерь от усушки продукции – Эксергетический КПД.

V.V. Klymenko, A.V. Skrypnyk, M.V. Lychuk

Kirovograd national technical university, str. Universitetsky, 8, Kirovograd, 25006

IMPROVING THE EFFICIENCY OF NATURAL COLD USAGE IN FRUIT AND VEGETABLE STOREHOUSES

The article deals with the classification of fruits and vegetables storehouses on the basic characteristics that determine the conditions of natural cold use in them. The schematic solution of the storehouse with outside air active ventilation system, equipped with dynamic thermal insulation and natural cold gas hydrate battery is proposed. The usage of natural cold gas hydrate battery for heat flows localization allows to reduce energy consumption for cooling of products in the system of active aeration and to increase an exergy efficiency in 1,2...1,8 times.

Keywords: fruit and vegetable storehouse - Dynamic heat insulation – Battery of natural cold - Energy consumption – Gas Hydrates - An external heat gains - Coefficient of external heat inflows - Share of losses from products shrinkage - Exergy efficiency.

I. ВСТУП

Кліматичні умови більшої частини території України дозволяють при зберіганні плодів і овочів в сховищах використовувати природний холод.

Схемні та конструктивні рішення систем використання природного холоду в значній мірі залежать від способу закладання продукції, тривалості її зберігання та способу влаштування сховища [1].

Плодоовочесховища поділяють: за способом

закладання продукції – *наситом* чи *у тарі*; за тривалістю зберігання – *тимчасові* або *сезонні*, які часто називають *польові* (бурти і траншеї), та *постійні* (стаціонарні); за місткістю – *великі* (5 – 20 тис. т), *середні* (1 – 4 тис. т), *невеликі* (до 500 т). За способом влаштування сховища бувають: а) *наземні* (високий рівень підземних вод і невисокі температури в період основного зберігання продукції; в цих сховищах найважче регулювати температурний режим); б) *глиблені* (рівень підземних вод невисокий; в цих сховищах більш стабільний температурний режим); в) *заглиблені* (будують у місцях низького залягання підземних вод, а також там, де висока або дуже низька температура в період основного зберігання). Шар землі стабілізує температурний режим у сховищі: при високій температурі в обвалованому сховищі температура низька, а при великих морозах таке сховище менш інтенсивно охолоджується [2]. Для кожного виду продукції використовують неоднакові проектні рішення через різні вимоги до температурно-вологісного та газового режимів.

Використання відновлювальних і нетради-

ційних джерел енергії, зокрема природного холоду, при охолодженні та зберіганні плодоовочевої продукції сприяє заощадженню витрат електроенергії, зменшенню забруднення довкілля [1,3].

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Відомо, що суттєву частину насінневої картоплі та коренеплодів зберігають в заглиблених плодоовочесховищах. Їх покриття, що зазвичай складається зі шарів соломи та ґрунту, не забезпечує достатнього захисту продукції від впливу зовнішньої температури, що приводить до підморожування та запотівання продуктів у верхній зоні. Ефективність таких сховищ підвищується, якщо облаштувати їх покриття водо-льодяним стабілізатором температури. Конструктивно його можна виконати у вигляді багатосекційного піддону, наповненого водою та вкритого теплоізоляцією зі соломи в поліетиленових пакетах (рисунок 1).

Багатосекційність піддону запобігає виникненню небезпечних напружень в його стінках при частковому замерзанні води.

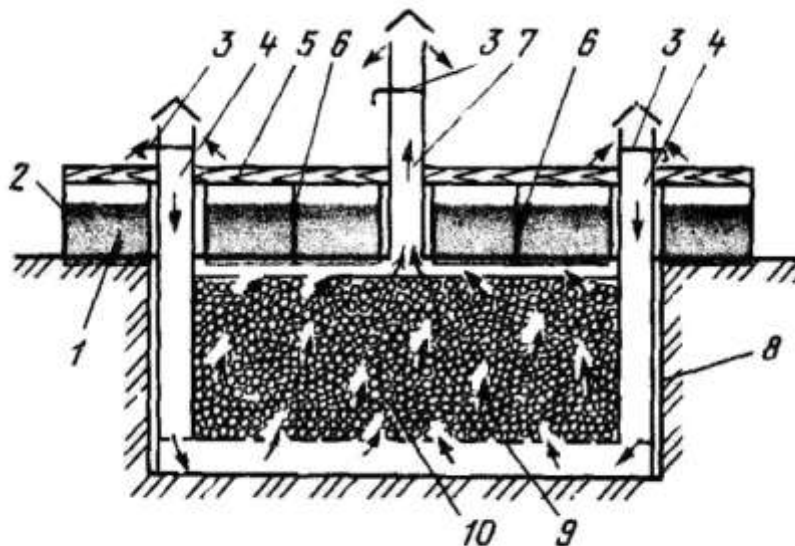


Рисунок 1 – Принципова схема заглибленого плодоовочесховища із водо-льодяним стабілізатором температури: 1 – вода; 2 – багатосекційний піддон; 3 – шибер; 4 – притічне повітря; 5 – теплоізоляція; 6 – секція піддону; 7 – витяжне повітря; 8 – сховище; 9 – решітчастий щит; 10 – продукт

При пониженні температури зовнішнього повітря товщина шару льоду збільшується, при підвищенні – раніше наморожений лід частково тоне, однак температура води залишається стабільною, близькою до 0°C [4].

Одним із недоліків наземних плодоовочесховищ, які використовують природний холод, є складність, а інколи і неможливість, восени при добовому перепаді температур зовнішнього повітря в $10\text{...}20^{\circ}\text{C}$ забезпечити при закладці плодів і овочів на збереження оптимальний темп охолодження $0,5\text{...}2^{\circ}\text{C}$ за добу. Це викликано значними теплоприпливами через конструкції, що огоро-

джують сховище, у денний час, які сумуються з суттєвими в цей же час тепловиділеннями від життєдіяльності продукції. Важко з тих же причин підтримувати оптимальний температурно-вологісний режим і у процесі збереження, особливо в осінньо-весняний період року.

Полішити теплотехнічні і технологічні характеристики наземних плодоовочесховищ (в т.ч. виконаних у вигляді буртів чи кагатів) можна шляхом створення повітряного теплозахисту (динамічної теплоізоляції) і використанням акумулятора природного холоду (АПХ) [5-7]. Принцип роботи такої системи полягає в підтримці необхід-

ного режиму охолодження і зберігання продукції шляхом її періодичної продувки в холодний період (нічний час). При цьому повітря або продувається через насип продукції при навальному способі зберігання (рисунок 2 а), або обдуває контейнери чи стелажі із продукцією (рисунок 2 б), коли його

температура нижче, ніж у сховищі.

Проведений аналіз показав, що в якості холодоакumuлюючої речовини АПХ для області температур $0 < t < 15$ °С доцільно використовувати газогідрати [2, 4 – 7].

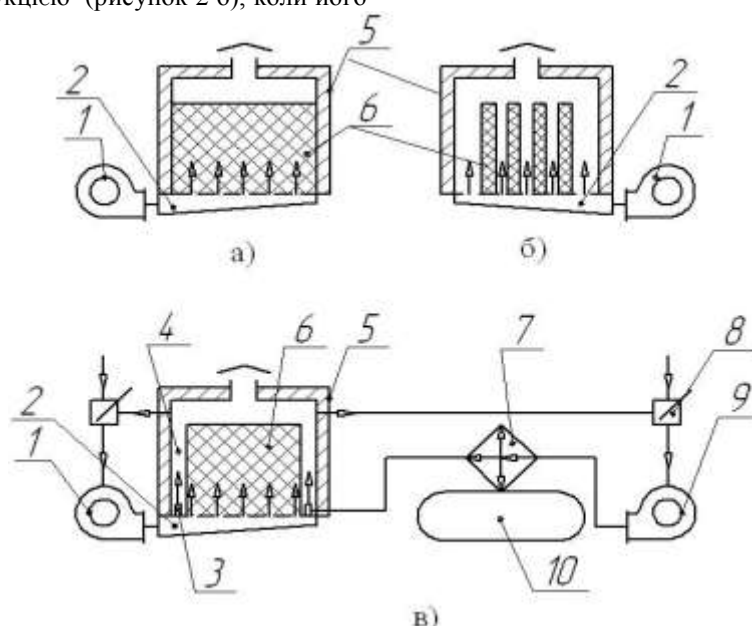


Рисунок 2 – Схеми сховищ плодоовочевої продукції з активним вентиляванням та:
 а) зберіганням продукції насипом; б) зберіганням продукції в контейнерах;
 в) з динамічною теплоізоляцією та газогідратним акумулятором природного холоду;
 1,9 – вентилятори; 2 – підпологовий повітропровід; 3 – надпологовий повітропровід; 4 – повітр'яний прошарок; 5 – огорожувальні конструкції; 6 – продукція; 7 – повітроохолоджувач; 8 – клапан-змішувач;
 10 – газогідратний акумулятор природного холоду

Схемні рішення газогідратних акумулятора природного холоду (ГАПХ) та термодинамічні цикли їх роботи, умови поєднання ГАПХ з системами активного вентилявання плодоовочесховищ розглянуто в [3, 5- 8].

При виконанні порівняльних розрахунків термодинамічної та технологічної ефективності запропонованого плодоовочесховища (рис. 2. в) і традиційного секційного картоплесховища (рис. 2. б) ефективність теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій визначали коефіцієнтом зовнішніх теплоприпливів $\varepsilon_{зов}$, який у реальних умовах може коливатися в межах від 0,1 до 2:

$$\varepsilon_{зов} = \frac{Q_{зов}}{Q_{дох}}, \quad (1)$$

де $Q_{зов}$ – зовнішні теплоприпливи через огорожувальні конструкції, кДж;

$Q_{дох}$ – теплота дихання продукції, кДж;

Термодинамічну ефективність визначали за величиною ексергетичного ККД:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{II}}{E_3},$$

(2) де E_{II} , E_3 – відповідно корисно використана і затрачена ексергія, кДж; розраховувалися за методикою, приведеною в [3].

Технологічну ефективність оцінювали за величиною частки втрат від усухи продукції, згідно емпіричного рівняння приведеного в [9]:

$$n'_{вол} = \frac{(1 + 1,11\varepsilon_{зов})100}{1,11\varepsilon_{зов} + 1,45 - 0,01 t_{np}}, \quad (3)$$

де $n'_{вол}$ – частка втрат вологи продукцією в результаті дії на неї теплоти дихання і зовнішніх теплопритоків;

$\varepsilon_{зов}$ – коефіцієнт зовнішніх теплопритоків;

t_{np} – температура продукції.

Теплофізичні властивості картоплі та вихідні дані для розрахунку енерговитрат в системі повітрерозподілення взяті з [9, 10], темп охолодження приймали рівним 1 °С/добу, масу картоплі для спрощення проведення порівняльного аналізу приймали в розрахунках $M_{np} = 1000$ кг.

Результати розрахунків представлені на рисунках 3 і 4.

Виконаний порівняльний термодинамічний аналіз показав, що використання газогідратного акумулятора природного холоду для локалізації теплопритоків дозволяє підвищити η_{ex} в 1,2...1,8

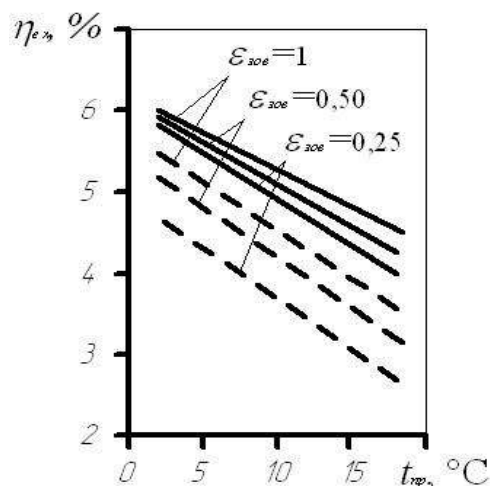


Рисунок 3 – Залежність ексергетичного ККД η_{ex} системи охолодження сховища від зовнішніх теплопритоків $\varepsilon_{зое}$ і температури картоплі $t_{пр}$

— система охолодження з акумулятором,
- - - система охолодження без акумулятора.

Результати розрахунків $n'_{вол}$ (рисунок 4) підтверджують технологічну перевагу системи активного вентилявання з динамічною теплоізоляцією і газогідратним акумулятором природного холоду: усушка картоплі в сховищі з газогідратним акумулятором холоду на 8 – 12% менше, ніж аналогічного, але без акумулятора холоду.

Схемне рішення сховища з системою активного вентилявання зовнішнім повітрям, оснащене динамічною теплоізоляцією і газогідратним акумулятором природного холоду, було реалізовано при створенні кагату для зберігання цукрового буряка місткістю 980 т на постійному буртовому майданчику Первомайського цукрозаводу [8].

Промислові випробування показали, що при початковій цукристості буряка 16,7% після зберігання на протязі 34 діб середня його цукристість в контрольному кагаті склала 16,02% до загальної маси, а в запропонованому – 16,46% і відповідно втрати маси цукру 2,02% та 1,86%. В цілому вихід цукру збільшився на 0,5% відносно виходу цукру із сировини контрольного кагату, що підтвердило ефективність використання запропонованого схемного рішення.

III. ВИСНОВКИ

1. Розглянуто класифікацію плодоовочесховищ за основними ознаками, що визначають умови використання в них природного холоду.

2. Запропоновано схемне рішення сховища з системою активного вентилявання зовнішнім

повітрям (рисунок 3), зокрема, внаслідок зниження енерговитрат в системі активного вентилявання при охолодженні продукції.

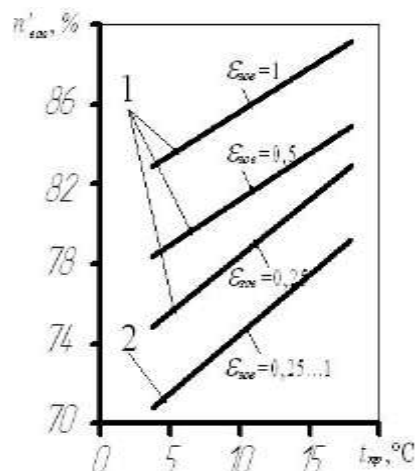


Рисунок 4 – Залежність частки втрат вологи продукцією $n'_{вол}$ від зовнішніх теплопритоків $\varepsilon_{зое}$ і температури картоплі $t_{пр}$:

1 – сховище без акумулятора холоду;
2 – те ж, з газогідратним акумулятором холоду

повітрям, оснащене динамічною теплоізоляцією і газогідратним акумулятором природного холоду.

3. Використання газогідратного акумулятора природного холоду для локалізації теплопритоків дозволяє знизити енерговитрати на охолодження продукції в системі активного вентилявання та підвищити ексергетичний ККД в 1,2...1,8 рази.

4. Результати промислових випробувань сховища (кагату на постійному буртовому майданчику) для зберігання цукрового буряка місткістю 980 т, оснащене динамічною теплоізоляцією і газогідратним акумулятором, підтвердили енергетичну та економічну доцільність запропонованих рішень з підвищення ефективності використання природного холоду в плодоовочесховищах.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Жадан В.З.** Критерий климатического районирования страны в целях использования естественного холода в картофеле – и овощехранилищах/ В. З. Жадан, Н. Н. Рослов, Л. В. Мартынова, С. И. Кулаков // Холодильная техника.-1986.- №6.- С. 16 – 21.
2. **Клименко В.В.** Особенности схемных решений заглубленных плодоовочесховищ, які використовують природний холод / В.В. Клименко, О.В. Скрипник// Галузеве машинобудування та будівництво: збірник наукових праць ПолтНТУ. – 2012.– Вип. 4 (34), Том 2. – С. 96 - 104.
3. **Клименко В.В.** Рациональное использование

термической неравновесности наружного воздуха / В. В. Клименко, В. Н. Корниенко // Холодильная техника. – 1989. – №6. – С. 25–30.

4. **Жадан В.З.** Применение водоледяных стабилизаторов температуры при хранении плодов и овощей / В.З. Жадан, Н.Н. Дидык, О.Н. Боронина // Холодильная техника. – 1989. – №6. – С. 20–22.

5. **Клименко В. В.** Газогидратные аккумуляторы природного холода в системах активного вентилирования плодоовощехранилищ / В. В. Клименко, А. В. Скрипник, В. Н. Корниенко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. – № 2. – С. 16 – 19.

6. **Клименко В. В.** Термодинамический анализ эффективности применения газогидратного аккумулятора естественного холода в системах активного вентилирования плодоовощехранилищ / В. В. Клименко, А. В. Скрипник, В. Н. Корниенко // Промышленная теплотехника. – 2012. – т. 34, № 5. – С. 69 – 74.

7. А.с. 1784807 СССР, МКІ³ В26 J 25/00. Аккумулятор холода / В. В. Клименко, Ю. И. Демьяненко (СССР). – № 36390959/25-06; заявл. 25. 12. 91; опубл. 16.03.92. Бюл. № 48.

8. **Клименко В. В.** Науково-технічні основи газогідратної технології (термодинаміка та кінетика процесів, схемні рішення): Автореф. дис. доктора техн. наук / Інститут газу НАНУ. – К., 2012. – 40 с.

9. **Жадан В. З.** Влагодобмен в плодоовощехранилищах / В. З. Жадан. – М.: Агротомиздат, 1985. – 197 с.

10. **Рослов Н. Н.** Комплексы для хранения картофеля и овощей / Н. Н. Рослов. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 207 с.

REFERENCES

1. **Zhadan V. Z.** Criterion of climatic division into districts of the country for use of natural cold in potatoes – and vegetable storehouses / V. Z. Zhadan, N. N. Roslov, L. V. Martynova, S. I. Kulakov // Refrigerating equipment. - 1986. - №6. - Page 16 – 21.

2. **Klymenko V. V.** Osoblivoste circuit decisions zaglibleny vegetable storehouses, which use prirodny cold / V/V. Klimentko, O. V. Skripnik // ranch mechanical engineering and construction: collection of scientific works PoltNTU. – 2012 . – VIP. 4 (34), tom 2. – Page 96 – 104.

3. **Klimentko V. V.** Rational use of a thermal neravnovesnost of external air / V. V. Klimentko, V. N. Korniyenko // Refrigerating equipment. – 1989 . – №6. – Page 25 – 30.

4. **Zhadan V. Z.** Use of water ice stabilizers of temperature at storage of fruits and vegetables / V. Z. Zhadan, N. N. Didyk, O. N. Boronina // Refrigerating equipment. – 1989 . – №6. – P. 20 –22.

5. **Klimentko V. V.** Gaseous-hydrate accumulators of natural cold in systems of active aeration vegetable storehouses / V. V. Klimentko, A. V. Skripnik, V. N. Korniyenko // Power technologies and resource-saving. – 2011. – № 2. – Page 16 – 19.

6. **Klimentko V. V.** The thermodynamic analysis of efficiency a primeneriya of the gaseous-hydrate accumulator of natural cold in systems of active aeration vegetable storehouses / V. V. Klimentko, A. V. Skripnik, V. N. Korniyenko // Industrial the heating engineer. – 2012 . – t. 34, № 5. – P. 69 – 74.

7. А.с. 1784807 USSR, МКІ³ V26 J 25/00. Accumulator Holoda / V. V. Klimentko, Yu. I. Demyanenko (USSR). No. 36390959/25-06; zajavl. 25 . 12 . 91; opublic. 16.03.92. Bulletin No. 48.

8. **Klymenko V. V.** Scientific and technical bases of gazgidratny technology (thermodynamics and kinetics of processes, circuit decisions): Avtoref.dis. doctors the technical. sciences / Institute of gas NANU. – К . 2012 . – 40 pages.

9. **Zhadan V. Z.** Moisture exchange in vegetable storehouses / V. Z. Zhadan. – М: Agropomizdat, 1985. – 197 p.

10. **Roslov N. N.** Complexes for storage of potatoes and vegetables / N. N. Roslov. - М: Rosselkhozizdat, 1986. – 207 p.

Получена в редакції 21.11.2013, прийнята к печати 03.12.2013