



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО**

ХІІ ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

27-28 вересня 2019 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ КОНФЕРЕНЦІЇ



ОДЕСА 2019

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2019. – 229 с.

У збірнику наведені матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XII Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Голова наукового комітету – Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

Заступник голови – Косой Борис Володимирович – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

Члени наукового комітету:

Ванєєв Сергій Михайлович - Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Василенко Сергій Михайлович - Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор;

Железний В.П. - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Лабай Володимир Йосипович - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. - д-р техн. наук, професор;

Мілованов В.І. - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор;

Морозюк Л.І. - д-р техн. наук, професор;

Потапов Володимир Олексійович - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Семенюк В.А. - к.т.н., директор НПФ «Терміон»;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Снежкін Юрій Федорович - директор Інституту технічної теплофізики, д.т.н., академік НАНУ

Ткаченко Станіслав Йосипович - д.т.н., професор Вінницького національного технічного університету;

Хмельнюк М.Г. - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Щит Михайло Львович - к.т.н., пров. наук. спів. Інституту енергетики Академії Наук Молдови.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Жихарєва Н.В., к.т.н. Когут В.Є., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Подмазко О.С.

ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

110 РОКІВ ПРОФЕСОРУ ЧУКЛІНУ СЕРГІЮ ГРИГОРОВИЧУ (1909-1974)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОМФОРТНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.И. Радченко, д.т.н., проф., Е.И. Трушляков, к.т.н., проф., А.Н. Радченко, к.т.н., доц.,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Кириченко И.В., технический директор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса;
Леонтьев А.А., главный конструктор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса.
e - mail: info@krioprom.com.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Жихарева Н.В., к.т.н., доц., Одеська національна академія харчових технологій

СЕКЦІЯ № 1. ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ. КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.		стр.
ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ		
37.	РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОХОЛОДЖУВАЧА НАПОЇВ	114
38.	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТЕПЛОТИ ГОЗОВОГО ДВИГУНА В ХОЛОД ВИКОРИСТАННЯМ СТУПІНЧАСТОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ В ЕХМ І АБХМ	116
39.	ДВОПОТОЧНА ЕЖЕКТОРНО-АБСОРБЦІЙНА СИСТЕМА ТРАНСФОРМАЦІЇ СКІДНОГО ТЕПЛА ГАЗОПОРШНЕВОГО МОДУЛЯ	118
40.	MODIFICATION OF SHIP'S THERMAL INSULATION STRUCTURES IN ACCORDANCE WITH REGULATIONS' REQUIREMENTS FOR THE FROZEN PRODUCTS TRANSPORTATION IN ORDER TO IMPROVE REFRIGERATION SYSTEM EFFICIENCY	121
41.	ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСІЙНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ БІНАРНИМ ЛЬОДОМ НА М'ЯСОКОМБІНАТАХ	123
42.	МОЖЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ПАРИЗЬКОЇ УГОДИ ТА ПОПРАВКИ КІГАЛІ ДЛЯ HVAC&R СЕКТОРУ УКРАЇНИ	125
43.	ЗАТУХАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ХВИЛІ В КОНТЕЙНЕРАХ З ПІДВИЩЕНОЮ ТЕПЛОВОЮ ІНЕРЦІЄЮ СТІНОК	128
44.	АНАЛІЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА КРУПНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ТОРГОВЛИ	131
45.	ВПЛИВ ХОЛОДОАГЕНТІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	133
46.	МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РОТОРНО-ГАЗОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПОМІРНОГО ХОЛОДУ	136
СЕКЦІЯ № 2. ХОЛОДИЛЬНІ ТА КРІОГЕННІ МАШИНИ.		стр.
ТЕПЛОВІ НАСОСИ		
1.	ПРОМИСЛОВІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ KR ТА Хе З КОНЦЕНТРОВАНИХ СУМІШЕЙ	139
2.	ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТВЕРДОГО НЕОНУ	141
3.	НЕЧІТКА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЮ КОЛОНОЮ	142
4.	ГАЗОДИНАМІЧНІ ХОЛОДИЛЬНО-НАГРІВАЛЬНІ АПАРАТИ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ	144
5.	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОЗДУШНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ КОМЕРЧЕСКИХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК	145
6.	АНАЛІЗ СИСТЕМ КОГЕНЕРАЦИИ С ДВУМЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ УРОВНЯМИ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДА	147
7.	СИСТЕМА ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ КАМЕР ХРАНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ФЕРМЕРСКОГО ХОЗЯЙСТВА С СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ	150
8.	DEVELOPMENT OF SYSTEMS FOR OBTAINING WATER FROM ATMOSPHERIC AIR ON THE BASIS OF ABSORPTION WATER-AMMONIA REFRIGERATORS AND SOLAR COLLECTORS	152

ЗАТУХАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ХВИЛІ В КОНТЕЙНЕРАХ З ПІДВИЩЕНОЮ ТЕПЛОВОЮ ІНЕРЦІЄЮ СТІНОК

**Мирончук Ю. А., провідний науковий співробітник ЖВІ імені С. П. Корольова, м. Житомир,
Томчик О. М., м. н. с. ПНДЛ ХТ, ОНАХТ, м. Одеса, fierysplash@ukr.net,
Хмельнюк М. Г., професор, зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря
ОНАХТ, м. Одеса**

Основною умовою збереження якості плодоовочевої продукції під час її холодильного зберігання і транспортування є термостабілізація продукту при правильному виборі температурного режиму і забезпечення мінімальних відхилень температури від нього. При цьому основна складність полягає в мінімізації коливань температури повітряного середовища холодильних камер під впливом таких різноманітних чинників як сезонні, добові і випадкові коливання метеорологічних параметрів атмосферного середовища, вантажні роботи в камерах, тимчасове припинення роботи холодильного обладнання, та ін. Спроби мінімізації коливань температури повітряного середовища в камерах за рахунок автоматизації холодильних установок через нерівномірність розподілу локальних теплопритоків і непередбачуваний характер конвекції при проведенні внутрішньокамерних робіт наштовхуються на необхідність здійснення локально розподілених впливів на температуру повітряного середовища холодильних камер, що вимагає затратних і громіздких технічних рішень. Таким чином, актуальною є проблема пошуку технічно простих і ефективних рішень для термостабілізації продукту.

Перспективним напрямком мінімізації впливу коливань температури повітряного середовища холодильної камери на температуру продукту є застосування теплового буфера, розташованого на шляху теплового потоку між повітряним середовищем холодильної камери і продуктом. Для цього продукт закладають в контейнери, стінки яких мають підвищену теплову інерцію [1, 2, 3].

Для можливості широкого впровадження в практику холодильного зберігання і транспортування плодоовочевої продукції в контейнерах з підвищеною тепловою інерцією стінок потрібне створення методики проектування таких контейнерів. Теоретичною основою такої методики є теорія теплостійкості, закладена О. Є. Власовим і розвинена в роботах А. М. Шкловера [4], В. М. Богословського [5], та ін. Вона широко застосовується в будівельній теплофізиці для розрахунків теплових режимів будівель і споруд. У цій теорії аналітичні методи детально розроблені для розрахунків теплових хвиль в плоских багатошарових стінках при гармонічних коливаннях температур і теплових потоків.

У холодильних камерах коливання температури повітряного середовища далекі від гармонічних, мають змінну періодичність. Геометричні форми продуктів істотно відрізняються від плоских об'єктів. У зв'язку з цим необхідне дослідження можливості і умов застосування теорії плоских гармонічних теплових хвиль для виконання інженерних розрахунків і обґрунтування конструкційних параметрів при проектуванні контейнерів з підвищеною тепловою інерцією стінок.

Як метод дослідження прийнято математичне моделювання нелінійної задачі нестационарної теплопровідності числовими методами. Зовнішня нелінійність визначається нестационарністю температури повітря холодильної камери. Внутрішня нелінійність визначається залежністю інтенсивності теплоти дихання продукту від його температури. При відсутності фазових переходів усередині продукту можна знехтувати незначною залежністю його теплофізичних властивостей від температури.

Дослідження в цілому передбачає два основних етапи. Перший етап – це розробка і дослідження числової моделі системи «продукт – контейнер – камера», геометричні параметри якої найкращим чином відповідають умовам застосування теорії теплостійкості для плоских теплових хвиль при

гармонічних коливаннях температур і теплових потоків. Основним завданням цього етапу є встановлення ступеня стійкості, збіжності та апроксимаційності прийнятих числових методів математичного моделювання порівнянням результатів числових і аналітичних розрахунків.

На другому етапі передбачається розробка і дослідження числової моделі системи «продукт – контейнер – камера», параметри якої найкращим чином відповідають реальним геометричним формам плодоовочевих продуктів і негармонічному характеру коливань температури повітряного середовища в холодильних камерах.

На сьогодні виконано перший етап досліджень.

Реалізована математична модель системи «продукт - контейнер - камера», в якій нелінійна задача нестационарного теплообміну вирішується методом кінцевих різниць за явною квазілінійною схемою. Виходячи з основного завдання першого етапу, формою продукту прийнята необмежена пластина. Теплообмін між продуктом і повітряним середовищем холодильної камери моделюється за схемою «виділення тепла дихання продукту – теплопровідність усередині продукту – конвективна тепловіддача від поверхні продукту до повітря всередині контейнера – теплопровідність через повітря всередині контейнера – конвективна тепловіддача від повітря до внутрішньої поверхні стінки контейнера – теплопровідність через багат шарову стінку контейнера – конвективна тепловіддача від зовнішньої поверхні контейнера до повітря холодильної камери». Коливання температури повітря в камері прийняті синусоїдальними, з постійним періодом. Коефіцієнти конвективної тепловіддачі зовні і всередині контейнеру прийняті сталими. Стінка контейнера в модель закладена двошарова, з можливістю задавати теплофізичні властивості матеріалів окремо для кожного шару – це дозволяє моделювати наявність в стінці несучого шару і шару теплоакумуючого матеріалу.

При проведенні обчислювальних експериментів задавались значення параметрів початкових і граничних умов, після чого виконувався запуск моделюючої програми на розрахунок до завершення перехідних процесів у модельованій системі. Критерієм завершення перехідних процесів виступає досягнення рівності середньоінтегральних (за період) значень теплових потоків «тепловиділення всередині продукту від дихання» = «тепловий потік з поверхні продукту до повітря всередині контейнеру» = «тепловий потік від зовнішньої поверхні контейнеру до повітря холодильної камери».

Після завершення перехідних процесів середньоінтегральна (за період) температура дихаючого продукту встановлюється на рівні

$$\bar{t}_{\text{ПР}} \approx \bar{t}_{\text{КАМ}} + q_{\text{ДИХ}} \cdot \Sigma R_i \quad (1)$$

де ΣR_i - сума термічних опорів на шляху теплового потоку від продукту до повітря холодильної камери, включаючи термічний опір проходженню теплового потоку всередині продукту.

Досліджували вплив параметрів стінки контейнеру на інтенсивність затухання температурної хвилі при її переході від повітряного середовища холодильної камери через стінку контейнера і повітряне середовище всередині контейнера до зовнішньої поверхні продукту. Величину затухання визначали як відношення амплітуди коливань температури повітря в камері до амплітуди коливань температури поверхні продукту (після завершення перехідних процесів).

Величину затухання амплітуди температурної хвилі зручно розглядати як добуток затухання при переході температурної хвилі від повітря камери до внутрішньої поверхні стінки контейнеру на затухання при переході від внутрішньої поверхні стінки контейнеру до поверхні продукту.

$$\gamma = \gamma_{\text{СТ}} \cdot \gamma_{\text{П.ПР}} \quad (2)$$

Кожна із цих складових залежить від різних параметрів системи «продукт - контейнер - камера». Тому поділ загального затухання на дві складові дозволяє досліджувати кожен з них окремо та визначити фактори, які дозволяють оптимізувати значення кожної з них.

Величина затухання амплітуди температурної хвилі при її переході через багат шарову стінку контейнеру визначається термічними опорами кожного з шарів та коефіцієнтами теплозасвоєння їх матеріалів S , які визначаються теплофізичними властивостями матеріалів і періодом T коливань температури

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot C \cdot \rho \cdot \lambda}{T}} \quad (3)$$

Затухання амплітуди температурної хвилі при її переході від повітря камери до внутрішньої поверхні стінки контейнеру через розглянуту в даному випадку двошарову стінку може бути розраховане за відомою формулою, запропонованою А. М. Шкловером для інженерних розрахунків затухання плоских температурних хвиль в багатошарових стінках. Ця формула наближена, і розрахунок по ній дає дещо завищені результати, про що зазначено в [4].

$$\gamma_{CT} = e^{\left(\frac{\sum R_s}{\sqrt{2}} \right)} \times \frac{s_1 + \alpha_{КАМ}}{s_1 + Y_1} \times \frac{s_2 + Y_1}{s_2 + Y_2} \times \frac{Y_2 + \alpha_{КОНТ}}{\alpha_{КОНТ}} \quad (4)$$

$$\text{де: } Y_1 = \frac{R_1 \cdot s_1^2 + \alpha_{КАМ}}{1 + R_1 \cdot \alpha_{КАМ}}, \quad Y_2 = \frac{R_2 \cdot s_2^2 + Y_1}{1 + R_2 \cdot Y_1};$$

R_1, R_2 - термічні опори шарів стінки контейнеру.

Згідно з наведеними формулами, на величину затухання температурної хвилі впливають також і значення коефіцієнтів тепловіддачі на зовнішній і внутрішній поверхнях стінки контейнеру. При зниженні інтенсивності тепловіддачі затухання збільшується.

Затухання амплітуди температурної хвилі при її переході через повітряний прошарок від внутрішньої поверхні стінки контейнеру до поверхні продукту визначається коефіцієнтом теплосасвоєння продукту і термічним опором на шляху теплового потоку

$$\gamma_{П.ПР} = 1 + s_{ПР} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{КОНТ}} + \frac{\delta_{ПОВІТРЯ}}{\lambda_{ПОВІТРЯ}} + \frac{1}{\alpha_{КОНТ}} \right) \quad (5)$$

З цієї формули випливає, що для збільшення затухання необхідно вживати заходи щодо зниження інтенсивності тепловіддачі в зазорі між поверхнею продукту і внутрішньою поверхнею стінки контейнеру. Також можливе збільшення ширини зазору, але цей шлях не виправданий, оскільки знижується вантажомісткість контейнера.

Розбіжність між результатами числового моделювання і аналітичних розрахунків по (4, 5) залежить від величини теплової інерції стінки $D = \sum RS$ і при виконанні для кожного шару умови $D \geq 1$ не перевищує 5%, що з врахуванням наближеності формули (4) свідчить про належні збіжність та апроксимаційність застосованого числового методу. Це дає підстави для переходу до другого етапу досліджень, на якому планується врахування реальних форм рослинних продуктів і врахування негармонічного характеру коливань температури повітря у холодильній камері.

Література

1. Кочетов В. П., Томчик Е. Н. Хранение растительной продукции с применением новых упаковок с повышенной тепловой инерционностью // Холодильна техніка і технологія. 2010. № 6 (128). С. 53-56.
2. Кочетов В. П., Томчик Е. Н. Упаковки с повышенной тепловой инерционностью для хранения растительной продукции // Пищевая промышленность (Россия). 2014. № 1. С. 16-19.
3. Томчик О. М., Хмельнюк М. Г., Гоголь М. І. Зниження енергетичних витрат при роботі холодильного обладнання під час зберігання соковитої рослинницької сировини // Холодильна техніка та технологія. 2018. Вип. 5, Т. 54. С. 23-30.
4. Шкловер А. М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961, 160 с.
5. В. Н. Богословский. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учебник для вузов. М.: Высшая Школа, 1982. 415 с.