

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій та  
екоенергетики  
ім. В.С. Мартиновського**



**ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНІКИ ТА  
ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОСТІ**

**STATE AND PROSPECTS OF LOW-TEMPERATURE TECHNOLOGY AND  
CURRENT ENVIRONMENTAL AND ENERGY PROBLEMS**

*14-15 квітня 2025 року*

**ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ**



Одеса - 2025

**УДК 621.565; 621.**

Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності.  
Збірник доповідей – Одеса: ОНТУ, 2025. –166 с.

У збірнику наведені матеріали науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, обладнання кондиціонування повітря, 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 та екологічної безпеки.

Матеріали, занесені до збірника, друкуються за авторськими оригіналами. За достовірність інформації відповідає автор публікації.

## **ПРЕЗИДІЯ ТА ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

### **ГОЛОВА ПРЕЗИДІЇ**

**Єгоров Б.В.** – президент ОНТУ, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, д-р техн. наук, професор

### **ЧЛЕНИ ПРЕЗИДІЇ**

**Іванченкова Л. В.** – ректор ОНТУ, д.е.н., професор

**Ольшевська О.В.** – проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків ОНТУ, к.т.н., доцент

**Косой Б.В.** – директор навчально-наукового Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського ОНТУ, д.т.н., професор

### **ГОЛОВА ОРГКОМІТЕТУ**

**Хмельнюк М.Г.** - завідувач кафедру холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ, д.т.н., професор

### **ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ ОРГКОМІТЕТУ**

**Жихарева Н.В.**- доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ, к.т.н., доцент

### **ЧЛЕНИ ОРГКОМІТЕТУ**

**Симоненко Ю.М.** - завідувач кафедри кріогенної техніки ОНТУ, д.т.н., професор

**Морозюк Л.І.** - д.т.н., професор кафедри кріогенної техніки ОНТУ

**Гаркович О.Л.** – завідувач кафедри екології, води та природоохоронних технологій ОНТУ, к.б.н., доцент

**Семенюк Ю.В.** – завідувач кафедри екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології ОНТУ, д.т.н., професор

**Тітлов О.С.** – завідувач кафедри нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики ОНТУ, д.т.н., професор

**Грудка Б.Г.** - доцент кафедри кріогенної техніки ОНТУ, к.т.н., доцент

**Когут В.О.**- доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ, к.т.н., доцент

**Тематичні напрями:**

- · Сучасні проблеми холодильної і кріогенної техніки, систем кондиціонування повітря;
- · Інноваційні технічні рішення в низькотемпературній техніці;
- · Теплові насоси, акумулятори холоду, тепловикористовуючі холодильні машини, енергетичні і ресурсозберігаючі технології, нетрадиційні методи отримання холоду;
  - Термодинамічні та теплофізичні властивості робочих тіл;
  - Низькотемпературні технології в харчовій та переробній промисловості;
  - Теоретичні та експериментальні дослідження процесів тепломасообміну в апаратах холодильних машин;
  - Проблеми створення, дослідження і використання нових матеріалів в конструкціях апаратів холодильних і кріогенних машин і установок.
  - Нетрадиційні відновлювані джерела енергії;
  - Фізико-хімічні проблеми використання нових видів енергії;
  - Інноваційні технічні рішення для перетворювачів енергії;
  - Екологічні проблеми енергетики;
  - Енергетичні та екологічні проблеми холодильної техніки та харчової промисловості;
  - · Екологічна безпека та технології захисту навколишнього середовища;
  - Теплообмін та гідрогазодинаміка у нафтогазовій галузі;
  - Енергозберігаючі технології у нафтогазовій галузі;
  - Нанотехнології в енергетиці;

## **ЗМІСТ**

### **СЕКЦІЯ №1 – ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ**

	<i>стор</i>
1 <b>ВПЛИВ ЗНИЖЕНОЇ ЗАПРАВКИ ХОЛОДОАГЕНТУ НА РОБОТУ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ</b> Книш С. В., аспірант ОНТУ Науковий керівник: Желіба Ю. О. к.т.н., доц.	14
2 <b>МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВИМОРОЖЕНОЇ ВОЛОГИ ЗА ЕФЕКТИВНОЮ ТЕПЛОЄМНІСТЮ</b> Мольський О. С., аспірант ДБТУ м. Харків Науковий керівник: Потапов В.О. д.т.н.проф. ДБТУ	16
3 <b>ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ R744 І R600A В КАСКАДНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСАХ: ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ</b> Заруба Г. Г., магістрант ОНТУ Науковий керівник: Хмельнюк М. Г. ,д.т.н., проф.	18
4 <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СПОСОБІВ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ</b> Єрмоленко О. В., магістрант ДБТУ м. Харків Науковий керівник: Петренко О.В. к.т.н., доц.	22
5 <b>ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРАЦІ ПРИ КОНДИЦІОНУВАННІ БОМБОСХОВИЩ</b> Моїсєєв В.В., аспірант ОНТУ Науковий керівник: Жихарєва Н.В., к.т.н., доц.	24
6 <b>ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОГЕННИХ МЕТОДІВ ПІДГОТОВКИ ТА ВИЛУЧЕННЯ ЛІПОФІЛЬНИХ ФРАКЦІЙ</b> Білий Д.В., асистент, ДБТУ, м. Харків, Науковий керівник: Потапов В.О., професор, д.т.н.	26
7 <b>ПОВІТРОРІЗПОДІЛЕННЯ БЕЗ ЗАСТІЙНИХ ЗОН В БОМБОСХОВИЩАХ</b> Фурсенко О. В. , аспірант ОНТУ Науковий керівник: Жихарєва Н.В., к.т.н., доц.	29

- 8 **ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЯТОРУ ТИСКУ КОНДЕНСАЦІ В КОМПРЕСОРАХ З ЧАСТОТНИМ РЕГУЛЯТОРОМ** 31  
Смілик М.М., PhD аспірант; Харків, ДБТУ  
Потапов В.О., д.т.н., проф., e-mail: potapov@bigmir.net
- 9 **INTELLIGENT HEATING SYSTEMS FOR OPTIMIZING THE OPERATION OF REFRIGERATION SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE** 34  
М. Ovchinnikov PhD  
Scientific advisor : , Zhykharieva N/V / ass. professor, ONTU Kohut V/ ass. professor, ONTU
- 10 **ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИМІЩЕНЬ НА БАЗІ ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ** 36  
Горяченко Р.Р ,магістрант ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 11 **ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ЧИСТИХ ПРИМІЩЕНЬ** 38  
Олійник І.В., магістр ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 12 **ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ НА R717 ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ** 41  
Фоменко Г. А., бакалавр ОНТУ  
Науковий керівник: Трандафілов В.В., к.т.н. доц.
- 13 **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОМЕРЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НА R744** 43  
Псіліца Р.В., бакалавр ОНТУ  
Науковий керівник: Трандафілов В.В., к.т.н. доц.
- 14 **ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЛЬДОГЕНЕРАТОРА ПОГРУЖНОГО ТИПУ** 45  
Євсєєв А.О. ,бакалавр ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 15 **ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ ПОВІТРЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОУТІЛІЗАТОРА ПЕРЕХРЕСНОГО ТИПУ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ В НАУКОВІЙ ЛАБОРАТОРІЇ ОНТУ** 46  
Єфремов І. Ю.,магістрант ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 16 **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРЕЦИЗІЙНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЕРЕВООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА** 48  
Висотенко Д. В ,магістрант ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.

- 17 **ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ БАГАТОЗОННОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ VRF СПОРТКОМПЛЕКСУ «ВЕРТИКАЛЬ» М. ОДЕСА** 50  
Геніх К. В., магістрант ОНТУ, Геніх О.В., бакалавр ОНТУ  
Наукові керівники: Когут В.О. к.т.н. доц., Жихарева Н.В., к.т.н., доц.
- 18 **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ ПОВІТРЯ МЕТОДОМ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ЦЕНТРУ М. ОДЕСА** 51  
Гітрук М. А., магістрант ОНТУ  
Науковий керівник: Когут В.О. к.т.н. доц.
- 19 **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ЦЕХУ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА** 53  
Яремчук О. О., магістрант ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 20 **ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ В НИЗЬКО-ТЕМПЕРАТУРНІЙ ТЕХНІЦІ** 54  
Под'ячев В. М., магістрант ОНТУ  
Науковий керівник: Когут В.О. к.т.н. доц.
- 21 **ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ** 55  
Волков Д.О., здобувач ВО НУ «Одеська політехніка»  
Науковий керівник: Лужанська Г.В., доц., к.т.н.
- 22 **ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ ХОЛОДИЛЬНИХ КАМЕР** 57  
Харламова А.О., здобувач ВО НУ «Одеська політехніка»  
Савілов А.О., здобувач ВО НУ «Одеська політехніка»  
Науковий керівник: Губар Л.Б., ст. викладач
- 23 **РЕКУПЕРАЦІЯ ТЕПЛА ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК ТОРГІВЕЛЬНИХ ПРОДУКТОВИХ МАГАЗИНІВ** 59  
Рак О.В., здобувач ВО НУ «Одеська політехніка»  
Науковий керівник: Лужанська Г.В., доц., к.т.н.
- 24 **СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СІЛЬСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ** 61  
Войтенко В.С., здобувач ВО ДБТУ м.Харків  
Науковий керівник: Семенюк Д.П., професор., д.т.н
- 25 **ВПЛИВ ТИСКУ КОНДЕНСАЦІЇ НА ЕНЕРГОРЕСУРСОЄМНІСТЬ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ** 64  
Монченко М.Ю., здобувач ВО ОНТУ  
Науковий керівник: Желіба Ю. О. к.т.н., доц.
- 26 **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТЕРМООБРОБКИ ХЛІБНИХ ВИРОБІВ** 66  
Івахнюк Є.С., магістр ОНТУ,  
Подмазко О.С., доц. каф. ХУіКП, к.т.н., доц.

- 27 **ОСОБЛИВОСТІ КОНДИЦІОНУВАННЯ БОМБОСХОВИЩ** 68  
Пашковський І.А. бакалавр ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 28 **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
КОНДИЦІОНУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА МОРОЗИВА** 70  
Брюшков К. Ю. бакалавр ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 29 **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ** 72  
Желіба Ю.В., магістрант ОНТУ Желіба Т.О. НУ «Одеська політехніка»,  
Науковий керівник: – Зімін О.В., к.т.н., доц.т
- 30 **ОСОБЛИВІСТЬ КАНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ** 74  
Гурц Я.,В бакалавр ОНТУ, Рогачко Р.Р., бакалавр ОНТУ  
Захаров Д. О., бакалавр ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 31 **ASPECTS OF SYSTEM AIR CONDITIONING, CREATING DECORATIVE  
FOUNTAINS FOR COOLING AIR** 75  
St Mitskevych V., St Landurev A/  
Zhykharieva N. c,t.f., ass. Prof,
- 32 **СИСТЕМА ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМОБІЛІВ** 77  
Гудз О. А., бакалавр ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 33 **ТЕХНОЛОГІЧНЕ КОНДИЦІОНУВАННЯ В ВИНО СХОВИЩАХ** 78  
Ходаков М.О., бакалавр ОНТУ  
Науковий керівник: Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 34 **ОПТИМІЗАЦІЯ КРАПЛІН ДЛЯ ТЕПЛОБМІННИКІВ ЕЖЕКТОРНОГО  
ТИПУ** 80  
Бушманов В.М.  
Науковий керівник: Когут В.О., доц. к.т.н,
- 35 **ЕКСЕРГЕТИЧНА ВАРТІСТЬ ХОЛОДУ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ** 82  
**Носенко О.М. інженер ;** Жихарева Н. В., к.т.н. доц.
- 36 **AI-DRIVEN ROBOTICS FOR COLD CHAIN OPTIMIZATION** 86  
Volodymyr Kushnir, PhD student (Odesa National University of Technology, Odesa)  
Olga Yakovleva, Associate Professor (Odesa National University of Technology,  
Odesa
- 37 **DESIGN AND EVALUATION OF A HEAT RECOVERY-INTEGRATED  
REFRIGERATION SYSTEM FOR RESTAURANT APPLICATIONS USING  
ALTERNATIVE LOW-GWP REFRIGERANTS** 89  
Volodymyr Shemiakin, PhD student (Odesa National University of Technology, Odesa)  
Olga Yakovleva, Associate Professor (Odesa National University of Technology, Odesa)

## **СЕКЦІЯ №2 –НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ХОЛОДИЛЬНІ І КРІОГЕННІ МАШИНИ**

стор

- 1 **АДСОРБЦІЙНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ГЕЛІЯ З ВІДКИДНОГО ПОТОКУ** 93  
Васильєв О.О., магістрант ОНТУ  
Науковий керівник: Симоненко Ю.М., д.т.н., проф.
- 2 **ЦИКЛ КАЛІНИ ДЛЯ ОДНОЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ І ХОЛОДУ** 94  
Опарівський Н.В., аспірант ОНТУ  
Науковий керівник: Грудка Б.Г., к.т.н., доц.
- 3 **ГРАФІЧНИЙ МЕТОД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ АДСОРБЦІЙНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ** 96  
Куколев А.К., аспірант ОНТУ  
Науковий керівник: Косой Б.В., д.т.н., проф.
- 4 **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ПОВТОРНОГО ЗРІДЖЕННЯ CO<sub>2</sub> НА ТАНКЕРІ LCO<sub>2</sub> НА ОСНОВІ РОЗШИРЕНОГО МЕТОДУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ** 99  
Єфименко О.О., аспірант ОНТУ  
Науковий керівник: Морозюк Л.І., д.т.н., проф.
- 5 **ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ТАНЕННЯ ВОДНОГО ЛЬОДУ У СПОКІЙНІЙ ВОДІ** 102  
Москін В.В., аспірант ОНТУ  
Науковий керівник: Морозюк Л.І., д.т.н., проф.
- 6 **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ CO<sub>2</sub> ЯК ХОЛОДОАГЕНТУ В АВТОМОБІЛЬНИХ СИСТЕМАХ КОНДИЦІОНУВАННЯ** 104  
Гайдаржи В.Є., аспірант, Мелков В.І., Любієвський О.С., бакалаври ОНТУ  
Науковий керівник: Яковлев Ю.О., к.т.н., доц.
- 7 **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЯХ ПОВІТРОРІЗДІЛЬНИХ УСТАНОВОК** 106  
Гурчак О.А., Євсєєв А.О., бакалаври ОНТУ  
Науковий керівник: Яковлев Ю.О., к.т.н., доц.

**СЕКЦІЯ №3 – ЕКОЛОГІЯ. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

	стор
<b>1 ПРО ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ</b>	109
Черняк О.І., магістрант, ОНТУ, м. Одеса Самохвалов В.С., доцент Кобалава Г.О., доцент, ХННІ НУК ім. адмірала Макарова, м. Херсон Науковий керівник: Воїнов О.П., професор.	
<b>2 ІДЕНТИФІКАЦІЯ МІКРОПЛАСТИКУ В ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ</b>	111
Войницька І. Г., студентка I курсу СВО «Магістр» ННІ ХКтаЕ, ОНТУ Науковий керівник: Гаркович О.Л., к.б.н., доцент, ОНТУ	
<b>3 ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ</b>	113
Канцур О.О., здобувач СВО «Бакалавр», 2 курс, ОНТУ Канцур Ю.О., здобувач СВО «Бакалавр», 2 курс, ОНТУ Науковий керівник: Коваленко О.О., д.т.н., професор, ОНТУ	
<b>4 НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНЕ РОЗДІЛЕННЯ ЯК ПЕРСПЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБЛЕННЯ СУПУТНІХ ПЛАСТОВИХ ВОД НАФТОГАЗОВИДОБУТКУ</b>	116
Василів Б.О., аспірант, ОНТУ Науковий керівник: Дорошенко В.М., професор кафедри НТІТ	
<b>5 ТЕХНОЛОГІЇ ЛІКВІДАЦІЇ РОЗЛИВІВ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДРОНІВ</b>	117
Чайковська Т. В., Бакалавр ОНТУ Науковий керівник: Якуб Л. М., д.т.н., професор	

**СЕКЦІЯ №4 – ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА, НАФТОГАЗОВА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

	стор
<b>1</b>	<b>121</b>
<b>ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ МОНОТОННОГО НАГРІВУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВІДНОСТІ ТЕРМОАКУМУЛЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ФАЗОВОМУ ПЕРЕХОДІ</b> Квасницький Б.А., аспірант ОНТУ Глек Я.О., ст.викладач ОДАБА Івченко Д.О., доцент ОНТУ Халак В.Ф., ст. викладач ОНТУ Науковий керівник: Железний В.П., д.т.н., професор ОНТУ	
<b>2</b>	<b>124</b>
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУМІШЕЙ ХОЛОДОАГЕНТУ R1233zd(E) ТА КОМПРЕСОРНОГО МАСТИЛА PLANETELF ACD 100FY</b> Борисов В.О., аспірант ОНТУ Івченко Д.О., доцент ОНТУ Науковий керівник: Железний В.П., д.т.н., професор ОНТУ	
<b>3</b>	<b>126</b>
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ПІД ЧАС ФАЗОВИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ ХОЛОДОАГЕНТУ R1233ZD(E) У ТРУБИ МОДЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ПАРИ</b> Борисов В.О., аспірант ОНТУ Івченко Д.О., доцент ОНТУ Науковий керівник: Железний В.П., д.т.н., професор ОНТУ	
<b>4</b>	<b>129</b>
<b>СОНЯЧНА ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ОДЕСИ: АНАЛІЗ РЕСУРСНОЇ БАЗИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ</b> Квасницький Б.А., аспірант ОНТУ Глек Я.О., ст.викладач ОДАБА Івченко Д.О., доцент ОНТУ Халак В.Ф., ст. викладач ОНТУ Науковий керівник: Железний В.П., д.т.н., професор ОНТУ	
<b>5</b>	<b>132</b>
<b>ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ВИТРАТА ПАЛИВА СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА</b> Корнієвич С.Г., ст.викладач Національний університет «Одеська морська академія»	
<b>6</b>	<b>135</b>
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ПРИ ВИМУШЕНІЙ КОНВЕКЦІЇ ТЕТРАЛІНУ В ТРУБИ</b> Шумський О.А., аспірант ОНТУ Івченко Д.О., доцент ОНТУ Науковий керівник: Железний В.П., д.т.н., професор ОНТУ	
<b>7</b>	<b>137</b>
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І КАЛОРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕРИТРИТУ</b> Квасницький Б.А., аспірант ОНТУ Глек Я.О., ст.викладач ОДАБА Івченко Д.О., доцент ОНТУ Халак В.Ф., ст. викладач ОНТУ Науковий керівник: Железний В.П., д.т.н., професор	

- 8 **ANALYSIS OF THE PROSPECTS OF USING SOLAR SYSTEMS TO OBTAIN WATER FROM ATMOSPHERIC AIR** 140  
Graduate student, Kravchenko V.V.  
Scientific advisor; prof Titlov O
- 9 **ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ НАГРІВАННЯ ПОРОШКІВ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ КЕРАМІКИ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ** 143  
Кравченко Є.О., аспірант, ОНТУ,  
Борець С.О., аспірант, ОНТУ,  
Науковий керівник: Башкова І.Л., д.т.н., професор
- 10 **АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ВТОРИННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ** 144  
Арику А.В., ст. викладач, ОНТУ  
Писаревський І.О., аспірант, ОНТУ
- 11 **НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ ГОЛОВНИХ ПРИНЦИПІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ В ПРОЦЕСАХ ВИДОБУВАННЯ І ТРАНСПОРТУ НАФТИ І ГАЗУ** 146  
Дорошенко В.В., аспірант, ОНТУ  
Науковий керівник: Титлов О.С д.т.н., професор
- 12 **ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ КВАРТАЛЬНИХ КОТЕЛЕН З ВИКОРИСТАННЯМ ХОЛОДИЛЬНИХ АГЕНТІВ ДЛЯ ОРГАНІЧНОГО ЦИКЛУ РЕНКІНА** 151  
Михайличенко Д.В., аспірант, НУХТ, м. Київ  
Пилипенко О.Ю., доц. каф. НУХТ, м. Київ,
- 13 **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АТМОСФЕРНОЇ ВОДИ В ХАРЧОВІЙ ТА ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ** 153  
Годик К.О, аспірант, ОНТУ, м. Одеса
- 14 **IMPROVING THE EFFICIENCY OF A COMPRESSOR STATION BY UTILIZING THE HEAT FROM THE EXHAUST GASES OF GAS TURBINE ENGINES** 155  
Violeta Sahala, student, ONUT  
Scientific advisor : Tetiana Ashyk, ass. professor, ONUT

- 15    **PROSPECTS FOR USING PRE-COOLING SYSTEMS AT COMPRESSOR STATIONS OF MAIN GAS PIPELINES**    159  
Felonyuk S.A., postgraduate student, Odesa National Technological University,  
Scientific advisor: Professor Titlov O.S
- 16    **WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF AUTONOMOUS SOLAR SYSTEMS USING ABSORPTION THERMOTRANSFORMERS**  
Bilyi O.S., postgraduate student Odesa National University of Technology,  
Scientific advisor: Professor Nikitin D.M
- 17    **DEVELOPMENT OF COMBINED HEAT AND COOLING SYSTEMS**  
Dmytrenko D.V., postgraduate student Odesa National University of Technology,  
Scientific advisor: Professor Titlov O.S

## **СЕКЦІЯ №1 – ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ**

УДК 621.56

### **ВПЛИВ ЗНИЖЕНОЇ ЗАПРАВКИ ХОЛОДОАГЕНТУ НА РОБОТУ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ**

**Книш С.В., аспірант ОНТУ, Желіба Ю.В., магістрант ОНТУ  
м. Одеса, sergemail0979@gmail.com**

Холодильні системи широко використовуються в різних галузях промисловості, зокрема в харчовій, хімічній, фармацевтичній та кліматичній техніці. Одним із критичних факторів їх стабільної роботи є вивірена (якісно прорахована) кількість холодоагенту в контурі. Недостатня заправка, як відомо, призводить до зниження продуктивності системи, підвищення енергоресурсоспоживання, деградації мастильних матеріалів та підвищення ризику виходу з ладу основних компонентів. Дослідження впливу цього фактору є важливим для оптимізації роботи холодильних систем, підвищення їх енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат. Автори доповіді накопичили досвід експлуатації комерційних холодильних систем та систем кондиціювання з урахуванням саме заправлення робочою речовиною та висвітлюють основні проблеми.

Зменшення кількості циркулюючого холодоагенту призводить до зниження холодопродуктивності системи, оскільки знижується його масова витрата через усі елементи холодильного контуру, зокрема компресор, конденсатор, терморегулюючий вентиль (ТРВ) та випарник, що є критичним у будь яких промислових та комерційних холодильних системах.

Під час дефіциту холодоагенту його нестача, в першу чергу, відбувається в трубопроводах подачі рідини та теплообмінних апаратах, що призводить до збільшення парової фази у випарнику та підвищення його температури на всмоктуванні. Підвищення температури на всмоктуванні спричиняє зростання перегріву холодоагенту перед входом у компресор, що суттєво впливає на його роботу. Високий ступінь перегріву не лише знижує об'ємну продуктивність компресора, оскільки зменшується густина пари холодоагенту, а й викликає підвищення температури нагнітання, що негативно позначається на ефективності та довговічності всієї системи. Під час дефіциту холодоагенту в конденсаторі також відбувається зменшення масової витрати рідини, що погіршує теплообмін у ньому та може призвести до неповного конденсації пари, збільшуючи частку та ризику наявності парової фази на виході з конденсатора. Це створює додаткові труднощі в роботі ТРВ, який є чутливим до безперервності подачі холодоагенту. Недостатнє надходження рідинної фази до ТРВ викликає його нестабільну роботу, що супроводжується коливаннями витрати та нестабільністю перегріву на виході з випарника. Випарник, який є основним теплообмінним апаратом системи, також зазнає суттєвих змін у режимах роботи. Нестача рідинної фази призводить до скорочення «активної» площі випаровування, а наявність значно перегрітої пари на виході підвищує температуру стінок теплообмінника. Це не лише знижує холодопродуктивність, але й може спричинити теплові перевантаження компресора.

Крім того, зменшення кількості циркулюючого холодоагенту впливає на мастильний режим роботи компресора. Зниження рівня рідинного стовпа у випарнику та дефіцит холодоагенту в трубопроводах ускладнюють повернення мастила у картер компресора. Це може призвести до його накопичення у випарнику та магістралях, що знижує ефективність теплообміну та створює ризик масляного голодування компресорного обладнання. Внаслідок цього відбувається прискорене зношення підшипників, поршневих кілець (у поршневих компресорах) або лопаток (у гвинтових та ротаційних компресорах).

При подальшій тривалій експлуатації системи у такому режимі можливе утворення локальних зон перегріву, що призводить до термічного розкладу мастильного матеріалу та утворення кислотних продуктів, які спричиняють корозію та хімічне руйнування внутрішніх поверхонь компресора. Висока температура нагнітання також підвищує ризик термічного розкладу холодоагенту, особливо якщо у системі використовується гідрофторвуглецевий холодоагент у поєднанні з ПВЕ маслами, що є більш чутливими до термоокислювальних процесів.

Зафіксовано за результатами інжинірингових вимірів авторів та примусового моделювання роботи систем, що вже при 15-20 %-му зниженні кількості холодоагенту енергоспоживання системи може зрости на 10-15 %, оскільки компресор змушений працювати довше, щоб досягти необхідного рівня охолодження. Це суттєво впливає на економічну ефективність роботи, а також може спричинити порушення в роботі датчиків тиску та температури, що у свою чергу може призводити до подальших критичних пошкоджень механічних частин системи.

Отже, такі висвітлені проблеми як: недостатня заправка холодоагенту, що суттєво впливає на ефективність роботи холодильного обладнання, знижуючи продуктивність і збільшуючи енергоспоживання; деградація мастильних матеріалів, що підвищує ризик передчасного зносу компресора; підвищення ризиків аварійних відмов, що потребує вдосконалення методів моніторингу рівня холодоагенту – потребують їх моніторингу та професійного усунення. Для цього необхідно забезпечувати якісний розрахунок об'єму початкового заправлення систем, поточний контроль герметичності згідно вимог нормативної документації, моніторинг поточної експлуатації систем з залученням КВПіА та методик критичного аналізу регламентних показників роботи систем в різних умовах. Автори наводять низку прикладів фіксації порушень експлуатації та стверджують, що результати можуть бути використані для розробки нових стандартів обслуговування холодильних систем та покращення надійності їхньої роботи.

#### **Інформаційні джерела:**

1. ASHRAE Handbook - Refrigeration. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2022.
2. Pearson A. Refrigeration Systems and Applications. John Wiley & Sons, 2016.
3. Холодильна техніка: теорія і практика / І. Г. Кулик, С. В. Паламарчук. – К.: Либідь, 2020.

УДК: 641.528.6

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВИМОРОЖЕНОЇ ВОЛОГИ ЗА ЕФЕКТИВНОЮ ТЕПЛОЄМНІСТЮ

**Потапов В.О., професор кафедри інтегрованих електротехнологій та енергетичного машинобудування ДБТУ, Мольський О.С., аспірант ДБТУ,  
м. Харків, potapov@bigmir.net**

Незважаючи на суттєві техніко-технологічні можливості холодильної обробки, при заморожуванні відбувається низка небажаних змін, спричинених незворотними фізико-хімічними процесами, що супроводжують фазові переходи при заморожуванні-розморожуванні. Для вдосконалення процесів холодильної обробки необхідно знати динаміку цих процесів. Проблема моделювання цих процесів для біологічної сировини спричинена труднощами аналітичного опису цих процесів. Це зумовлено гетерогенністю харчової сировини за складом, фізично-хімічними характеристиками, функціонально-технологічними властивостями, які залежать також від умов їх заготівлі, вирощування та попередньої підготовки.

Багаторічні дослідження процесів заморожування та розморожування харчової сировини свідчать про необхідність уточнення методів теоретичного моделювання теплофізичних властивостей харчових продуктів, які зумовлюють характер та швидкість протікання в них процесів заморожування. Цим дослідженням присвячено ряд класичних праць [1-2], і ряд нових досліджень у цій галузі [3-5].

Автори цих досліджень використовують математичні моделі, що описують процеси з фазовим переходом при заморожуванні-розморожуванні, в яких фігурують так звана ефективна теплоємність, яка враховує частку вимороженої вологи. Ефективна теплоємність включає теплоту фазового переходу та інші теплові ефекти, що виникають в процесі заморожування. Ця фундаментальна теплофізична характеристика безпосередньо пов'язана з процесами кристалізації, які в свою чергу впливають на якість заморожених та розморожених харчових продуктів. Розрахунок теоретичного значення ефективної теплоємності надзвичайно складний, оскільки процеси, що протікають у харчових продуктах при їх заморожуванні, включають пов'язані процеси тепло-масопереносу, структурно-механічні зміни, хімічні та біохімічні реакції. Тому існуюча проста і досить адекватна модель ефективної теплоємності при заморожуванні побудована на припущенні, що харчовий продукт є гетерогенною системою з сухої речовини і води з розчиненими в ній речовинами. Температурна залежність ефективної питомої теплоємності викликана двома конкуруючими процесами: кристалізацією води у продукті з утворенням кристалів льоду, та концентруванням розчинених речовин у рідкій фазі, частка яких збільшується аж до евтектичної температури. Відповідно до цього подання ефективна питома теплоємність є адитивною функцією теплоємності сухих речовин, води та льоду, а також швидкості зміни концентрації розчинених речовин, яку прийнято виражати через швидкість зміни частки вимороженої вологи.

Основним фактором, що визначає температурну залежність питомої теплоємності, є швидкість виморожування (кристалізації). Так у найчастіше у теплофізичних розрахунках кількості вимороженої вологи використовують модель, засновану на рівнянні Рауля, яка описує процес заморожування харчових продуктів як процес кристалізації істинного розчину порівняно невеликої молекулярної концентрації, що містить солі, білки та інші компоненти. Проте така модель харчового продукту далека від реальних процесів, які відбуваються при заморожуванні, тому особливу цінність мають експериментальні дані по кількості

вимороженої вологи, як враховують всі особливості конкретного харчового продукту в процесі заморожування та розморожування.

Найбільш поширеним методом отримання даних про частку вимороженої вологи є диференційно-скануюча калориметрія (ДСК), використовуються також методи ЯМР-спектроскопії, та діелектрометрії. Це достатньо точні але є технічно складні методи досліджень. В той же час існує достатньо простий метод визначення ефективної теплоємності за термограмами заморожування [5], яка в свою чергу пов'язана з часткою вимороженої вологи. Саме знаходженню функціональної залежності між часткою вимороженої вологи та ефективною теплоємністю присвячена дана робота.

Як відомо в області нижче за криоскопічну температуру ефективна питома теплоємність визначається наступним рівнянням

$$c_{ef}(t) = c_0 - (c_w - c_{ice}) w_0 \omega(t) + w_0 L_w \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

де  $c_{ef}$  – ефективна питома теплоємність, Дж/(кг×К);  $c_0$  – питома теплоємність при температурах  $t$  вище за криоскопічну, Дж/(кг×К),  $c_w$  – питома теплоємність води, 4190 Дж/(кг×К);  $c_{ice}$  – питома теплоємність льоду, 2100 Дж/(кг×К);  $L_w$  – питома теплота плавлення льоду (кристалізації води),  $3,35 \times 10^5$  Дж/кг;  $w_0$  – початкова вологість;  $\omega$  – частка вимороженої вологи відносно загальної маси води;  $t$  – поточна температура, К.

Рівняння (1) є лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням першого порядку відносно частки вимороженої вологи  $\omega$ , яке можна переписати у наступному вигляді,

$$\frac{d\omega}{dt} - \Delta c \frac{\omega(t)}{L_w} = \frac{c_{ef}(t) - c_0}{L_w w_0}, \quad (2)$$

В цьому рівнянні введено позначення  $\Delta c = c_w - c_{ice}$ . В правій частині стоїть ефективна теплоємність  $c_{ef}(t)$ , як функція температури, що визначена з експериментальних досліджень будь яким доступним методом.

Рішення диференціального рівняння (2) в загальному випадку виду функції  $c_{ef}(t)$  виглядає наступним чином

$$\omega(t) = e^{\int \frac{\Delta c}{L_w} dt} \left( \int \left( \frac{c_{ef}(t) - c_0}{w_0 L_w} e^{-\int \frac{\Delta c}{L_w} dt} \right) dt + const \right), \quad (3)$$

або після спрощення

$$\omega(t) = e^{\frac{\Delta c}{L_w} t} \left( const - \frac{c_0}{w_0 \Delta c} e^{-\frac{\Delta c}{L_w} t} + \frac{1}{w_0 L_w} \int c_{ef}(t) e^{-\frac{\Delta c}{L_w} t} dt \right), \quad (4)$$

Де константа інтегрування  $const$  визначається з умови  $\omega(t_{crio}) = 0$ , де  $t_{crio}$  - криоскопічна температура.

Таким чином, якщо апроксимувати експериментальні данні про ефективну теплоємність відповідною аналітичною функцією, то інтеграл у рівнянні (4) може бути визначений аналітично.

У випадку, якщо данні про ефективну теплоємність являють собою таблицю даних, можна знайти залежність  $\omega(t)$  безпосередньо розв'язанням диференційного рівняння (2) чисельним методом.

В подальшому наведену методику визначення частки вимороженої вологи планується перевірити на існуючих експериментальних даних про ефективну теплоємність.

#### **Інформаційні джерела:**

1. Jatal D. Mannapperuma & R. Paul Singh. A Computer-Aided Method for the Prediction of Properties and Freezing/Thawing Times of Foods! Journal of Food Engineering 9 (1989), pp. 275-304.
2. R. H. Mascheroni, A. Calvelo. A Simplified Model for Freezing Time Calculations in Foods. Journal Of Food Science - Volume 47 (1982), pp.1201-1207.
3. M.Rinaldi, A.Trifirò, S.Rainieri, F.Bozzoli, R.Massini. An experimental approach for the estimation of apparent thermal diffusivity in frozen food. Eurotherm Seminar 77 – Heat and Mass Transfer in Food Processing June 20-22, 2005 Parma, Italy.
4. S. Tavman, S.Kumcuoglu, V.Gaukel. Apparent Specific Heat Capacity of Chilled and Frozen Meat Products. International Journal of Food Properties, 10: 103–112, 2007, DOI: 10.1080/10942910600755151
5. Dromenko, O., Potapov, V., Yancheva, M., Onishchenko V., Bolshakova, V., & Inzhyants, A. (2021). Research into the thermophysical characteristics of muscle and adipose tissues in the freezing–thawing process.. Food Science and Technology, 15(3). <https://doi.org/10.15673/fst.v15i3.212>

УДК 621.564.2

## **ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ R744 І R600A В КАСКАДНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСАХ: ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

*Заруба Г.Г., аспірант ОНТУ, м. Одеса, [hlib.zaruba@gmail.com](mailto:hlib.zaruba@gmail.com)*

### **Вступ**

Підвищення енергоефективності систем опалення стає критично важливим на тлі зміни клімату та зростання цін на енергоносії. Плани відмовитися від викопних джерел енергії до 2050 року вимагають більш ефективних рішень [1]. У цьому контексті особлива увага приділяється тепловим насосам, продажі яких з 2022 року зросли на 11% і, як очікується, до 2030 року покриватимуть 20% світового попиту на опалення [2]. Каскадні теплові насоси є більш ефективними в енергозбереженні, стабільності нагріву води та отриманні високих температур [3;4].

Екологічний аспект також важливий, оскільки багато холодоагентів ГФВ з високим ПГП можуть підпадати під міжнародні обмеження. Природні холодоагенти, такі як CO<sub>2</sub> (R744) та ізобутан (R600a), з низьким ПГП та хорошими термодинамічними властивостями, стають все більш популярними [5].

Використання сумішей цих холодоагентів у каскадних системах повинно забезпечити не тільки зниження робочого тиску в низькотемпературному контурі (НТК), але й підвищення його коефіцієнта перетворення (COP). У свою чергу, у високотемпературному контурі (ВТК) можна очікувати зниження межі займистості, збільшення об'ємної теплоємності та підвищення ККД. Перехід на природні холодоагенти та розвиток теплових насосів може значно підвищити енергоефективність та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, підтримуючи сталий розвиток та перехід до екологічно чистих енергетичних рішень.

### Математична модель

Каскадні теплові насоси - це комбінація двох або більше одноступеневих систем, які термічно з'єднані через каскадний теплообмінник (Рис. 1). Цей теплообмінник складається з конденсатора для низькотемпературної частини системи і випарника для високотемпературної частини.

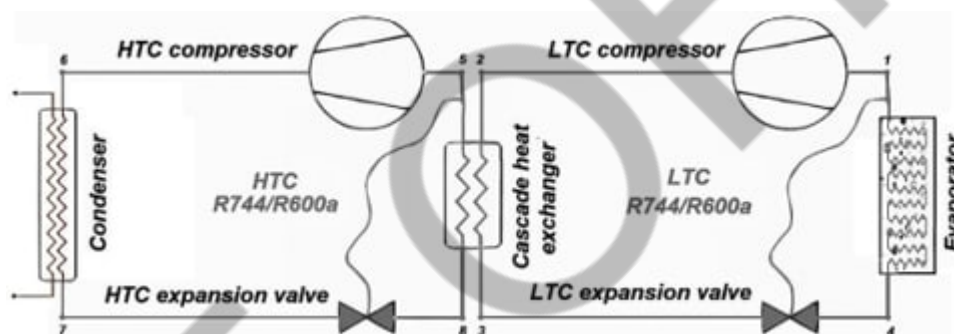


Рисунок 1 - Принципова схема каскадної системи теплових насосів

Моделювання системи проводилося в інтегрованому середовищі розробки PyCharm з використанням мови програмування Python 3.11, а дані про властивості робочих сумішей були отримані з використанням програми NIST Refprop 10.0. Для аналізу розроблена математична модель каскадного теплового насоса з чистим R744 у низькотемпературному каскаді та R600a у високотемпературному каскаді порівнювалася з сумішами R744/R600a в обох каскадах у різних співвідношеннях компонентів. Для моделювання були задані температури конденсації та кипіння, а також різниця температур в каскадному теплообміннику (Табл. 1).

Таблиця 1: Вхідні дані моделі

Символ	Опис	Значення
$t_c^h$	Температура конденсації у ВТК	60 °C
$t_0^l$	Температура випаровування у НТК	0 °C
$\Delta T_{che}$	Різниця температур у каскадному теплообміннику	4 K

Середня температура в каскадному теплообміннику (Рівняння 1).

$$T_{che} = \sqrt{T_c^h * T_0^l} \quad \text{Рів. (1)}$$

Температура конденсації НТК (Рівняння 2).

$$T_c^i = T_{ch\epsilon} + \frac{\Delta T_{che}}{2} \quad \text{Рів. (2)}$$

Температура випаровування ВТК (Рівняння 3).

$$T_0^h = T_{ch\epsilon} - \frac{\Delta T_{che}}{2} \quad \text{Рів. (3)}$$

### Результати

Розраховані дані моделі дозволили побудувати графіки залежності COP від частки R744 в суміші: для НТК при оптимальному співвідношенні компонентів ВТК (Рисунок 2) і для ВТК при оптимальному співвідношенні компонентів НТК (Рисунок 3).

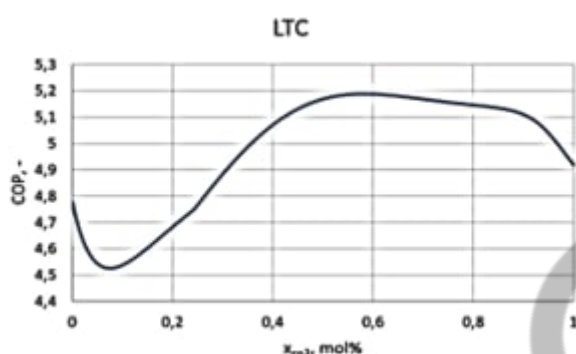


Рисунок 2 - Графік залежності COP від мольної частки CO<sub>2</sub> в суміші R744/R600a для НТК

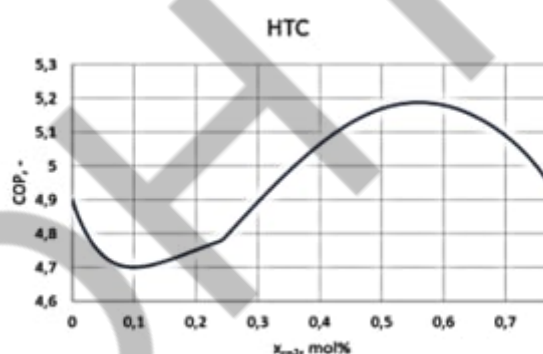


Рисунок 3 - Графік залежності COP від мольної частки CO<sub>2</sub> в суміші R744/R600a для ВТК

На основі отриманих даних можна зробити висновок, що використання сумішей як в низькотемпературному контурі, так і в високотемпературному контурі може значно підвищити енергоефективність системи. Оптимальні пропорції суміші складають 58% R744 і 42% R600a для низькотемпературного контуру, і 56% R744 і 44% R600a для високотемпературного контуру. При таких співвідношеннях коефіцієнт ефективності досягає максимального значення 5,188, що на 11,3% вище, ніж з чистими холодоагентами, де R744 використовується в низькотемпературному контурі, а R600a - у високотемпературному.

### Висновки

Перехід на природні холодоагенти та розробка каскадних теплових насосів є важливим кроком на шляху до зелених та сталих енергетичних рішень. Результати моделювання каскадного теплового насоса з використанням сумішей холодоагентів R744 і R600a показали помітне підвищення енергоефективності порівняно з чистими холодоагентами. Оптимальні пропорції суміші для низькотемпературного контуру складають 58% R744 і 42% R600a, а для високотемпературного контуру - 56% R744 і 44% R600a. За цих умов COP досягає значення 5,188, що на 11,3% вище, ніж при використанні чистих холодоагентів. Ці суміші можуть бути альтернативою використанню чистих природних холодоагентів. Однак слід зазначити, що для отримання більш точних даних необхідно

розробити більш детальні математичні моделі, а також провести експериментальні дослідження для перевірки отриманих результатів.

**Список інформаційних джерел**

1. Outcome of the first global stocktake / UNFCCC. Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement (CMA). – Dubai, 2023. – 21 p.
2. Global heat pump sales continue double-digit growth [Electronic resource]. - Paris: IEA, 2023. - Access mode: <https://www.iea.org/commentaries/global-heat-pump-sales-continue-double-digit-growth>. - License: CC BY 4.0. - (Date of access: 01.03.2025).
3. Jung, H.W., Kang, H., Yoon, W.J., Kim, Y. Performance comparison between a single-stage and a cascade multi-functional heat pump for both air heating and hot water supply // International Journal of Refrigeration. – 2013. – V. 36, № 5. – P. 1431-1441. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.03.003>.
4. Aikins, K.A., Lee, S.-H., Choi, J.M. Technology review of two-stage vapor compression heat pump system // International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration. – 2013. – V. 21, № 3. – P. 1330002. – DOI: <https://doi.org/10.1142/S2010132513300024>.
5. Natural refrigerants market [Electronic resource] // Fortune Business Insights. - 2023. - Access mode: <https://www.fortunebusinessinsights.com/natural-refrigerants-market-105256>. - (Date of reference: 01.03.2025).

*Науковий керівник: Хмельнюк М.Г., д.т.н., професор, завідувач кафедри холодильних установок і кондиціювання повітря ННІ холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНТУ*



УДК 664.8/9

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СПОСОБІВ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ**

**Петренко О.В., завідувача кафедри інтегрованих електротехнологій та енергетичного машинобудування ДБТУ, Єрмоленко О.В., здобувачка ДБТУ, м. Харків, [mnix.aleksandra@gmail.com](mailto:mnix.aleksandra@gmail.com)**

В сучасному світі однією з найнагальніших проблем людства є збереження біологічних об'єктів з максимальним збереженням їх структури, корисних речовин та властивостей. Особливо актуальна ця проблематика стоїть в харчовій промисловості. Найефективнішим методом збереження біологічних об'єктів є низькотемпературна обробка сировини, така як охолодження, заморожування та сублімаційна сушка. Але використання низькотемпературної обробки для збереження та подовження терміну придатності харчової сировини супроводжується виникненням не менш важливої проблематики, такою як великі енерговитрати [1].

На застосування низькотемпературної обробки припадає близько 50-60% загальноспожитої електроенергії підприємством. Враховуючи ці показники проблема підвищення енергоефективності стає дуже актуальною, оскільки вирішення цієї проблеми дозволяє зменшити експлуатаційні витрати підприємства, а в умовах нинішнього стану енергетики в країні дозволить забезпечити стабільну роботу підприємства [2].

Застосування сучасних технологій низькотемпературної обробки, зокрема заморожування (кріогенного та шокового), вакуумного охолодження та сублімаційного сушіння, дозволяє суттєво подовжити термін зберігання харчової сировини. Ці методи забезпечують збереження органолептичних властивостей та частково первісної структури продуктів, мінімізуючи необхідність використання консервантів.

Традиційне заморожування, що полягає в зниженні температури об'єкта до  $-18^{\circ}\text{C}$ , є найбільш поширеним, однак характеризується високим енергоспоживанням через тривалість процесу. Водночас, даний метод не забезпечує оптимального збереження первинної структури продукту через формування великих кристалів льоду. На противагу цьому, кріогенне заморожування з використанням рідкого азоту або  $\text{CO}_2$  дозволяє досягти значно нижчих температур ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) за короткий час, мінімізуючи пошкодження біологічної структури та знижуючи енергетичні витрати. Незважаючи на те, що кріогенні системи мають менше енергоспоживання, загальні експлуатаційні витрати вищі через необхідність постійного поповнення кріоагентів та обслуговування спеціалізованого обладнання. Кріогенне обладнання, необхідне для використання рідкого азоту або вуглекислого газу, зазвичай є дорожчим, ніж традиційні системи заморожування. Це пов'язано з необхідністю використання спеціальних матеріалів, здатних витримувати наднизькі температури, а також складністю конструкції таких систем. Рідкий азот і вуглекислий газ, що використовуються в кріогенному заморожуванні, є відносно дорогими кріоагентами. Їх постійне використання може значно збільшити собівартість кінцевого продукту [1].

Однією з екологічно чистих технологій низькотемпературної обробки є сублімаційне сушіння, або ліофілізація, яка являє собою технологічний процес дегідратації харчових продуктів, що здійснюється при низьких температурах у вакуумному середовищі. Цей метод забезпечує видалення

вологи шляхом сублімації, тобто безпосереднього переходу льоду з твердого стану в газоподібний, минаючи рідку фазу. Процес ліофілізації складається з трьох послідовних етапів: початкове заморожування продукту, первинна сублімація льоду та вторинна десорбція залишків зв'язаної вологи. Завдяки низькотемпературному режиму, ліофілізація дозволяє зберегти до 95% поживних речовин, вітамінів та ароматичних сполук, що є критично важливим для термолабільних продуктів. Сублімовані продукти характеризуються пористою структурою, що сприяє швидкому відновленню їх первинної консистенції при регідратації. Екологічна безпека процесу обумовлена відсутністю необхідності використання хімічних речовин.

Однак, висока енергоємність процесу ліофілізації, зумовлена необхідністю підтримання низьких температур і вакууму, значно збільшує собівартість кінцевого продукту. З економічної точки зору, застосування цієї технології є доцільним для продуктів з високою доданою вартістю, таких як термочутливі фармацевтичні препарати, кава, ягоди, лікарські рослини, а також для продуктів, що потребують тривалого зберігання в екстремальних умовах, наприклад, космічна їжа або туристичні раціони [1,3].

Вакуумне охолодження також є однією з сучасних технологій використання низькотемпературної обробки харчової сировини. Технологія вакуумного охолодження полягає в ефекті випаровування вологи в вакуумі, що дозволяє швидко охолоджувати сировину з мінімальними енерговитратами [3].

Пластинчасте охолодження є ще одним методом, що забезпечує інтенсивне охолодження за рахунок контакту сировини з охолоджувальними металевими пластинами. Завдяки чому суттєво знижується час заморожування продуктів, що в свою чергу знижує утворення великих кристалів льоду, що в свою чергу зберігає структуру харчової сировини. Ця технологія є енергоефективною та економічно доцільною для великих підприємств [3].

У сучасних умовах підвищення енергоефективності промислових процесів є ключовим фактором конкурентоспроможності підприємств. Інноваційні системи низькотемпературної обробки харчової сировини відіграють значну роль у цьому контексті. Застосування автоматизованих систем дистанційного керування та енергоефективного обладнання дозволяє оптимізувати використання енергетичних, часових та матеріальних ресурсів. Системи моніторингу, які оснащені високочутливими датчиками, забезпечують автоматичну регуляцію інтенсивності заморожування та оптимізацію циклів запуску компресорів, вентиляторів та інших елементів. Використання автоматизованих блоків управління дозволяє досягти високої точності регулювання температурних режимів, рівня завантаженості камер та вологості [2].

Комплексне застосування цих технологій сприяє зниженню навантаження на енергетичну систему підприємства, забезпечує дотримання жорстких вимог до умов зберігання продукції, що, в свою чергу, подовжує термін її придатності та знижує собівартість виробництва.

Однак, впровадження сучасних методів та обладнання на вітчизняних підприємствах стикається з проблемою високої вартості інноваційних рішень та складнощами інтеграції нових технологій з існуючими виробничими лініями.

#### СПИСОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Холодильні технології: Навчальний посібник / В.В. Шутюк, О.С. Бессараб, О.В. Душак, В.І. Ємцев – Київ: НУХТ.– ФОП Ямчинський О. – 2022. 172 с.
2. Холодильне обладнання : підручник / Д. П. Семенюк, О. В. Петренко. - Х. :Світ Книг, 2021. – 633 с.
3. Fellows P. Food Processing Technology- Principles and Practice.– 2nd ed. - Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2000.

УДК 621.565; 621

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ КОНДИЦІЮВАННІ БОМБОСХОВИЩ**

**Моїсєєв В.В., аспірант ОНТУ**

В умовах воєнного стану завдання підвищення енергоефективності систем кондиціонування в бомбосховищах має важливе значення.

Кондиціонування бомбосховищ - це процес підготовки підземних приміщень для знаходження громадян у них.. Для здійснення процесу кондиціонування бомбосховищ необхідні спеціально підготовлені приміщення, що відповідають вимогам стандартів і нормативів. Основні елементи кондиціонування бомбосховищ - це фільтрація, рівномірний розподіл повітря, охолодження та нагрівання повітря, системи автоматичного контролю температури, вологості, тиску та інших параметрів. [1-2].

Кондиціонування бомбосховищ є важливим складовим елементом безпеки під час надзвичайних ситуацій та заходів цивільного захисту. Цей процес передбачає постійний обмін повітрям в приміщенні, що дозволяє уникнути накопичення шкідливих речовин, які можуть бути випущені в атмосферу під час надзвичайних ситуацій. Одним з найважливіших елементів вентиляції є належне проектування та встановлення систем вентиляції. Система вентиляції гарантує постійну циркуляцію повітря, що допомагає підтримувати оптимальний рівень вологості та температури в приміщенні, а також зменшує ризик ураження шкідливими речовинами (хімічна зброя, пил, чадний газ).

Фільтри для бомбосховищ є важливою складовою систем безпеки, призначеними для забезпечення чистого повітря в середині бомбосховища під час надзвичайних ситуацій. Основна мета таких фільтрів полягає в утриманні шкідливих речовин, включаючи отруйні гази та радіоактивні частки, у зовнішньому середовищі.

Існує кілька типів фільтрів, які використовуються в бомбосховищах: грубої очистки; середньої очистки; хімічної очистки; радіаційної очистки та інші

Ці типи фільтрів можуть використовуватися окремо або в комбінації, залежно від конкретних потреб і вимог бомбосховища. Важливо забезпечити регулярне технічне обслуговування та заміну фільтрів для збереження їх ефективності та забезпечення рівномірного розподілу повітря.

Треба підтримати мікроклімат бомбосховищ тобто метеорологічні умови внутрішнього середовища цих приміщень, які визначаються спільною дією на організм людини температури, вологості, швидкості руху повітря та теплового випромінювання при рівномірному розподілі повітря. Однією з основних завдань цієї комплексної проблеми є енергозбереження. З урахуванням підходу до енергоефективних систем [3,4] ми розглядаємо шляхи підвищення ефективності систем кондиціонування

Однією з основних завдань цієї комплексної проблеми є енергозбереження. З урахуванням підходу до енергоефективних систем [3,4] ми розглядаємо шляхи підвищення ефективності систем кондиціонування.

Встановлено, що напрямки відповідних досліджень пов'язані з удосконаленням засобів, технологій і умов для людей, створенням наукових основ і методів розрахунку параметрів і керування ресурсом, надійністю та технічним станом кондиціонування повітря, розробкою методів підвищення ефективності експлуатації систем кондиціонування повітря та їх функціональних підсистем, устаткування й способів забезпечення їх працездатності. За

результатами проведеного аналізу встановлено, що вирішення проблеми підвищення ефективності експлуатації систем кондиціонування повітря пов'язане, своєю чергою, з розв'язанням взаємозалежних проблем і, насамперед, підвищенням якості комфортного мікроклімату за умови зниження енерговитрат на кондиціонування повітря. Показано, що одним з основних завдань цієї комплексної проблеми є енергозбереження. Вирішено триєдину проблему – оптимізацію (мінімізацію) енергоспоживання за дотримання нормативних вимог до комфортного середовища перебування в житлових, громадських і промислових об'єктах, неухильне дотримання технологічних вимог у виробничих процесах і мінімізацію шкідливого впливу на екологію навколишнього середовища.

Розроблені методи та технічні рішення з підвищення ефективності функціонування системи кондиціонування повітря впроваджено розглянемо на підборі системи кондиціонування повітря за чотирма балансами (1)-(4). Вони є універсальними і можуть використовуватися для експлуатації та модернізації стаціонарних центральних систем кондиціонування повітря.

$$G_n \frac{\partial h_y}{\partial \tau} = G_{n1} \cdot h_{n1} - G_{y1} h_{y1} - G_p h_p + \sum_{i=2}^n G_{ni} h_{ni} - \sum_{j=2}^m G_{yj} h_{yj} + \Delta Q + \Delta Q' \quad (1)$$

$$G_v \frac{\partial d_y}{\partial \tau} = G_{n1} d_{n1} - G_{y1} d_{y1} - G_p d_p + \sum_{i=2}^n G_{ni} d_{ni} - \sum_{j=2}^m G_{yj} d_{yj} + \Delta W + \Delta W' \quad (2)$$

$$G_v \frac{\chi_{n1}}{\rho_{n1}} = G_{n1} \frac{\chi_{n1}}{\rho_{n1}} - G_{y1} \frac{\chi_{y1}}{\rho_{y1}} - G_p \frac{\chi_p}{\rho_p} + \sum_{i=2}^n G_{ni} \frac{\chi_{ni}}{\rho_{ni}} - \sum_{j=2}^m G_{yj} \frac{\chi_{yj}}{\rho_{yj}} + M_{\Gamma} \quad (3)$$

$$G_v \frac{C_p \partial t_y}{\partial \tau} = C_p G_{n1} t_{n1} - C_p G_{y1} t_{y1} - C_p G_p t_p + C_p \sum_{i=2}^n G_{ni} t_{ni} - C_p \sum_{j=2}^m G_{yj} t_{yj} + \Delta Q_{\chi} + \Delta Q' \quad (4)$$

$G_n, G_y, G_p$  - витрати повітря припливного, витяжного та рециркуляційного;  $h_n, h_y, h_p$  – питома ентальпія повітря припливного, витяжного та рециркуляційного, кДж/кг;  $d_n, d_y, d_p$  – вологовміст припливного, витяжного та рециркуляційного повітря, кг/кг<sub>с.п.</sub>;  $t_n, t_y, t_p$  – температура припливного, витяжного та рециркуляційного повітря °С,  $x/p, x/y, x/r$  – концентрація повітря припливного, витяжного та рециркуляційного;  $\Delta G_m, \Delta Q_m, \Delta W_m, \Delta M_{\Gamma}$  - дисбаланси витрати повітря, повного теплоти, вологи, маси газу, явної теплоти.

Реалізація інноваційних технологій пов'язана зі створенням штучного мікроклімату приміщень, тобто забезпечення і підтримання необхідних параметрів повітряного середовища, на що щорічно витрачається понад 30% енергоресурсів, отриманих в країні. Необхідні параметри мікроклімату забезпечують інженерні системи, серед яких важлива роль належить системам кондиціонування повітря. [5]

Нами вирішена триєдинна проблема – вирішення екологічних проблем, мінімізація енергоспоживання для дотримання нормативних вимог до комфортного середовища перебування людей в бомбосховищі та визначення енергетичних характеристик дотримання технологічних вимог у виробничих процесах і мінімізацію шкідливого впливу на екологію навколишнього середовища і основний баланс за яким ми підбиратимемо систему кондиціонування повітря за рівнянням (4) для того щоб забезпечити комфорт та чистоту приміщення. При цьому необхідно забезпечення рівномірного розподілу повітря так, щоб не було застійних зон. Це можливо завдяки активному вентиляванню.

Список літератури:

1. Жихарєва, Н. В. Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестационарних умовах [Електронний ресурс] : монографія / Н. В. Жихарєва ; Одес. нац. технол. ун-т, Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ТЕС, 2022. — 264 с.
2. Zhykharieva N. , Khmelniuk, M. Thermoeconomic Model of Air Conditioning System - Energy Engineering and Control Systems. – 2019 Volume 5– № 2– С. 66-75
3. Patent for the invention u№126632 Method of production of sugar syrup and installation for its implementation /Kogut V.O., Talybly R.E., Zhykharseva N.V., Doroshenko O.V. Khmelnyuk M.G., Application No. u201907886 Publication 04.01.2023, Bull. No. 1/2023
4. Dohov M. P., Uspehi sovremennogo estestvoznaniya fiziko-matematicheskikh nauk Kabardino-Balkarskoy gosudarstvennoy selskohozyaystvennoy akademii 10, 65–66 (2006)..

*Науковий керівник: Жихарєва Н.В., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ*

УДК 66.047.2

## **ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОГЕННИХ МЕТОДІВ ПІДГОТОВКИ ТА ВИЛУЧЕННЯ ЛІПОФІЛЬНИХ ФРАКЦІЙ**

Потапов В.О., професор, д.т.н., (ДБТУ, м. Харків)  
Білий Д.В., асистент, (ДБТУ, м. Харків, jimmykraun@ukr.net)

В роботі пропонується застосування технологічного комплексу для переробки сировини біологічного походження. Комплекс включає обладнання для підготовки сировини, сушіння і вилучення екстрактів з рослинних і тваринних матеріалів. Переробка спрямована на вивчення процесів та оптимізацію технологічних параметрів для максимального виходу цінних продуктів.

Порівняння з традиційними методами переробки біологічних об'єктів підтверджує переваги запропонованої комплексної технології, що забезпечує суттєве збільшення виходу цінного складу цільових продуктів. Розроблена блок-схема комплексу може бути використана для проведення наукових досліджень та навчання спеціалістів у галузі біотехнології, сприяючи розробці інноваційних рішень в агропромисловому секторі.

Сучасні найбільш ефективні технології переробки біологічної сировини та виробництва високоякісних напівпродуктів для різних галузей промисловості складають такі методи заготівлі, зберігання та переробки вихідної сировини, які максимально зберігають її молекулярну структуру, вітамінний і мінеральний склад. Найбільш повно цим вимогам задовольняють кріогенні технології, при реалізації яких сировина перебуває при низьких температурах і в середовищі інертних газів. При цьому пригнічуються окислення, денатурація та дисоціація найбільш важливих молекулярних активних комплексів вихідної сировини.

Для вирішення складної технологічної задачі безпечної переробки рослинної сировини пропонується експериментальна технологічна блок-схема комплексної переробки біологічних об'єктів для вилучення ліпофільних комплексних сполук та фракцій (рис. 1) включає наступні основні етапи: підготовка сировини та заморожування; кріоподрібнення; сублімаційне фракціонування замороженої подрібненої сировини і концентрування; екстракційне вилучення з твердофазного компонента ліпофільної фракції зрідженими газами; седиментація кінцевого продукту.

Першим етапом комплексної переробки біологічної сировини є підготовка об'єктів дослідження, що включає в себе заморожування та кріоподрібнення сировини. Заморожування біологічної сировини проводиться за допомогою використання всіляких конвеєрних кріотунелей з попереднім охолодженням до  $+25...5^{\circ}\text{C}$  і наступним заморожуванням в інтервалі  $5...-50^{\circ}\text{C}$ , що використовують в якості холодильного агенту пари рідкого азоту. Швидке заморожування скорочує час контакту біомолекул з концентрованою рідкою фазою під час утворення кристалів льоду, що перешкоджає зневодненню клітин при позаклітинній кристалізації, що викликає незворотну деформацію клітин [1, с.27].

Важливою стадією підготовки сировини до фракціонування та екстрагування є його кріогенне подрібнення. Кріогенна технологія подрібнення дозволяє оптимізувати процес підготовки отримуючи повне запобігання перегріву продукту в місцях розриву тканини сировини та виділення теплової енергії за рахунок компенсації плавлення льоду; можливість роботи кріомлина при більш високих температурах в камері подрібнення завдяки гнучких зрушень і утворення трищин в кристалах льоду для фрагментації біологічних компонентів крижаної матриці; виключає попадання атмосферної вологи на готовий охолоджений продукт [2, с.491].

Сублимаційне фракціонування є одним з найважливіших етапів низькотемпературної переробки рослинної сировини. Оскільки біоактивні комплекси складаються з термолабільних речовин, то верхня температурна межа для них обмежена  $40...50^{\circ}\text{C}$ . Технологія поділу фракцій з різною молекулярною масою з натуральної біологічної сировини дозволяє одержувати низькомолекулярні водні фракції, недоступні в даний час іншими відомими методами вилучення. А продукти у вигляді сухих та водних фракцій, одержувані в процесі фракціонування, можуть стати основою для виробництва нових продуктів харчової та фармацевтичної промисловості.

Наступний важливий технологічний етап переробки – виділення ліпідних фракцій із сухого фракціонованого біоматеріалу з використанням хладонових розчинників. Основна цінність даного методу полягає у збереженні нативної структури ліпідних комплексів, що виділяються за рахунок властивостей застосовуваних розчинників у вигляді зріджених хладонів.

Заключний етап комплексної переробки біологічної сировини, що називається седиментацією або гравітаційним очищенням, який здійснюється за допомогою використання промислових центрифуг різноманітної конфігурації та продуктивності.

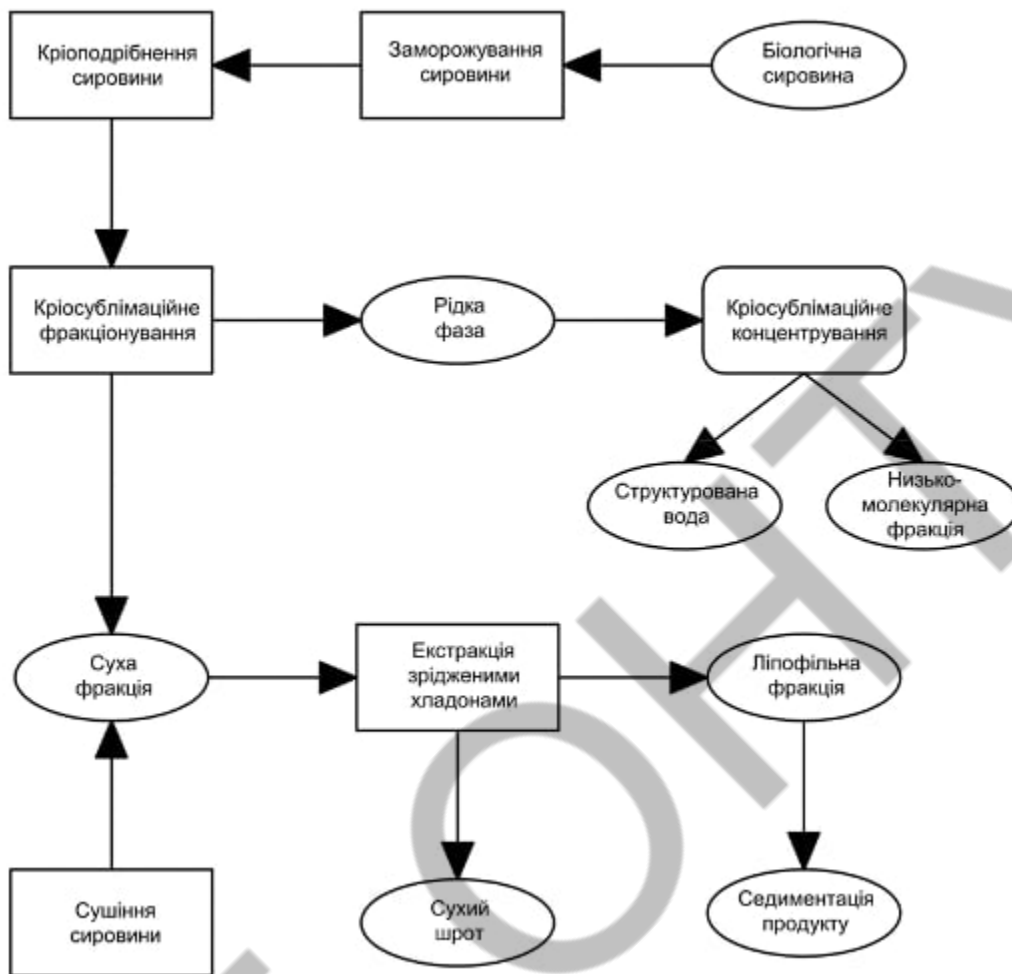


Рис. 1. Блок-схема технологічних етапів комплексної переробки біологічних об'єктів

На основі вищевикладеного підходу запропоновано технологію переробки багатостадійним фракціонуванням біологічних та екстрагуванням об'єктів з метою отримання комплексів низькомолекулярних та високомолекулярних гідрофільних і ліпофільних фракцій.

#### **Інформаційні джерела:**

1. Гордиенко Е.А., Пушкарь Н.С. Физические основы низко-температурного консервирования клеточных суспензий. – Киев: Наук. думка, 1994. – 144 с.
2. A.I. Osetsky, V.I. Grischenko. Cryogenic Technologies in Production of Pharmaceutical, Cosmetic, Agrotechnical Formulations and Biologically Active Food Additives. Probl Cryobiol Cryomed 2009, 16 (4). P. 488–499.

УДК 621.565; 621

## **ПОВІТРОРОЗПОДІЛЕННЯ БЕЗ ЗАСТІЙНИХ ЗОН В БОМБОСХОВИЩАХ**

**Фурсенко О. В. , аспірант ОНТУ**

Для рівномірного повіт розподілу в бомбосхоовищі застосовуємо балки активного вентилявання щоб уникнути засійних зон – це установка для систем кондиціонування повітря. Зазвичай встановлюється на стелі, вона об'єднує функції охолодження, опалення та розподілу первинного повітря. Використання цього типу обладнання дозволяє отримати відмінні результати з точки зору комфорту, благополуччя та енергозбереження: дуже низький рівень шуму; високі стандарти гігієни; ніяких докучливих протягів; однорідність температури в навколишньому середовищі.

Висока енергоефективність системи гарантується низькими температурними рівнями теплоносіїв, відсутністю споживання через вентиляторів в приміщенні і низькими тисками розподілу. Витрати на технічне обслуговування низькі, а витрати на монтаж знижені завдяки відсутності електричного підключення і мереж відведення конденсату.

роектування систем кондиціонування і вентиляції в ідеалі має на увазі мінімальне споживання енергетичних ресурсів, для чого створюються принципово нові пристрої, здатні підвищити енергоефективність.

Такими є кліматичні балки, здатні створити в приміщенні оптимальний клімат без істотних витрат на експлуатацію системи.

Будь-яка охолоджуюча балка представлена спеціальним приладом, який контролює і підтримує на належному рівні задані параметри повітря в приміщенні. На відміну від традиційно використовуваних кондиціонерів і фанкойлів вони здатні охолоджувати, одночасно здійснюючи доставку в приміщення свіжого повітря, попередньо також знизивши його температуру для забезпечення додаткового комфорту.

Установка холодних балок в комплексі з системою кондиціонування в рази знижує витрати на електроенергію, що теж є важливим фактором в більшості випадків.

Всі кліматичні балки діляться на активні і пасивні. У першому випадку робота їх заснована на принципі ежекції (процес змішування двох середовищ, з яких одно, як транзитний струмінь, перебуваючи під тиском, діє на друге, підсмоктує і виштовхує його у певному напрямі.) для чого використовують спеціальну щілину, яка використовується з метою підключення припливного повітропроводу. Подача повітря здійснюється через спеціальний відсік, в якому одночасно створюється низький тиск. Різниця останнього витісняє з приміщення тепле повітря, яке проходить через теплообмінник з холодною водою, після чого знову надходить в кімнату.

б – витікання повітря через дахові отвори за допомогою дахових вентиляторів, притікання повітря через вентиляційні ґратки пристельових повітропроводів або від пристельового повітророзподільника (нагрівально-вентиляційного агрегата);

с – даховий повітроготувальник з утилізатором теплоти витікального (викидного) повітря і повітророзподіленням безпосередньо в РЗ

Основні переваги використання холодних балок для бомбосховищ

Грамотно спроектувати холодні балки можна тільки силами справжніх професіоналів, які мають для цього необхідні знання і навички. До подібного рішення сьогодні вдаються все частіше хоча б тому, що функціональність і зручність подібних пристроїв набагато вище, ніж у тих же фанкойлів. У технічному обслуговуванні холодні балки відрізняються невибагливістю, так як рухомі частини та вентилятор в їх конструкції відсутні, то ж саме можна сказати і про ремонт, необхідність в якому виникає вкрай рідко.

Що стосується установки, то даний процес не вимагає особливих зусиль, коли справа стосується холодних балок для бомбосховищ. Окремі моделі використовуються з метою встановлення в підвісну стелю, але при цьому немає ніякої необхідності проводити додаткову лінію електроживлення. В процесі експлуатації кліматичні балки практично не видають шуму і служать набагато довше фанкойлів.

Крім функції охолодження завдяки балкам активного та пасивного вентилявання в подібних пристроях передбачений варіант «навпаки», з їх допомогою можна не менш ефективно здійснювати обігрів приміщення. Таким чином, витрати на кліматизації будівлі скорочуються по всіх параметрах.

Висновки Визначили особливості застосування холодних балок та їх енергоефективність

### **Список літератури**

1. Zhykharieva. N., Khmelniuk M. Thermo-economic approach to optimize air conditioning systems. // (2017) Refrigeration Science and Technology, 2017-September, pp. 258-264.
2. Kholodkov A., Osadchuk E., Titlov A., Boshkova I., Zhihareva N. Improving the energy efficiency of solar systems for obtaining water from atmospheric air // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 – 2018 – № 3/8 ( 93 – P.41–51 UDC 621.575:620.91:662.997 DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133643 Входить до БД Scopus . Особистий внесок: участь у аналізі систем, математичні дослідження.
3. Kogut V. Bushmanov V., Zhikhareva N. The filter on the basis of the ejector of the heat exchanger for purification of harmful substances from flue gases using heat exchanger as combustion gas filter // AIP Conference Proceedings 2285, 030087 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0026819> pp 0030081-030087 Входить до БД Scopus .
4. Жихарева Н.В. Хмельнюк М.Г, Важинський Д.І. Сучасні технології осушення повітря // Холодильна техніка і технологія. 2014. № 3 (149). С.15–

*Науковий керівник: Жихарева Н.В., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ*



УДК: 621.56:621.67

## **ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЯТОРУ ТИСКУ КОНДЕНСАЦІ В КОМПРЕСОРАХ З ЧАСТОТНИМ РЕГУЛЯТОРОМ**

**Смілик М.М., PhD аспірант; e-mail: smilykmm@gmail.com; Харків, ДБТУ**  
**Потапов В.О., д.т.н., проф., e-mail: potapov@bigmir.net**

При проектуванні сучасних холодильних систем однією з найбільш поширених практик є використання частотних перетворювачів для регулювання роботи компресорів. Це дозволяє ефективно підтримувати температуру кипіння і оптимізувати енергоспоживання, особливо в умовах, коли на одному об'єкті використовуються більше двох споживачів. Однак, при роботі компресора на низьких частотах, особливо в зимовий період, можуть виникати проблеми, пов'язані із зниженням продуктивності холодильного обладнання.

Зокрема, при знижених частотах роботи компресора, конденсатор може стати занадто великим, що призводить до накопичення хладону в нижній частині конденсатора. Це, в свою чергу, спричиняє зниження тиску нагнітання та може викликати аварійне зупинення холодильної системи. У таких умовах холодильне обладнання не може ефективно виконувати свої функції, що призводить до значних енергетичних втрат та зниження надійності системи в цілому.

Одним з рішень зазначеної проблеми є застосування регулювання тиску конденсації. У зв'язку з цим було проведено дослідження, яке порівнює роботу холодильних систем із застосуванням регулятора тиску нагнітання та без нього. Метою такого дослідження було в тому, щоб оцінити ефективність регулювання тиску для підтримання стабільної роботи системи при знижених частотах перетворювача, а також знизити ризики виникнення неполадок і перевірити рівень енергоефективності системи в холодні сезони.

Це дослідження має важливе значення для вдосконалення проектування та експлуатації холодильних систем, а також для розробки нових технологічних рішень, які дозволяють зберегти оптимальні умови роботи навіть в складних кліматичних умовах.

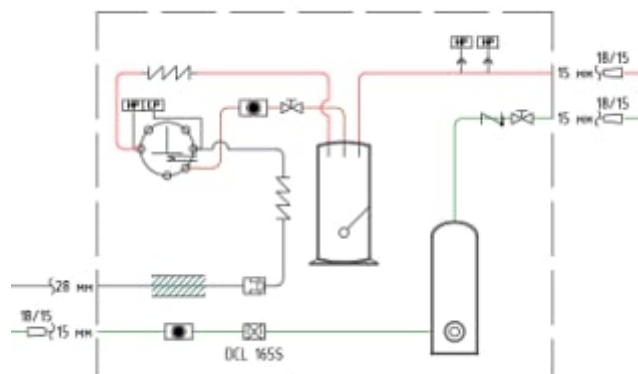


Рис.1. Гідравлічна схема холодильного агрегату без регулятора тиску конденсації в конденсаторі.

Нами розглянута робота холодильної системи, що працює з частотним перетворювачем, який дозволяє регулювати роботу компресора та адаптувати систему до змінних умов навколишнього середовища. Ця система оснащена конденсатором, що має запас потужності для компенсації пікових

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року**

навантажень в умовах високих температур навколишнього середовища. В даній системі застосовується холодоагент марки R507. На Рис. 1 зображена гідравлічна схема такої холодильної системи до модернізації.

В умовах експлуатації такої системи у споживача виникала проблема, пов'язана з негативним впливом низьких температур у зимовий період. Зниження температури навколишнього середовища нижче  $-7^{\circ}\text{C}$  призводило до зменшення тиску конденсації, що в свою чергу зменшувало температуру на лінії нагнітання та іноді спричиняло зупинку холодильного агрегату. Це зниження тиску на конденсаті порушує стабільність роботи обладнання і призводить до необхідності додаткового обігріву конденсатора для запобігання замерзанню та зупинці системи. У таких випадках сервісні інженери застосовують різні методи рішення цієї проблеми, наприклад тимчасової частикової теплоізоляції конденсатору, що дозволяє підтримувати потрібну температуру та запобігає замерзанню.

Проте, в умовах, коли температура змінювалась непередбачувано, наприклад, при потеплінні або різких коливаннях температури, це постійне відстежування стану системи стало проблемою для користувача холодильного обладнання, оскільки вимагало регулярного контролю тиску на лінії нагнітання і ручного втручання для корекції роботи обладнання.

В нашому дослідженні була використана система моніторингу встановлена на об'єкті в місті Київ. В результаті проведеного моніторингу даних з 15 грудня 2024 року по 12 лютого 2025 року, було виявлено, що мінімальний тиск на лінії конденсації становив 7,5 бар, а максимальний тиск досягав 18,4 бар. Це свідчить про значні коливання тиску, що, без сумніву, впливає на ефективність роботи холодильного обладнання.

На рис. 2 наведено погодинний графік змінювання тиску на лінії конденсації при найнижчій температурі зовнішнього середовища. За даними Українського гідрометеорологічного центру (УкрГМЦ), найнижча температура була зафіксована 13 лютого 2025 року, коли температура зовнішнього середовища знизилась до  $-12,3^{\circ}\text{C}$  вранці. В цей самий день мінімальний тиск на лінії конденсації склав 7,2 бар (Рис. 2).

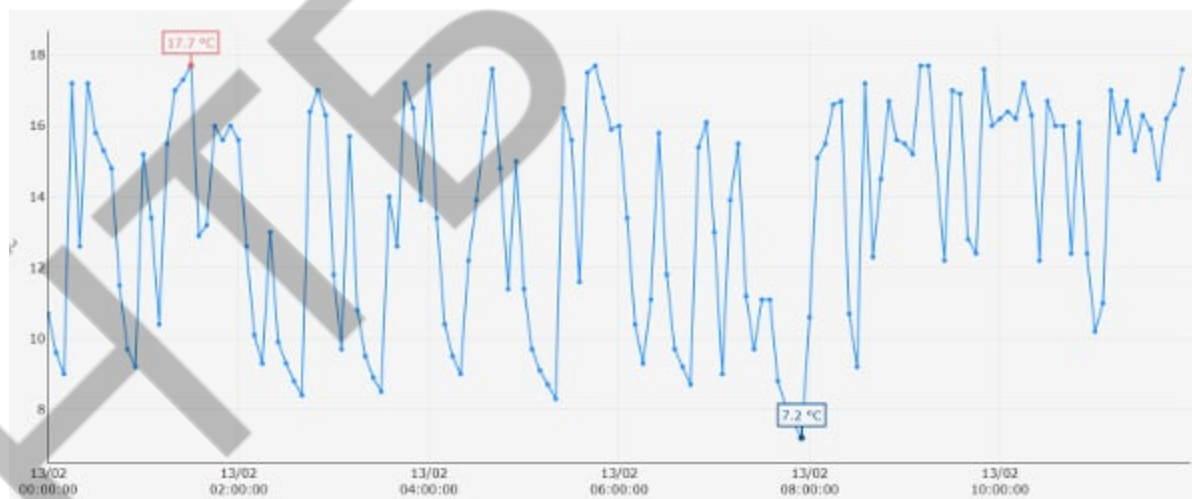


Рис. 2. Графік тиску конденсації за 13.02.2025 року з 00:00 годин до 12:00 годин.

Для вирішення проблеми надмірного коливання тиску конденсації була проведена модернізація об'єкта, зокрема, була встановлена система автоматизації моніторингу та додаткової автоматики регулювання тиску на лінії конденсації холодильного обладнання (рис.3).

Ця система дозволяє автоматично регулювати роботу конденсатора та компресора, враховуючи поточні температурні умови, відповідно дозволяє зменшити людське втручання та підвищити ефективність роботи обладнання.

В комплект модернізації увійшли такі основні елементи холодильної автоматики – шаровий кран для зручності обслуговування, регулятор тиску конденсації KVR15, клапан диференційного тиску NRD 12. Зворотній клапан на лінію зливу з конденсатора був встановлений до модернізації.

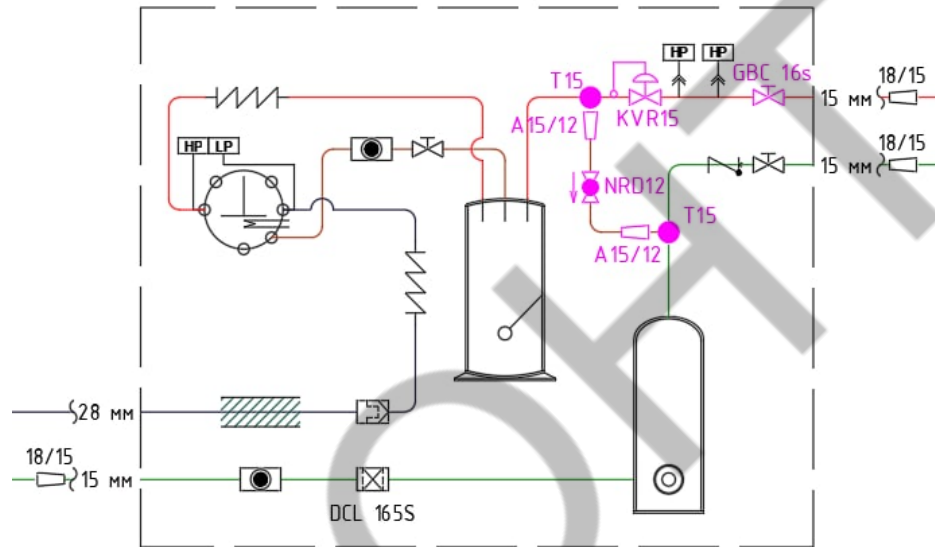


Рис.3. Гідралічна схема холодильного агрегату з регулятором тиску конденсації в конденсаторі.

Обладнання було встановлене в кінці листопада 2024 року. За весь цей період експлуатації не було зафіксовано жодної зупинки холодильного обладнання через низький тиск на лінії нагнітання. Це дозволяє зробити висновок, що для стабільної роботи холодильних систем з компресорами, обладнаними частотними перетворювачами, є необхідність встановлювати регулятори тиску на лінії нагнітання.

Рішення про встановлення регулятора тиску на лінії нагнітання забезпечує стабільну роботу холодильного обладнання в умовах коливання температури навколишнього середовища та дозволяє знизити ризик порушення роботи через низький тиск. Такий підхід дозволяє оптимізувати енергоспоживання, підтримувати ефективність системи та забезпечити безперебійну роботу навіть за екстремальних умов експлуатації.

1. Lu, W.; Liang, J.; Su, H. Research on Energy-Saving Optimization Method and Intelligent Control of Refrigeration Station Equipment Based on Fuzzy Neural Network. Appl. Sci. 2025, 15, 1077. <https://doi.org/10.3390/app15031077>
2. Lawrence O Agidike, Godslove I Ebiega, Ovis Irefu, Seyi J Fanifosi. Development of a PID-Controlled Refrigeration System for Reduced Power Consumption World Journal of Advanced Research and Reviews, 2024, 24(01), 2435–2449. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.24.1.3143>

3. X. Yin and S. Li, Energy Efficient Predictive Control for Vapor Compression Refrigeration Cycle Systems, IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol. 67, no. 5, pp. 953 - 960, 2018.

**UDK 621.565; 621**

## **INTELLIGENT HEATING SYSTEMS FOR OPTIMIZING THE OPERATION OF REFRIGERATION SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

**Ovchinnikov M., phd Odessa National Technological University**

Air conditioning systems are becoming more and more widespread, so the share of energy consumption of these systems in the overall energy balance is constantly increasing. The possibility of using renewable sources in air conditioning is one of the priorities.

One of the most promising types of air conditioning systems for the use of solar energy in its work is air conditioning systems based on the open absorption cycle.

Solar air conditioners come in two main types: hybrids and chillers. The hybrid system combines photovoltaic (PV) technology with direct current (DC). It automatically switches between solar and battery power as needed. When set to hybrid mode, these systems charge their batteries when the sun is shining; otherwise, the system operates on a backup battery, charging its batteries from an alternating current (AC) source.

Solar powered absorption chillers, also known as evaporative coolers, work by heating and cooling water through evaporation and condensation. Chillers cool the air by blowing water-saturated material - solar energy is used to power the fan and motor. The solar-powered SolCool hybrid air conditioner, for example, is solar-powered, can be plugged in or can be battery-powered. Even when connected to a normal power source, it operates at a maximum power of 500W per hour, compared to about 900W for a conventional window unit (and 3500W per hour of central air conditioning). His chiller variant offers air conditioning for hours after a power outage.

The main elements of such a system are: an absorber, an evaporative cooler of indirect type (NIO), a desorber, two regenerative heat exchangers and a solar water heating system. Initially external the air is dried in an absorber, then passes through a regenerative heat exchanger and is sent to the NIO. At the entrance to the NIO air flow is divided on two streams: the main and auxiliary. Auxiliary air the stream is used for evaporative cooling of the main stream. Drained and cooled air is supplied to the room. Regeneration of the absorbent takes place in the desorber. The heat required for the regeneration process, produced by a solar water heating system.

To determine the capabilities of the solar air conditioning system (SSCS) was simulated its operation in a wide range of initial parameters. It was set for modeling efficiency of the main devices of the scheme and their thermal balances were made.

A solution of the absorbent  $H_2O-LiBrZnCl_2-CaBr_2$  was chosen as the working fluid. To obtain the set values of the temperature at the entrance to the room, the ratio of air flows (main and auxiliary) in the NIO was changed.

For the most characteristic parameters, at outdoor temperature air  $30\text{ }^\circ\text{C}$  and relative humidity - 60%, moisture content at the entrance in the room - 0,008 kg / kg and temperature -  $22\text{ }^\circ\text{C}$  the value was received Efficiency equal to 35.5% (excluding the efficiency of the solar water

heating system). At the same time the minimum temperature of the heat carrier at an entrance to a desorber (regeneration temperature) is 51 ° C.

Next, the sensitivity of the system to changes in the relative humidity of the outside air was performed, ie. dependences are received the efficiency of the system from the humidity of the outside air at a constant temperature air flow at the entrance to the room and its various moisture content. An assessment was also performed at constant moisture content and different temperatures at the entrance to the room.

The influence of the outside air temperature when recording the temperature and moisture content at the entrance to the room was studied alternately.

Also at carrying out calculations the minimum temperature on was defined entrance to the desorber.

As a result of the performed calculations the following conclusions can be made:

- it is shown that when the temperature and moisture content decrease entrance to the room, that is, when tightening the requirements for comfort parameters provided by the air conditioning system, there is also a decrease in efficiency;

- SSKV provides comfort parameters in a wide range initial parameters of ambient air. For regeneration of the absorbent at temperature and humidity of external air of 25 ÷ 35 ° C and 55 ÷ 75% polymeric solar collectors (SK) can be used (the cheapest type). The use of polymer SC will reduce the cost of the system as a whole and reduce the burden on the environment;

- temperature and humidity at the entrance to the room are interconnected quantities, to achieve a lower temperature at the entrance to the room, it is necessary to provide a lower moisture content.

- it is shown that with increasing temperature and relative humidity of the outside air there is a decrease in the efficiency of SSKV;

*Zhykharieva N.V. ass. phrofessor Odessa National Technological University  
Kogut V/O . ass. phrofessor Odessa National Technological University*

УДК.697.94.

## **ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИМІЩЕНЬ НА БАЗІ ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ**

**Горяченко Р. Р., магістрант ОНТУ ННІХКЕ ім. В.С. Мартиновського**

Перше згадування про принципи випарного охолодження відноситься до Стародавнього Єгипту, де люди використовували мокрі очеретяні циновки, розміщені на вікнах, для зниження температури повітря в приміщеннях. Зволожені циновки діяли як примітивні випарні охолоджувачі, оскільки вода випаровувалася під дією сонячного тепла, охолоджуючи повітря, що проходило крізь них.

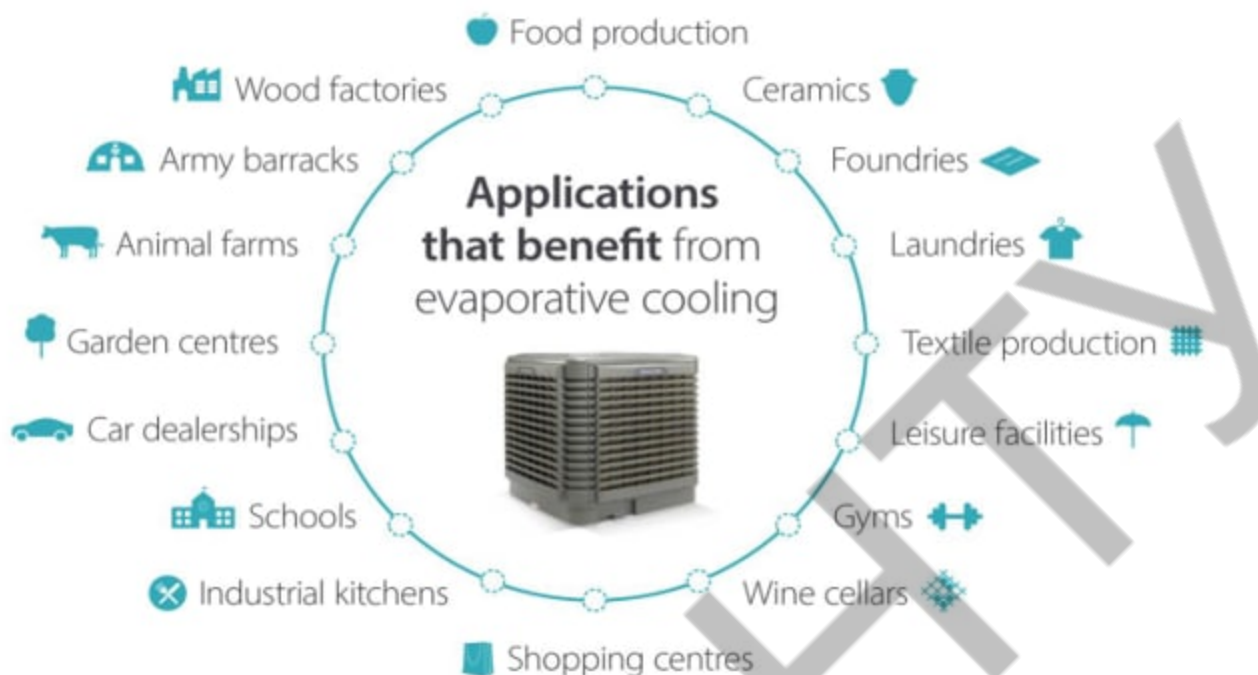


Рисунок.1.Випарне охолодження використовується в багатьох сферах нашого життя

Подібні методи також використовувалися в Стародавній Персії, де архітектори впроваджували технології охолодження в дизайн будівель, створюючи вітряні башти (бадгіри), які спрямовували потоки повітря через воду або зволожені поверхні, охолоджуючи таким чином внутрішні приміщення.

Також існують багато й інших систем одна з них це система випарного охолодження з використанням турбін.Така система вважається більш вартісною так як потрібно витратитися на міцність усієї конструкції...Зате ефект бездоганий!

З розвитком технологій і промислової революції у XVIII-XIX століттях, випарне охолодження отримало новий поштовх до розвитку. Промисловці почали активно досліджувати способи покращення цього процесу, використовуючи випарне охолодження для охолодження приміщень та обладнання в заводах. Сучасні інженери застосовували фізичні принципи, розроблені у XVII-XVIII століттях, щоб удосконалити стародавні методи та зробити їх більш ефективними та масштабованими.

#### **Сучасний контекст**

У XX столітті випарне охолодження стало одним із ключових методів підтримки комфортного мікроклімату в будівлях, а також важливим компонентом у промислових системах охолодження. Сучасні випарні охолоджувачі використовують просунуті матеріали та конструкції, які дозволяють досягти високої енергоефективності та значного зниження температури без використання шкідливих для довкілля холодоагентів. В умовах сучасної екологічної та енергетичної кризи випарне охолодження набуває все більшої важливості, оскільки пропонує екологічно чисту альтернативу традиційним системам охолодження.

#### **Важливість випарного охолодження**

У сучасному світі випарне охолодження відіграє критично важливу роль не лише в забезпеченні комфортних умов у житлових і комерційних будівлях, але й у підтримці ефективності промислових процесів. Завдяки своїй енергоефективності та екологічній чистоті, випарне охолодження стає популярним рішенням в умовах підвищеного попиту на альтернативні джерела енергії та технології, що знижують вплив на навколишнє середовище. Сьогодні випарне охолодження застосовується в широкому спектрі галузей, включаючи сільське господарство, виробництво, електроенергетику та багато інших, що робить його невід'ємною частиною сучасної технологічної інфраструктури.

#### **Недоліки:**

- **Обмежена ефективність:** випарне охолодження ефективно працює лише в умовах з низькою вологістю повітря.
- **Потреба у воді:** система потребує значної кількості води для ефективної роботи, що може бути проблемою в умовах обмежених водних ресурсів.
- **Можливе зволоження приміщень:** у разі прямого випарного охолодження в повітря додається волога, що може бути небажаним в умовах високої вологості.
- **Обмеження в ефективності:** Випарне охолодження не може знизити температуру нижче температури мокрого термометра, що обмежує його використання в деяких умовах.

#### **Переваги випарного охолодження:**

- **Енергоефективність:** Випарне охолодження споживає значно менше енергії порівняно з традиційними системами кондиціонування повітря.
- **Екологічність:** Відсутність потреби у використанні холодоагентів робить цей метод безпечним для навколишнього середовища.
- **Простота обслуговування:** Системи випарного охолодження не вимагають складного технічного обслуговування.
- **Низька вартість експлуатації:** Оскільки випарне охолодження використовує просту фізику випаровування води, вартість експлуатації такої системи є мінімальною. Випарне охолодження є перспективною технологією для зниження енергоспоживання в різних галузях. Його застосування дозволяє не тільки зменшити витрати на охолодження, але й зробити цей процес більш екологічним. Проте існують певні обмеження, які стосуються кліматичних умов, тому подальші дослідження спрямовані на удосконалення цієї технології. Впровадження випарного охолодження в промисловості та побуті є важливим кроком на шляху до зменшення енергетичних витрат та покращення екологічної ситуації.

#### **Список інформаційних джерел:**

1. Жихарева, Н. В Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестационарних умовах [Електронний ресурс] : монографія / Н. В. Жихарева ; Одес. нац. технол. ун-т, Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ТЕС, 2022. — 264 с. —
2. Теплохолодотехніка [Текст]: навч. посіб. / С. М. Василенко, В. І. Павелко, А. В. Форсюк та ін.; Нац. ун-т харч. технологій. – Київ: Ліра-К, 2019.– 258 с
3. Жихарева, Н. В Теоретичні основи кондиціонування повітря : конспект лекцій [Електронний ресурс] / Н. В. Жихарева ; Одес. нац. технол. ун-т, Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса ., 2022. — 108 с. — Електрон. текст. дані

## **ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ЧИСТИХ ПРИМІЩЕНЬ**

**Олійник І.В., магістр ННІХКтаЕ ОНТУ, м.Одеса, igor.oleynik.01@gmail.com**

У сучасних умовах високих вимог до стерильності та безпеки медичних закладів та фармацевтичного виробництва чисті приміщення відіграють ключову роль у забезпеченні контролю мікроклімату. У таких приміщеннях важливо підтримувати суворо регламентовані параметри температури, вологості, чистоти повітря та тиску, що вимагає значних енергетичних витрат.

Чисті приміщення в лікарнях та фармацевтичному виробництві класифікуються відповідно до рівня допустимого забруднення повітря. Основні сфери їх застосування:

- Операційні блоки та реанімаційні відділення – де необхідно підтримувати високий рівень стерильності для запобігання інфекціям.
- Виробництво медичних препаратів і виробів – зокрема, виготовлення вакцин, стерильних розчинів, імплантатів.
- Лабораторії та діагностичні центри – де важливо забезпечити точність досліджень та уникнути контамінації.

Основні параметри, що регулюються в чистих приміщеннях:

- Температура (18–24°C залежно від специфіки роботи);
- Вологість (30–60% для зниження утворення конденсату та розповсюдження мікроорганізмів);
- Кратність повітрообміну (до 600 змін повітря на годину у висококласних чистих приміщеннях);
- Диференційований тиск (щоб уникнути потрапляння неконтрольованого повітря ззовні).

Одним з ефективних підходів до оцінки та оптимізації енергоспоживання систем кондиціонування повітря в медичних чистих приміщеннях є **ексергетичний аналіз**. Цей метод дозволяє не лише оцінити ефективність використання енергії, а й виявити точки найбільших втрат корисної енергії, що сприяє розробці стратегій їх зниження.

Основні принципові положення ексергетичного методу базуються на визначенні роботоздатності (будь-якого виду енергії), яка обчислюється відносно термодинамічних параметрів навколишнього середовища. Під навколишнім середовищем, як правило, розуміється середовище з фіксованими параметрами, відбиваючими найбільш частий середньостатистичний стан атмосфери у поверхні землі. Тут за параметри навколишнього середовища прийнято  $T_{\text{ос}} = 293 \text{ K}$  (20°C) і  $P = 0,1 \text{ МПа}$ .

Будь-яка кількість енергії (будь-якого виду) по відношенню до навколишнього середовища володіє максимальною роботоздатністю, тобто максимальною роботою, яка може бути отримана (в зворотному процесі) від даної кількості енергії в умовах навколишнього середовища. Ця максимальна кількість роботи називається ексергією.

Співвідношення між ексергією  $E_x$  і енергією  $E$  встановлюється коефіцієнтом роботоздатності  $\tau$ :

$$E_x = E \cdot \tau \quad (1)$$

Для механічної і електричної енергії  $\tau = 1$ . Для тепла:

$$\tau_q = \frac{(T - T_{o,c})}{T} = 1 - \left(\frac{T_{o,c}}{T}\right) \quad (2)$$

де  $T_{o,c}$  - температура навколишнього середовища, °К;

$T$  - температура підводу (або відводу) тепла, °К.

Для низькотемпературних (холодильних і криогенних) процесів здобуття холоду або відводу від охолоджуваних об'єктів протікає при  $T < T_{o,c}$  і здійснюється тільки при витраті роботи. Цей момент характеризується знаком "мінус" при коефіцієнті роботоздатності  $\tau < 0$ . Таким чином, для визначення ексергії холоду  $\tau$  можна брати по абсолютному значенню, відкидаючи знак "мінус" або враховувати зміну напрямку теплового потоку.

Для отримання холоду в ідеальному циклі Карно витрачається мінімальна кількість роботи, яку необхідна, щоб зворотним шляхом трансформувати дану кількість тепла (здобути холод) з температурою рівня  $T$  на температурний рівень навколишнього середовища  $T_{o,c}$ .

Питома ексергія робочого тіла, кДж/кг, яке знаходиться у фіксованому стану, що характеризується термодинамічними параметрами, визначається рівнянням:

$$e = h - h_{o,c} - T_{o,c} \cdot (S - S_{o,c}) \quad (3)$$

де  $h$  і  $S$  - ентальпія і ентропія речовини в даному стану;  $h_{o,c}$ ,  $T_{o,c}$ ,  $S_{o,c}$  - ентальпія, температура і ентропія речовини при параметрах навколишнього середовища.

Отримані значення використовуються для складання ексергетичних балансів. На основі ексергетичного балансу, який можна скласти як для окремих апаратів і елементів, так і для установки і системи в цілому визначаються втрати ексергії, значення яких залежать від ефективності роботи установки.

На основі енергетичного балансу завжди можна визначити ступень термодинамічної досконалості установки (апарату) або системи:

$$\eta = \frac{\sum E_{внх}}{\sum E_{вх}} = \frac{(\sum E_{вх} - \sum D)}{\sum E_{вх}} = 1 - \frac{\sum D}{\sum E_{вх}} \quad (4)$$

Ексергетичний ККД реальних установок, апаратів і систем найбільш правильно відображає ефективність процесів, що відбуваються і завжди знаходиться в межах  $0 < \eta < 1$ .

Ексергетичний ККД може бути також визначений і через інтегральні показники, які відображені корисним ексергетичним ефектом і витраченою роботою. Так, якщо для низькотемпературних (холодильних і криогенних) установок корисним ефектом є холодопродуктивність, то ексергетичний ККД визначається як:

$$\eta = \frac{Q_o \cdot (\tau_q)_o}{N} \quad (5)$$

де  $Q_o$  - холодопродуктивність,  $(\tau_q)_o$  - коефіцієнт роботоздатності холоду;  $N$  - витрачена потужність.

#### Очікувані результати впровадження ексергетичного аналізу:

- Зниження енергоспоживання системами кондиціонування на 15-25% завдяки оптимізації процесів.
- Підвищення ефективності використання ресурсів через зменшення необоротних втрат.
- Покращення якості повітря при одночасному скороченні експлуатаційних витрат.

**Висновки:** Застосування ексергетичного аналізу в системах технологічного кондиціонування повітря дозволяє комплексно підійти до проблеми енергетичних втрат і вдосконалення роботи самої системи. Цей підхід допомагає ідентифікувати основні джерела втрат корисної енергії, визначити їх вплив на загальну ефективність системи та розробити стратегії зниження експлуатаційних витрат.

**Список використаної літератури:**

1. Методи термодинамічного аналізу термомеханічних систем: основи теорії, приклади та завдання : навчальний посібник / В. М. Арсен'єв, С. О. Шарапов. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 322 с.
2. Навчальний посібник. Теплові насоси та кондиціонери. В.Р Нікульшин, В.В.Височин. 2014.
3. Whyte W. Cleanroom Technology: Fundamentals of Design, Testing and Operation. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2001. – [312 с.]. – ISBN 0-471-86842-6.
4. Жихарева Н. В., Когут В. О. Математичне моделювання технологічних процесів енергомашинобудування: конспект лекцій. – Одеса: Одеський національний технологічний університет, 2024. – [55 с.].

УДК 621.57

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ НА R717 ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

Фоменко Г.А., здобувач СВО Бакалавр ІХКЕ ОНТУ

Консервація молочних продуктів потребує ефективних та надійних систем охолодження, що забезпечують необхідні температурні режими для запобігання псуванню сировини. Одним із ключових рішень у даній галузі є аміачна холодильна установка, що широко застосовується на молочних підприємствах завдяки своїй високій енергоефективності, екологічності та довговічності.

Метою даного дослідження є аналіз роботи холодильних систем на аміаку та R507A для зберігання молочних продуктів та довести, що використання R717 є більш ефективним, економічним, доступним та екологічним.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні задачі:

1. Теоретичний аналіз схеми холодильної системи на R717 та на R507a.
2. Дослідити роботу холодильної установки за показниками енергоефективності.

Принципова схема аміачної холодильної зображена на рис. 1.

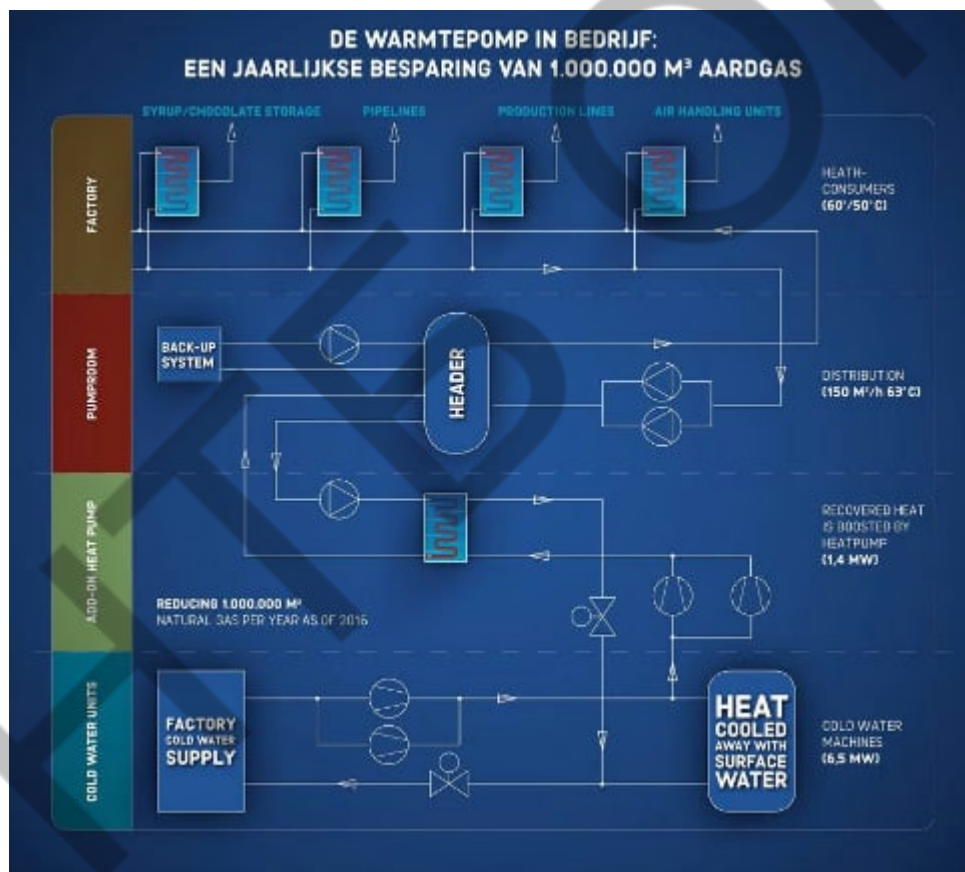
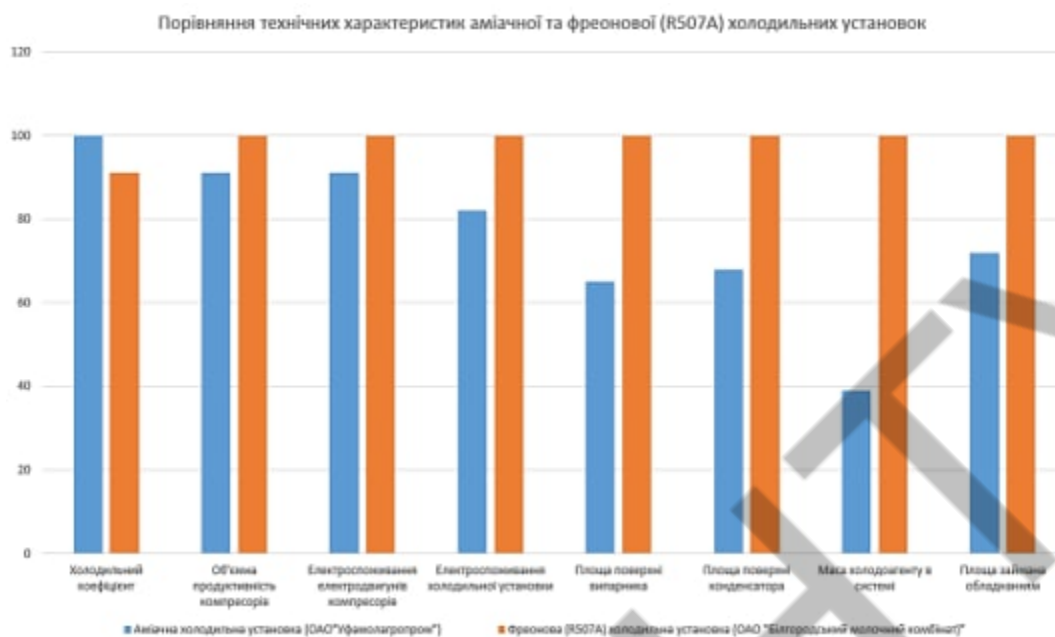


Рис.1. Схема аміачної холодильної установки.

Результати проведеного аналізу ефективності досліджуваних холодильних систем в залежності від обраних холодоагентів представлені на рис. 2.



**Рис. 2 Аналіз енергоефективності.**

В результаті дослідження потрібно зробити наступні висновки:

1. Споживання електроенергії аміачними холодильними системами менше, ніж хладоновими (R507A), приблизно на 20%, площа теплообмінної поверхні охолоджувачів повітря і конденсаторів менше на 30-35%, маса аміаку в системі менше приблизно на 60%. Це чинники, які істотно впливають створення конкурентної харчової продукції.
2. Аміак є природним холодоагентом і виробляється в Україні на відміну від синтетичних холодоагентів, які виробляються за кордоном. Для порівняння, вартість однієї тони аміаку становить близько 11 тис. грн за тону, вартість 1 т холодоагенту R507A на сьогоднішній день - близько 380 тис.грн.
3. При заправці холодильної системи, де знаходиться 15 т холодоагенту, що не рідкість, ємність аміачної системи складала б орієнтовно 9 т - різниця відчутна. Витоку із сучасних аміачних холодильних систем у десятки разів менше, ніж із хладонових. Це з більш жорстким забезпеченням вимог герметичності, оснащенням системами контролю рівня загазованості, та й аміак попереджає виникнення витоку.
4. Витоку із сучасних аміачних холодильних систем у десятки разів менше, ніж із фреонових. Це з більш жорстким забезпеченням вимог герметичності, оснащенням системами контролю рівня загазованості, та й аміак попереджає виникнення витоку.

*Науковий керівник: Трандафілов В.В., к.т.н., доц., доцент кафедри холодильних установок і кондиціювання повітря ОНТУ*

УДК 621.57

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОМЕРЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НА R744

Псіліца Р.В., здобувач СВО Бакалавр ІХКЕ ОНТУ

### 1. Вступ

Глобальні кліматичні зміни та боротьба зі шкідливими викидами стимулюють пошук екологічно безпечних технологій.

- Вплив традиційних холодоагентів (HFC, HCFC) на навколишнє середовище: їхній високий потенціал глобального потепління (GWP) та зобов'язання щодо їх поступового вилучення згідно з Кігальською поправкою до Монреальського протоколу.
- CO<sub>2</sub> (R744) як перспективна альтернатива, що відповідає сучасним екологічним стандартам.

### Властивості CO<sub>2</sub> як холодоагенту

#### 2.1 Фізико-хімічні характеристики

- Висока теплопровідність сприяє швидкому охолодженню.
- Висока густина парів дозволяє використовувати компактні теплообмінники.
- Високий критичний тиск (~73 бар), що потребує спеціалізованих конструкцій систем.
- Точка кипіння при атмосферному тиску -78,5°C, що робить його ефективним для низькотемпературного охолодження.

#### 2.2 Екологічні переваги

- Потенціал глобального потепління (GWP) = 1 (на рівні природного фону).
- Відсутність озоноруйнівного впливу (ODP = 0).
- Безпечний для довкілля у випадку витоку.

### 3. Ефективність CO<sub>2</sub> у комерційних системах охолодження

#### 3.1 Сфери застосування

- **Харчова промисловість:** супермаркети, холодильні склади, підприємства з виробництва заморожених продуктів.
- **Транспортне охолодження:** залізничні вагони, рефрижераторні вантажівки, морські контейнери.
- **Промислові підприємства:** великі холодильні комплекси, логістичні центри.
- **Кондиціонування повітря:** громадські будівлі, торгові центри, лікарні.

#### 3.2 Порівняння з іншими холодоагентами

Параметр	CO <sub>2</sub> (R744)	R134a	R404A	R410A
GWP	1	1430	3922	2088
ODP	0	0	0	0
Робочий тиск	Високий	Середній	Середній	Високий
Ефективність при низьких температурах	Висока	Середній	Низька	Низька
Вартість холодоагенту	Низька	Висока	Висока	Висока

### 4. Безпека та надійність систем на CO<sub>2</sub>

- **Нетоксичність та негорючість,** що робить його безпечним для використання в харчовій промисловості та житлових приміщеннях.

- **Високий робочий тиск (до 130 бар у деяких системах):** потребує спеціалізованих компресорів, трубопроводів та клапанів.
- **Ефективні технології контролю тиску та температури:** використання електронних розширювальних вентилів, теплообмінників з покращеним дизайном.
- **Висока стійкість до витоків:** завдяки більшій густині CO<sub>2</sub> у порівнянні з іншими холодоагентами.

## **5. Економічна доцільність**

### **5.1 Первинні витрати**

- **Вища вартість обладнання** через необхідність роботи під високим тиском.
- **Потреба в спеціалізованому технічному обслуговуванні:** навчений персонал, удосконалене діагностичне обладнання.

### **5.2 Довгострокова вигода**

- **Низька вартість холодоагенту** порівняно з фторвмісними аналогами.
- **Зменшене споживання електроенергії** у системах із рекуперацією тепла.
- **Відсутність екологічних податків** у країнах, що підтримують природні холодоагенти.
- **Довговічність обладнання** завдяки використанню якісних матеріалів, що витримують високий тиск.

## **6. Виклики та перспективи впровадження**

### **6.1 Технологічні виклики**

- **Високий робочий тиск** → потреба у спеціальному обладнанні.
- **Необхідність модернізації існуючих систем** → додаткові інвестиції для переходу на CO<sub>2</sub>.
- **Проблеми з ефективністю в умовах високих зовнішніх температур** → рішення: каскадні системи або гібридні CO<sub>2</sub>-системи з іншими холодоагентами.

### **6.2 Перспективи розвитку**

- **Автоматизація CO<sub>2</sub>-систем:** інтелектуальні системи управління, що оптимізують роботу.
- **Державні програми підтримки екологічних технологій:** гранти, субсидії на впровадження природних холодоагентів.
- **Розширення використання у різних секторах:** транспорт, медицина, аграрний сектор.
- **Подальше вдосконалення обладнання:** розробка нових матеріалів для підвищення стійкості до високого тиску.

Проведено аналіз ефективності системи залежно від параметрів газоохолоджувача.

Оптимальний тиск газового охолоджувача – це оптимальний тиск з найвищим COP.

Потужність охолодження та нагрівання теплового насоса зростає зі збільшенням тиску газового охолоджувача, COP також збільшується. Робота компресора також збільшується, але не так швидко, порівняно з потужністю охолодження та опалення. У якийсь момент робота компресора збільшується швидше, ніж потужність охолодження та нагрівання зі збільшенням тиску, і це негативно впливає на COP, рис 1.

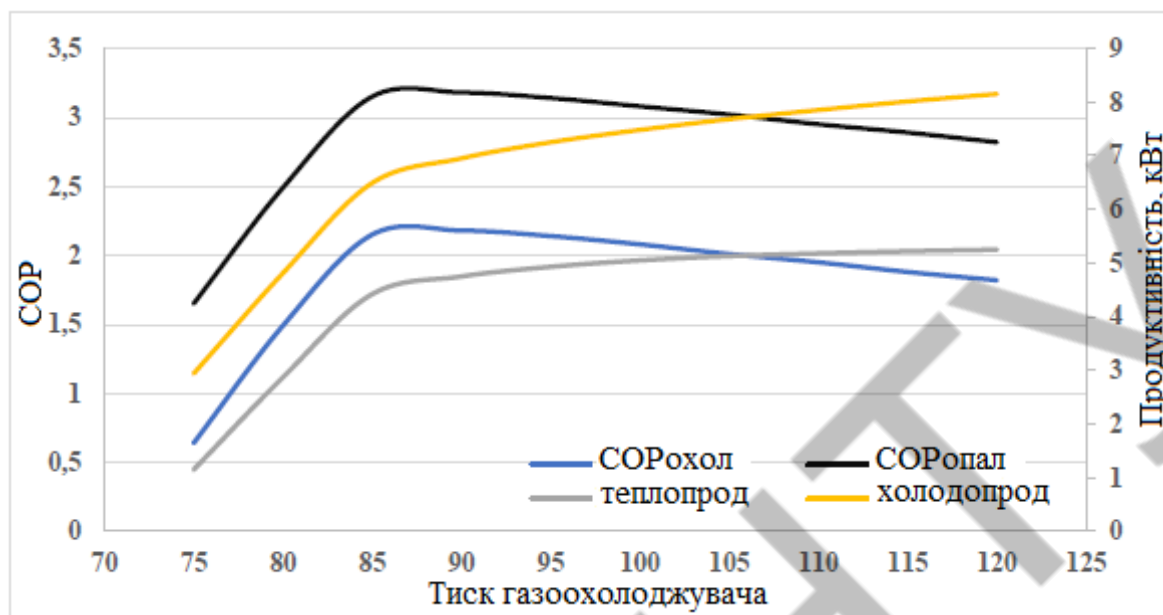


Рис. 1. Вплив збільшення тиску газохолоджувача на ефективність системи.

Як показано на рис. 1 вище, температура на виході і на виході з газового охолоджувача була встановлена відповідно  $35^{\circ}\text{C}$  і  $30^{\circ}\text{C}$ . Температурний перепад  $5\text{K}$  було зафіксовано між  $\text{CO}_2$  і вторинною рідиною, яка використовується як тепловідвід. Найвищий показник COP близько 3,20 був досягнутий при тиску газового охолоджувача між 85 і 90 бар. З максимальним тиском газового охолоджувача 120 бар, отримана потужність охолодження та нагрівання 5,25 та 8,15 кВт відповідно. Причиною швидкого збільшення роботи компресора є падіння ізоентропічної ефективності компресора при тиску вище оптимального для газохолоджувача.

Наукові керівники: Трандафілов В.В., к.т.н., доц., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ

УДК 697.91.94.97

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЛЬДОГЕНЕРАТОРА ПОГРУЖНОГО ТИПУ

Євсєєв А.О. бакалавр НТтаІМ ОНТУ, Одеса

Сучасне суспільство дедалі більше переходить від використання заморожених продуктів до охолоджених, адже останні краще зберігають свої смакові та поживні властивості. У цьому контексті харчовий лід є важливим елементом зберігання та транспортування охолоджених продуктів. Льдогенератор — це пристрій, який автоматично виробляє лід для харчових або технологічних потреб.

Розробка, удосконалення та експериментальна перевірка льдогенератора погрузного типу на основі створеного стенду, що дозволяє наочно спостерігати процес виробництва льоду та оцінювати його ефективність.

### . Принцип роботи

1. Вода з нижнього резервуару подається до випарника, де циркулює завдяки хвилюванню.

2. Трубки випарника охолоджуються холодильним агентом, і на них намерзає лід.
3. Коли об'єм льоду досягає заданої межі, подається гаряча пара фреону, і лід відвалюється в контейнер.
4. Цикл повторюється автоматично.

### **Типи льоду та їх застосування**

- Пальчиковий лід — має велику площу тепловіддачі, використовується в барах і ресторанах.
- Лускатий і гранульований лід — застосовується в харчовій промисловості, при зберіганні м'яса, риби, овочів.
- Кубиковий, краш-айс, стаканчиковий, кулеподібний — для напоїв, сервірування, створення крижаної подачі.

### **. Економічне та технічне обґрунтування**

- Середня маса льоду за цикл — 1 кг.
- Добова продуктивність — 36 кг.
- Потужність установки — 0,4 кВт.
- Холодоагент — фреон R134 або R12.

### **Практичне значення**

Розроблений пристрій дає змогу оптимізувати енерговитрати, підвищити якість льоду, зробити виробництво гнучким і автоматизованим. Також, проведені дослідження дозволяють порівняти ефективність різних методів охолодження.

*Науковий керівник: Жихарєва Н.В., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ*



**УДК 697.91.94.97**

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРІВ РІЗНИХ ТИПІВ**

**Здобувач СВО «Магістр» ННІХКтаЕ Єфремов І.Ю.**

**Вступ** Системи кондиціонування повітря (СКП) активно використовують теплоутилізатори для підвищення енергоефективності та зменшення витрат на опалення та охолодження. Традиційні схеми рециркуляції дозволяють зберігати до 90% енергії, але не підходять для об'єктів із виділенням шкідливих речовин (лікарні, хімічні підприємства). Відповідно, пріоритет надається прямоточним схемам з теплоутилізацією, які забезпечують високу якість повітря та відповідають сучасним екологічним стандартам.

### **Основні методи теплоутилізації**

- **Twivent (проміжний теплоносій):** Використання двох теплообмінників із проміжним теплоносієм (водний розчин етиленгліколю) дозволяє відновлювати тепло навіть у випадках, коли припливні та витяжні потоки фізично розділені. Основним недоліком є додатковий термічний опір через робочу рідину.
- **Directvent (пластинчастий теплообмінник):** Ефективна технологія, що передбачає теплообмін між повітряними потоками через тонкі алюмінієві пластини. Простота конструкції забезпечує широке застосування, але ефективність залежить від геометрії каналів і температурного режиму.

- **Heatvent (теплові труби):** Теплоутилізатори на базі теплових труб, заповнених робочою рідиною (фреон, аміак), працюють за рахунок фазового переходу, забезпечуючи ефективний перенос теплоти. Даний метод широко використовується у вентиляційних системах із підвищеними вимогами до енергоефективності.
- **Rotorvent (роторний теплоутилізатор):** Використовує обертовий диск із чергуванням гофрованих і плоских пластин алюмінієвої фольги. Забезпечує максимальну ефективність (до 90%) завдяки великій площі теплообміну та можливості регенерації не лише чутливого, а й прихованого тепла.

Ефективність теплоутилізації залежить від конструкції: роторні системи – 80–90%, теплові труби – 55–75%, пластинчасті рекуператори – 40–60%, теплообмінники батареїного типу – 40–45%.

#### **Особливості конструкцій**

- **Twinvent:** Використовується у випадках віддаленого розташування потоків повітря, але має втрати через тепловий опір теплоносія.
- **Directvent:** Компактні теплообмінники з простою конструкцією, що працюють за принципом перехресного потоку.
- **Heatvent:** Теплові труби забезпечують ефективне передавання теплоти при зміні фазового стану робочої рідини.
- **Rotorvent:** Найефективніша технологія, що поєднує передачу як явного, так і прихованого тепла.

**Розрахункові параметри** Теплоутилізаційні системи проектуються на основі теплових балансів і коефіцієнтів ефективності. Для негігроскопічних систем взимку відбувається нагрівання при постійній вологості, а влітку – охолодження. Гігроскопічні теплоутилізатори забезпечують одночасний перенос теплоти та вологи, що покращує мікроклімат приміщень.

Сучасні роторні теплообмінники включають ентальпійні ротори, що передають не лише тепло, а й вологу, що зменшує навантаження на зволожувачі та осушувачі повітря. Вони особливо ефективні в умовах високої вологості або у приміщеннях, де потрібен контроль за рівнем вологості.

Серед перспективних напрямків розвитку теплоутилізаторів – двороторні установки, випарне охолодження та використання сонячної енергії. Впровадження таких технологій дозволяє мінімізувати витрати на кондиціонування повітря в різних кліматичних умовах, а також покращити загальну екологічну ефективність систем.

**Висновки** Застосування теплоутилізаторів у СКП дозволяє суттєво знизити споживання енергії та покращити параметри внутрішнього мікроклімату. Найефективнішими є роторні теплообмінники, тоді як пластинчасті та трубні системи підходять для спеціалізованих рішень. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію цих систем для ще більшої ефективності та адаптації до різних умов експлуатації. Важливим напрямком розвитку є впровадження гібридних систем, що поєднують декілька методів теплоутилізації для досягнення максимальної енергоефективності.

#### **Список використаної літератури:**

1. Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестаціонарних умовах: монографія / Н. Жихарева ; Одеський національний технологічний університет, кафедра холодильної техніки та кондиціонування повітря - Одеса : ТЕС, 2022. – 264 с. : іл.
2. Н. Жихарієва, М. Хмельнюк. Термoeкономiчна модель системи кондиціонування. Енергетика та системи управління, 2019, том 5, No 2, с. 66 – 74. <https://doi.org/10.23939/jeecs2019.02.066>
3. Жихарева Н.В., Хмельнюк М.Г. (2016) Математичне моделювання нестаціонарного теплообміну будівель. Холодильна техніка та технологія, 52 (6), с. 75–79. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/ret.v52i6.479>

4. Жихарєва Н., Хмельнюк М. (2017) Оптимізація витрат на термозахист будівель та кондиціонування повітря в цілому. Холодильна техніка та технологія, 53(4), с. 17-20 DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/ret.v53i4.706>

*Науковий керівник: Жихарєва Н.В., к.т.н., доц. кафедри Холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ*

УДК 697.91.93.94

## **ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ ПРЕЦИЗІЙНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ДЕРЕВООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Здобувач СВО «Магістр» ННІХКтаЕ Висотенко Д. В.**

### **Вступ**

Деревообробна промисловість вимагає особливої уваги до умов виробництва, адже якість кінцевої продукції безпосередньо залежить від стабільності мікроклімату. Коливання температури та вологості можуть призвести до незворотних змін у структурі деревини, таких як деформації, тріщини та погіршення якості покриття. Тому прецизійне кондиціонування повітря є не просто бажаним, а необхідним елементом сучасного деревообробного виробництва.

### **Основні параметри**

Мікроклімат має значний вплив на деревообробне виробництво. Основні параметри мікроклімату та їх вплив на деревину:

- **Стабільність температури** – це запорука збереження цілісності деревини. Різкі температурні коливання викликають нерівномірне висихання, що призводить до деформацій, тріщин і викривлення матеріалу. Занадто висока температура прискорює висихання, роблячи деревину крихкою, а занадто низька – сповільнює процеси обробки та зберігання. Тому підтримання оптимального температурного режиму є критично важливим для якості кінцевого продукту.

- **Вологість повітря** має прямий вплив на вологість деревини, що визначає її розмірну стабільність. Надмірна вологість призводить до набухання деревини, що може викликати деформації та проблеми з обробкою. Недостатня вологість, навпаки, викликає усадку, що призводить до тріщин і викривлення. Оптимальний рівень вологості залежить від виду деревини та її призначення, тому його точне регулювання є необхідним.

- **Ефективна вентиляція** забезпечує видалення шкідливих речовин і підтримання рівномірного розподілу температури та вологості в приміщенні. Недостатня вентиляція призводить до накопичення пилу, стружки та шкідливих випарів, що погіршує якість продукції та шкодить здоров'ю працівників. Нерівномірна вентиляція створює зони з різними параметрами мікроклімату, що негативно впливає на деревину. Рівномірний розподіл повітря запобігає виникненню зон з різною вологістю, що є дуже важливим для запобігання деформаціям.

- **Фільтрація повітря** – це необхідна умова для запобігання забрудненню деревини та обладнання, що безпосередньо впливає на якість продукції та ефективність виробництва. Пил і дрібні частинки, що осідають на поверхні деревини, погіршують якість покриття та обробки. Забруднене повітря також може пошкодити обладнання, що призводить до його зносу та поломок. Крім того, фільтрація повітря захищає працівників від шкідливого впливу пилу та інших забруднень, забезпечуючи безпечні умови праці.

Дотримання цих параметрів мікроклімату є необхідною умовою для забезпечення високої якості продукції в деревообробному виробництві.

#### **Висновки**

Отже, прецизійне кондиціонування повітря в деревообробному виробництві – це не просто технологічна вимога, а необхідність для забезпечення якості продукції та ефективності виробництва. Інвестиції в сучасні системи кондиціонування, вентиляції та фільтрації – це інвестиції в довговічність продукції, здоров'я працівників та конкурентоспроможність підприємства. Розуміння та контроль основних параметрів мікроклімату дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з впливом навколишнього середовища, та забезпечити стабільність виробничого процесу.

#### **Список використаної літератури:**

1. Жихарева Н.В., Хмельнюк М.Г., Важинський Д.І. Сучасні технології осушення повітря // Холодильна техніка і технологія. 2014. № 3 (149). С.15–
2. Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестационарних умовах: монографія / Н. Жихарева ; Одеський національний технологічний університет, кафедра холодильної техніки та кондиціонування повітря - Одеса : ТЕС, 2022. – 264 с. : іл.
3. Жихарева Н., Хмельнюк М., **В. І. Перепека (2016)** Енергозбереження при експлуатації припливних систем вентиляції та кондиціонування повітря <https://doi.org/10.21691/ret.v52i2.63>
4. Жихарева Н.В., Хмельнюк М.Г. (2016) Математичне моделювання нестационарного теплообміну будівель. Холодильна техніка та технологія, 52 (6), с. 75–79. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/ret.v52i6.479>
5. Жихарева Н., Хмельнюк М. (2017) Оптимізація витрат на термозахист будівель та кондиціонування повітря в цілому. Холодильна техніка та технологія, 53(4), с. 17-20 DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/ret.v53i4.706>

*Науковий керівник: Жихарева Н.В., к.т.н.,  
доц. кафедри Холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ*

УДК 697.91.94.97

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ БАГАТОЗОННОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ VRF СПОРТКОМПЛЕКСУ «ВЕРТИКАЛЬ» М. ОДЕСА**

**Геніх. К.В., магістрант ОНТУ,, Геніх. О.В., бакалавр ОНТУ м. Одеса**

Сучасні спортивні комплекси вимагають ефективних систем мікроклімату для забезпечення комфорту відвідувачів і спортсменів. Оскільки спортивні зали характеризуються великими площами, змінним рівнем завантаженості та значним тепловиділенням від людей і обладнання, традиційні системи кондиціонування часто виявляються неефективними або надто енерговитратними.

Багатозонні системи кондиціонування VRF (Variable Refrigerant Flow) є одними з найефективніших рішень для об'єктів спорткомплекс «Вертикаль» м. Одеса, де виникла потреба у підвищенні енергоефективності, стабільності роботи та якості мікроклімату в приміщеннях з різним тепловим навантаженням.

Особливістю об'єкта є наявність різнорідних зон: спортивні зали, роздягальні, адміністративні приміщення, де пред'являються різні вимоги до температурного режиму та вологості. З метою забезпечення комфортного мікроклімату у всіх зонах одночасно, було проведено аналіз енергетичних балансів VRF-системи в реальних умовах експлуатації, враховуючи сезонні коливання зовнішніх параметрів повітря.

У процесі дослідження були визначені можливості для удосконалення системи, зокрема:

- Автоматичне регулювання режимів роботи внутрішніх блоків

Система була оснащена новими алгоритмами керування, які автоматично знижують або підвищують потужність охолодження/нагріву залежно від реальної завантаженості приміщень. Наприклад, у години найменшої активності (ніч, міжзмінні перерви) навантаження системи зменшується, що дозволяє економити електроенергію до 8–10% щодня. Це також знижує знос обладнання та подовжує його ресурс.

- Інтеграція рекупераційних теплообмінників

Для утилізації тепла з витяжного повітря встановлено рекуператори, які передають це тепло припливному повітрю в холодний період року. Це дозволило зменшити витрати на нагрівання повітря у зимовий період на 15–20% і значно підвищити загальний коефіцієнт трансформації (COP) системи.

- Цифровий моніторинг та віддалене керування

Впроваджено систему дистанційного моніторингу, яка дозволяє в реальному часі відслідковувати роботу кожного внутрішнього та зовнішнього блоку. Завдяки цьому зменшилась кількість аварійних ситуацій, прискорено виявлення несправностей і оптимізовано технічне обслуговування. Централізована система також дозволяє коригувати режими роботи у відповідь на погодні зміни, інтенсивність використання залів тощо.

Особливу увагу приділено підбору та обслуговуванню фільтрувальних елементів, оскільки чистота повітря в спортивних приміщеннях напряму впливає на здоров'я користувачів. Удосконалення фільтрації дозволило знизити навантаження на теплообмінники та підвищити загальну продуктивність VRF-системи.

Проведено заміну фільтрувальних елементів відповідно до актуальних стандартів ДСТУ для об'єктів із підвищеними санітарно-гігієнічними вимогами. Використано фільтри трьох ступенів очищення:

- Грубе очищення – затримка великих частинок пилу;
- Тонке очищення – видалення дрібнодисперсного пилу, пилку та інших алергенів;
- Хімічне очищення – активоване вугілля для нейтралізації запахів і летких органічних сполук.

Також встановлено фільтри витяжного повітря для запобігання розповсюдженню забруднень у вентиляційних каналах. Регулярне обслуговування фільтрів сприяє збереженню високої ефективності теплообмінників і стабільній роботі всієї системи.

У результаті фільтрація забезпечила зниження кількості шкідливих домішок у повітрі до безпечного рівня відповідно до норм для спортивних закладів. Це не лише покращило комфорт для відвідувачів, а й позитивно вплинуло на довговічність системи та зменшило навантаження на охолоджувальні контури.

Отримані результати можуть бути застосовані в інших спортивних об'єктах і комплексах з багатозональним кондиціонуванням для забезпечення високого рівня комфорту та енергоефективності.

*Наукові керівники доц. Жихарева Н.В., доц. Козут В.О*

**УДК 697.91.94.97**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ ПОВІТРЯ МЕТОДОМ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ЦЕНТРУМ. ОДЕСА**

*Здобувач СВО «Магістр» ННІХКтаЕ Гітрук М.А.*

Зростаючі вимоги до енергозбереження в комунальних та медичних закладах, особливо в умовах енергетичної нестабільності, зумовлюють необхідність впровадження новітніх підходів до аналізу ефективності інженерних систем. Одним із таких підходів є ексергетичний аналіз, що дозволяє не лише оцінити кількість використаної енергії, але й визначити якість її перетворення в системах ОВК (опалення, вентиляція, кондиціонування). В реабілітаційних центрах, де важливо забезпечити стабільний мікроклімат з високою якістю повітря, ефективна система кондиціонування має прямий вплив на комфорт і здоров'я пацієнтів, а також на загальні витрати на енергоресурси.

Метою роботи є підвищення енергоефективності системи кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру в місті Одеса шляхом проведення ексергетичного аналізу її основних компонентів. Основні завдання:

- Оцінка теплотехнічних та ексергетичних характеристик елементів системи;
- Визначення джерел втрат ексергії;
- Розробка рекомендацій щодо підвищення енергоефективності на основі отриманих результатів.

Об'єктом дослідження є система кондиціонування та фільтрації повітря в реабілітаційному центрі. Предметом — її енерго та ексергетична ефективність в умовах експлуатації у кліматичних умовах південного регіону України, зокрема м. Одеси.

У дослідженні використано комплексний термодинамічний підхід із застосуванням методів:

- Енергетичного балансу;
- Ексергетичного аналізу за допомогою розрахунку ексергійного потоку в усіх основних вузлах системи;
- Комп'ютерного моделювання процесів обробки повітря із врахуванням кліматичних умов регіону.

Також використано реальні експлуатаційні дані, отримані в процесі моніторингу роботи системи впродовж теплового періоду року.

Аналіз показав, що значні втрати ексергії припадають на ділянки теплообміну при охолодженні та зволоженні повітря, а також на компресійні процеси в холодильному циклі. Ефективність системи знижується через неузгодженість між фактичним навантаженням та розрахунковими характеристиками обладнання. Встановлено, що впровадження адаптивного керування, вдосконалення теплоізоляції та застосування рекуперації тепла дозволяє знизити втрати ексергії до 20–25%.

#### **. Висновки**

Отримані результати можуть бути використані при модернізації систем ОВК у медичних та соціальних установах, зокрема в умовах зростаючої потреби в енергоощадних технологіях. Впровадження рекомендацій дозволить підвищити рівень комфорту, зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити сталий розвиток інфраструктури реабілітаційних центрів в Україні

#### Список використаної літератури:

5. Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестационарних умовах: монографія / Н. Жихарева ; Одеський національний технологічний університет, кафедра холодильної техніки та кондиціонування повітря - Одеса : ТЕС, 2022. – 264 с. : іл.
6. Н. Жихарієва, М. Хмельнюк. Термоекономічна модель системи кондиціонування. Енергетика та системи управління, 2019, том 5, № 2, с. 66 – 74. <https://doi.org/10.23939/jeecs2019.02.066>
7. Жихарева Н.В., Хмельнюк М.Г. (2016) Математичне моделювання нестационарного теплообміну будівель. Холодильна техніка та технологія, 52 (6), с. 75–79. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/ret.v52i6.479>
8. Жихарева Н., Хмельнюк М. (2017) Оптимізація витрат на термозахист будівель та кондиціонування повітря в цілому. Холодильна техніка та технологія, 53(4), с. 17-20 DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/ret.v53i4.706>

*Науковий керівник: Когут к.т.н.,  
доц. кафедри Холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ*

---

УДК 697.91.94.97

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ЦЕХУ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА**

**Яремчук О.О. магістр НТтаІМ ОНТУ , Одеса**

Удосконалення технологічного кондиціонування повітря для цеху переробки молока є важливим завданням, яке спрямоване на забезпечення оптимальних умов для виробництва, збереження якості продукції та створення комфортного середовища для працівників. Молокопереробні цехи мають специфічні вимоги до температури, вологості та чистоти повітря через чутливість молока до зовнішніх факторів, таких як бактеріальне забруднення, коливання температури та вологості, що можуть вплинути на якість кінцевого продукту. Виробництво молока та кисломолочних продуктів передбачає низку критичних етапів, які мають бути виконані з високою якістю, щоб забезпечити належну якість кінцевої продукції. Молоко є досить вибагливим сировиною, оскільки після отримання його необхідно негайно охолодити до 4°C. Інакше, протягом 2-3 годин воно втрачає свої корисні властивості та стає сприйнятливим до проникнення шкідливих мікроорганізмів.

### **Основні аспекти удосконалення**

#### **1. Контроль температури**

У цехах переробки молока необхідно підтримувати стабільну температуру, зазвичай у межах 16–18 °С для приміщень первинної обробки та нижчу (4–6 °С) для зон зберігання чи охолодження. Удосконалення може включати використання сучасних систем охолодження, таких як теплові насоси з реверсивним циклом, які дозволяють ефективно регулювати температуру залежно від потреб технологічного процесу.

#### **2. Регулювання вологості**

Висока вологість може сприяти розвитку мікроорганізмів, тоді як надто низька — пересушуванню обладнання чи сировини. Оптимальний рівень відносної вологості для молокопереробних цехів становить 50–60%. Удосконалені системи кондиціонування з функцією осушення або зволоження повітря (залежно від умов) можуть бути інтегровані з датчиками для автоматичного підтримання заданого рівня.

#### **3. Фільтрація та очищення повітря**

Молоко є сприятливим середовищем для бактерій, тому чистота повітря в цеху критично важлива. Сучасні системи кондиціонування можуть бути оснащені HEPA-фільтрами або ультрафіолетовими стерилізаторами для видалення пилу, мікроорганізмів та інших забруднень. Це знижує ризик контамінації продукції.

#### **4. Енергоефективність**

Традиційні системи кондиціонування споживають значну кількість енергії, що підвищує витрати виробництва. Удосконалення може включати впровадження енергоефективних технологій, таких як інверторні компресори, рекуперація тепла (використання відпрацьованого тепла для підігріву інших зон) та системи з змінним потоком холодоагенту (VRF), які адаптуються до навантаження.

#### **5. Автоматизація та моніторинг**

Інтеграція розумних систем управління дозволяє в реальному часі відстежувати параметри повітря (температуру, вологість, якість) і автоматично коригувати роботу обладнання. Це підвищує точність регулювання та зменшує людський фактор.

#### **6. Локалізація вентиляції**

У цехах переробки молока доцільно застосовувати комбінацію загальнообмінної та місцевої вентиляції. Наприклад, у зонах пастеризації чи сепарування, де виділяється тепло, можна встановити локальні витяжні системи, щоб уникнути перегріву та надлишкової вологості.

#### **Практичні рішення**

Модернізація обладнання: Заміна застарілих кондиціонерів на системи з вищою ефективністю та точністю регулювання.

Використання пропіленгліколю: Як екологічно безпечного холодоагенту для охолодження повітря та поверхонь у цеху, що також має бактерицидні властивості.

Зонування: Поділ цеху на зони з різними кліматичними вимогами (наприклад, зона пастеризації, охолодження, фасування) з окремими системами кондиціонування для кожної.

Теплоізоляція: Покращення ізоляції приміщень для зменшення теплоприпливів ззовні, що знижує навантаження на системи кондиціонування.

#### **Переваги удосконалення**

Підвищення якості молочної продукції завдяки стабільним умовам переробки.

Зменшення енерговитрат і, відповідно, собівартості виробництва.

Забезпечення відповідності санітарно-гігієнічним нормам.

Покращення умов праці для персоналу, що сприяє продуктивності.

Таким чином, удосконалення технологічного кондиціонування повітря для цеху переробки молока потребує комплексного підходу, який враховує специфіку виробництва, сучасні технології та економічну доцільність. Впровадження таких змін може значно підвищити ефективність роботи цеху та конкурентоспроможність підприємства.

*Науковий керівник: Жихарєва Н.В., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ*

УДК 697.91.94.97

## **ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ В НИЗЬКО-ТЕМПЕРАТУРНІЙ ТЕХНІЦІ**

**Под'ячев В. М., магістрант ОНТУ**

Інноваційні технічні рішення для перетворювачів енергії охоплюють широкий спектр технологій, які сприяють підвищенню ефективності, зменшенню витрат та покращенню екологічних показників. Ось деякі з них:

#### **Сонячні перетворювачі:**

Перовскітні сонячні елементи: Використання нових матеріалів, таких як перовскіт, для створення ефективних та дешевих сонячних елементів.

Сонячні трекери: Системи, які автоматично слідкують за сонцем, підвищуючи продуктивність сонячних панелей.

#### **Вітрові турбіни:**

Багатолопатеві системи: Розробка вітрових турбін з більшою кількістю лопатей для підвищення ефективності та зниження шуму.

Офшорні вітрові ферми: Використання потужних вітрів на морі для генерації електроенергії, що дозволяє збільшити виробництво енергії.

#### **Гідроелектричні системи:**

Мікрогідроелектростанції: Інноваційні рішення для малих річок і потоків, що дозволяють генерувати електроенергію з невеликих гідроресурсів.

Гідроакумулюючі електростанції: Технології, що дозволяють зберігати енергію за рахунок перекачування води між резервуарами на різних рівнях.

**Теплові перетворювачі:**

Термодинамічні цикли: Розробка нових циклів, таких як цикл Оркнея, для підвищення ефективності перетворення тепла в електрику.

Теплові насоси: Інноваційні рішення для підвищення ефективності теплових насосів, що використовують відновлювальні джерела тепла.

**Енергетичні накопичувачі:**

Літій-іонні батареї: Вдосконалення технологій для підвищення ємності, швидкості заряджання та зменшення вартості.

Суперконденсатори: Використання нових матеріалів для поліпшення характеристик суперконденсаторів, що дозволяє швидко накопичувати та віддавати енергію.

**Системи управління енергією:**

Інтелектуальні мережі (Smart Grids): Впровадження технологій для оптимізації енергетичних потоків, включаючи прогнозування попиту та управління навантаженням. Програмне забезпечення для моніторингу та управління: Інноваційні рішення для аналізу даних і оптимізації роботи енергетичних систем.

*Науковий керівник: Козут В.О. к.т.н. доц.*

УДК 681.5:621.565.92(045)

## **ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ**

Волков Д.О., студент

Лужанська Г.В., доц., к.т.н.

Національний університет «Одеська політехніка»

Сьогодні використовується досить багато холодильної техніки. У багатьох галузях промисловості без неї просто не обійтись. Холодильні агрегати використовуються в різних галузях промисловості. Їх сфера застосування досить велика.

За масштабами споживання штучного холоду важливе місце посідає хімічна промисловість. Крім того, холод використовується при виробництві багатьох синтетичних матеріалів (спирту, каучуку, пластмас, волокон та ін.), при виробництві аміаку та азотних добрив для відведення теплоти хімічних реакцій. У машинобудуванні впроваджуються низькотемпературне загартування металів і холодні посадки. Штучне охолодження бетону застосовується при будівництві гребель найбільших гідроелектростанцій. Холод використовується при виробництві великої кількості матеріалів та виробів. Штучний холод широко застосовується на різних видах транспорту для перевезення харчових продуктів, а також на судах рибальського флоту, торгівлі харчовими продуктами та в побуті [1].

Холодильна технологія харчових продуктів з використанням штучного холоду охоплює:

- сільське господарство;
- переробку - м'ясну та молочну промисловість;
- торгівлю;
- транспорт (автомобільний, залізничний та водний);
- рибодобувну та рибопереробку з рибпромисловими та переробними базами та судами.

Охолоджувальні установки часто пов'язані із застосуванням ефекту безпосереднього випаровування або вологого охолодження.

Екологічна шкода холодильних установок полягає у використанні штучного холоду. У всіх цих холодильних установках використовуються фреони. При цьому з екологічного погляду вони

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року**

негативно впливають на озоновий шар атмосфери. Вони містяться молекули, які потрапляють у стратосферу протягом 10 - 24 місяців. За цей час вони проходять тривалий шлях. Руйнуються під впливом сонячних променів і розчиняються. Внаслідок цього утворюються озонні дірки, прискорюється процес глобального потепління.

В 1987 для зниження викидів речовин, що руйнують озоновий шар, був введений Монреальський протокол. Держави, які підписали протокол, зобов'язалися знизити виробництво і споживання озоноруйнівних речовин. Монреальський протокол припускав мінімізацію озоноруйнівних речовин на 15% до 1993 року, а до 1998 року на 35% [2-4].

Вжиті міжнародними природноохоронними угодами заходи щодо запобігання руйнації шару стратосферного озону, а також виникнення парникового ефекту в атмосфері через викиди холодоагентів призвели, починаючи з початку 90-х років до радикальних змін у технологіях кондиціонування повітря та штучного охолодження.

Для вирішення цієї проблеми можливе застосування таких екологічно чистих технологій:

- природні холодоагенти – використовують недорогі натуральні речовини, такі як аміак, пропан, двоокис вуглецю;
- розвиток екологічно чистої холодильної техніки - пароежекторні, повітряні, сорбційні холодильні машини, установки, що використовують ефект Пельтьє, Ранка і т.д.;
- розробка нових принципів добування холоду – «звукові компресори» та «холодильні чіпи»;
- виробництво холодильних машин помірною холоду Стірлінга.

#### Інформаційні джерела

1. Степанов Д.В., Степанова Н.Д. Холодильна техніка та технологія. Навчальний посібник.- Вінниця: ВНТУ, 2008. – 95 с.
2. [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_215#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_215#Text)
3. [https://zakononline.com.ua/documents/show/157814\\_601103](https://zakononline.com.ua/documents/show/157814_601103)
4. Медведенко Т.І., Хлієва О.Я. Прямий та непрямий внесок холодильної промисловості у загальну емісію парникових газів. Еколого-енергетичні проблеми сучасності/Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Одеса, 25 квітня 2019 р. – Одеса: Видавництво ОНАХТ, 2019. –36с.

ДК.697.94

## ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ ХОЛОДИЛЬНИХ КАМЕР

Харламова А.О., студентка

Савілов А.О., студент

Губар Л.Б., ст. викладач

Національний університет «Одеська політехніка»

Харчова промисловість та торгівля харчовими продуктами – одні з основних споживачів холодильного обладнання. Саме від ефективної та безвідмовної роботи холодильного обладнання залежить успіх того чи іншого виробничого чи торговельного підприємства.

Коли справа стосується продуктів харчування, це має відношення до здоров'я і навіть життя людини, тому ціна помилки під час виробництва, зберігання та транспортування харчової продукції є особливо великою.

Основне призначення промислових холодильних камер – збереження продукції тривалого зберігання; охолодження та заморожування продуктів харчування у великих обсягах: від кількох тонн до кількох десятків тонн на добу.

Постійна дія низьких температур накладає особливі вимоги до утеплення холодильних камер, яка повинна забезпечувати максимальне виконання функцій охолодження.

Під ізоляцією холодильної камери розуміється ізоляція від теплоприток усередину камери та пароізоляція внутрішнього об'єму камери. Якщо камеру не ізолювати, то припливи через огорожувальні конструкції будуть дуже великі.

Тому для не теплоізованих камер необхідні дуже потужні та дуже дорогі холодильні машини, які споживають дуже багато електроенергії.

Якісна теплоізоляція дозволяє використовувати в камерах холодильні машини меншої потужності і вартості, і дозволяє постійно економити електрику.

Утеплювач для холодильної камери повинен відповідати жорстким вимогам.

- низький коефіцієнт теплопровідності;
- еластичність;
- жорсткість;
- монолітність;
- відсутність водопоглинання;
- морозостійкість;
- збереження властивостей за умов перепаду температур; здатність витримувати постійні перепади низьких та високих температур без особливих ознак порушення структури протягом не менше ніж 25 циклів тепломін;
- здатність не вбирати запахи;
- стійкість до зараження спорами плісняви та гнильними бактеріями;
- здатність протистояти різним видам комах;
- відсутність шкідливих летких компонентів;
- міцність матеріалу під впливом жорстких факторів, на вигині – не менше 0,1 МПа.

Мінеральну вату все ще часто використовують, хоча її монтаж не виключає появу так званих містків холоду [1], через які і відбуваються значні втрати (рис 1).



Рис. 1 – Ізоляція з мінеральної вати

Тому варто звернути увагу на інші відповідні теплоізоляційні матеріали.

Володіє низькою гігроскопічністю і високою механічною стійкістю. Правда, з нього все одно не вийде створити повністю монолітний шар теплоізоляції. При виборі матеріалу відповідної щільності витрати також вийдуть значними.



Рис. 2– Ізоляція з пенопласту

Використання наплення пінополіуретану. При мінімальній щільності дозволить створити більш щільний і надійний тепловий бар'єр. Цей матеріал відрізняється відмінною адгезією, тому при його застосуванні не потрібно проводити підготовчі роботи (рис 3).



Рис.3– Ізоляція з напленого пінополіуретану

Застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів значно підвищує ефективність роботи холодильних камер, зводить до мінімуму вплив гарячого повітря, що надходить зовні, та забезпечує меншу роботу системи охолодження.

Інформаційні джерела

<https://holodprom.com.ua/ua/osoblyvosti-teploizolyaciyi-holodyllyh-kamer.html>

## РЕКУПЕРАЦІЯ ТЕПЛА ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК ТОРГІВЕЛЬНИХ ПРОДУКТОВИХ МАГАЗИНІВ

Рак О.В., студент

Лужанська Г.В., доц., к.т.н.

Національний університет «Одеська політехніка»

Питання раціональному використанні енергетичних ресурсів постає дедалі більше гостро і вимагає продуманих рішень. Тому людство приділяє дедалі більше уваги головному резерву в галузі енерговидобування, а саме енергозбереження.

У всьому світі активно втілюються в реальність програми з енергозбереження, оскільки уряд поряд із простими користувачами спантелечений несприятливою екологічною обстановкою та виснаженням природних ресурсів. Основним документом в Україні є Енергетична стратегія [1, 2].

Власникам великої кількості магазинів, супермаркетів, особливо продуктових, для зберігання та подальшої реалізації продуктів з риби, м'яса чи молока потрібне торгове холодильне обладнання, застосування якого є дуже енерговитратним.

Крім того, для створення комфортного мікроклімату, приміщення магазину (торговельні зали та допоміжні робочі приміщення) необхідно забезпечити системами опалення, вентиляції, кондиціонування повітря (рис. 1). Для якісної роботи даних систем потрібна велика кількість теплової енергії, ціни на яку також постійно зростають.

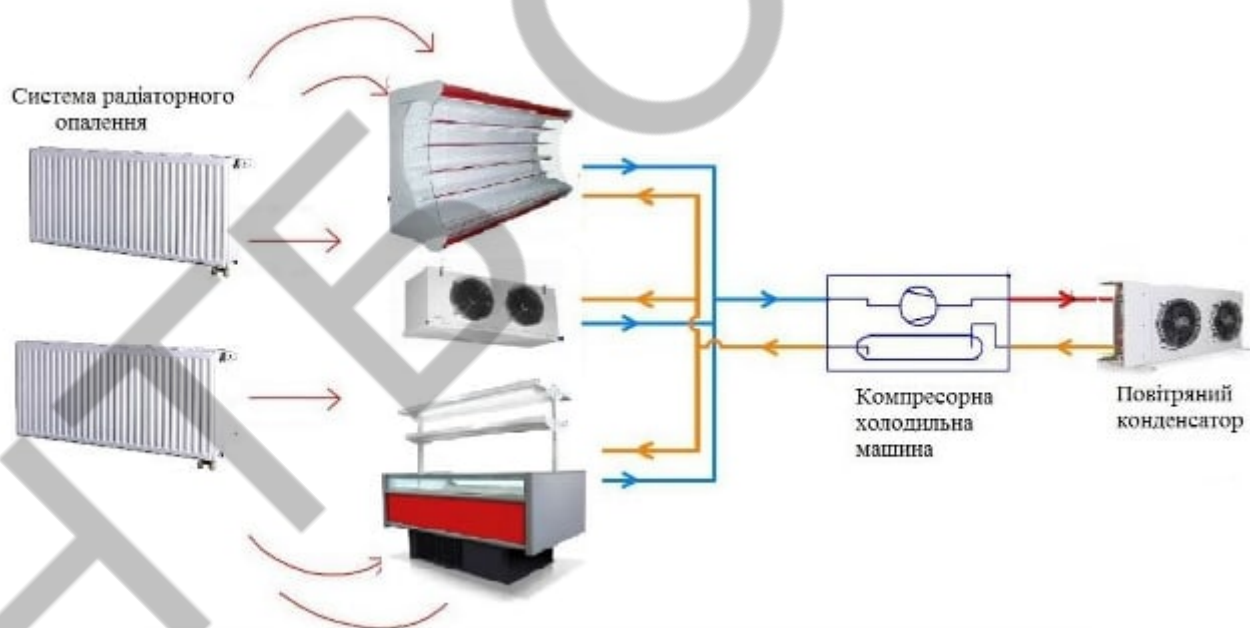


Рис. 1 – Традиційна схема опалення та холодопостачання торгового магазину

В умовах постійно зростаючих тарифів на електр енергію, керівники підприємств торгівлі набагато серйозніше починають ставитися до вартості експлуатації торговельного холодильного обладнання, де однією з найвитратніших статей є споживання електроенергії, і намагаються обирати більш економічне холодильне обладнання, застосовувати енергоефективні технології [3, 4].

Таким чином, рушійним фактором є максимальна ефективність експлуатації обладнання та систем мікроклімату з мінімальними витратами енергоресурсів.

У процесі роботи холодильних установок при конденсації холодоагенту виділяється значна кількість тепла, яка віддається в навколишнє повітря приміщення або відводиться назовні будівлі. Тепло, що утилізується, від холодильних машин, яке можна технологічно використовувати, найчастіше відводиться в навколишнє середовище компресорними блоками, що встановлюються на дахах будівель [5].

У сучасному світі для вирішення цієї проблеми все частіше використовуються в торгових магазинах енергоефективні технології – рекуперація тепла від холодильних систем із виносними конденсаторами. При цьому така система може бути застосована як у нових будівлях, що будуються, так і в існуючих, для вже працюючих систем з виносним холодом у діючих супермаркетах (рис.2).

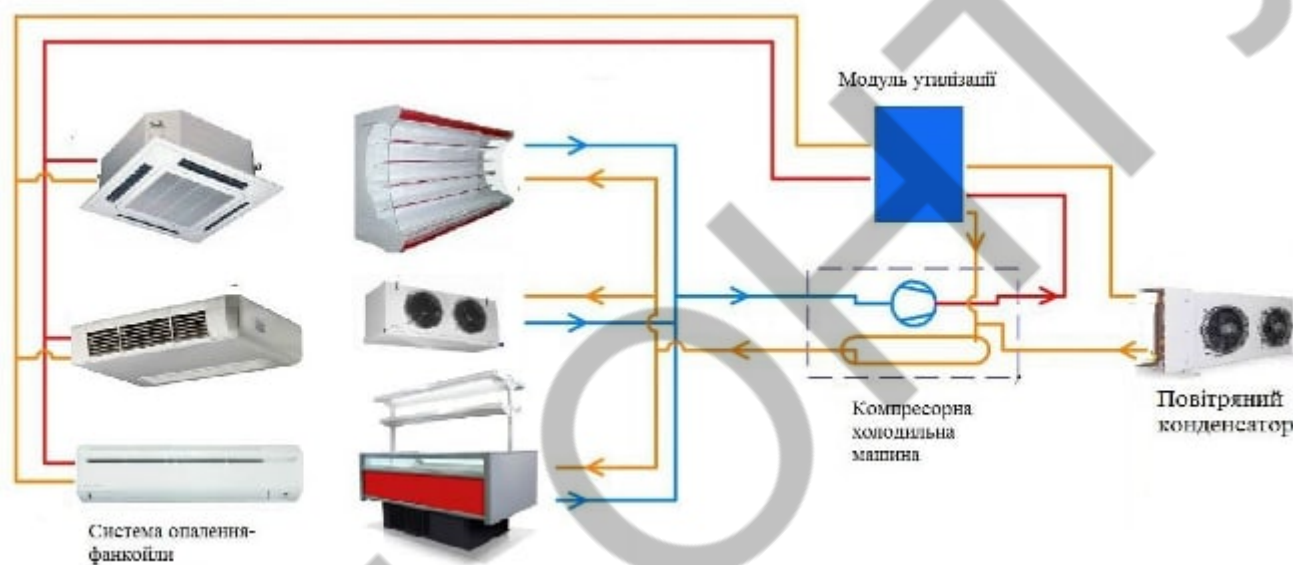


Рис. 2 – Схема з утилізацією тепла для систем опалення та холодопостачання торгового магазину

Для застосування систем утилізації тепла необхідно, щоб графіки роботи холодильної машини та потреби у гарячій воді по можливості збігалися. Тому найдоцільніше використовувати ці системи там, де холод виробляється постійно.

Сучасні інноваційні енергоефективні рішення щодо систем холодопостачання та опалення, а також ГВП, для торговельних магазинів включають [3]:

- холодильне обладнання,
- конденсаторні блоки,
- додаткові блоки утилізації тепла,
- баки для гарячої води.

З метою енергозбереження додатково до системи холодопостачання (холодильної техніки та конденсаторних блоків) застосовують теплові насоси, це дозволяє зменшити витрати теплової енергії на роботу системи опалення.

Застосування установки з рекуперацією тепла від холодильного обладнання дозволять автономно працювати системі опалення, оскільки вона використовує 100% тепла, що виділяється холодильним агрегатом. В якості нагрівальних приладів системи повітряного опалення торговельних магазинів використовують доводчики: фанкойли (стельові, настінні, підлогові або приховані установки). Теплоносієм виступає гарячий газ. Для утилізації тепла від конденсації холодоагенту встановлюють спеціальні блоки.

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року**

Застосування рекуперації тепла значно скорочує споживання енергосурсів, що дозволяє торговим магазинам працювати ефективніше. Енергозбереження не просто тренд сучасності, енергетична ефективність для магазину є конкурентною перевагою та показником успіху.

Інформаційні джерела

1. Енергетична стратегія України на період до 2050 року. URL: <https://minfin.com.ua/2023/05/02/105069123/>
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. Біла книга енергетичної політики України «Безпека та конкурентоспроможність». Київ: 2015, 49 с.
3. Bagarella, G., Lazzarin, R., & Noro, M. (2014). Annual Energy analysis of a water loop self-contained refrigeration and comparison with multiplex systems in supermarket. International Journal of refrigeration, Pp 55 - 63.
4. Bill Whitman, Bill Johnson, John Tomczyk, Eugene Silberstein. Refrigeration & air conditioning technology. Delmar Cengage Learning. 2012.
5. <https://aclima.ua/>

УДК 621.574.9

## **СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СІЛЬСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ**

**Войтенко В.С.**, здобувач вищої освіти

**Семенюк Д.П.**, професор кафедри інтегрованих електротехнологій та енергетичного машинобудування, ДБТУ, м. Харків, [dmitriy.semeniuk@gmail.com](mailto:dmitriy.semeniuk@gmail.com)

Альтернативне енергозабезпечення стає все більш важливим у сучасному світі, оскільки традиційні джерела енергії, такі як викопне паливо, мають ряд серйозних недоліків.

Основні види альтернативних джерел енергії:

- Сонячна енергія: Використовує сонячні панелі для перетворення сонячного світла в електричну енергію.
- Вітрова енергія: Використовує вітрові турбіни для перетворення кінетичної енергії вітру в електричну енергію.
- Гідроенергія: Використовує гідроелектростанції для перетворення енергії води в електрику.
- Геотермальна енергія: Використовує тепло з надр Землі для виробництва електроенергії або опалення.
- Біоенергія: Використовує органічні матеріали, такі як деревина, сільськогосподарські відходи та біогаз, для виробництва енергії.

Переваги альтернативного енергозабезпечення:

- Екологічна чистота: Альтернативні джерела енергії, такі як сонячна, вітрова та гідроенергія, не викидають в атмосферу шкідливі речовини, що сприяє зменшенню забруднення повітря та води, а також зниженню викидів парникових газів, які є однією з головних причин глобального потепління.

– Відновлюваність: На відміну від викопного палива, яке є вичерпним ресурсом, альтернативні джерела енергії є відновлюваними. Це означає, що вони не вичерпуються з часом, що робить їх більш стійким та довгостроковим варіантом.

– Енергетична незалежність: Використання альтернативних джерел енергії дозволяє країнам зменшити свою залежність від імпорту викопного палива, що підвищує їхню енергетичну безпеку та економічну стабільність.

– Створення нових робочих місць: Розвиток галузі альтернативної енергетики створює нові робочі місця в різних секторах, таких як виробництво, монтаж та обслуговування обладнання.

– Зниження витрат на енергію: Хоча початкові інвестиції в альтернативні джерела енергії можуть бути високими, з часом вони можуть призвести до зниження витрат на енергію, оскільки ці джерела не потребують постійного придбання палива.

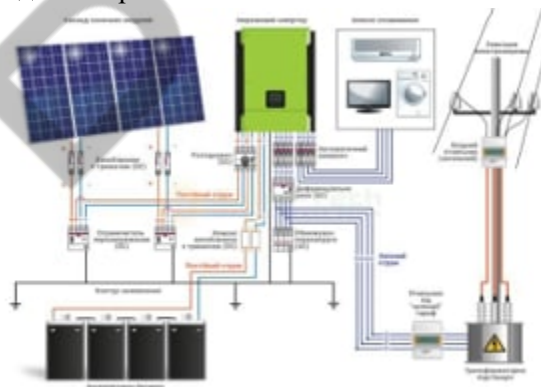
Незважаючи на численні переваги, альтернативне енергозабезпечення також стикається з певними викликами, такими як високі початкові витрати, залежність від погодних умов та необхідність розвитку інфраструктури.

Однак, завдяки постійному розвитку технологій та зниженню витрат, альтернативні джерела енергії стають все більш конкурентоспроможними та перспективними.

Під час повномасштабного вторгнення, в Україні досить гостро стоїть питання альтернативного енергозабезпечення, зважаючи на стан енергетичної системи, яка зазнала значних руйнувань. Дуже сильно страждають від відключень електричної енергії жителі сільської місцевості, де термін відключень сягає досить суттєвих значень.

Перед нами стало питання розробити альтернативне енергозабезпечення в населеному пункті Полтавської області.

Проаналізувавши всі існуючі варіанти альтернативного забезпечення, було прийнято рішення застосовувати сонячну енергію, оскільки всі інші види альтернативної енергії застосовувати не було можливості. Планувалось використовувати електричну енергію для забезпечення функціонування сільського одноповерхового будинку (освітлення, холодильник, пральна машина, ноутбук, робота та зарядка електричних гаджетів). Вирішили застосувати гібридну сонячну станцію. Типова схема гібридної сонячної станції наведена на рис. 1.



**Рисунок 1. Схема гібридної сонячної станції [1]**

Ми вирішили використовувати типову схему, з деякими змінами: ми не планували використовувати «зелений тариф», тому не встановлювали додатковий лічильник, а під'єднувались до стандартної електричної схеми сільського будинку.

В якості сонячних панелей було використано монокристалічну сонячну панель LONGi Solar LR5-54НТН-435М, в кількості чотирьох одиниць [2]. Основні параметри: напруга 33,04 В, потужність 420 Вт, струм при максимальній потужності 13,17 А, струм короткого замикання 14,22 А, напруга холостого ходу 39,33 В, кількість елементів 108 шт., мінімальна робоча температура мінус 40<sup>0</sup>С, максимальна робоча температура 85<sup>0</sup>С, ступінь захисту IP 68, ККД, не менше 22,3 %.

Панелі було встановлено на даху господарської будівлі, за допомогою спеціального кріплення, яке застосовується для кріплення сонячних панелей. Вигляд закріплених панелей показано на рисунку 2.



**Рисунок 2. Вигляд закріплених сонячних панелей**

Оскільки обладнання необхідно розташовувати в теплому приміщенні і в той же час, бажано в нежилому, інвертор, акумулятор на елементи комутації було розміщено в підсобному приміщенні.

В якості інвертора застосували гібридний інвертор «Power Home Inversor», виробництва Китай, з потужністю 6, 2 кВт [3].

Гібридний сонячний інвертор розроблений для забезпечення надійної та ефективної енергії для різноманітних застосувань. Він виробляє чисту синусоїду на виході, забезпечуючи стабільну та чисту енергію, придатну для чутливої електроніки. Можна запрограмувати пріоритет постачання для оптимізації споживання енергії від фотоелектричних модулів, акумуляторів або мережових джерел, ефективно знижуючи витрати на енергію. Діапазон вхідної напруги 55...450 В постійного струму забезпечує максимальну сумісність із різними сонячними панелями, покращуючи можливості збору енергії. Завдяки вбудованому контролеру заряду сонячної батареї Max 110A MPPT гібридний інвертор максимізує ефективність сонячної панелі, регулюючи напругу та струм заряджання відповідно до умов виходу. Він підтримує літій-іонні акумулятори та полегшує зв'язок BMS через той самий порт, підвищуючи універсальність. Загальний вигляд гібридного сонячного інвертора наведено на рисунку 3, а.

Як акумулятор, використовували акумуляторну батарею LPBF24100-M Felicity [4]. Акумуляторна батарея LPBF24100-M Felicity (LiFePO<sub>4</sub> 25,6V 100Ah 2,5kWh) поставляється із вбудованою системою керування батареєю (BMS), що забезпечує моніторинг та захист від перезаряду, глибокого розряду, перевантаження по струму та короткого замикання, може монтуватися на стіну. Загальна ємність акумулятора становить 2,5 кВт\*год з номінальною напругою 25,6 В та максимальним струмом заряду/розряду 100А, максимальна вихідна потужність 2750 Вт і рекомендована вихідна потужність 1500 Вт. Можливість паралельного підключення до 6 одиниць, що дає можливість збільшення ємності системи до 15 кВт\*год, що дозволяє адаптувати систему під зростаючі потреби в енергії. Сумісність з інтерфейсами CAN та RS485 сприяє легкому інтегруванню батареї у вже існуючі енергетичні системи, забезпечуючи широкі можливості для моніторингу та керування. Довговічність батареї більше 6000 циклів заряду при 80% глибині розряду і температурному діапазоні заряду від 0°C до 55°C (рисунку 3, б.)



*а*



*б*

**Рисунок 3. а - гібридний сонячний інвертор, б - акумуляторна батарея LPBF24100-M Felicity**

На жаль замовлення та доставка комплектуючих зайняло багато часу, і всі комплектуючі ми отримали тільки наприкінці осені, а монтаж було проведено на початку зими. В зв'язку з цим, не було можливості провести повноцінні випробування при максимальному сонячному навантаженні. В зимові дні за відсутності сонячного світла сонячні панелі генерували близько 150-200 Вт електричної енергії, що не є достатнім ні для роботи електричних приладів, ні для заряджання акумуляторної батареї, оскільки тільки сам інвертор споживає близько 60 Вт електричної енергії. В цьому випадку зарядку проводили від електричної мережі. Під час безхмарного неба, коли була максимальна сонячна радіація, потужність, яку виробляли сонячні панелі становила близько 1500 Вт, що дозволяло проводити і зарядку акумуляторної батареї, і працювати електричним приладам, таким як холодильник, ноутбук.

Подальша робота буде направлена на збільшення кількості сонячних панелей, можливо кількості акумуляторних батарей та проведення повноцінних досліджень в літній період, для виявлення дійсних параметрів змонтованої сонячної системи.

#### Список інформаційних джерел

1. Як влаштована гібридна сонячна електростанція. Solar-Tech. Офіційна сторінка. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://solar-tech.com.ua/ua/kak-ustroena-setevaya-solnechnaya-stanciya-2018-11-18.html>.
2. Своя енергія. Офіційна сторінка. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://svoya-energy.com.ua/>.
3. Pyrosolar Solar Inverter Power Store. Офіційна сторінка. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://surl.li/nelxpe>.
4. Solar-markets. Офіційна сторінка. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://surl.li/umjxqu>.

**УДК 621.56**

## **ВПЛИВ ТИСКУ КОНДЕНСАЦІЇ НА ЕНЕРГОРЕСУРСОЄМНІСТЬ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ**

**Монченко М.Ю.**

**Одеський національний технологічний університет**

Аміачні холодильні системи (АХС), як правило, забезпечують роботу виробничих холодильних підприємств, мають велику холодопродуктивність і, відповідно, значні витрати енергоресурсів під час роботи. Якщо розглядати в цілому експлуатаційні витрати під час роботи практично будь якої холодильної установки, то основні - це електроенергія, яка

витрачається на забезпечення роботи приводів компресорів, насосів, теплообмінників. У свою чергу, величина цієї роботи залежить від тисків конденсації та кипіння холодильного агента. Тиск кипіння практично завжди визначається технологічними умовами використання холоду, необхідністю підтримання відповідної температури кипіння. Тиск конденсації аміаку під час експлуатації холодильної системи залежить від великої кількості чинників: типу компресора та обраного конденсатора, умов навколишнього середовища та технічного й організаційного рівня експлуатації холодильної системи. Підтримання оптимального значення робочого тиску конденсації в холодильній системі буде значно впливати на енергоресурсоємність штучного холоду та безпеку її експлуатації. Це складна енергетична та економічна задача.

Підвищений тиск (температура) у конденсаторі у загальному випадку виникає від невідповідності кількості пари, що нагнітається компресорами і конденсується при даному тиску потужності теплообмінного апарату.

Звичайні причини для випарного конденсатора:

- недостатня подача охолоджуючого середовища в конденсатор;
- нерівномірний розподіл води по секціях випарного конденсатора;
- висока температура води;
- забруднення теплообмінної поверхні водяним каменем, мулом, замаслювання;

Причинами підвищеного тиску в конденсаторі можуть бути також:

- підвищений рівень холодильного агента в конденсаторі, коли частина теплообмінної поверхні підтоплена рідиною, тобто невдалий монтаж та погана експлуатація;
- нерівномірний розподіл повітря в повітряних і випарних конденсаторах;
- зменшення теплопередаючої поверхні конденсаторів: після «заглушення» частини труб через свищі, що з'явилися, та ін.

Окремою причиною підвищеного тиску також є наявність неконденсованих газів (повітря) у конденсаторі. Під час експлуатації холодильної системи повітря може проникнути в систему під час ремонтів обладнання та компресорів, а також через нещільності, що виникли під час розрідження. Повітря накопичується в конденсаторі та лінійному ресивері (в залежності від схемного рішення та робочої речовини), оскільки з усіх інших частин установки воно видаляється разом з парою холодоагенту. У цих елементах використовується гідравлічний затвор, який запобігає проникненню повітря та пари холодоагенту у випарну систему.

За наявності неконденсованих газів холодильний агент конденсується при своєму парціальному тиску. Загальний тиск у конденсаторі визначається як сума парціальних тисків:

$$P_{\text{конд}} = P_{\text{NH}_3} + P_{\text{пов}}$$

Причому  $t_{\text{конд}}$  відповідає  $P_{\text{NH}_3}$ , тобто температурний напір зростає при наявності повітря.

При накопиченні повітря у конденсаторі тиск збільшується не тільки за рахунок його парціального тиску, а й через погіршення теплообміну. Присутність неконденсатів змінює процес тепловіддачі: на поверхні труб, що охолоджують, утворюється газова плівка, яка збільшує термічний опір. Відповідно знижується коефіцієнт тепловіддачі та загальний коефіцієнт теплопередачі апарата.

Все це призводить до значної перевитрати енергії та інших ресурсів під час роботи холодильної системи від 5 % до 25 %, якщо вчасно не видаляти неконденсовані гази із системи. Шкідливий вплив повітря на роботу холодильної системи очевидний, тому важливо вживати всіх можливих заходів для запобігання його потрапляння в систему. Кількість повітря, що проникає всередину, залежить від режиму роботи установки, її потужності, а

також якості монтажу та експлуатації. Однак якщо повітря все ж таки опинилося в системі, його необхідно видалити якнайшвидше, зводячи до мінімуму втрати холодильного агента.

У роботі розглядаються процеси виведення неконденсованих газів із холодильної системи, відповідний вплив на енергоресурсоємність АХС з варіантами застосування різних типів повітровіддільників.

*Науковий керівник – Желіба Ю.О., к.т.н., с.н.с., доцент ОНТУ*

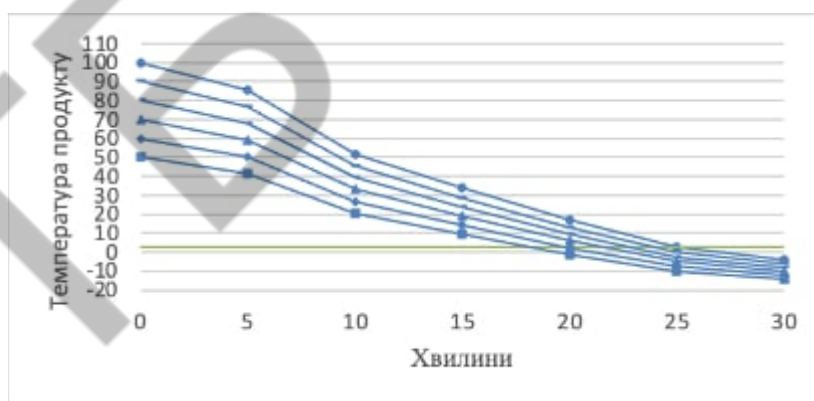
УДК 664.66:664.765(075.8)

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТЕРМООБРОБКИ ХЛІБНИХ ВИРОБІВ

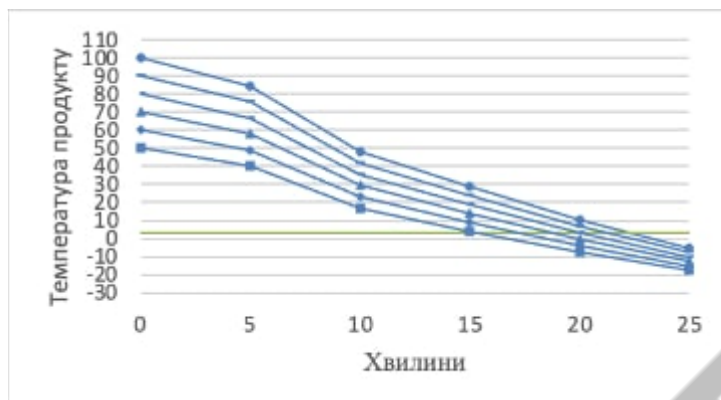
Івахнюк Є.С., магістр ОНТУ, Подмазко О.С., доц. каф. ХУіКП, , м. Одеса, [apodmazko@ukr.net](mailto:apodmazko@ukr.net)

Традиційний спосіб виробництва хліба передбачає охолодження свіжовипеченого хліба на контейнерах або конвеєрних кулерах в природних умовах виробничого приміщення. Такий спосіб охолодження хліба займає багато часу, вимагає використання громіздкого обладнання, значних виробничих площ та обслуговуючого персоналу. Традиційний спосіб виробництва хліба передбачає після випікання залишати хліб для охолодження на декілька годин, після чого його нарізають, пакують і відправляють до потенційного покупця. В хлібопекарній промисловості зараз використовують більш ефективні способи, такі як: шокове заморожування так і вакуумне охолодження.

Розглянемо шокую заморозку хлібного батону 1 кг. Для визначення температури в центрі в залежності від часу шокую заморозку, використаємо номограму: безрозмірна температура  $\theta$  в залежності критеріїв Біо та Фур'є. Результати розрахунків представлені на рис. 1 та рис. 2.



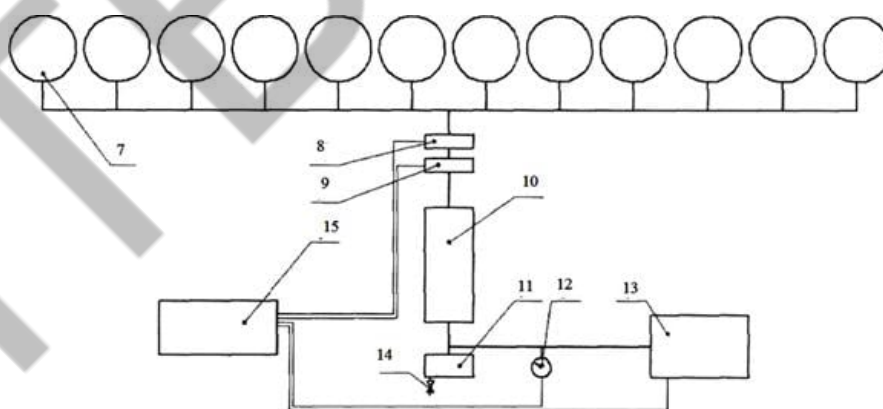
*Рис.1 Графік залежності часу охолодження хлібних напівфабрикатів з різними початковими температурами в пристрої шокую заморозування з температурою (-30°C) від температури в центрі продукту*



*Рис.2 Залежність часу охолодження хлібних напівфабрикатів з різними початковими температурами в пристрої шокowego заморозування з температурою (-40°C) від температури в центрі продукту*

Ефективним способом також є охолодження хліба з застосуванням вакууму, що дозволяє максимально скоротити тривалість охолодження, виробничі площі, зберегти якість хліба, скоротити виробничі витрати.

Під час застосування вакуумного способу охолодження, хліб охолоджується миттєво, це означає, що покупець купує свіжішу продукцію, яка буде зберігатися довше. За такого способу економиться час на охолодження і зменшується кількість ручної праці на виробництво хліба, а отже зменшуються витрати на виробництво, що зменшує собівартість продукції. Вакуум охолоджувальна установка відповідає поставленим вище критеріям. До вакуум-охолоджувача хліб потрапляє з температурою центра заготовки близько 100 °C та температурою поверхні 130-140 °C. У вакуум-камері створюється розрідження повітря, за рахунок чого температура кипіння води знижується, тепло хліба витрачається на випаровування води. У результаті чого температура хліба зменшується. На виході з установки отримуємо хліб з температурою, необхідною для нарізання та пакування. Пристрій зображено на рис. 3. В результаті вакуумного охолодження знижується вміст води в продукті, що дозволяє збільшити час зберігання хлібу, або другого виробу із тіста. При цьому хліб не «сушиться» (значно малий проміжок часу вакуумного охолодження), а видаляється зайва вода.



*Рис.3 Робота вакуумної установки*

На рис. 3 схематично зображено роботу вакуумної установки. Установка включає в себе 7 - вакуум камери; 8 - клапан; 9 - клапан; 10 - конденсатор; 11 - ємність для конденсату; 12 - манометр; 13 - вакуум насос; 14 - кран для зливу конденсату; 15 - блок управління.

Хліб масою 1 кг після випікання в печі з температурою м'якушки 100 °C і температурою скоринки 130-140° C надходить у герметичну камеру, де за 5-10 с створюється вакуум 0,004 МПа. В результаті випаровування вологи із хліба, за рахунок теплоти хліба, температура

його знижується до 30 °С. Робочу камеру розгерметизовують і хліб подають на нарізання і пакування. Процес охолодження відбувається безперервно в потоці. Особливістю даної установки є те, що хліб охолоджується в безперервному потоці. Основною властивістю вакуумно-випарного охолодження є простота регулювання швидкості процесу. Важливою перевагою є універсальність способу охолодження щодо маси та форми виробу. Суть розробки полягає у скороченні часу охолодження гарячої випічки, після виходу з печі до декількох секунд, позитивному впливі на структуру і смакові якості хліба, збільшенні тривалості зберігання хліба. Під час вакуумного способу охолодження економиться час на охолодження і зменшуються витрати. Проведемо порівняння при використанні шокового заморожування і вакуумного охолодження (можливе також і заморожування). Хлібний батон вагою 1 кг. Початкова його температура 100 °С кінцева 30 °С. Час досягнення кінцевої температури складає:

- 960 секунд (шокове заморожування з температурою -30 °С;
- 840 секунд (шокове заморожування з температурою -40 °С;
- до 10 секунд (вакуумне охолодження)

Таким чином, вакуумне охолодження значно більш ефективно в порівнянні з шоковим заморожуванням.

#### **Інформаційні джерела:**

1. Пристрій і спосіб вакуумного охолодження свіжовипеченого хліба (міжнародна заявка РСТ № РСТ/SE2011 /051511, номер публікації WO/2012/082060, дата публікації 21.06.2012, дата міжнародної подачі 14.12.2011).

2. Харчові технології продуктів з рослинної сировини та молока для підприємств харчового бізнесу. / укл.: Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Пономаренко Т.С., Погарський О.С., Лосєва С.М. – Х.: Форт, 2021. – 44 с.

**УДК 697.91.94.97**

## **ОСОБЛИВОСТІ КОНДИЦІОНУВАННЯ БОМБОСХОВИЩ**

**Пашковський І.А., бакалавр ОНТУ**

Системи кондиціювання в захисних спорудах виконують критично важливу роль у забезпеченні безпечних умов перебування людей під час надзвичайних ситуацій. В умовах повної ізоляції від зовнішнього середовища вони дозволяють підтримувати оптимальний мікроклімат — температурний режим, рівень вологості, вміст кисню та вуглекислого газу. Це особливо актуально, коли доступ свіжого повітря обмежений або повністю заблокований через зовнішні загрози.

На відміну від звичайних вентиляційних систем, які функціонують у відкритому середовищі, обладнання для кондиціювання в бомбосховищах повинно бути адаптованим до повної герметизації приміщень. За таких умов надзвичайно важливим є створення замкнутого циклу повітрообміну з можливістю ефективної рециркуляції. Обладнання має працювати стабільно протягом тривалого часу, навіть при значному навантаженні, з урахуванням максимальної кількості осіб, які можуть перебувати у сховищі одночасно.

Одним із центральних елементів таких систем є фільтровентиляційні агрегати, що забезпечують очищення повітря від потенційно небезпечних домішок. У випадках хімічного, біологічного або радіаційного забруднення навколишнього середовища саме вони

запобігають проникненню токсичних речовин у внутрішній простір сховища. Ефективна система має працювати у кількох режимах: у нормальних умовах — з частковим забором зовнішнього повітря, у режимі герметичності — з повною рециркуляцією, а у випадку надзвичайної небезпеки — з максимальною фільтрацією.

З огляду на ймовірність знеструмлення, що є типовим у кризових ситуаціях, важливою умовою надійної роботи є автономність систем кондиціонування. Для цього передбачаються резервні джерела живлення — дизельні генератори, батареї або альтернативні енергетичні рішення. Використання сучасного енергоощадного обладнання дозволяє мінімізувати споживання електроенергії, що в умовах обмежених ресурсів значно підвищує тривалість функціонування систем.

Тривале перебування у замкненому просторі без ефективного контролю мікроклімату може суттєво впливати на стан здоров'я людей. Висока вологість і температура сприяють розвитку плісняви, зменшенню концентрації кисню, що викликає головний біль, втому, зниження концентрації уваги, а іноді й панічні стани. Таким чином, кондиціонування виконує не лише технічну функцію, а й відіграє важливу роль у підтриманні психологічної стійкості та фізіологічного комфорту.

Системи кондиціонування повинні утримуватись у належному технічному стані, бути регулярно протестованими, а персонал — навченим відповідно до вимог експлуатації. Необхідно своєчасно проводити заміну фільтрів, перевірку герметичності з'єднань, а також мати запас основних компонентів для аварійного ремонту. Також передбачаються інструкції дій у разі виходу з ладу або порушення нормального режиму роботи системи.

Проектування кондиціонерів для захисних споруд базується на чинних державних будівельних нормах, санітарно-гігієнічних регламентах, а також інструкціях з цивільного захисту. Враховуються такі чинники, як тип укриття, місткість, очікуваний термін автономного перебування, особливості місцевого клімату, акустичні норми та температурні допуски. З огляду на можливість використання сховищ у мирний час, окрему увагу приділяють адаптивності систем до різних умов експлуатації.

Сучасні технології дозволяють підвищити ефективність кондиціонування шляхом впровадження автоматизованих систем управління. Це можуть бути цифрові контролери, датчики температури, вологості, вмісту вуглекислого газу, а також програмовані режими роботи. Інтеграція з концепцією «розумного укриття» дає змогу оперативно реагувати на зміни параметрів мікроклімату та зменшити навантаження на персонал, що обслуговує споруду.

УДК 697.91.94.97

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
КОНДИЦІОНУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА МОРОЗИВА**  
Брюшков К. Ю. бакалавр ОНТУ

Виробництво морозива є технологічно багатогранним процесом, що може бути реалізований із застосуванням різноманітного обладнання та технологічних підходів. На практиці використовуються дві основні принципові схеми організації виробничого процесу: потокова та періодична.

Отже, ключовими критеріями при виборі оптимальної технологічної схеми є забезпечення високої якості кінцевого продукту, максимальна механізація та автоматизація виробничих операцій, а також впровадження поточкових ліній і технологій, спрямованих на мінімізацію або повне усунення відходів виробництва. Сучасні тенденції розвитку харчової промисловості також акцентують увагу на енергоефективності та екологічній безпеці обраних технологічних рішень.

Вибір конкретного способу виробництва повинен базуватися на ретельному аналізі техніко-економічних показників, враховуючи виробничу потужність підприємства та плановані обсяги випуску готової продукції. Наприклад, застосування високопродуктивних поточкових ліній для виробництва певного виду продукції може бути економічно невиправданим при незначних обсягах його виробництва.

Розробка технологічної схеми виробництва здійснюється у повній відповідності до чинних технологічних інструкцій та обраного способу виробництва. Детальна технологічна схема включає послідовність усіх операцій виробничого процесу, із чітким визначенням режимів обробки сировини на кожному етапі. Це охоплює такі аспекти, як температурні режими, тривалість обробки, швидкість перемішування, тиск та інші критично важливі параметри, що впливають на якість та безпечність готового продукту.

Сучасні підходи до проектування технологічних схем виробництва морозива також передбачають інтеграцію систем автоматизованого управління технологічними процесами (АСУТП), що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг та оперативне коригування параметрів виробництва з метою забезпечення стабільної якості та оптимізації витрат ресурсів. Врахування можливостей використання сучасного пакувального обладнання та логістичних рішень також є важливим аспектом при виборі та розробці технологічної схеми виробництва морозива.

На етапі проектування молочного комбінату одним із ключових завдань є визначення раціонального розміщення виробничих цехів, підсобних, складських та допоміжних приміщень у межах головного виробничого корпусу. При компонуванні внутрішнього простору будівлі необхідно керуватися низкою основоположних принципів, серед яких: забезпечення простоти планувальних рішень, об'ємно-просторової структури та поперечного профілю будівлі; можливість застосування уніфікованої сітки колон для оптимізації будівельних конструкцій; ефективне використання міжферменого простору для розміщення технічного поверху, призначеного для зручного монтажу та обслуговування інженерних комунікацій; а також інтеграція під єдиним дахом максимально можливої кількості виробничих, підсобних, складських та допоміжних функціональних зон.

Оптимальне розташування всіх приміщень у головному корпусі повинно сприяти ефективній організації виробничого процесу, передбачати потенційну можливість подальшої реконструкції підприємства, включаючи розширення виробничих потужностей або перепланування розміщення технологічного обладнання, відповідати сучасним вимогам технічної естетики та забезпечувати максимальну економію капітальних інвестицій шляхом оптимізації будівельних витрат.

Процесу компонування приміщень передують детальне проектування технологічного процесу, визначення необхідної системи машин та обладнання, а також розрахунок основних площ виробничого призначення. Перед безпосереднім розміщенням усіх функціональних зон у головному корпусі доцільно провести аналіз типових проектів молочних комбінатів аналогічної потужності. Такий підхід дозволить самостійно та ефективно вирішити поставлене завдання з урахуванням передового досвіду та оптимальних планувальних рішень.

У процесі компонування приміщень обґрунтовується оптимальна поверховість будівлі, блокування виробничих цехів, підсобних, складських та допоміжних приміщень, визначення оптимальної конфігурації будівлі, встановлення несучої сітки колон, визначення габаритних розмірів споруди, а також забезпечення взаємного об'єднання приміщень зі схожими параметрами температурно-вологісного режиму для оптимізації енергоспоживання та створення належних умов для технологічних процесів.

Кількість поверхів виробничого корпусу визначається комплексом факторів, включаючи тип і потужність підприємства, специфіку будівельного майданчика, особливості технологічного процесу та економічну доцільність. У промисловому будівництві одноповерхові будівлі є найбільш поширеним рішенням. Багатоповерхові споруди зводяться рідше, переважно в межах населених пунктів, із застосуванням вертикального принципу організації технологічного процесу. У молочній промисловості для підприємств з одноповерховою забудовою характерне проектування без підвальних та горищних приміщень.

Останнім часом спостерігається тенденція до проектування та будівництва молочних комбінатів (заводів) комбінованої поверховості. У двоповерховій частині будівлі на першому поверсі розміщуються складські та інші підсобні приміщення, а на другому поверсі – апаратні та дієтичні цехи, лабораторії, заквасочні, дегустаційні зали тощо. Приймально-мийне відділення, відділення розливу молока та дієтичних продуктів, виробництва продуктів дитячого харчування, камери зберігання та інші подібні приміщення розміщуються в одноповерховій частині будівлі. Таке рішення забезпечує зручне транспортування молока самопливом від етапів теплової та механічної обробки і сквашування до ліній розливу та подальшої обробки.

Підприємства сироробної галузі переважно проектуються та будуються в одноповерховому виконанні, з розміщенням камер для дозрівання сирів у центральній частині будівлі для забезпечення оптимальних умов мікроклімату та логістики.

УДК 621.56

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ

Желіба Ю.В.<sup>1</sup>, Желіба Т.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Одеський національний технологічний університет

<sup>2</sup>НУ «Одеська політехніка», м. Одеса

Аміачні холодильні системи (АХС) з ряду відомих причин стали більш затребувані для вирішення задач промислового холодопостачання. Декларування безпеки експлуатації таких систем, як потенційно небезпечних об'єктів, так і об'єктів підвищеної небезпеки є обов'язковим відповідно вимог чинного законодавства України, країн Європейського Союзу та інших розвинених країн. Тому розробка науково обґрунтованих положень для методик такого декларування є актуальною задачею, щоб не створювати псевдо заспокійливих прогнозів щодо можливого виникнення аварійних ситуацій, їх розвитку в аварії, особливо прогнозування наслідків таких можливих аварій.

Автори провели детальну розробку логістичних сценаріїв розвитку ряду аварійних ситуацій для найпростішої (за схемою, переліком складових) аміачної холодильної системи. Було показано, що завдяки використанню систем протиаварійного захисту (СПАЗ) на базі сучасних приладів захисної автоматики (перш за все, виробництва фірми Danfoss), ймовірність виникнення аварії на таких установках складає величини, що суттєво менші прийнятого порогового значення  $10^{-6}$ . Проаналізовано наслідки дії таких уражаючих факторів можливих аварій як теплове випромінювання, ударна хвиля у разі виникнення пожежі-спалаху аміакоповітряної хмари (суміші). Проведено співставлення результатів розрахунків за різними методиками, пробіт- функціями, яке продемонструвало (в основному) узгодженість та необхідну наукову обґрунтованість результатів. Винятком є характеристики випаровування розлитого рідкого аміаку у випадку аварії та хімічної дії (отруєння, опіки) аміако-повітряних сумішей на персонал та працівників виробництв, що прогноуються за вітчизняним нормативними документами. Тому подальший обґрунтований розв'язок цієї низки екологічних та техногенних питань під час проєктування та облаштування аміачних холодильних систем остається актуальним.

У даній доповіді розглянуто також більш складну холодильну систему за рахунок доповнення попередніх схемних рішень декількома аміачними ресиверами, що працюють на розгалужені системи охолодження різного температурного рівня. Показано, що якщо такі ресивери «обв'язані» згідно вимог норм проєктування запобіжними клапанами, приладами автоматичного змішування кисню з аміаком та підпалюванням суміші на виході з запобіжника, одно-трьох позиційними рівнемірами аміаку в ресивері з виходом електричного сигналу на соленоїдні відсічні вентилі СПАЗ, приладами для вимірювань значень тиску та температур із подачею сигналів на відключення (відокремлення) окремих технологічних блоків системи один від одного, тощо, то ймовірність аварії АХС, у цілому, остається на рівні тих же значень, що і для не складної аміачної холодильної системи. Прогнозування дії хімічного ураження було проведено за міжнародною методикою розрахунку концентраційних полів аміакоповітряної хмари, динаміки випаровування розлитого аміаку та

розповсюдження хмари, формування токсодоз за різних метеорологічних умов. На жаль, висновок про наукову обґрунтованість та узгодженість результатів досліджень за методиками різних авторів та вимогами НТД України зробити складно. У доповіді аналізуються шляхи розв'язку та отримані результати досліджень перелічених проблем.

Упровадження нової нормативної документації, яка регламентує обладнання та експлуатацію потенційно небезпечних об'єктів та об'єктів підвищеної небезпеки, у тому числі аміачних холодильних систем, обумовила нові підходи до простування систем раннього виявлення можливих надзвичайних ситуацій та систем упередження аварійних ситуацій та аварій. Якщо раніше дозволялось експлуатувати АХС навіть без систем «газоаналізації» повітря приміщень за наявності постійно присутнього обслуговуючого персоналу, то зараз для об'єктів підвищеної небезпеки з'явилися вимоги, які знижують конкурентоспроможність невеликих АХС у порівнянні з холодильними системами що працюють на хладонах чи CO<sub>2</sub>. Ця вимога обґрунтована, дійсно направлена на зниження ризиків, проте не співпадає з світовими тенденціями розвитку холодильної техніки, які віддають перевагу саме аміаку.

Відповідно за результатами математичного прогнозування рівнів ризиків можливих техногенних та екологічних аварійних ситуацій та аварій, наслідків можливих аварій, кожний об'єкт, де експлуатуються аміачні системи (не залежно від аміакоємності), повинен бути обладнаний комплексом автоматизованого виявлення загрози виникнення техногенних надзвичайних ситуацій та оповіщення персоналу. Відповідно до вимог комплекс повинен складатися з таких частин:

- система раннього виявлення загрози виникнення надзвичайної ситуації – вихід параметрів експлуатації АХС за межі робочих регламентних режимів;
- автоматизована система виявлення надзвичайної ситуації – стосовно АХС це газоаналізатори повітряної суміші приміщення та площадок;
- система оповіщення керівного складу та персоналу виробничого об'єкту про загрозу чи виникнення надзвичайної ситуації;
- система оповіщення відповідальних посадових осіб територіальних органів ДСНС України, органів виконавчої влади, пульти централізованого моніторингу техногенної та екологічної безпеки регіону;
- пульти централізованого спостереження за регламентними характеристиками процесів АХС;
- система оповіщення населення, що проживає або знаходиться в прогнозованих зонах ураження небезпечними чинниками можливих аварій АХС з викидом СДОР - аміаку.

Діючі підприємства, що експлуатують АХС, поки не відповідають вимогам попередження техногенних та екологічних аварій та оповіщення. На приведення їх технічного стану до рівня вимог знадобиться декілька років зусиль державних інспекцій; значні кошти як підприємств так і бюджетів різних рівнів. Що стосується будівництва нових та реконструкцій діючих об'єктів безпеки, то обладнання систем раннього виявлення та оповіщення уже є обов'язковою складовою проєктної документації. З технічної точки зору принципів проблем обладнання комплексів не має, адже є багаторічний досвід обладнання систем протиаварійного захисту (СПАЗ) АХС, які досить легко дооснащуються сучасним електронним обладнанням та датчиками. Проте є й низка перешкод, серед яких: відсутність чіткого розмежування відповідальності за обладнання усіх семи складових комплексу між

підприємствами, ДСНС України, органами місцевого самоврядування, як по фінансуванню, так і по організації упровадження та експлуатації; необхідність узгодження комплексу з іншими системами протиаварійного захисту виробничої автоматики, раннього виявлення аварійних систем, пожежної сигналізації; відсутність визначеності мінімальної ємності холодильних установок по аміаку, за якої комплекси можуть бути обладнані у спрощеній комплектності, або зовсім не обладнуватись, адже рівень вимог до комплексів не залежить від рівня прогнозованої небезпеки і ризиків техногенних та екологічних аварій і однаковий, як для АХС аміакоємністю 35-50 кг, так і для комплексів по виробництву аміаку з аміакоємністю систем та складів у тисячі тонн. Не виключено, що для малоємних холодильних систем вартість комплексу може зрівнятись з вартістю самої системи.

Проте відмічені складнощі не знижують актуальності та доцільності упровадження систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій для АХС. Технічні та організаційні особливості їх обладнання, проектування, виконання монтажних, пусконаладжувальних робіт та задачі комплексу держкомісії в експлуатацію подаються авторами до обговорення.

*Науковий керівник – Зімін О.В., к.т.н., доцент ОНТУ*

УДК 697.91.94.97

## **ОСОБЛИВІСТЬ КАНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ**

**Гурц Я.В., бакалавр ОНТУ, Рогачко Р.Р., бакалавр ОНТУ  
Захаров Д. О., бакалавр ОНТУ**

Канальні кондиціонери призначені для кондиціонування декількох приміщень одночасно.

Канальні кондиціонери, як правило, розраховані на роботу в режимі рециркуляції і технологічно передбачають підмішування свіжого зовнішнього повітря.

Канальні системи складаються з внутрішнього і зовнішнього блоків, що з'єднуються між собою магістраллю з двома трубами і капілярами. Внутрішня частина, звана випарної, охолоджує приміщення, зовнішня, звана конденсаторної, викидає тепло з приміщення назовні. Канальні кондиціонери вентиляція розташовані так, щоб повітря забиралося з приміщення через повітрозабірні ґрати спліт системи і подавався в камеру змішення, змішуючись з припливним зовнішнім, подавався за системою повітроводів у внутрішній блок кондиціонера. Далі в спліт системах каналного типу оброблене повітря роздається знову ж таки за системою повітроводів в декілька приміщень, забезпечуючи підтримку параметрів заданого мікроклімату. У кожному приміщенні може здійснюватися зональний контроль параметрів повітря і їх автоматична підтримка. У прохолодну пору року може здійснюватися підігрівання зовнішнього свіжого повітря з попередньою його обробкою.

Основною перевагою каналних систем є те, що вони, на відміну від звичайних спліт-систем, здійснюють приплив свіжого повітря. Для цього застосовується адаптер повернення повітря, до якого підходять два повітровода.

Стандартна система каналного кондиціонування має ряд переваг:

Відсутність в кімнатах внутрішніх блоків, тобто. прихованість системи;

Подача свіжого повітря, і в зв'язку з цим відсутність грибків;

Відсутність спрямованих повітряних потоків (в спліт-системах йдуть спрямовані повітряні потоки, і людина може потрапити в зону прямого обдування, а у каналній системі - ламінарні повітряні потоки, які не мають спрямованого дуття).

Проведений порівняльний аналіз існуючих систем кондиціонування повітря дає змогу визначити і обрати каналну систему кондиціонування повітря для поліграфічних виробництв. Вибір каналних систем кондиціонування повітря по потужності охолодження і статичному тиску, передбачена установка водяного калорифера для підігріву зовнішнього повітря в зимовий час.

*Науковий керівник: Жихарєва Н.В., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ*

УДК 697.94:621.565

## **ASPECTS OF SYSTEM AIR CONDITIONING, CREATING DECORATIVE FOUNTAINS FOR COOLING AIR**

**St Mitskevych V., St Landurev A**

**Zhykharieva N. c.t.f., ass. Prof**

The main drawback of calculating a fountain is determining the temperature of the water in its bowl, which can be done after analyzing the following components of the fountain's thermal balance: heat load from the condensers of refrigerators and from circulation pumps, from solar radiation, water cooling due to heat and mass transfer (in jets and from the surface of the bowl).

Cooling water by heat and mass transfer in jets is challenging. To solve it it is convenient to use a dimensionless coefficient of efficiency of heat exchange of jets

$$\eta = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{t_{w1} - t_{vl}},$$

$t_{w1}$  - the temperature of the water supplied to the nozzle, °C;

$t_{w2}$  - the temperature of the cooled water at the end of the jet, °C;

$t_{vl}$  - temperature behind the wet thermometer, °C.

In the design of fountains of the greatest distribution are jet formed by cylindrical nozzles.

The solution of the differential equation of heat and mass exchange between air and water of the jet allowed to obtain a formula for determining the coefficient of efficiency of a single cylindrical jet

$$\eta_0 = 1 - e^{-k \frac{G_H^n}{d_H^m}}$$

$G_H$  - water flow through nozzles, l / s;

$d_H$  - the diameter of the nozzle, m;

$k, n, m$  - numerical coefficients whose magnitudes depend on the jet decay mode

To determine the value of  $C$  dependence

$$C = 555 \frac{B}{\sqrt{0,36 + 0,212w^2}} \cdot \frac{l}{h}$$

B - density of irrigation, m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> s);

w - estimated wind speed, m/s;

l - the length of the bowl of the fountain in the direction of the prevailing wind, m;

h - height of the jet volume of the fountain, m.

From the equation of thermal balance of the fountain received the differential equation of water temperature in his bowl

Equation of thermal balance of the fountain received the differential equation of water temperature in his is a first order linear differential equation, its general solution is: [5] was solved using the Odesolve Matcad environment

$$t_h = \left[ \int d\tau \psi(\tau) e^{\int f(\tau) d\tau} + C_1 \right] e^{-\int f(\tau) d\tau}$$

To find the coordinates of the points-foci of the field of directions in determining the water temperature in the bowl when solving

$$t_i = K_1 Q + K_2 q + t_w,$$

$$\tau_n = \tau_i + \delta,$$

where  $\tau$  is the year of day,

In expression (9), the value  $K_1 Q$  can be regarded as an equivalent temperature increase due to the load from the capacitors, and the value  $K_2 Q$  - as an equivalent temperature increase due to solar radiation.

The coefficients  $K_1$  and  $K_2$  are found from the analytical formulas [

$$K_1 = \frac{1 - \eta_p}{\rho \cdot C (L_p + L_D \eta_D) + A \cdot F} \quad K_2 = \frac{F}{\rho \cdot C (L_p + L_D \eta_D) + A \cdot F} = \frac{F}{1 - \eta_p} K_1$$

The expressions are as follows:

tv<sub>l</sub>– air temperature behind a wet thermometer,

$\rho$  – density of water, kg /m<sup>3</sup>;

C– specific heat of water, kJ / (kg ·K);

V – the volume of water in the fountain bowl, m<sup>3</sup>;

LP, LD– water consumption for working and decorative jets, m<sup>3</sup>/ hour;

F – horizontal fountain bowl surface, m<sup>2</sup>;

Q<sub>кон</sub>– thermal load from capacitors, kVt;

q<sub>рад</sub>– solar radiation absorbed by the water surface of the fountain bowl, Vt /m<sup>2</sup>

$\eta_p, \eta_D$ – coefficients of efficiency of heat exchange of workers and decorative jets.

A, characterizing the efficiency of water cooling due to heat and mass transfer from the water surface of the bowl of the fountain, is determined by the formula [4]

$$A = 20.4 \cdot (1 + 0.062 \cdot w)$$

where  $w$  is the estimated wind speed, m/s. In a program written in MathCad, the change in outside air temperature  $t_s$  ( $\tau$ ) and direct and scattered radiation were determined by the spline method. The daily cycle of change of the average integrated water temperature in the bowl of the basin is calculated by the differential equation (15). Evaporation from the surface of the bowl and cooling of the jet were taken into account when determining the heat transfer coefficient [5].

The main cooling of circulating fountain water is due to heat and moisture exchange in the jets. The intensity of their cooling is characterized by a dimensionless coefficient of efficiency of heat transfer (2), the value of which depends on the spray regime, water flow, nozzle diameter, irrigation density, wind speed, height of jet volume and length of the fountain in the wind direction.

The developed mathematical model (its software implementation in the MathCad environment) provides a sufficient level of approximation to the problem of thermal calculation of fountains connected to air-conditioning systems. This allows us to apply the model to the study of air conditioning processes. The proposed method of thermal calculation of the fountain takes into account the dynamics of thermal load from the air conditioning systems, absorbed by the solar radiation, the time of decorative and working jets, which accumulates the water capacity of the bowl of the fountain and change the parameters of the outside air.

With the help of the developed program it is possible to determine the daily course of the temperature of the cooled water, to analyze the thermal regime of the fountain and to choose the optimal variant of work of jets by hours of the day.

#### References

1. Tabunskykov Y., Brodach M.: Mathematical modeling and thermal optimization of the effectiveness buildings., Avok. Moskow. (2002)
2. Perepeka V., Zhikharieva N.: The calculations of air conditioning and ventilation. TEC. Odessa. (2014)
3. Zhykharieva N., Khmelniuk M.: Thermoeconomic Model of Air Conditioning System. Energy Engineering and Control Systems, 5(2), 66-74. (2019)

**УДК 697.94:621.565**

## **СИСТЕМА ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМОБІЛІВ**

Гудз О. А., бакалавр ОНТУ

Нами розглянута система кондиціонування повітря мається на увазі створення та автоматичне підтримування необхідних кондицій повітряного середовища у приміщенні чи споруді. У загальному випадку поняття кондиція повітря включає наступні його параметри: температуру, вологість, швидкість руху, чистоту, вміст запахів, тиск, газовий склад та іонний склад. Залежно від призначення об'єкта, що обслуговується, вибирають необхідні кондиції повітряного середовища, найбільш важливі для конкретних умов застосування. Як правило,

для звичайних об'єктів промислового та цивільного будівництва необхідні кондиції повітряного середовища обмежуються лише частиною перелічених параметрів.

Кондиціювання повітря забезпечується застосуванням спеціальних систем. Під терміном системи кондиціонування повітря (СКП) мається на увазі комплекс пристроїв, призначених для створення та автоматичної підтримки в приміщеннях, що обслуговуються заданих величин параметрів повітряного середовища. Зазначений комплекс може включати наступні шість складових частин: 1) установку кондиціонування повітря (УКХ), що забезпечує необхідні кондиції повітряного середовища за тепловологовими якість, чистотою, газовим складом і наявності запахів; 2) засоби автоматичного регулювання та контролю за приготуванням повітря необхідних кондицій в УКХ, а також підтримки в приміщенні, що обслуговується, або спорудженні сталості заданих величин параметрів повітря; 3) пристроїв для транспортування та розподілу кондиціонованого повітря; 4) пристроїв для транспортування та видалення надлишків внутрішнього повітря; 5) пристроїв для глушіння шуму, що викликається роботою елементів ВКВ; 6) пристрої для приготування та транспортування джерел енергії (електричного струму, холодного та теплого середовищ), необхідних для роботи апаратів у ВКВ. Залежно від конкретних умов деякі складові частини ВКВ можуть бути відсутніми.

Класифікацію СКП можна провести за такими п'ятьма ознаками: призначенням, характером зв'язку з приміщенням, що обслуговується, способом постачання холодом, схемою обробки повітря в УКХ і величиною тиску, що розвивається вентиляторами.

За призначенням ВКВ можна поділити на три види: технологічні, технологічно-комфортні та комфортні.

Автомобільні СКП є комфортними, вони мають забезпечити найсприятливіші умови для водія. Працездатність та самопочуття людини значною мірою визначаються тепловим балансом його організму та найбільш оптимальні в умовах навколишнього повітряного середовища на рівні теплового комфорту.

Ми вважаємо, що система кондиціонування автомобіля дуже необхідна, і особливо в авто експлуатованих в країнах «вічного» літа. застосовується у зв'язку з тим, що вони мають велику металоемність, вимагають великих потужностей на привід компонентів, мають невеликий ККД.

Останнім часом людство починає замислюватися про світ у якому воно живе і щоб не втратити його залишки починає вживати заходів щодо усунення фреонових та інших систем, що руйнують озоновий шар.

УДК 697.94:621.565

## **ТЕХНОЛОГІЧНЕ КОНДИЦІОНУВАННЯ В ВІНОСХОВИЩАХ**

**Ходаков М.О. бакалавр ННІХКтаЕ ОНТУ , Одеса**

Кондиціювання повітря у виносховищах відіграє важливу роль для досягнення та підтримки умов, що сприяють оптимальному зберіганню та дозріванню вина. Нижче наведено основні аспекти та особливості такого кондиціонування:

1. Підтримка стабільної температури

Один із головних факторів, що впливають на якість вина – це температура.

Температура, що постійно підтримується, допомагає уникнути передчасного старіння або деградації продукту. Системи кондиціонування розроблені для запобігання різким коливанням температури, що особливо важливо для вина. Температура для більшості випадків (сухі столові вина) повинна становити  $15 \pm 2$  °C. Це особливо важливо для білих вин.

## 2. Контроль рівня вологості

Волога робить значний вплив на процеси старіння та збереження вина. Оптимальний рівень вологості запобігає пересиханню пробок і дозволяє мінімізувати ризик розвитку цвілі. Кондиціонери у сховищах оснащуються системами зволоження або осушення повітря для досягнення потрібних показників. Оптимальний показник: 60-80%.

## 3. Забезпечення якісної циркуляції повітря

Рівномірний розподіл температур та вологості у просторі сховища досягається за рахунок продуманого розподілу повітряних потоків. Це дозволяє уникати локальних перегрівів чи переохолоджень та забезпечує однорідність мікроклімату.

Але бувають випадки коли треба забезпечити інші умови зберігання. Для вин, які мають сахара у складі, потрібна низька температура, близько 0 °C. Коли у вині процес бродіння зупинено холодом – залишаються деякі дріжджі, які знов почнуть процес бродіння, і будуть поглинати сахара.

Ігристі вина також потребують низьких температур зберігання, щоб уникнути підвищеного тиску всередині. Інакше вино буде втрачати ігристість та буде швидше старіти. А при сильному порушенні температурних режимів (+30 °C) може бути вибух.

На підприємствах з виготовлення вина потрібно відводити тепло з ємностей під час бродіння. Це особливо важливо для великих виноробних підприємств, де ємності великі, бродять великі об'єми вина, і, відповідно площа контакту з повітрям відносно мала. На виноробнях стоїть багато таких ємностей, тому для їх охолодження звичайним шляхом, за допомогою хладону, потрібну дуже багато холодоагенту. Тому деякі підприємства використовують схему з проміжним теплоносієм (водою). Така схема працює наступним чином: холодильна машина працює і виробляє холод. Випарник – це теплообмінник між водою та хладоном. Там же стоїть насос, який створює тиск, для того щоб вода бігла по контуру. І охолоджена вода під тиском прямує до резервуарів, де вона забирає тепло, що утворюється при бродінні. Температура бродіння не повинна перевищувати 16-18 °C для білих вин, та 28 °C для червоних.

Для виносховищ може бути встановлено звичайні кондиціонери, такі ж самі, як встановлюють у житлових будинках. Але такі кондиціонери зазвичай мають недолік, що вони не регулюють рівень вологості повітря, тому цю проблему треба вирішувати встановленням додаткового фільтра-осушувача. Вони можуть працювати як на охолодження, так і на обігрів. Вони обігрівають приміщення за принципом теплового насосу: забирають тепло ззовні, з вулиці, та подають його до приміщення. Випарник та конденсатор просто міняються місцями, і холодоагент тече у зворотному напрямку.

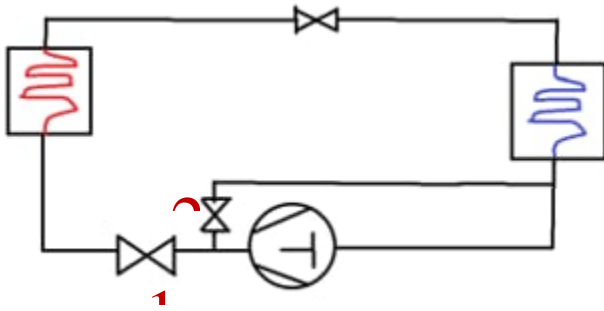


Рис1 Кондиціонер вино сховища

Це можливо завдяки трубці, що з'єднує нагнітання компресора та вихід випарника. У режимі охолодження вентиль 1 відкрито, а вентиль 2 закрито. У режимі обігріву навпаки.

Кондиціонування повітря у виносховищах відіграє важливу роль для досягнення та підтримки умов, та кожне вино сховище має свої особливості що сприяють оптимальному зберіганню та дозріванню вина.

*Науковий керівник: Жихарева Н.В., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНТУ*

УДК 697.94:621.565

## **ОПТИМІЗАЦІЯ КРАПЛИН ДЛЯ ТЕПЛООБМІННИКІВ ЕЖЕКТОРНОГО ТИПУ**

**Бушманов В.М. інженер  
Одеській національний технологічний університет, Одеса**

Краплини є важливими елементами в ежекторних теплообмінниках, які забезпечують ефективний перенос тепла в процесі теплообміну. В рамках цього дослідження були проведені експериментальні та числові дослідження краплин в ежекторному теплообміннику з метою оптимізації їхньої структури та забезпечення максимальної ефективності теплообміну.

Відповідно до літератури форма краплі є складною функцією її швидкості діаметра та таких характеристик як щільність та поверхневий натяг. Зазвичай усі ці параметри поєднують в одній безрозмірній величині Число Вебера. Провівши за допомогою програми анеметра вимірювання, ми отримали зразкову зміну швидкостей потоку в пристрої. Відповідно до даних про швидкості потоку та швидкості крапель у ньому отримали значення Відносної швидкості крапель, і на підставі цього параметра зробили розрахунок числа вебера для декількох зрізів пристрою Для кожного з них було проведено розрахунок зміни форми та площі крапель.

За допомогою розробленої моделі було проведено оптимізацію структури краплин з метою зниження температурних градієнтів та підвищення ефективності теплообміну. Були розглянуті різні параметри краплин, такі як їхні розміри та форма, а також вплив різних фізичних параметрів, таких як в'язкість та поверхневий натяг.

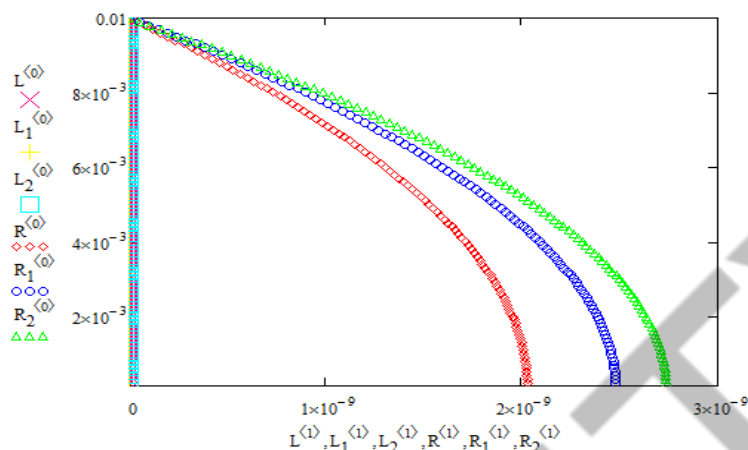


Рис 1. Порівняння швидкостей випаровування крапель розраховане за складеною моделлю та за формулою Максвелла

Отримані результати показали, що оптимізовані краплини можуть підвищити ефективність теплообміну в ежекторних теплообмінниках, що робить їх більш ефективними та економічними для використання в промислових та комерційних застосуваннях.

Узагальнюючи, моделювання та оптимізація краплин для теплообмінників ежекторного типу є важливим напрямом досліджень, що дозволяє покращити ефективність теплообміну та знизити енерговитрати на цей процес. Використання оптимальної геометрії краплин, їх розміру та розподілу може забезпечити покращення теплообміну та збільшення продуктивності теплообмінника. Дані методи можуть бути застосовані в різних галузях промисловості, де вимоги до ефективності теплообміну є високими, таких як електрогенеруюча, нафтогазова та хімічна промисловість.

#### **Інформаційні джерела:**

1. Kogut V. E. Application heat exchange ejector for condensation of vapors of hydrocarbons // V. E. Kogut, M. G. Khmelniuk / Scientific journal "Bulletin of the Almaty Technological University", February 27, 2014, Almaty, Kazakhstan
2. Butovskyi, V. Kogut, V. Bushmanov, M. Khmelniuk The device for supplying liquid refrigerant in the ejector heat exchanger [Article] / Scientific enquiry in the contemporary world: Theoretical Basics and Innovative Approach, 7th edition — San Francisco, California, USA, 2016
3. Butovskyi I., Kogut V., Zhikhareva N., Khmelniuk M. Anticipated economic return from application of the ejector heat exchanger for light fraction hydrocarbon condensation on the petroleum storage depot [Article] / Butovskyi I., Kogut V., Zhikhareva N., Khmelniuk M. // Refrigeration engineering and technology — Odessa, 2016 Vol. 52, Issue 3 — O., 2016

УДК 697.94:621.565

## **ЕКСЕРГЕТИЧНА ВАРТІСТЬ ХОЛОДУ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ**

**Носенко О.М. інженер, Жихарева Н.В., доц.ОНТУ**

На даний час проблеми енергоресурсозбереження, що виникають при експлуатації холодильних установок в системах кондиціонування повітря з енергетичною кризою в Україні і у світі. Наукові дослідження і розробки спрямовані на зниження енерговитрат і збільшення ефективності існуючих і знову проєктованих установок.

Науково-обґрунтований аналіз всієї послідовності енергетичних перетворень у промисловості, сільському господарстві, транспорті і в побуті є важливим чинником для успішного проведення активної енергозберігаючої політики. Базою для такого аналізу служить, перш за все, сучасна термодинаміка. З кінця 50-их років минулого століття в технічній термодинаміці міцно закріпилося поняття ексергії. З його допомогою можна вирішувати широке коло задач як технічного, так і техніко-економічного характеру. Розкриттю сутності ексергії для аналізу різних технічних систем присвячені роботи Ф. Бошнякович, Г. Кінана, А. Грассмана, Я. Шаргута. Особливо слід відзначити величезний внесок професора Московського енергетичного інституту В.М. Бродянского, який істотно розширив діапазон досліджень в цій області і позначив перспективи розвитку ексергетичного методу термодинамічного аналізу на десятиліття вперед. Саме завдяки зусиллям В.М. Бродянского, метод науково оформився і став потужною теоретичною базою для створення інженерних систем. Об'єктами методу є системи перетворення речовини і енергії. На важливість застосування ексергії для аналізу і оптимізації енергоперетворюючих систем вказували в своїх роботах видатні вчені, такі як: В.С. Мартиновський, Л.З. Мельцер, А.І. Андрющенко, Г.Н. Костенко. Зокрема саме В.С. Мартиновський був одним з перших, хто в своїх роботах наголошував на необхідності ув'язки різних видів витрат з термодинамічними параметрами.

Сучасний підхід до визначення ціни цільового продукту системи заснований на використанні апарату термoeкономіки. Термoeкономіка розглядає потоки ексергії як носії вартості, а ціну кінцевого продукту пов'язує з кожним етапом перетворення ексергії. Її практичне значення полягає в тому, що вона дозволяє оцінити грошові витрати, пов'язані зі споживанням енергії і термодинамічної необоротністю процесів в реальних циклах термотрансформаторов, а також виявити шляхи більш ефективного використання та збереження первинної енергії. При виборі нетрадиційного способу виробництва теплової енергії на основі теплонасосних установок видається важливою завдання визначення вартості тепла з урахуванням їх термодинамічної досконалості, оскільки саме від вартості виробленого тепла ТНУ залежать масштаби їх впровадження в Україні.

Термoeкономічні моделі можна поділити на два типи. Перший тип – це моделі, в основі яких лежить фізична структура установки (топология схеми).

Основним їх обмеженням є складність врахування впливу на вартість цільового продукту установки дисипативного елемента. У таких моделях дисипативний елемент

фактично випадає з розгляду і практично не бере участь в процесі формування вартості всієї установки, або його вплив спрощено.

Другий тип термoeкономiческих моделей заснований на представленні топології схеми установки у вигляді виробничої структури (функціональної схеми). Функціональна схема графічно відображає напрямок розподілу ексергетичної потоків в установці при виробництві цільового продукту. Її основне перевага полягає в тому, що вона чітко показує взаємозв'язку між потоками ексергії в установці і дозволяє простежити, як «продукт» однієї підсистеми розподіляється в якості вхідних даних інших підсистем або ж як кінцевий «продукт» установки. На функціональній схемі показується В.А. Тарасовою, Харлампіді Д.Х. як фактичне обладнання, в якому відбувається обмін речовиною, так фіктивні елементи, через які проходять штучні (фіктивні) потоки. Фіктивні потоки дозволяють розглядати енергетичні взаємодії між елементами тільки в термомеханических межах (зміни термічної і механічної складових ексергії). Функціональна схема дає, в деякому сенсі, інтуїтивне уявлення про зв'язки між елементами системи. Від того, як виробляється декомпозиція ексергетичної потоків на функціональній схемі, залежать результати термoeкономичного аналізу. Чим глибше концептуальне розукрупнення системи на компоненти і потоки, тим точніше описується процес формування ексергетичної вартості цільового продукту.

Недолік всіх суб'єктивних підходів до розподілу витрат полягає в можливості двозначно оцінити цільовий продукт конденсатора.

У зв'язку з необхідністю розгляду роботи системи в широкому діапазоні зміни температур охолоджуючих та навколишніх середовищ, визначення оптимального режиму роботи може бути вироблено на базі математичного моделювання процесів, які протікають в холодильній установці. Для коректного вирішення поставленого завдання математична модель повинна включати рівняння, що враховують взаємний вплив незалежних змінних, в якості яких розглядаємо обрані перепади температур в теплообмінних апаратах, а також величина переохолодження холодильного агента перед ТРВ. До різних елементів холодильної машини або установки підводиться енергія. При цьому робота і теплота розглядаються як різні форми передачі енергії. Слід врахувати, що теплота в теплообмінних апаратах і акумуляторі природного холоду підводиться при різних температурних потенціалах. Тому необхідно вибрати єдину міру оцінки особистих форм передачі енергії. В якості такої величини може бути обрана ексергія. У зв'язку з втратами в окремих елементах холодильної установки, для отримання корисного ефекту може бути використана тільки частина підведеної ексергії. Крім того, окремі холодильної установки і вся система в цілому характеризуються певною величиною капітальних витрат. Це призводить до необхідності сумісного врахування впливу економічних і енергетичних показників. Таке завдання може бути вирішена застосуванням методів термoeкономического аналізу

В теперішній час ексергетичний метод широко використовується для визначення термодинамічної досконалості процесів, що протікають в різних енергетичних установках. Застосування ексергетичного аналізу дозволяє вибрати енергетично ефективну систему організації роботи судової холодильної установки шляхом техніко - термодинамічного порівняння різних варіантів з подальшою оптимізацією режиму роботи - оцінка ефективності агрегатів (тепломасообмінних апаратів, компресора,

насосів, вентилятора, парового зволожувача) на основі визначення ексергетичного к.к.д. На основі відомих параметрів розроблена термодинамічна модель

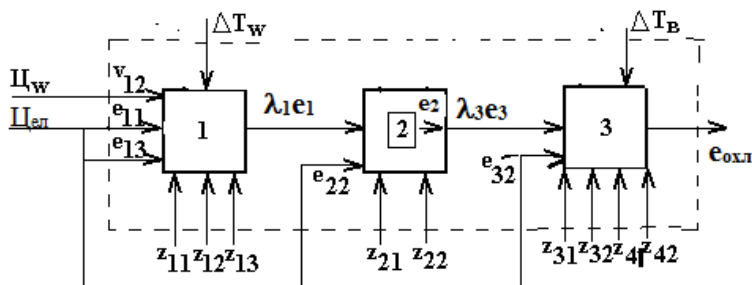


Рис. 4.2. Термoeкономічна модель одноступеневої холодильної установки

При використанні термoeкономічного методу аналізуються зміни, що відбуваються з основним потоком ексергії. При цьому розглядаються затрати ексергії, що виникають при перетворенні енергії в елементах установки, а також економічні витрати, пов'язані із створенням і експлуатацією відповідних елементів установки. Витрати ексергії приводять до відповідних економічних витрат, тому ціна одиниці ексергії зростає при переміщенні потоку ексергії від точки введення до здобуття кінцевого ефекту. Для оптимізації системи потрібно знайти умови, що забезпечують мінімальну ціну одиниці ексергетичної продуктивності.

Для вирішення цього завдання розроблена математична модель даної установки, побудована з врахуванням вимог термoeкономіки і адекватна реальній технологічній схемі холодильної установки

Розглянуто оптимізацію процесів охолодження, яка зводиться до визначення мінімального значення приведених витрат (з урахуванням зволожуючого обладнання) за рік на вміст і роботу установки:

$$ПВ = [ Цел \cdot (e_{11} + e_{13} + e_{32} + e_{22} + e_{42}) + Ц_w \cdot v_{12} + z_{11} + z_{12} + z_{13} + z_{21} + z_{22} + z_{31} + z_{32} + z_{41} + z_{42} ] \cdot \tau_r$$

де  $Цел$  – ціна 1 кВт години електроенергії;  $Ц_w$  – ціна 1 м<sup>3</sup> води;  $V_{12}$  – щосекундна витрата води в конденсаторі 12;  $e_{11}$  – ексергія електродвигуна компресора 11;  $e_{13}$  – ексергія електродвигуна водяного насоса 13 (оскільки електроенергія теоретично повністю може бути перетворена в корисну роботу, ексергія електродвигуна за 1 сек збігається зі споживаною їм потужністю);  $e_{22}$  – ексергія електродвигуна вентилятора 22;  $e_{32}$  – електро-двигуна вентилятора повітроохолоджувача;  $e_{42}$  – ексергія електродвигуна насоса зволожувача  $z_{11}, z_{12}, z_{13}, z_{31}, z_{32}, z_{41}, z_{42}$ , – нормативні відрахування від вартості й витрати на ремонт і експлуатацію компресора 11, конденсатора 12, водяного насоса 13, охолоджувача 31, вентилятора 32, парового зволожувача 41, насоса з електродвигуном для зволожувача 42 відповідно  $\tau_r$  – число робочих годин у рік.

В результаті аналізу різних схем на підставі побудованих на d-h – діаграми процесів вирішується питання вибору принципової схеми обробки повітря

**Висновок;** Провевши аналіз термoeкономiчних моделей для використовуваних для опису процесу формування з застосуванням нестационарних навантажень розроблена термoeкономiчна модель формування ексергетичної вартості холоду систем кондиціонування повітря

**Інформаційні джерела:**

1. Жихарева, Н. В. Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестационарних умовах [Електронний ресурс] : монографія / Н. В. Жихарева ; Одес. нац. технол. ун-т, Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ТЕС, 2022. — 264 с.
2. Zhykharieva. N., Khmelniuk M. Thermo-economic approach to optimize air conditioning systems. // (2017) Refrigeration Science and Technology, 2017-September, pp. 258-264. ISSN: 01511637, ISBN: 9782362150241.
3. Kogut V. Bushmanov V., Zhikhareva N. The filter on the basis of the ejector of the heat exchanger for purification of harmful substances from flue gases using heat exchanger as combustion gas filter // AIP Conference Proceedings 2285, 030087 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0026819> pp 0030081-030087

УДК 621.5/620.9/004.8

## AI-DRIVEN ROBOTICS FOR COLD CHAIN OPTIMIZATION

Volodymyr Kushnir, PhD student (*Odesa National University of Technology, Odesa*)  
Olga Yakovleva, Associate Professor (*Odesa National University of Technology, Odesa*)

In the face of rising energy costs, labour shortages, and stringent regulatory demands, the Cold Chain logistics sector is increasingly turning to artificial intelligence (AI) [1] and robotics for smarter, more sustainable operations. This paper presents a study from a leading frozen food distribution centre in Ukraine that can successfully deploy AI-driven Geek+ P-series autonomous mobile robots (AMRs) in a warehouse operating at  $-25^{\circ}\text{C}$ . The integration focused on optimizing storage and retrieval processes, reducing energy consumption, and enhancing cold chain integrity.

Through real-time machine learning algorithms, the system dynamically adjusted robot routes, inventory placement, and energy usage strategies. Key performance indicators demonstrated significant improvements: order processing time decreased by 35%, energy consumption dropped by 22%, and labour costs were reduced by 70%. Furthermore, the facility achieved superior cold chain compliance with a 75% reduction in temperature fluctuation, validating the effectiveness of AI in high-stakes, low-temperature logistics environments.

This case study not only showcases the transformative potential of AI and robotics in cold storage but also offers a scalable blueprint for next-generation cold chain infrastructure. The following sections will explore the AI algorithms used, the robotic architecture, system integration challenges, and future opportunities such as vision-based quality control and deep reinforcement learning for continuous optimization.

**Table 1. Results and Impact**

Metric	Before AI Integration	After AI & Geek+ P Robot Deployment	Improvement (%)
Order Processing Time	6 hours per batch	3.9 hours per batch	35% faster
Temperature Fluctuations	$\pm 4^{\circ}\text{C}$	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	75% more stable
Labor Costs	High (20 operators)	Reduced (6 operators)	70% savings
Inventory Accuracy	85%	99%	16% increase
Energy Consumption	1,500 kWh/day	1,170 kWh/day	22% reduction

A leading frozen food distribution centre in Ukraine integrated AI-driven automation with Geek+ P robots to enhance operational efficiency, reduce energy consumption, and maintain strict cold chain compliance. The project focused on optimizing storage and retrieval processes in a warehouse operating at  $-25^{\circ}\text{C}$ .

**Table 2. Summary of Key Metrics**

Performance Metric	Improvement
Material retrieval time	↓ 35%
Robot downtime	↓ 40%
Inventory waste (spoilage)	↓ 28%
Energy costs (charging optimization)	↓ 18%
Defrost energy waste	↓ 22%

Travel time per task	↓ 20%
Temperature stability in cold storage	↑ 75%

These results clearly demonstrate the transformative potential of AI and robotics in cold chain and inventory environments. The combined improvements in order speed, labour optimization, and temperature control indicate a successful shift toward an intelligent, energy-efficient logistics model. Notably, the enhanced inventory accuracy and reduced energy footprint contribute both to business performance and sustainability goals. Further research could explore deeper integration with digital twins, swarm robotics, and adaptive control systems, enabling predictive planning and resilience in supply chain logistics.

To incorporate uncertainties in cold storage optimization at RLC-Kvitneve, we can use stochastic models, robust optimization, and fuzzy logic models. Below are three models designed for different sources of uncertainty.

*Stochastic Optimization Model for Energy Consumption (SOME-COLD)*. Objective: Minimize energy consumption while accounting for unpredictable temperature fluctuations and varying demand.

Mathematical Formulation. Let:  $E$  - total energy consumption (kWh/day);  $T$  - internal temperature (stochastic variable);  $D$  - product demand (stochastic variable);  $P$  - power usage per refrigeration cycle (kW);  $N_c$  - number of refrigeration cycles per day

$$E = \sum_{i=1}^{N_c} P_i \times \Delta t_i + \varepsilon \quad (1)$$

where:  $\Delta t_i$  - duration of refrigeration cycle  $i$ ;  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$  - stochastic error representing uncertainties in power consumption due to external temperature fluctuations.

In order to perform Uncertainty Handling, Monte Carlo Simulation can be used to estimate expected energy consumption under different temperature profiles as well as Robust Scheduling of refrigeration cycles to minimize peak loads.

*Robust Path Optimization Model for Warehouse Robots (ROBO-COLD)*. Objective: Minimize the travel time of Geek+ P robots considering real-time congestion, dynamic obstacles, and variable loading times.

Mathematical Formulation. Let:  $T_r$  - robot travel time (seconds);  $v$  - robot speed (m/s);  $d$  - total distance traveled (m);  $\omega$  - congestion factor (uncertain, dynamic);  $L$  = loading/unloading delay (stochastic variable)

$$T_r = \frac{d}{v} + \omega + L + \xi \quad (2)$$

where:  $\xi \sim U(-\alpha, \alpha)$  uniformly distributed uncertainty in obstacle appearance.

To perform Uncertainty Handling the Dynamic Path Replanning can be used where AI updates routes in real-time based on warehouse conditions. Also, Game Theory-Based Multi-Robot Coordination that avoids congestion when multiple robots operate in the same area.

*Fuzzy Logic-Based Inventory Control Model (FUZZY-COLD)*. Objective: Optimize storage allocation while accounting for uncertain demand and shelf-life constraints.

Mathematical Formulation. Let:  $I_t$  - inventory level at time  $t$ ;  $D_t$  - demand at time  $t$  (fuzzy variable);  $S_t$  - storage capacity at time  $t$ ;  $X_t$  - new incoming stock at time  $t$

$$I_{t+1} = I_t + X_t - D_t \quad (3)$$

where:  $D_t$  - follows a *fuzzy triangular distribution*:  $D_t \sim \text{Triangular}(\text{Min}, \text{Most Likely}, \text{Max})$

To perform Uncertainty Handling we use Fuzzy Logic Rules: If demand is high, prioritize front-zone storage; If stock is aging, prioritize first-out retrieval. Also, Neural Network Forecasting. AI adjusts demand estimates based on historical data.

**Table 3. Summary Table of Models & Their Uncertainty Handling**

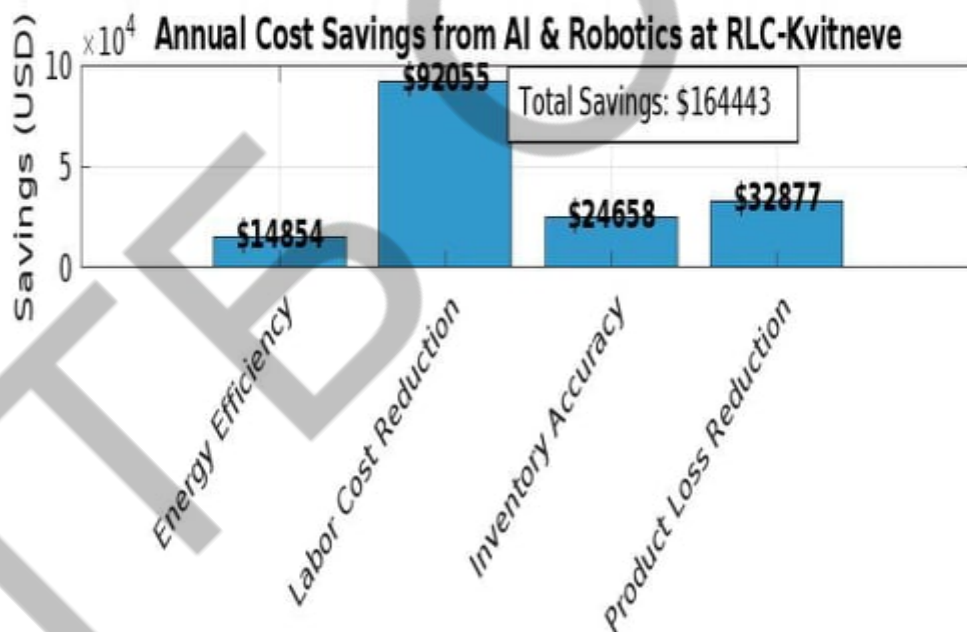
Model Name	Uncertainty Considered	Mathematical Approach	Solution Method
SOME-COLD	Temperature fluctuations, energy usage	Stochastic dynamic programming	Monte Carlo simulation
ROBO-COLD	Robot congestion, obstacle interference	Robust optimization	Real-time AI path planning
FUZZY-COLD	Demand fluctuations, shelf-life constraints	Fuzzy logic and AI	Neural network-based forecasting

The proposed models help optimize energy usage, robot navigation, and inventory management under uncertainty at RLC-Kvitneve.

We will apply the SOME-COLD (Energy), ROBO-COLD (Robotics), and FUZZY-COLD (Inventory) models to calculate the expected impact of AI and robotics on the frozen food distribution center.

The integration of AI-driven systems and autonomous Geek+ P robots in the cold storage facility at RLC-Kvitneve has led to measurable improvements in operational efficiency and financial performance. A comprehensive cost-saving analysis was conducted using realistic assumptions based on industry standards and Ukrainian market conditions.

Software package used is MATLAB. Fig.1 presents annual cost savings.



**Fig.1 Saving from offered proposal AI-Driven Robotics for Cold Chain Optimization**

The integration of AI and Geek+ P robotics at RLC-Kvitneve can be resulted in significant operational cost savings, totalling approximately 6 million UAH (~\$164,000 USD) annually. These savings are driven primarily by reduced labour costs (over 3.3 million UAH), enhanced energy efficiency (542,175 UAH), improved inventory accuracy (900,000 UAH), and minimized product loss due to better temperature control (1.2 million UAH). The system not only improves performance and safety but also reduces errors and spoilage, offering a rapid return on investment within 2–3 years, making it a compelling model for modern cold storage optimization in Ukraine.

The integration of AI with Geek+ P robots at RLC-Kvitneve can optimize warehouse operations, reduce energy consumption, and improve cold chain compliance. With AI-driven routing, predictive maintenance, inventory automation, and energy management, the facility saw significant performance improvements while maintaining strict food safety standards. The integration not only improves key performance metrics (energy use, labour efficiency, and inventory reliability) but also significantly reduces operational costs, setting a strong precedent for modernizing cold chain logistics in Ukraine and beyond.

#### References

[1] Fischer, G. (2024, December 13). Cold storage and the frozen food boom: Meeting demand through innovation and sustainable practices. Food Logistics. <https://www.foodlogistics.com/warehousing/cold-storage/article/22927605/e2open-llc-cold-storage-and-the-frozen-food-boom-meeting-demand-through-innovation-and-sustainable-practices>

УДК 621.5/620.9

## **DESIGN AND EVALUATION OF A HEAT RECOVERY-INTEGRATED REFRIGERATION SYSTEM FOR RESTAURANT APPLICATIONS USING ALTERNATIVE LOW-GWP REFRIGERANTS**

Volodymyr Shemiakin, PhD student (*Odesa National University of Technology, Odesa*)  
Olga Yakovleva, Associate Professor (*Odesa National University of Technology, Odesa*)

The foodservice industry relies heavily on refrigeration systems to ensure food safety, quality, and compliance with health standards. However, these systems are often energy-intensive, contributing significantly to operational costs and environmental impact. In restaurant applications, where simultaneous demands for cooling and hot water exist, the opportunity to recover and repurpose waste heat [1] from refrigeration processes offers a compelling strategy for improving overall energy efficiency.

This paper presents the design, implementation, and evaluation of a 12 kW dual-compressor commercial refrigeration system with integrated heat recovery, tailored for restaurant use. The system addresses key challenges in commercial refrigeration by enhancing performance reliability, reducing energy consumption, and lowering greenhouse gas emissions through the reuse of rejected heat for domestic hot water or space heating. Traditional systems using high-GWP refrigerants such as R404A not only consume large amounts of electricity but also lack the adaptability required for sustainable operations. This study explores the transition to more environmentally conscious refrigerants (e.g., R448A), advanced compressor configurations, and the integration of a brazed plate heat exchanger to recover thermal energy from the condenser circuit.

The technical solution is supported by real-world dynamic data, thermodynamic modelling, and a financial-environmental performance comparison with baseline systems. The paper also includes a process schematic, component-level specifications, and a practical implementation roadmap, making it a valuable reference for engineers, facility managers, and sustainability practitioners in the foodservice and refrigeration sectors. Commercial refrigeration systems, particularly in restaurant environments, are among the highest energy-consuming installations due to their continuous operation and high thermal load demands. These systems not only draw significant electrical power but also reject a considerable amount of low-grade heat into the surrounding environment, which typically goes unused. This inefficiency results in elevated operational costs and increased environmental burden, particularly when using traditional high-GWP refrigerants such as R404A.

Moreover, restaurants often require substantial quantities of hot water for cleaning, cooking, and sanitation—needs that are typically met by separate water heating systems powered by electricity or gas. This creates a dual energy demand: one for refrigeration and another for heating, often with overlapping load

profiles. Despite the technical feasibility of heat recovery, most commercial refrigeration systems remain unoptimized in this regard. There is a lack of practical, scalable solutions that integrate heat reuse into compact, energy-efficient refrigeration configurations. Additionally, the reliability and redundancy of single-compressor systems can present risks to food safety in the event of equipment failure. This paper addresses these issues by proposing an integrated solution that combines: a dual-compressor refrigeration architecture for improved performance and redundancy, and a heat recovery system utilizing a brazed plate heat exchanger, designed to repurpose waste heat for hot water production, thereby improving total system efficiency.

The goal is to design and validate a system that not only meets the cooling and heating demands of a typical restaurant but also demonstrates economic viability and reduced environmental impact through system integration and refrigerant selection.

*Methodology.* The research methodology for the design and evaluation of the dual-compressor commercial refrigeration system with integrated heat recovery is structured into five key phases:

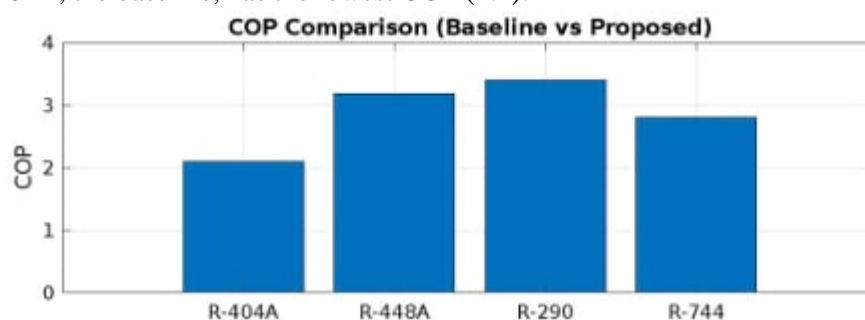
*System Requirements Analysis.* A detailed assessment of a typical restaurant environment was performed to define system requirements: Cooling demand was specified at 12 kW, divided between freezing and cooling chambers; Hot water demand was evaluated based on cleaning and sanitation needs, with a target to recover 7–8 kW of thermal energy from the refrigeration system. Operational profiles were established using dynamic real-world data, including load variability, ambient temperature fluctuations, and hot water usage patterns.

*Baseline System Design.* A conventional single-compressor system using R404A refrigerant was modeled as the baseline: thermodynamic cycles were simulated using manufacturer data and standard enthalpy-pressure charts; baseline COP, heat rejection rates, and annual energy consumption were calculated; emission estimates were based on Global Warming Potential (GWP) and refrigerant leak rates.

*Proposed System Configuration.* A new system was designed incorporating: Dual semi-hermetic reciprocating compressors (or scrolls) for stage control and redundancy; a brazed plate heat exchanger installed in the discharge line before the air-cooled condenser to recover waste heat; an intelligent control system with PLC-based staging, load balancing, and hot water temperature regulation; selection of low-GWP refrigerants (e.g., R-448A, R-290, or R-744 as a future option) to reduce environmental impact. Detailed component specifications and a system schematic were developed. The refrigeration cycle with heat recovery was thermodynamically modeled, and energy balances were calculated using the first and second laws of thermodynamics.

Comparative analyses were conducted between the baseline and proposed systems to evaluate: annual electricity consumption; heat recovery efficiency; greenhouse gas reductions; maintenance and reliability improvements. Key Tools and Resources Used is MATLAB generates comparative plots for the following parameters across the Baseline (R-404A) and three proposed refrigerants (R-448A, R-290, R-744): COP Comparison; Annual Energy Consumption; CO<sub>2</sub> Emissions; Heat Recovery Efficiency vs Ambient Temperature.

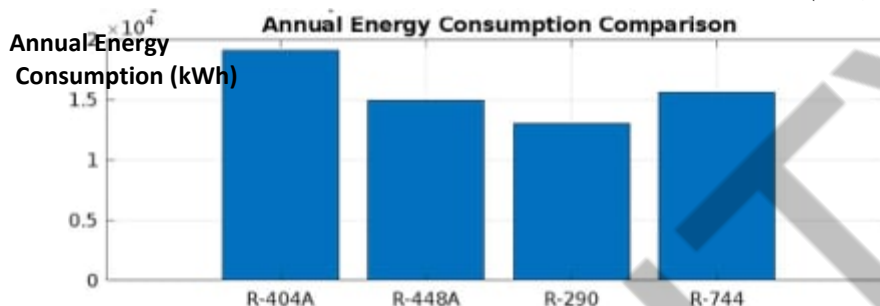
1. COP Comparison. *Observation:* R-290 exhibits the highest COP (3.4), followed by R-448A (3.19) and R-744 (2.8); R-404A, the baseline, has the lowest COP (2.1).



**Fig.1 COP comparison**

*Interpretation:* A higher COP means better energy efficiency—more cooling per unit of electricity; The alternatives outperform R-404A significantly, especially R-290, making them more cost-effective in the long term.

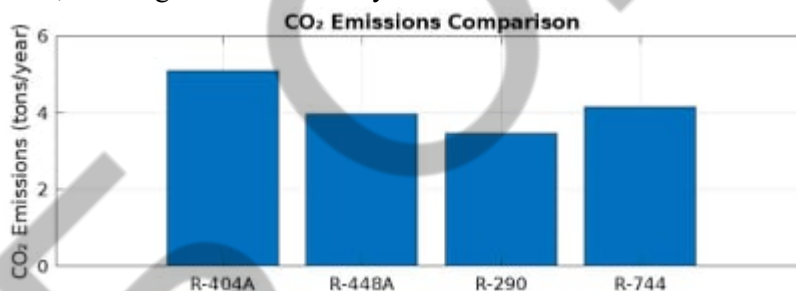
2. Annual Energy Consumption. *Observation:* R-290 shows the lowest annual energy use (~13,000 kWh); R-448A and R-744 consume more than R-290 but still much less than R-404A (~19,100 kWh).



**Fig.2. Annual Energy Consumption**

*Interpretation:* The reduction in energy use correlates with higher COP values; Energy savings range from ~18% to 32% depending on the refrigerant used compared to R-404A; Lower energy use means lower operating costs and a smaller carbon footprint.

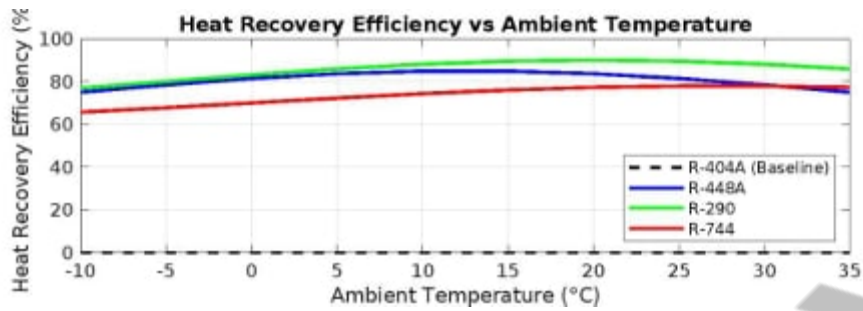
3. CO<sub>2</sub> Emissions Comparison. *Observation:* R-290 again leads with lowest emissions (~3.47 tons CO<sub>2</sub>/year); R-448A and R-744 show ~20–30% reductions in CO<sub>2</sub> emissions compared to the baseline; R-404A is the worst performer, emitting over 5 tons CO<sub>2</sub>/year.



**Fig.3. CO<sub>2</sub> Emissions**

*Interpretation:* R-290 outperforms others due to high COP and ultra-low GWP. Less electricity means fewer indirect emissions, and GWP of ~3 means almost no direct emissions. R-448A achieves solid improvement due to better COP than R-404A and lower GWP, making it a safe transitional solution. R-744, despite being "CO<sub>2</sub>", is recycled in a closed loop, so it doesn't contribute directly to emissions. However, its system can consume more power under high ambient temperatures, slightly increasing indirect emissions. R-404A is worst due to both high energy consumption (low COP) and very high GWP, leading to high direct + indirect emissions.

4. Heat Recovery Efficiency vs Ambient Temperature. *Observation:* R-404A shows no heat recovery, as it is not typically integrated in standard systems; R-448A, R-290, and R-744 all show effective heat recovery potential across a wide range of temperatures; R-290 peaks slightly higher than others (up to 90%), followed by R-448A (85%) and R-744 (80%).



**Fig.4. Heat Recovery**

*Interpretation:* Modern systems using R-290 and R-448A can integrate heat recovery more effectively, particularly in moderate climates; Recovered heat can be used for pre-heating water, space heating, or reducing overall energy consumption, increasing system efficiency.

The comparative analysis of R-404A and alternative refrigerants—R-448A, R-290 (propane), and R-744 (CO<sub>2</sub>)—demonstrates significant performance and environmental advantages of the proposed options. R-290 offers the highest COP and lowest energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, while R-744 provides an ultra-low GWP solution with moderate heat recovery potential. R-448A offers a strong balance between efficiency and safety, with improved environmental performance over R-404A. Integrating these refrigerants with heat recovery systems not only enhances energy efficiency but also contributes to substantial emission reductions, making them highly suitable for modern restaurant refrigeration applications.

#### References

[1] Department of climate change, Energy, the Environment and Water. (2025). *Refrigeration*. Gov.au. <https://www.energy.gov.au/business/equipment-guides/refrigeration>

## СЕКЦІЯ №2 – НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ХОЛОДИЛЬНІ І КРІОГЕННІ МАШИНИ

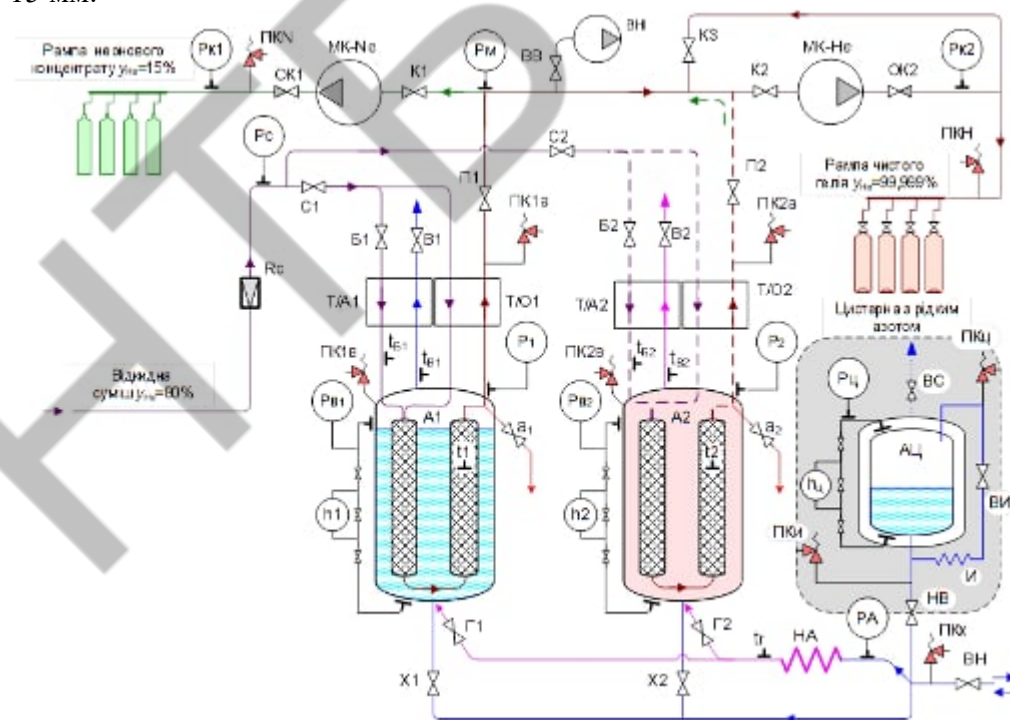
### АДСОРБЦІЙНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ГЕЛІЯ З ВІДКИДНОГО ПОТОКУ

Васильєв О.О., магістрант ОНТУ, м. Одеса

Система для переробки відкидного потоку складається з кріогенного блоку, позаблокового обладнання та приладів. До складу блоку входять два однотипні адсорбери А1 і А2. Кожен містить близько  $160 \text{ дм}^3$  сорбенту. Адсорбер включає 9 патронів діаметром  $100...160 \text{ мм}$  та загальною довжиною  $17,5 \text{ метрів}$ . Відносно невеликий поперечний розмір патронів сприяє ефективному відводу тепла, що виділяється при поглинанні неону. Для цієї ж мети є міжпатронні ділянки трубопроводів довжиною понад  $40 \text{ м}$ . Сумарна довжина каналу з сорбентом досягає  $35 \text{ м}$ . Таке рішення дозволяє до настання «проскоку» неону отримувати на виході гелій чистотою  $99,999\%$ . Адсорбери розміщені в азотних ваннах із нижньою подачею холодоагенту. Блок адсорберів є статичною системою і не потребує фундаменту. За межами кріогенного блоку розміщують азотну цистерну АЦ та нагрівач азоту НА. При відстані між вхідними штуцерами цистерни та блоку до  $8 \text{ м}$  рекомендується прокладання азотного трубопроводу  $D_y = 20...25 \text{ мм}$  у пінополіуретановій ізоляції товщиною стінки  $50...80 \text{ мм}$ .

Нагрівач азоту монтують не далі  $2 \text{ м}$  і ділянку вихідної магістралі забезпечують термостійкою ізоляцією з базальтової вати та зовнішнього шару скловолокнистої тканини полотняного переплетення марки Т-10 – Т-14.

Вакуумний насос ВН встановлюють на відстані від вентиля ВР до двох метрів. Ділянки трубопроводу, що зв'язує згаданий вентиль, та насос, прокладають вакуумним шлангом  $D_y = 15 \text{ мм}$ .



Для забезпечення циклу використовується відкидний потік із вмістом гелію близько 80%. Неонгелієва суміш подається з неонові установки, балонів або газових ISO-контейнерів. У редукторі  $R_c$  тиск потоку знижується до 2 МПа. У теплообмінниках Т/А1 і Т/О1 (Т/А2 і Т/О2) суміш охолоджується до 90 К і надходить у два послідовно розміщені блоки адсорберів.

Перед подачею в мембранний компресор МК-Не гелій нагрівається до 200...270 К в теплообмінниках Т/А1 та Т/О1 (Т/А2 та Т/О2). Подальше підвищення температури потоку відбувається у магістралі з допомогою теплообміну з навколишнім повітрям.

Після настання ознак «проскоку» Не подачу суміші припиняють і проводять закачування проміжних фракцій та неону, що сорбувався. Для підвищення температури адсорбера використовують гріючий азот, що подається в оболонки кріостатів. З метою максимальної утилізації неону його виводять з двох кінців кожного адсорбера, відкриваючи вентиль вакуумного колектора В1 (В2).

Наприкінці циклу регенерації скидають тиск з адсорберів в атмосферу через В1 та В2. Далі вакуумують порожнини адсорберів через Вв. Після досягнення заданого розрідження (0,1 тор) закривають групу вентилів В1, В2, Вв і заповнюють систему чистим гелієм.

У період охолодження подача гелієм зберігається, щоб запобігти падінню тиску в адсорберах нижче атмосферного рівня.

Проміжні фракції з вмістом неону до 30% також повертаються на повторну переробку. Незначна частка більш багаті суміші (від 30 до 70% Не) розбавляється основним потоком неону у процесі регенерації до отримання середньої концентрації Не 80...90%.

*Науковий керівник: Симоненко Ю.М., д.т.н., завідувач кафедри кріогенної техніки ОНТУ*

---

## **ЦИКЛ КАЛІНИ ДЛЯ ОДНОЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ І ХОЛОДУ**

**Опарівський Н.В., аспірант ОНТУ, м. Одеса**

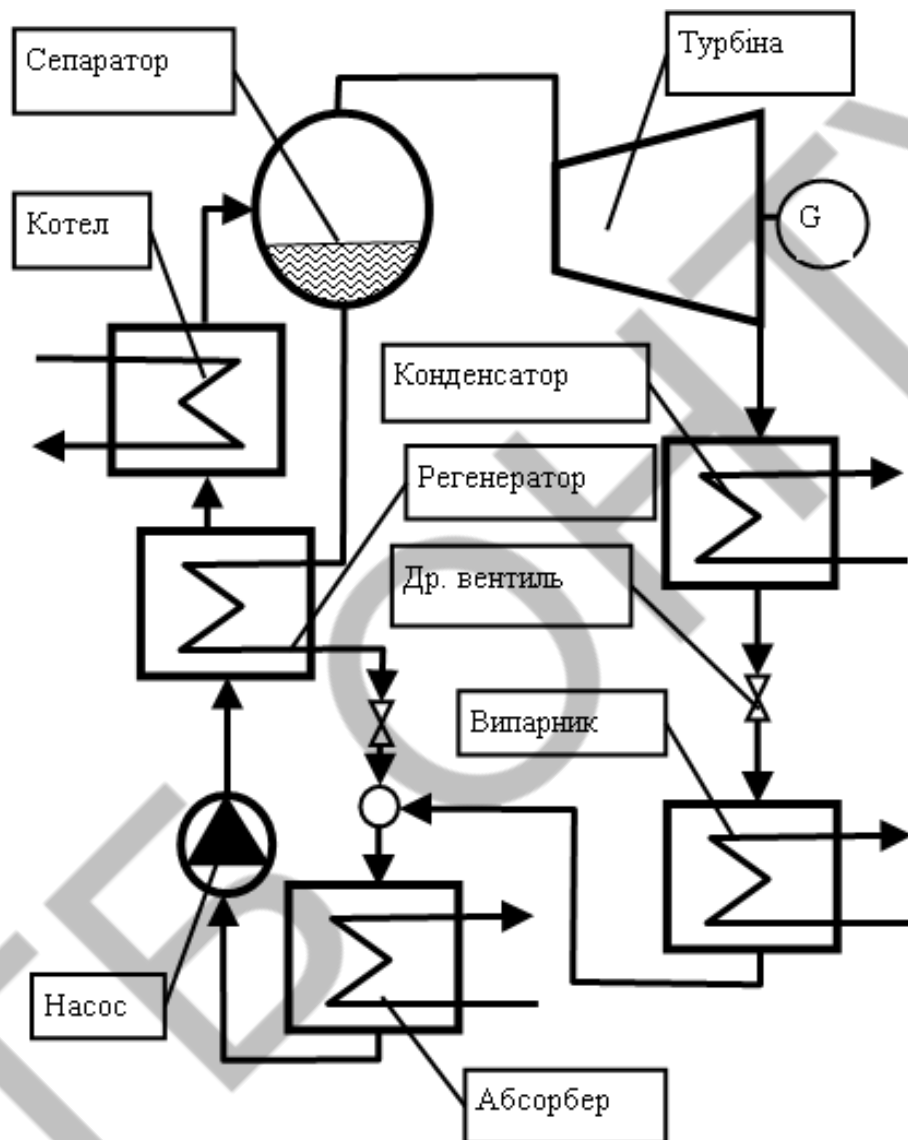
З моменту винаходу цикл Каліни вважається одним з найбільш ефективних для корисного використання скидного тепла. В даний час когенераційні цикли, які є модифікаціями циклу Каліни, привертають дедалі більшу увагу дослідників. Так, наприклад, в статтях описаний когенераційний цикл для отримання енергії і холоду, побудований на основі циклу Каліни. Запропонований цикл поєднує в собі як істотні ознаки циклу Каліни, так і особливості водоміачної абсорбційної холодильної установки.

Схема запропонованого циклу для спільного виробництва енергії і холоду наведена на рисунку.

Установка працює з використанням скидного низькотемпературного тепла. В її схему входять котел, сепаратор, конденсатор, випарник, абсорбер, насос і регенератор.

Робоче тіло, що представляє собою водоаміачний розчин, виходить з абсорбера у вигляді насиченої рідини з температурою 35 °С, тиском 3,23 бар і концентрацією аміаку 45%. Ця рідина стискається насосом до тиску 32 бар, яке є високим тиском в даній установці. Потім водоаміачна суміш нагрівається в регенераторі до 120 °С за рахунок тепла, що відбирається від рідини, яка виходить з сепаратора, і надходить в котел. В котлі відбувається

дистиляційне кипіння парорідинної суміші з використанням тепла, що відбирається від димових газів, які мають початкову температуру 180 °С. Частка пари в парорідинній суміші, що виходить з котла, при кипінні зростає до 69%, а температура киплячої суміші піднімається до 165 °С.



*Рисунок – Схема когенераційної установки для виробництва енергії і холоду, побудована на основі циклу Каліни*

Ця суміш потрапляє в сепаратор фаз, де розділяється на насичену пару, що складається на 82% з аміаку, і насичену рідину з концентрацією аміаку 18%. Пара з сепаратора надходить в турбіну, де розширюється до проміжного тиску 10,9 бар і виробляє енергію. При такому тиску і температурі 120 °С в турбіні утворюється насичена пара, що конденсується в конденсаторі, з якого виходить насичена рідина при температурі 35 °С. Ця рідина розширюється в дросельному вентилі до мінімального тиску (в даній системі – 3,23 бар). Утворена парорідинна суміш кипить у випарнику при температурі близькій до 0 °С, відбираючи тепло від об'єкта охолодження.

Рідина з сепаратора, охолоджена в регенераторі до температури 41 °С, дроселюється до тиску 3,23 бар і змішується з парорідинною сумішшю, що виходить з випарника. Далі

утворена суміш надходить в абсорбер, де відбувається абсорбція насиченої аміаком пари слабким водоаміачним розчином. Процес абсорбції аміачної пари водним розчином супроводжується виділенням тепла, яке відводиться з абсорбера охолоджуючою його водою. Утворений в абсорбері насичений водоаміачний розчин з концентрацією аміаку 45%, температурою 35 °С і тиском 3,23 бар подається на стиск в насос, після чого цикл повторюється.

Згідно з нашими розрахунками, в порівнянні з вихідним циклом Каліни, в запропонованому циклі можна досягти більш високої енергоефективності, а саме – майже 60%.

*Науковий керівник: Грудка Б.Г., к.т.н., доцент  
кафедри кріогенної техніки ОНТУ*

---

## **ГРАФІЧНИЙ МЕТОД ЕКСЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ АБСОРБЦІЙНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ**

**Куколев А.К., аспірант ОНТУ, м. Одеса**

Вимоги сучасного розвитку техніки диктують необхідність розробки та поновлення будь-яких технічних систем та обладнання. Промислова політика у галузі техніки включає науковий пошук нових технічних рішень, їхню практичну реалізацію, подальше вдосконалення,

У зв'язку з цим зміни зазнали уявлення про раціональні схеми і цикли машин, конструкції, параметри і характеристики обладнання, а разом з цим методи та прийоми проектування. Прикладом проектування, яким користувалися дослідники та інженери кількох поколінь, був аналіз необоротних процесів і циклів, проведений методом класичної термодинаміки.

Усебічний термодинамічний аналіз циклу дозволяє в більшості випадків досить повно з'ясувати переваги і недоліки розглянутого схемного рішення в порівнянні з вже існуючими і реалізованими на практиці. Але термодинамічний аналіз не завжди може дати остаточну оцінку вигідності пропозиції, але він завжди є початковою стадією будь-якого дослідження. Останній час відзначається появою різних циклів абсорбційних і гібридних термотрансформаторів. Отже, розвиток тієї частини термодинаміки, що аналізує цикли і встановлює критерії їх оцінки, є актуальним.

Термодинамічне дослідження циклів абсорбційних термотрансформаторів надзвичайно цікаве, тому що абсорбційний термотрансформатор є з'єднанням прямого і зворотного циклів. Отже, термодинамічна теорія водоаміачних абсорбційних машин буде справедливою для будь-яких термотрансформаторів, для будь-яких робочих речовин: одно- і багатокомпонентних (як сумішей, так і пар «агент-абсорбент»).

Термодинамічне моделювання можливо проводити як методами класичної, так і прикладної термодинаміки. При цьому не тільки визначають енергетичну ефективність системи, але і складають уявлення про ряд інженерно-економічних факторів, наприклад, таких як маса теплообмінних апаратів і їхня вартість, якість матеріалів і їхня вартість, габарити і ергономічні показники, технологічність у виробництві елементів і системи в цілому. Нові методи термодинамічного аналізу дозволяють проектувати технічні системи з урахуванням енергозбереження при задоволенні економічних та соціальних умов споживача

Ексергетичний аналіз абсорбційної машини, порівняно з компресорною, ускладнюється необхідністю розрахунку змін хімічної ексергії у процесах абсорбції та генерації. Специфіка визначення хімічної ексергії матеріальних потоків не дозволяє однозначно трактувати результати розрахунків різних авторів, а також виконувати порівняльний аналіз та оптимізацію, оскільки відрізняються вихідні дані для розрахунку хімічної ексергії за різними літературними джерелами

У зв'язку з цим багато авторів обмежувалися значно більш простим методом визначення ексергетичної ефективності абсорбційної машини загалом, не поділяючи її на компоненти. Для застосування сучасних методів ексергетичного аналізу у термoeкономічному аналізі та оптимізації необхідний поелементний аналіз абсорбційної машини. Теплообмінні апарати є головними елементами абсорбційної машини, тому методи аналізу їх характеристик загальні для всіх енергоперетворювальних систем. У зв'язку з цим багато авторів обмежувалися значно більш простим методом визначення ексергетичної ефективності абсорбційної машини загалом, не поділяючи її на компоненти. Для застосування сучасних методів ексергетичного аналізу у термoeкономічному аналізі та оптимізації необхідний поелементний аналіз абсорбційної машини. Теплообмінні апарати є головними елементами абсорбційної машини, тому методи аналізу їх характеристик загальні для усіх енергоперетворювальних систем.

Корисним інструментом, який використовується для наочного уявлення процесів теплопередавання служить T-Q-діаграма. З її допомогою аналізують процеси в окремих теплообмінниках енергетичних установок, зокрема котлах-утилізаторах. У холодильній техніці широко застосовують діаграму для термодинамічного аналізу систем кондиціонування. Приклад використання представлено на рис. 1.



*Рис. 1. Теплові потоки в системі кондиціонування*

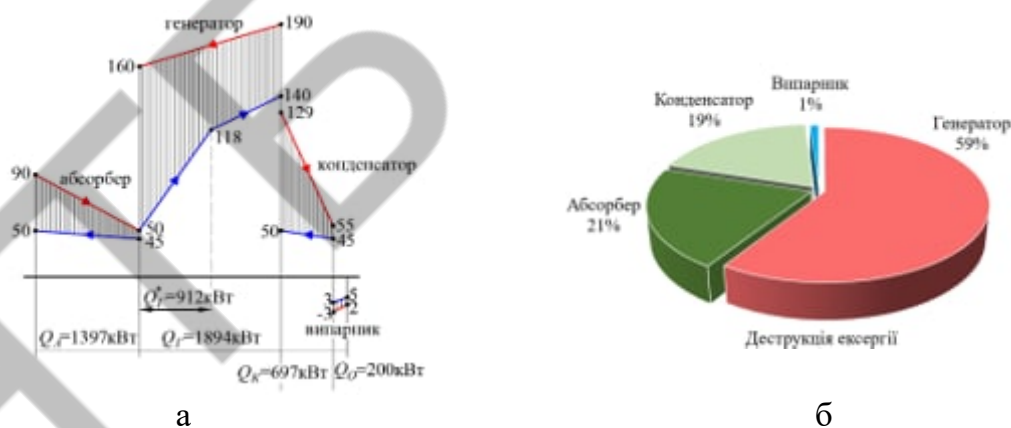
Наочність і простота графічного методу енергетичних балансів компресорних машин завадали розвитку цього для абсорбційних машин, що було виконано автором методу - П. Ле Гоффом. Крім цього автор запропонував графічний метод ексергетичного аналізу [1].

Для переходу до аналізу в термінах ексергії крім величин повних теплових потоків в апаратах повинно містити в собі «вартість» кожного енергетичного ефекту відповідно його температурного рівня. Для оцінки «вартості» є температурний фактор Карно.  $\square_i = 1 - (T_{сер}/T_i)$ . Відомо, що ексергія потоку теплоти визначається як

$$Q_i^{EX} = Q \cdot \theta_i = Q \left( 1 - \frac{T_{cp}}{T_i} \right)$$

Метод зображення процесів у діаграмі « $Q-\theta$ » дуже наочний. Діаграму створено шляхом заміни вісі ординат з  $T$  на  $\theta$ . Тоді всі площі, обмежені процесом і віссю ординат, є ексергія. Отже, створено передумови для проведення ексергетичного аналізу графічним методом. Розглянемо докладно аналіз роботи абсорбційної машини у координатах « $Q-\theta$ » на окремому прикладі (рис.2). Спочатку умовимося вважати  $\theta=1$  для виробництва (споживання) механічної роботи і  $\theta=0$  для мінімального температурного рівня, що відповідає температурі навколишнього середовища, Вихідні параметри циклу простішої абсорбційної іащини: холодопродуктивність  $Q_o=200\text{кВт}$ , температура проміжного теплоносія  $T_{zap} = 90^\circ\text{C}$ , температура охолоджувального середовища  $T_{сер} = 45^\circ\text{C}$ , температура проміжного холодоносія  $T_{хол} = 3^\circ\text{C}$ . Теплові навантаження на апарати визначено з енергетичного аналізу машини. Площі, що заштриховані характеризують величини деструкції ексергії у кожному елементі абсорбційної машини.

Низькі значення коефіцієнту перетворення  $COP=0.11$  та ексергетичної ефективності  $\eta=0,1$  є характерними для всіх абсорбційних холодильних машин, що функціонують за спрощеною схемою. Враховуючи це, у практичних умовах схема кожної абсорбційної машини доповнюється численними допоміжними апаратами, що істотно впливають на підвищення її енергетичної ефективності. До складу термохімічного компресора входять такі елементи, як ректифікатор, дефлегматор та теплообмінник розчинів, а в рамках основного процесу — регенеративний теплообмінник та інші компоненти, які сприяють оптимізації термодинамічних характеристик системи. Діаграма « $Q-T$ » і створена на її основі « $Q-\theta$ » не враховують властивості робочої речовини, що робить їх універсальними для проведення аналізу.



*Рис.2. Ексергетичний аналіз одноступеневої абсорбційної холодильної машини:  
а) процеси в координатах « $Q-\theta$ »; б) розподіл деструкції ексергії по компонентах*

*Науковий керівник: Косой Б.В., д.т.н., професор кафедри екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології ОНТУ*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ПОВТОРНОГО ЗРІДЖЕННЯ CO<sub>2</sub> НА ТАНКЕРІ LCO<sub>2</sub> НА ОСНОВІ РОЗШИРЕНОГО МЕТОДУ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ**

**Єфименко О.О., аспірант ОНТУ, м. Одеса**

Технології уловлювання, зберігання та використання вуглекислого газу (CCUS — Carbon Capture, Utilization and Storage) є одним із найперспективніших інструментів у боротьбі зі змінами клімату. Вони дозволяють захоплювати CO<sub>2</sub> із промислових джерел (наприклад, електростанцій, металургійних заводів) або безпосередньо з атмосфери, а потім зберігати його у геологічних формаціях або використовувати у промислових процесах. Зокрема, CO<sub>2</sub> може застосовуватися у виробництві синтетичного палива, будівельних матеріалів, у харчовій промисловості або медицині.

У рамках впровадження CCUS-технологій зростає важливість транспортування зрідженого діоксиду вилицю (LCO<sub>2</sub> — Liquefied Carbon Dioxide). Це особливо актуально для країн, які не мають відповідних геологічних умов для локального зберігання CO<sub>2</sub>. Наприклад, острівні держави або країни з високою щільністю населення часто стикаються з обмеженнями, що робить необхідним транспортування CO<sub>2</sub> на великі відстані до спеціалізованих сховищ або місць його подальшої переробки [1].

Розробка спеціалізованих танкерів для перевезення LCO<sub>2</sub> є важливим кроком у створенні глобальної логістичної інфраструктури для декарбонізації. Танкери-газовози LCO<sub>2</sub> є відносно новим видом суден, які лише проходять стадію активного проектування та тестування. На відміну від існуючих суден у такому температурному сегменті (LPG, VLEC), технологія транспортування LCO<sub>2</sub> має свої особливості. Це пов'язано з унікальними термодинамічними та фізико-хімічними властивостями CO<sub>2</sub>, які створюють додаткові труднощі під час його зрідження та зберігання.

Потрійну точку для CO<sub>2</sub> та високі тиски поблизу критичної точки при низькій критичній температурі слід урахувувати як фактор, що ускладнює проектування систем повторного зрідження. Тому танкери повинні відповідати суворим технічним вимогам, зокрема — підтримувати CO<sub>2</sub> у рідкому стані при низьких температурах і певному тиску, уникати утворення сухого льоду, забезпечувати надійне транспортування, а також відповідати вимогам енергоефективності процесів.

Підрозділ LGE компанії Babcock, світовий лідер у сфері рішень для зрідженого газу, отримав принципове схвалення (AiP — Approval in Principle) від глобальної групи професійних послуг Lloyd's Register на системи eCO<sub>2</sub>. Як стверджує виробник, така система є передовим рішенням для ринку LCO<sub>2</sub>, що поєднує перевірені технології та інноваційний підхід. Вона забезпечує надійність та безпеку при транспортуванні CO<sub>2</sub> в рідкому стані, відповідаючи сучасним вимогам до екологічної та операційної ефективності. Завдяки модульній конструкції, автоматизації та можливості роботи з різними вантажами, система eCO<sub>2</sub> стає важливим елементом у глобальній боротьбі зі зміною клімату та просуванні технологій Carbon Capture and Storage.

**Метою цієї роботи** є вивчення технології eCO<sub>2</sub> та проведення термодинамічного аналізу процесів установки повторного зрідження LCO<sub>2</sub>. Результати дослідження дозволять оцінити реальну ефективність використання цієї технології, визначити енергетичну ефективність її роботи та зробити висновки щодо її внеску в розвиток сталих рішень для транспортування CO<sub>2</sub>. Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації процесів зрідження та підвищення ефективності транспортування CO<sub>2</sub> у морських умовах.

### **Опис системи**

Система утримання вантажу складається з трьох вантажних танків, загальний геометричний об'єм яких становить 22 м<sup>3</sup>. За конструкцією танки — двопелюсткові. На рисунку 1 представлена технологічна схема системи повторного зрідження CO<sub>2</sub> на танкері-газовозі LCO<sub>2</sub>.

Установка повторного зрідження є системою прямого зрідження вантажу, яка працює за каскадним циклом. Робочою речовиною нижнього каскаду є сам вантаж — CO<sub>2</sub> (R744), а у верхньому каскаді використовується пропан (R290). Система зріджує відпірний газ (BOG), що утворюється у вантажних танках, і повертає конденсат назад до них.

Нижній каскад працює за циклом триступеневого стиснення з неповним проміжним охолодженням в проміжних охолоджувачах та одноразовим дроселюванням.

До складу нижнього каскаду входить триступеневий вантажний компресор (I), два проміжні охолоджувачі (II, III), LPG конденсатор (IV), випарник-конденсатор (V), лінійний ресивер (VI), дросельний пристрій (ДВ1CO<sub>2</sub>), відокремлювач рідини (VII).

Верхній каскад працює за одноступеневим циклом з гвинтовим компресором. До складу верхнього каскаду входять: оливозаповнений гвинтовий компресор (VIII), сепаратор-ресивер (IX), водяний теплообмінник (XIII), фільтр оливи (XIV) конденсатор (X), лінійний ресивер (XI), фільтр -осушувач (XII), запірні арматури та дросельний пристрій (ДВ1<sup>R</sup>).

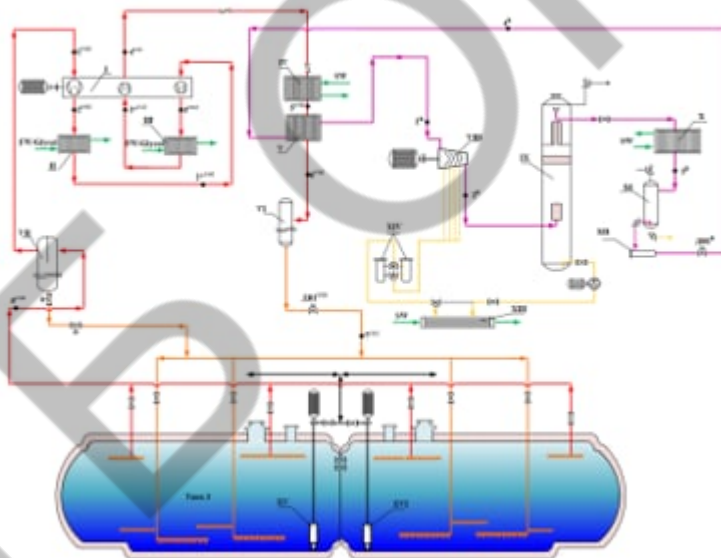


Рисунок. Технологічна схема системи повторного зрідження CO<sub>2</sub> на танкері-газовозі LCO<sub>2</sub>

### **Моделювання системи**

Для оцінки ефективності системи застосовано розширений ексергетичний аналіз на рівні окремих компонентів системи повторного зрідження LCO<sub>2</sub>. Ексергетичний аналіз проводився за підходом «ексергія палива/ексергія продукту», який дозволяє детально оцінити деструкцію ексергії у кожному компоненті системи та визначити потенціал для її зниження. Фізична ексергія потоків у процесах була поділена на термічну та механічну складові, що дало змогу розрізнити основні джерела втрат [2].

Особливістю проведеного аналізу є розподіл деструкції ексергії у кожному компоненті на ендогенну, екзогенну, неминучу та усуню [3]. Такий підхід дає змогу визначити ступінь взаємозв'язку між компонентами системи, а також оцінити потенціал покращення окремих компонентів для підвищення загальної ефективності системи.

Баланс ексергії для системи визначається:

$$\dot{E}_{F(\text{заг})} = \dot{E}_{P(\text{заг})} + \sum_k \dot{E}_{D(k)} + \dot{E}_{L(\text{заг})} \quad (1)$$

Баланс ексергії для k-го компонента:

$$\dot{E}_{F(k)} = \dot{E}_{P(k)} + \dot{E}_{D(k)}, \quad (2)$$

Питома ексергія потоку речовини в k-тому компоненті (фізична ексергія):

$$e_k^\Phi = h_k - h_0 - [T_0 \cdot (s_k - s_0)] = e_k^T + e_k^M \quad (3)$$

где  $\dot{E}_F, \dot{E}_P, \dot{E}_D, \dot{E}_L$  — ексергетичні показники палива, продукту, «деструкція» ексергії та втрата ексергії при теплообміні потоку з навколишнім середовищем відповідно.

Ексергетична ефективність k-го компонента:

$$\varepsilon_k = \frac{\dot{E}_{P,k}}{\dot{E}_{Fk}} = 1 - \frac{\dot{E}_{D,k} + \dot{E}_{P,k}}{\dot{E}_{F,k}}, \quad (4)$$

Ексергетичні втрати k-го компонента визначаються як:

$$y_k = \frac{\dot{E}_{D(k)}}{\dot{E}_{F(\text{заг})}}, \quad (5)$$

Ендогенна деструкція ексергії ( $E_{D,k}^{EN}$ ) — це частина деструкції ексергії всередині компонента, яка виникає за умови, що всі інші компоненти працюють ідеально, а досліджуваний компонент функціонує з тією ж ефективністю, що й у реальній системі.

Екзогенну деструкцію ексергії можна визначити з виразу:

$$\dot{E}_{D(k)}^{EX} = \dot{E}_{D(k)} - \dot{E}_{D(k)}^{EN} \quad (6)$$

Неминуча деструкція ексергії ( $\dot{E}_{D,k}^{UN}$ ) це частина ексергії, яка руйнується через технологічні обмеження, зокрема через доступність і вартість матеріалів та методи виробництва, і не може бути зменшена навіть при збільшенні інвестицій або вдосконаленні технологій.

Усувна деструкція ексергії визначається як:

$$\dot{E}_{D,k}^{AV} = \dot{E}_{D,k} - \dot{E}_{D,k}^{UN} \quad (7)$$

Результати аналізу засвідчили, що більшість деструкцій ексергії в системі мала ендогенний характер, тобто була зумовлена внутрішніми процесами в окремих її компонентах. Основна деструкція ексергії була зафіксована у вантажному компресорі, де її рівень виявився вищим, ніж у будь-якому іншому компоненті системи. Подальший аналіз показав, що переважна частка цієї деструкції належить до усувної, що свідчить про значний потенціал для оптимізації роботи компресора.

Водночас у теплообмінниках (випарнику-конденсаторі та проміжних охолоджувачах) частка неминучої деструкції ексергії була вищою, ніж в інших частинах системи. Це пов'язано з фізичними обмеженнями теплообмінних процесів, що обмежують можливості удосконалення теплообмінників.

Ексергетична ефективність системи повторного зрідження LCO<sub>2</sub> становила 45%, що є високим показником для подібних систем і свідчить про високу ефективність роботи системи в реальних умовах експлуатації.

#### **Список використаної літератури**

1. Hwang, S.-K.; Im, S.-T.; Ahn, J.-K. A Strategy for Reliable Cargo Loading of Low-Pressure Liquid Carbon Dioxide Carriers. *Energies* **2024**, *17*, 5739. <https://doi.org/10.3390/en17225739>
2. George Tsatsaronis, The future of exergy-based methods, *Energy*, Volume 302, 2024, 131881, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131881>.
3. Morosuk, Tatiana, and George Tsatsaronis. "Advanced Exergetic Analysis is a Modern Tool for Evaluation and Optimization of Refrigeration Systems." *Handbook of Research on Advances and Applications in Refrigeration Systems and Technologies*. IGI Global, 2015. 85-105.

*Науковий керівник: Морозюк Л.І., д.т.н., професор кафедри кріогенної техніки ОНТУ*

---

## **ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ТАНЕННЯ ВОДНОГО ЛЬОДУ У СПОКІЙНІЙ ВОДІ**

**Москін В.В., аспірант ОНТУ, м. Одеса**

Робота виконується в рамках науково-технічного співробітництва кафедри кріогенної техніки та компанії «ТОВ. ЛІД УКРАЇНИ»

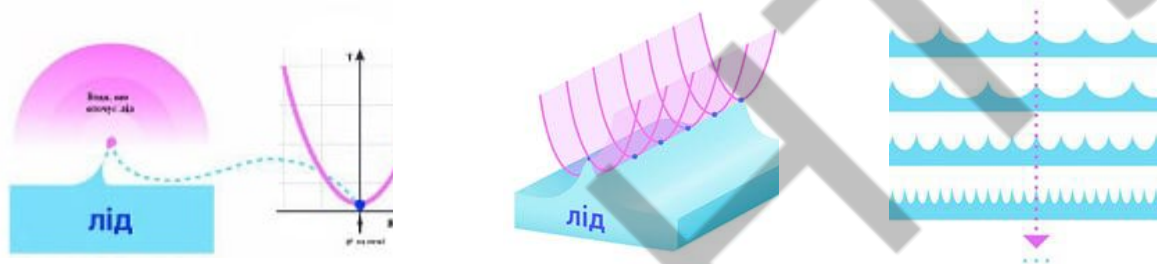
Перш ніж звернутися до розробки льодогенератора харчового водного льоду сферичної форми, необхідно зупинитися на перевагах використання зазначеної форми. Звісно, є очевидна естетична привабливість. Приємно дивитися на велику кристалічну кулю, що плаває і повільно обертається в напої при зміні положення ємності. Але ця форма має і практичні переваги. При однаковій масі блоків льоду куля має найменшу зовнішню теплопередавальну поверхню і танитиме повільніше, зберігаючи низьку температуру, але при цьому не розбавляючи напій за час його вживання.

Куля – унікальна форма харчового льоду. Форму заданого діаметра одержують за допомогою спеціального преса із заздалегідь заготовленого куба високої густини. Сфери довго не тануть і зберігають свою форму. Така форма харчового льоду найчастіше використовується для алкогольних напоїв преміум-класу, авторських коктейлів та незвичайного подавання охолоджених страв в ресторанах, барах, на заходах. Лід у склянці з водою тоне, але ніколи не стає сніжинкою або фігурою з гострими кутами. Численні спостереження свідчать, що межа танення завжди залишається гладкою.

Питання, пов'язане з таненням льоду в спокійній воді, називається задачею Стефана - на честь австрійсько-словенського фізика і математика, що вирішив її в 1889 році. Це найважливіший із прикладів задач «вільної межі», у якій математики вивчають рух поверхні між фазовими станами речовин у процесі підведення тепла. У цьому випадку це межа між льодом та водою. Завдання розглянуто з математичної точки зору створенням двох рівнянь, що описують танення льоду. Перше описує теплопередавання від теплої води до холодного льоду, що зменшує лід і збільшує кількість води, друге - відстежує межу, що змінюється між

льодом і водою в процесі танення. Багато років математики намагалися зрозуміти складні моделі цих мінливих кордонів, проте на те, щоб довести, що вони підкоряються реальним законам, пішло 130 років.

Тіла, що знаходяться в контакті, складаються з одних і тих же молекул води, але ця вода знаходиться в двох різних фазах: твердої і рідкої. Існує межа, де ці фази стикаються. Але коли тепло води передається льоду, лід тоне, і межа рухається. Зрештою лід і ця межа зникають. Вздовж мінливої межі між льодом і водою рідко формуються гострі місця на кшталт піків і ребер, а при виникненні відразу зникають - вода їх швидко розплавить. Такі гострі місця називають сингулярності. Можливо, якщо взяти лід великої довільної форми, тоді вийде сніжинка, але вона буде недовго. У сучасних роботах [1,2] підтверджено справедливість рівнянь Стефана, раніше такого повного і точного розуміння даного явища просто не існувало. На рис.1 представлений передбачуваний процес танення льоду у воді.



*Рис.1.Ілюстрація до процесу танення льоду у спокійній воді*

Як видно з рис.1, температурне поле води щодо піку має параболічний характер. Безліч піків можуть утворювати лінійну сингулярність, безліч лінійних сингулярностей - заповнити всю поверхню льоду. Такий результат оцінює максимальну кількість потенційних сингулярностей, але нічого не говорить про реальність їх появи та зникнення.

Переходячи до практичної роботи зі створення льодогенератора харчового льоду, представимо перші власні дослідження процесу танення льоду в замкненому просторі спокійної води. Для випробування виготовлено два зразки однакової маси: сферичної форми та у формі паралелепіпеда (рис.2).



*Рис.2. Зразки, що піддаються випробуванням*

Зразки розміщено у склянки з водою. Параметри та характеристики зразків та джерел тепла наведені в таблиці.1.

*Таблиця 1. Параметри та характеристики зразків та джерел тепла*

Параметри та характеристики	Числове значення
-----------------------------	------------------

	<b>один. виміру</b>	<b>сфера</b>	<b>паралеле піпед</b>
Маса зразка	гр	150	150
Габарити зразка	мм	68	50*50*70
Теплопередавальна поверхня зразка	см <sup>2</sup>	72,6	190
Об'єм зразка	мм <sup>3</sup>	164E-03	175E-03
Температура у приміщенні	°С	+22	+22
Температура поверхні зразка	°С	-10	-10
Початкова температура води	°С	16	16
Температура води в режимі танення	°С	5	5
Термін танення	хв	130	120

З урахуванням результатів попереднього дослідження процесу танення льоду в обмеженому просторі спокійної води буде розроблено розширену програму дослідження льодогенератора харчового льоду сферичної форми з урахуванням умов промислового виробництва. Програмою дослідження передбачено визначити витрату тепла, необхідного для танення льоду, проаналізувати механізм теплопередавання, що пов'язано з фазовим переходом та динамікою танення в різних рідинах і ін.

Маючи знання про процеси танення льоду малих форм у спокійній воді, що відбуваються, можна шукати рішення і адаптувати процес під свої вимоги і вчасно змінювати умови виробництва, не допускаючи незворотних процесів.

#### **Список використаної літератури**

1. Malkin T. L., Murray B. J., Brukhno A. V., Anwar J., Salzman C. G. Structure of ice crystallized from supercooled water // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS). — 2012. — Vol. 109, № 4. — P. 1041–1045. — DOI: 10.1073/pnas.1113059109. (<https://doi.org/10.1073/pnas.1113059109>)
2. Zhang Z., Yuan X., Xu B., Zhang M., He Z. Basic Theory of Ice Crystallization Based on Water Molecular Structure // Crystals. — 2023. — Vol. 13, № 4. — Article 622. — DOI: 10.3390/cryst13040622 (<https://doi.org/10.3390/cryst13040622>)

*Науковий керівник: Морозюк Л.І., д.т.н., професор  
кафедри криогенної техніки ОНТУ*

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ CO<sub>2</sub> ЯК ХОЛОДОАГЕНТУ В АВТОМОБІЛЬНИХ СИСТЕМАХ КОНДИЦІОНУВАННЯ**

*Гайдаржи В.С., аспірант, Мелков В.І., Любієвський О.С., бакалаври ОНТУ, м. Одеса*

На сьогоднішній день автомобільна промисловість стикається з викликами, пов'язаними зі зменшенням шкідливого впливу транспортних засобів на навколишнє середовище. Зокрема, значна увага приділяється оптимізації систем кондиціонування повітря (СКП), оскільки традиційні холодоагенти мають високий парниковий потенціал (Global Warming Potential, GWP) і суттєво сприяють глобальному потеплінню. У цьому контексті все

більшій актуальності набуває застосування вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>, R-744) як альтернативного холодоагенту.

CO<sub>2</sub> має низку екологічних і технічних переваг, які можуть сприяти значному скороченню викидів парникових газів і зменшенню шкідливого впливу на клімат. Проте для широкого впровадження цієї технології необхідно вирішити низку технологічних викликів, зокрема високий робочий тиск у системі та оптимізацію енергоефективності.

Автомобільні системи кондиціонування повітря (СКП) довгий час використовували синтетичні холодоагенти, такі як R-12, R-134a та R-1234yf. Вони ефективні з точки зору охолодження, проте мають кілька суттєвих недоліків:

- R-134a, який був одним із найпоширеніших холодоагентів у автомобільних СКП, має GWP, що дорівнює 1430. Це означає, що його вплив на глобальне потепління в 1430 разів вищий, ніж у CO<sub>2</sub>.
- Навіть більш сучасний R-1234yf, який впроваджується для зменшення впливу на клімат, має певні недоліки, зокрема можливість займання.
- У Європейському Союзі діє регламент F-Gas, який поступово обмежує або забороняє використання холодоагентів із високим GWP. Це стимулює автовиробників шукати більш екологічні альтернативи.
- На міжнародному рівні діють положення Монреальського протоколу та його доповнення (Кігалійська поправка), які також спрямовані на скорочення використання шкідливих холодоагентів.

Вуглекислий газ має кілька вагомих переваг, завдяки яким його застосування в автомобільних СКП стає дедалі більш перспективним. Серед основних переваг можна виділити:

- CO<sub>2</sub> має GWP, що дорівнює 1. Це означає, що його вплив на кліматичні зміни мінімальний у порівнянні з іншими холодоагентами.
- Вуглекислий газ є природною речовиною, яка не спричиняє отруєння і не має ризику займання. Це підвищує безпеку експлуатації транспортних засобів із такими СКП.
- CO<sub>2</sub> є поширеною і відносно недорогою речовиною, що зменшує витрати на обслуговування та заправку автомобільних кондиціонерів.
- Завдяки фізичним властивостям CO<sub>2</sub> можна досягти вищої енергоефективності в умовах спекотного клімату, що є важливим для країн із жарким літом.

Попри численні переваги, застосування CO<sub>2</sub> як холодоагента потребує вирішення низки технічних викликів. Для досягнення високої ефективності системи необхідно ретельно проєктувати теплообмінники. Зокрема, використовуються газоохолоджувачі (gas coolers), які забезпечують ефективне охолодження CO<sub>2</sub> у транскритичному циклі. Важливо також забезпечити стабільну роботу СКП на основі CO<sub>2</sub> як у спекотні, так і в холодні періоди року. Це вимагає впровадження розумних систем керування, які регулюють роботу компресора залежно від температури навколишнього середовища.

CO<sub>2</sub> – це не новий холодоагент, проте його властивості істотно відрізняються від традиційних холодоагентів. Наприклад, робочі тиски в таких системах у 5–10 разів вищі, що впливає на конструкцію компонентів та їх продуктивність. R-744 також був одним з перших холодоагентів у теплових насосах і холодильних системах. Проведені дослідження показали, що транскритичні цикли R-744 можуть ефективно працювати для автомобільних кондиціонерів, водонагрівачів із тепловим насосом та деяких комерційних холодильних установок.

Зокрема, розробка нових теплових насосів R-744 для електромобілів дозволяє значно підвищити енергоефективність систем кондиціонування повітря. Експериментальні

дослідження показали, що зміна розташування теплообмінників може збільшити теплопродуктивність на 35-54% і підвищити ККД на 16-22%. Водночас електрична система кондиціонування повітря, що використовує R-744 з інверторним компресором, продемонструвала кращу продуктивність у порівнянні з традиційними системами на R-134a. Таким чином, перехід на CO<sub>2</sub> як холодоагент для автомобільних СКП є перспективним напрямом, який відповідає сучасним екологічним стандартам і сприяє зменшенню шкідливого впливу транспорту на довкілля. Подальші дослідження та технічні вдосконалення допоможуть усунути технологічні бар'єри та зробити такі системи ще ефективнішими й доступнішими.

*Науковий керівник: Яковлев Ю.О., к.т.н., доцент  
кафедри кріогенної техніки ОНТУ*

## **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЯХ ПОВІТРОРІЗДІЛЬНИХ УСТАНОВОК**

*Гурчак О.А., Євсєєв А.О., бакалаври ОНТУ, м. Одеса*

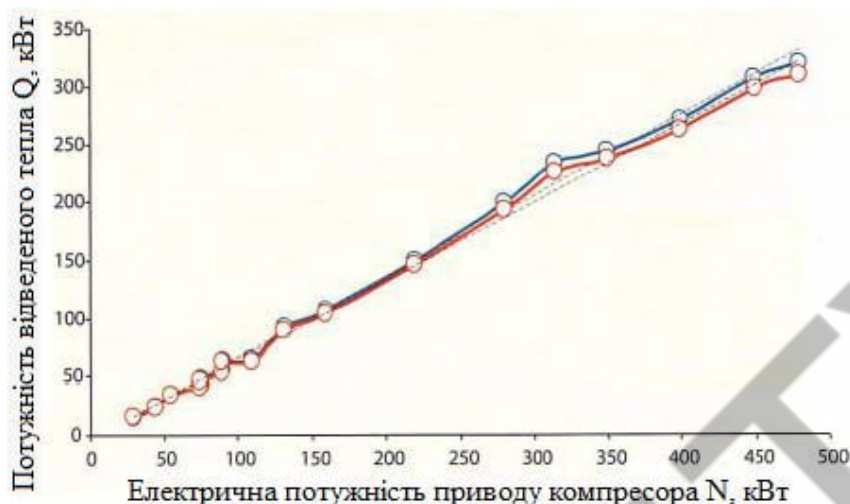
Поршневі повітряні компресори є одним із основних агрегатів повітророздільних кріогенних установок (ПРУ) високого та середнього тиску, які використовуються для стиснення повітря до тиску, необхідного у холодильному циклі. При модернізації повітророздільних установок основним напрямком в удосконалюванні поршневих компресорів є підвищення їхньої економічності й надійності.

Під час проведення енергоаудиту працюючих компресорних станцій та установок різного типу виявляється великий потенціал енергозбереження. Для ПРУ характерно, що витрати енергії на стиск повітря становлять, залежно від типу установок, від 70 до 90% усіх енерговитрат. Тепло, що виділяється в процесі стиснення, як правило, відводиться в навколишнє середовище. Проблема його корисного використання з метою зниження енергоспоживання системи практично не знаходить свого рішення.

На рис. 1 наведено результати дослідження визначення теплової потужності, відведеної від стягувального газу в поршневому компресорі, від підведеної електричної потужності. Встановлено, що близько 70 % електричної енергії, що підводиться, до електродвигуна компресора відводиться від газу в якості теплоти тертя, як у циліндрах компресора, так і в кривошипно-шатунній парі. При установці у компресорній станції додаткового блоку рекуперації близько 70 % споживаної енергії може бути повернуто у вигляді гарячої води з температурою + 80 °С [1].

У разі використання блоку рекуперації енергії компресора загальна вартість експлуатації компресорної станції може бути зменшена на 40 %. Необхідною умовою застосування системи є постійного споживача гарячої води. Система працює особливо ефективно, якщо вона дозволяє покрити 30-50% потреби у гарячій воді.

З іншого боку, ефективність роботи ПРУ може бути підвищена за рахунок роботи системи попереднього охолодження повітря (СПОП). У літній період року може виникнути така ситуація, що температура повітря на вході до блоку комплексного очищення перевищуватиме граничні показники технологічного режиму (10-15 °С).



*Рис. 1. Залежність теплової потужності, відведеної від газу, що стискається, від паспортної електричної потужності приводу*

Призначенням СПОВ на ПРУ є зменшення температури стисненого повітря після кінцевого теплообмінника і перед надходженням до блоку комплексного очищення (БКО), після чого далі в блок поділу ВРУ. Величина температури стиснутого повітря повинна досягти такого значення, при якому забезпечується якісне очищення від вологи, діоксиду вуглецю та вибухонебезпечних домішок. Це зумовлено теплофізичними та абсорбційними властивостями цеоліту, яким заповнений БКО. У разі перевищення даної температури повітря, надходячи до блоку поділу з домішками, порушує технологічний режим, що призводить до зниження продуктивності ВРУ та якісного складу кінцевих продуктів.

Для зниження енерговитрат у СПОВ у ряді ВРУ використовують скрубери з регулярною насадкою, що дозволяє виключити холодильні машини.

При дотриманні проектних вимог до якості води ці апарати забезпечують низький тиск опір на рівні кількох кПа з температурною різницею між потоками води та повітря у верхній секції повітряного скрубера менше ніж 1 градус. У СПОВ може включатися азотний скрубер для використання додаткового потенціалу з холоду потоку сухого відкидного азоту. Охолоджена вода на виході з нього може мати температуру нижче, ніж температура відкидного азоту, що входить.

Однак використання скруберів для попереднього охолодження повітря утруднено в умовах роботи системи в спекотному південному регіоні України, оскільки температура відкидного азоту в літню пору становить у середньому 20 °С, що недостатньо для забезпечення процесу.

Дослідження, які були проведени, показують можливість і доцільність використання непридатного тепла компримування, що дозволяє вирішити проблему зниження енерговитрат, що особливо притаманно установкам, що працюють у спекотному кліматі півдня України.

Розглянемо інші шляхи підвищення енергетичних характеристик поршневих повітряних компресорів:

1. Поліпшення охолодження повітря, що стискається, і наближення процесу стиснення до ізотермічного.
2. Зменшення витоків і перетікань повітря, що стискається.
3. Зменшення роботи сил тертя.
4. Упорскування охолоджуючої рідини.
5. Утилізація теплоти стиснення

Необхідно відзначити, що є досить багато варіантів для реалізації кожного з представлених шляхів, розглянемо утилізацію теплоти стиснення.

Приблизно 10% всієї електроенергії, що використовується в промисловості, припадає на системи стисненого повітря. З точки зору термодинаміки, приблизно 95% цієї енергії перетворюється на тепло і випускається в атмосферу разом з теплом, що розсіюється двигуном і системою охолодження, причому переважна частина втрачається через масляний охолоджувач.

Тепло може накопичуватися при використанні проміжного охолодження повітря безпосередньо водою та мастилом або з використанням теплообмінників, а потім використовуватись. Це дозволяє знизити витрати енергії. Нижче наведено три можливі способи утилізації тепла:

Гаряче повітря для опалення. Тепло охолоджуючого повітря використовується для опалення приміщень, що мають повітряну систему опалення, за допомогою терморегулюючих клапанів для керування температурою в приміщенні. Довжина повітряної системи опалення становить від 4 до 8 метрів.

Взимку тепло охолоджуючого повітря частково або повністю використовується для опалення; влітку охолоджуюче повітря видаляється з приміщення через витяжну систему.

Гаряча вода для опалення. У контур циркуляції мастила вбудовується додатковий теплообмінник – кожухотрубний чи пластинчастий – залежно від потужності компресора. Нагрів води відбувається в теплообміннику за рахунок теплообміну з гарячою компресорною олією.

Розташування системи нескладне та додаткові інвестиції дуже незначні. Завдяки заощадженням на оплаті опалення система окупається менш ніж за один рік.

Тепло для побутової води. Процес рециркуляції тепла такий самий, як для нагрівання води для опалення. Використання спеціальних безпечних теплообмінників або систем міжступеневого охолодження запобігає попаданню олії в побутову воду, навіть якщо вони пошкоджені. Це досягається при використанні подвійних трубопроводів, де з'єднані дві труби. Вода, яка має бути нагріта, тече внутрішньою трубою. Між двома трубами є простір, тиск у якому контролюється. У разі пошкодження однієї з труб, контрольний пристрій включає сигналізацію.

Таким чином, від компресорних установок відводиться 15-17% теплової потужності стисненого повітря з температурним потенціалом, що дозволяє успішно використовувати це тепло у системі опалення або гарячого водопостачання промислового підприємства.

Проведені дослідження підтверджують значний потенціал енергозбереження на компресорних станціях повітророздільних установок, зокрема шляхом утилізації теплоти стиснення та впровадження систем рекуперації. Це дозволяє не лише знизити енергоспоживання, а й покращити загальну ефективність роботи обладнання.

Використання відновленого тепла для опалення, гарячого водопостачання або технологічних потреб підприємства сприяє підвищенню економічної ефективності роботи повітророздільних установок, особливо в умовах спекотного клімату. Подальший розвиток енергоощадних технологій дозволить суттєво знизити витрати на експлуатацію компресорних станцій.

*Науковий керівник: Яковлев Ю.О., к.т.н., доцент  
кафедри криогенної техніки ОНТУ*



## **СЕКЦІЯ №3 – ЕКОЛОГІЯ. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

УДК 621.1:502/504:330.138

### **ПРО ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ**

**Черняк О.І., магістрант, ОНТУ, м. Одеса, Воїнов О.П., професор, Самохвалов В.С., доцент, Кобалава Г.О., доцент, ХННІ НУК ім. адмірала Макарова, м. Херсон, [voinova\\_s@yahoo.com](mailto:voinova_s@yahoo.com)**

Поряд із військовою, економічною, екологічною, продовольчою та іншими видами безпеки в останні роки широкого поширення набула «енергетична безпека», яка характеризує стан захищеності країни, її громадян, суспільства та економіки від загрози порушення їхнього надійного енергозабезпечення.

Для ХХІ століття характерне високе зростання споживання первинних енергоресурсів та електрики. Причому темп використання енергетичних ресурсів продовжує зростати. При цьому продовжують активно освоюватися первинні джерела енергії з високим вмістом енергоносіїв – кам'яне вугілля, уран, газ, нафта.

Для забезпечення енергетичної безпеки країни необхідно своєчасно виявляти основні проблеми енергетики, до яких нині необхідно віднести такі.

По-перше, сьгоднішні основні джерела енергії – невідновлювані та розподілені планетою нерівномірно, через що одні країни відчувають дефіцит і витрачають значну частину бюджету на купівлю енергоресурсів; інші, навпаки, можуть стати сировинними додатками країн, які обрали інноваційний шлях розвитку.

По-друге, сучасна енергетика завдає помітних збитків екологічній обстановці у світі. Це антропогенні викиди в повітряний простір Землі, забруднення її надр і водної оболонки, що призводить до зміни клімату на планеті, непередбачуваних змін погоди тощо.

На вугільні електростанції припадає найбільша частина викидів парникових газів в енергетиці, тому що вони мають найвищий коефіцієнт виходу двоокису вуглецю на одиницю виробленої електрики порівняно з всіма іншими видами викопного палива. При спалюванні вугілля в атмосферу надходять значні кількості твердих часточок, що містять недопалений вуглець та оксиди важких металів, також викидаються чадний газ (СО) та токсичні органічні сполуки, включаючи бензапірен та діоксини, що мають канцерогенну дію, летюча зола, сірчистий і сірчаний ангідриди, оксиди азоту, деяка кількість фтористих сполук, а також газоподібні продукти неповного згоряння палива. Особливо шкідливими вважаються ті конденсаційні електричні станції, що працюють на низькосортних видах палива. Золошлакові відходи містять в своєму складі важкі метали і радіонукліди, які повітряним шляхом або з водою потрапляють у біосферу й становлять суттєву загрозу для населення погрожує екологічній безпеці та здоров'ю населення.

Також збитки завдають аварії на техногенних энергооб'єктах, таких як Чорнобильська АЕС.

По-третє, все вищезгадане провокує появу нових геополітичних та соціальних проблем. Так дефіцит джерел енергії змушує держави здійснювати переділ територій із їхніми родовищами економіко-політичними методами чи розв'язувати військові конфлікти за ресурси. Проблеми з кліматом призводять до погіршення ситуації в сільському господарстві, незапланована зміна погоди здатна позбавити врожаю та викликати голод у регіоні, що, в свою чергу, може призвести до соціальних вибухів або міграції населення.

Вирішити зазначені проблеми можливо шляхом заощадження енергоресурсів та заміщення традиційного палива нетрадиційними відновлюваними джерелами енергії (НВДЕ) із залученням у все більших масштабах допоміжних паливних ресурсів (ДПР), а також застосуванням нових способів одержання енергії.

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року*

Інтерес до ДПР зростає через збільшення вартості традиційних енергоресурсів, що стало наслідком зростання попиту на них і скорочення пропозиції через виснаження родовищ, що використовуються. До ДПР належать горючий сланець (з якого видобувають нафту та газ), бітумінозні піски (один із видів нетрадиційної нафти), важка нафта, попутний нафтовий газ, метан вугільних пластів, газогідрати. Необхідно відзначити, що видобуток метану з газогідратів створює великі труднощі щодо його вилучення без шкоди навколишньому середовищу і тому потребує великих фінансових витрат. Широке впровадження ДПР дозволить продовжити термін життя вуглеводневих секторів паливно-енергетичного комплексу, тим самим не дати зростати цінам на них та почасти вирішити проблему дефіциту.

Нетрадиційні відновлювані джерела енергії НВДЕ дозволяють отримувати енергію, взявши під контроль природні процеси природи, що відбуваються на Землі, а також переробку відходів життєдіяльності людини. До НВДЕ відносяться надра планети, сонце, вітер, малі річки, моря та океани, а також горючі відходи промислового виробництва та домогосподарств. Енергія, що отримується від великих річок, давно освоєна енергетикою, тому належить до ширшої групи відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). ВДЕ невичерпні та здатні відновити енергетичний потенціал протягом кількох десятків років. На даний момент світовий потенціал НВДЕ складає близько 20 млрд. тон умовного палива, що майже вдвічі перевищує кількість мінерального палива, що видобувається. Однак, окрім очевидних переваг НВДЕ мають і недоліки: значні добові та сезонні зміни в потужності при роботі більшої частини НВДЕ, що призводить до необхідності спільної експлуатації енергоустановок на різних НВДЕ, роботі у зв'язці з агрегатами на традиційних енергоресурсах, акумулювання електричної енергії, що вимагає суттєвих капіталовкладень при спорудженні та експлуатації таких складних енергетичних комплексів; низька енергетична ефективність системи (ККД); великі габарити та маса установок і, як наслідок, значні витрати на їх спорудження.

Заходи щодо збереження та заміщення джерел енергії потрібно здійснювати паралельно. Але енергозбереження можливе до певної межі, тому що основні на сьогодні та найближчу перспективу джерела енергії є вичерпними і після їх використання поповнити запаси природних копалин буде неможливо. Тому акцент поступово має бути зсунутий у бік енергозаміщення.

Необхідно також згадати про альтернативну енергетику, яка ґрунтується на відомих, але поки що не освоєних у промислових масштабах технологіях, таких як використання атомних реакторів на швидких нейтронах, керований термоядерний синтез, пряме перетворення енергії водню та кисню в електричну за допомогою електрохімічних генераторів, магнітогідродинамічний спосіб виробництва енергії тощо.

В даний час атомна енергетика забезпечує приблизно 18% від потреби в електриці в усьому світі. За умови значного зростання ефективності застосування ядерного палива та безпеки атомних електростанцій можна реально досягти збільшення частки цього виду джерел енергії до 30–40 % у загальному виробництві електрики до середини ХХІ століття.

Що стосується термоядерної енергетики, починаючи з середини ХХ століття передові держави витрачають багато сил і коштів на те, щоб взяти під контроль реакцію керованого синтезу легких елементів (КТС) — джерело енергії, що фактично не вичерпується. Одиниця маси такого палива дозволяє отримати приблизно в чотири мільйони разів більше енергії, ніж мінеральне паливо.

Багатообіцяючим напрямом у вирішенні проблем, пов'язаних з екологічною ситуацією останніх років, стала воднева енергетика, яка пропонує використовувати як паливо водень. Величезною перевагою водню є те, що отримувати енергію тепер можна без негативних наслідків для довкілля. Для цього потрібен спеціальний паливний елемент – електрохімічний генератор, який безпосередньо перетворює хімічну енергію на електричну, а єдиним побічним продуктом реакції є вода.

У жодній іншій галузі сучасного виробництва перспектива розвитку не є настільки складною, як у енергетиці. Сформувався три основні енергетичні проблеми: дефіцит основних джерел енергії, викликаний їх вичерпністю і нерівномірним розподілом по планеті, погіршення екологічної обстановки, постійні конфлікти за обмежені ресурси. Вирішення перелічених вище проблем можливе за рахунок використання альтернативних джерел енергії, що скоротить забруднення навколишнього середовища і вирішить питання, пов'язані з «енергетичним голодом».

Україна планує трансформувати власний енергетичний сектор шляхом розвитку відновлюваної та вуглецево-нейтральної генерації, а також розподіленої незалежної генерації як основного напрямку енергетики з урахуванням досвіду війни.



УДК 504.5:678

## **ІДЕНТИФІКАЦІЯ МІКРОПЛАСТИКУ В ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ**

**Войницька І. Г., студентка І курсу СВО «Магістр» ННІ ХКтаЕ,  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса,  
[i.voinitskaya2809@gmail.com](mailto:i.voinitskaya2809@gmail.com)**

Мікропластик (дрібні пластикові частинки розміром менше 5 мм) - одна з найактуальніших екологічних загроз сучасності, адже його розповсюдження у довкіллі невпинно зростає. Особливе занепокоєння викликає наявність мікропластику в харчових продуктах, оскільки це створює потенційні ризики для здоров'я людини. Оскільки харчові ланцюги людини включають продукти як тваринного, так і рослинного походження, закономірним є виявлення частинок мікропластику в людському організмі.

Мікропластик було виявлено у сільськогосподарських продуктах, зокрема у фруктах та овочах. У продуктах тваринного походження його присутність часто пов'язана із забрудненим кормом. Наприклад, рибне борошно, виготовлене з сирової риби, може містити синтетичні частинки, які затримуються в шлунково-кишковому тракті тварин. Дослідження також показують зв'язок між мікропластиком у ґрунті та його накопиченням у рибі, що була вирощена поряд з полями рису. Вищі рівні забруднення спостерігалися в періоди посіву рису, що, ймовірно, пов'язано з використанням органічних добрив і корму. Є підтвердження того, що мікропластик може проникати в рослини, накопичуючись у коренях і транспортуватися до надземних частин, таких як листя, квіти та плоди. Крім того, він може осідати на поверхнях продуктів рослинного походження, що збільшує ризик його потрапляння в харчовий ланцюг людини [1].

Було досліджено концентрацію мікропластику в різних зразках рідких харчових продуктів, процес полягав у центрифугуванні та фільтрації продуктів через вакуумну систему. Розмір знайдених частинок мікропластику становив 0,1-0,2 мм [2]. Знайдені частинки мали різну форму, але переважно були виявлені волокна. Концентрацію частинок мікропластику наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Концентрація частинок мікропластику, що була знайдена в різних зразках рідких харчових продуктів [2].

<b>Зразок продукту</b>	<b>Концентрація частинок (МП/л)</b>
Яблучний сік	21
Біле вино	36
Червоне вино	15
Пиво	45
Цільне жирне молоко	21
Знежирене молоко	4
Оцет	15
Олія соняшникова	6

Ідентифікація мікропластику в харчових продуктах є важливим етапом для оцінки його впливу на здоров'я людини, проте це ускладнюється різноманіттям харчових матриць, гетерогенністю частинок та обмеженнями аналітичних методів. Сучасні підходи до виявлення мікропластику в харчових продуктах базуються на комбінації фізико-хімічних методів: оптична та флуоресцентна мікроскопія, інфрачервона спектроскопія з Фур'є-перетворенням, Раманівська спектроскопія [3].

Оптична та флуоресцентна мікроскопія широко використовуються для аналізу мікропластику, дозволяючи оцінити його кількість, розмір, форму та колір. Дисекційні мікроскопи переважно застосовуються завдяки зручності візуалізації та можливості маніпулювання частинками пластику за допомогою пінцетів чи зондів. Однак, цей метод має обмеження, оскільки без хімічного підтвердження деякі органічні та неорганічні частинки можуть бути помилково класифіковані як мікропластик.

Щоб підвищити точність ідентифікації, застосовують методи вибіркового фарбування. Найбільш поширеним барвником є нільський червоний, який використовується як у звичайній, так і у флуоресцентній мікроскопії. Завдяки своїм сольватохромним властивостям він змінює спектр флуоресценції залежно від оточуючого середовища, що дозволяє відрізнити синтетичні полімери від природних органічних залишків після перетравлення харчових матриць. Флуоресцентна мікроскопія забезпечує кращий контраст між мікропластиком та фоном, але її ефективність може знижуватися через забарвлення інших частинок у складних зразках, таких як продукти харчування та напої. Оптимізація методики, зокрема використання перекису водню для зменшення спорідненості нільського червоного до природних полімерів, дозволяє зменшити похибки у визначенні мікропластику [4].

Інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є (FTIR) застосовується в різних режимах – пропускання, відбиття та ослабленого повного відбиття (ATR) – для аналізу мікропластиків. Отримані вібраційні спектри можна аналізувати вручну, визначаючи характерні коливальні смуги візуальним методом. Окрім цього, можливе автоматизоване опрацювання спектрів із використанням алгоритмів пошуку в базах даних, які порівнюють результати з бібліотекою еталонних матеріалів, або із залученням штучного інтелекту, зокрема методів багатовимірної класифікації. Технології FTIR та мFTIR широко застосовуються для ідентифікації та характеристики мікропластиків у водному середовищі, морських організмах і харчових продуктах [5].

Раманівська спектроскопія. У цьому методі лазерне випромінювання спрямовується на зразок, а спектр формується шляхом аналізу розсіяного світла, зазвичай у видимій області спектра. Використання субмікронних лазерів із певною довжиною хвилі як джерела збудження теоретично дає змогу досягти бокової роздільної здатності близько 250–300 нм при збудженні на 532 нм. Однак на практиці мінімальний розмір області аналізу зазвичай складає близько 1 мм [3]. Цей метод особливо ефективний для вивчення внутрішньої структури матеріалів, оскільки його результати майже не залежать від вмісту води у зразку. Водночас одним із недоліків є флуоресценція, що може виникати під впливом лазерного випромінювання й іноді перебивати корисний спектральний сигнал. Ще одним обмеженням методу є його порівняно низька чутливість, що зумовлено слабкою ефективністю комбінаційного розсіювання світла.

Ідентифікація мікропластику в харчових продуктах є важливим напрямом досліджень, що вимагає подальшого вдосконалення методів аналізу. Попри наявність різних підходів, жоден із них не забезпечує повної точності, що ускладнює отримання достовірних результатів. Подальший розвиток досліджень повинен бути зосереджений на стандартизації методів, підвищенні їх чутливості та специфічності, а також на впровадженні автоматизованих систем аналізу. Враховуючи поширеність мікропластику в навколишньому середовищі, подальші дослідження також повинні сприяти розробці ефективних стратегій моніторингу та мінімізації забруднення.

**Науковий керівник – к.б.н., доц. Гаркович О.Л.**

#### **Список інформаційних джерел**

1. Tumwet F.C., Richter A., Kleint T. et al. Vertical movement of microplastics by roots of wheat plant (*Triticum aestivum*) and the plant response in sandy soil. *Micropl.&Nanopl.* 4, 15. 2024.
2. Conesa J.A., Iñiguez M.E. Analysis of Microplastics in Food Samples. In: Rocha-Santos T., Costa M., Mouneyrac C. (eds) *Handbook of Microplastics in the Environment*. Springer, Cham. 2020.
3. Zhang T., Hu J., Duan Y., Chen S., Dong B. Identification and characterisation of microplastics released from plastic-coated paper cups using micro-Raman spectroscopy, *Food Control*, Volume 153, 2023, 109901.
4. Garcia Ibarra V., Rodriguez Bernaldo de Quiros A., Paseiro Losada P., Sendon, R. Identification of intentionally and non-intentionally added substances in plastic packaging materials and their migration into food products. *Anal. Bioanal. Chem.* 2018. 410(16). 3789-3803.
5. Li J., Green C., Reynolds A., Shi H., Rotchell J. Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom, *Environ. Pollut.* 2018. 241. 35–44.



**УДК 628.1:004.8**

### **ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ**

**Канцур О.О., Канцур Ю.О., здобувачі СВО «Бакалавр», 2 курс  
Коваленко О.О., науковий керівник, д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, Одеса, [paca.cebepa@gmail.com](mailto:paca.cebepa@gmail.com)**

Штучний інтелект (ШІ) - здатність комп'ютерної програми здійснювати автономне навчання, міркування, судження та прийняття рішень шляхом імітації людського інтелекту. Завдяки високій ефективності штучний інтелект можна використовувати для класифікації та регресійного аналізу величезних масивів даних, створених у будь-який час і в будь-якому місці. І це значно сприяє розвитку всіх сфер життєдіяльності людини. ШІ розвивається швидкими темпами та вже сьогодні широко використовується в медичній діагностиці, сільському господарстві, промисловості, науковій діяльності та освіті, дистанційному керуванні роботами, охороні навколишнього середовища.

Важливим підрозділом штучного інтелекту є машинне навчання. Воно зосереджується на розробці алгоритмів і статистичних моделей, а також дозволяє комп'ютерним системам автоматично навчатися на основі даних без явного програмування. Метою машинного навчання є створення моделей, які можуть робити прогнози або пропонувати рішення на основі того, що вони дізналися з баз даних. Сьогодні використовується широкий спектр моделей. Поширеними є: моделі, які включають аналіз основних компонентів; дерево рішень; машина опорних векторів; оптимізація рою частинок; випадковий ліс; метод k-найближчих сусідів; самоорганізуюча карта Кохонена; система

***Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року***

нечіткого висновку на основі адаптивної мережі. Їх вибір для вирішення конкретного завдання залежить від доступних даних, складності проблеми та необхідної точності отриманих результатів.

Водна галузь стикається з численними викликами, включаючи зростаючий попит на воду, зміну клімату, забруднення та старіючу інфраструктуру. Штучний інтелект розглядається як потужний інструмент для їх вирішення. Метою наукової роботи було проаналізувати за літературними джерелами, як на практиці сьогодні використовують можливості штучного інтелекту для вирішення актуальних проблем у сфері охорони і використання водних ресурсів.

Штучний інтелект використовують для моніторингу якості води в природних водоймах. Моделі ШІ можуть аналізувати дані з різних датчиків (температури, рН, рівню кисню, концентрації забруднюючих речовин). Ці дані є основою для виявлення аномалій і потенційних джерел забруднення води на початкових етапах, а також використовуються моделями ШІ для прогнозування майбутнього стану забруднення природних водойм. Наприклад, для поверхневих водойм моделі штучного інтелекту можуть прогнозувати цвітіння водоростей, що є серйозною загрозою для водних екосистем та здоров'я людини. Раннє попередження цвітіння водойм дозволяє вжити профілактичних заходів та зберегти водойми чистими і безпечними.

Штучний інтелект є потужним інструментом в управлінні водними ресурсами, оскільки дозволяє прогнозувати гідрологічні події та оптимізувати розподіл води. Для прогнозування повеней ШІ аналізує метеорологічні дані, дані про рівень води в річках (в минулому та в теперішній час), а також історичні відомості про періоди повеней в конкретному регіоні нашої планети. Обробляючи загальнодоступні дані моделі ШІ прогнозують рівень води в річках та визначають зони затоплення в перспективі на найближчі сім днів.

Також моделі штучного інтелекту аналізують дані з геологічних датчиків та гідрологічних моделей для моніторингу рівня підземних вод та прогнозування їх змін. Супутникові знімки, зокрема радіолокаційні дані, також можуть використовуватися в поєднанні з ШІ при аналізі зміни вологості ґрунту та з метою виявлення втрат води при її відкачуванні із підземних джерел.

Моделі ШІ використовують результати моніторингу якості води в природних водоймах для прогнозування потенційних проблем, що можуть виникнути при технологічному обробленні води з метою її використання для водопостачання. Також штучний інтелект відіграє важливу роль в оптимізації параметрів процесів оброблення як природних, так і стічних вод. Здатність ШІ аналізувати великі масиви даних у реальному часі дозволяє виконувати динамічне налаштування технологічних параметрів (дозування хімічних реагентів, керування ступенем вилучення забруднюючих речовин із води, зменшення утворення осадів на мембранах, регулювання швидкості потоку води, контроль і регулювання енергоспоживання тощо). Використання штучного інтелекту для оптимізації дозування реагентів на очисних станціях дозволяє зменшити використання реагентів. ШІ здатний контролювати швидкість потоку в трубах, може оптимізувати роботу насосів і клапанів для забезпечення надійного водопостачання та зменшення енергоспоживання. Крім того, використання ШІ при обробленні води дозволяє за рахунок оптимізації технологічних параметрів процесів оброблення води на (30 - 40)% підвищити ступінь вилучення з неї забруднюючих речовин.

Систему онлайн-моніторингу якості стічних вод у режимі реального часу можна розгорнути на заводах або очисних спорудах для безперервної оцінки умов експлуатації, ефективності очисних споруд, якості скидів, швидкості потоку тощо. Дані моніторингу, доступні віддалено через комп'ютери та смартфони, надають статистичні дані в реальному часі, що робить їх зручними для моніторингу з будь-якого місця в будь-який час. Система являє собою інтегроване рішення, що включає вимірювальні датчики, панель керування та комунікаційний блок, які легко встановлюються на існуючих заводах або очисних спорудах.

Виявлення та локалізація витоків у водопровідних мережах є критично важливим завданням для зменшення втрат води та підвищення ефективності роботи системи водопостачання. Штучний інтелект значно покращує можливості в цій сфері, використовуючи різноманітні технології та

методи. Акустичні вимірювальні пристрої дозволяють точно визначати місцезнаходження та розмір пошкоджень трубопроводних мереж, не потребуючи при цьому інформації про матеріал, глибину прокладання чи розмір труб.

Аналіз даних про тиск, рівень шуму та рівні води в трубах і резервуарах є одним з ефективних методів виявлення втрат води в магістральних і розподільчих водогонах за допомогою ШІ. Раптові падіння тиску, зафіксовані датчиками, можуть свідчити про зазначену проблему. ШІ, навчений на даних про зміни тиску, може прогнозувати місцезнаходження та обсяги втрат води, відображаючи результати на карті мереж для водопостачання або водовідведення. Це дозволяє інженерній службі швидко реагувати на виявлену проблему та вчасно здійснювати профілактичне обслуговування або ремонт системи, при цьому більш ефективно використовуючи час та ресурси.

Оптимізація розподілу води між різними споживачами є ще однією важливою сферою застосування ШІ. Аналізуючи історичні дані про споживання води, погодні умови та демографічні зміни, ШІ може прогнозувати майбутній попит на воду. Це дозволяє комунальним підприємствам оптимізувати водопостачання. Крім того, застосування ШІ може сприяти справедливому розподілу водних ресурсів, надаючи аналітичні дані про моделі споживання, а також виявляючи дискримінацію в доступі до послуг водопостачання та водовідведення.

Моделі штучного інтелекту все більше використовують для оптимізації режимів зрошення. Вони враховують погодні умови, тип ґрунту та потреби рослин у воді. В результаті оптимізації режимів зрошення за допомогою ШІ досягається зменшення споживання води та підвищується врожайність сільськогосподарських культур.

Застосування штучного інтелекту в комплексі з іншими технологіями також має суттєві переваги для вирішення водних проблем. Наприклад, безпілотні літальні апарати здатні збирати дані про якість води та стан водних екосистем, які потім аналізуються за допомогою ШІ. Супутникові зображення можуть використовуватися для моніторингу рівня води, виявлення забруднень та оцінки стану рослинності. Аналіз за допомогою ШІ супутникових даних про морські екосистеми дозволяє виявляти ступінь їх забруднення та прогнозувати майбутні зміни і екологічні катастрофи. Також ШІ використовується для обробки великих масивів даних, отриманих з морських датчиків, для аналізу біорізноманіття, міграції морських тварин та інших екологічних процесів.

У водному транспорті штучний інтелект використовується для аналізу ризиків зіткнення вантажних і пасажирських суден, оцінки впливу погодних умов на перевезення товарів і пасажирів морями чи річками, для оптимізації маршрутів суден. На основі власного аналізу система штучного інтелекту надає навігаційному офіцеру рекомендовані маневри розходження суден у морі чи річці. Крім того, використання ШІ для водного транспорту дозволяє зменшити витрати палива та викиди шкідливих речовин.

Штучний інтелект на практиці вже продемонстрував свої можливості та переваги у вирішенні водних проблем. Але актуальним питанням є його більш широке використання. Також фахівці пропонують створювати гібридні моделі штучного інтелекту. Вони вважають, що їх застосування дозволить підвищити точність прогнозування ступеню очищення води та показників її якості, а також вирішувати існуючі водні проблеми більш комплексно.

УДК 622.32:628.3:621.56:66.065

## **НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНЕ РОЗДІЛЕННЯ ЯК ПЕРСПЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБЛЕННЯ СУПУТНІХ ПЛАСТОВИХ ВОД НАФТОГАЗОВИДОБУТКУ**

**Василів Б.О., аспірант, ОНТУ, Одеса, [bvasyliv41@gmail.com](mailto:bvasyliv41@gmail.com)**

У процесі видобутку нафти та природного газу утворюються значні обсяги супутніх пластових вод (СПВ), які є складними багатокомпонентними системами. Ці води нерозривно пов'язані з процесом видобутку вуглеводнів, піднімаючись на поверхню разом з ними. Їхні обсяги можуть сягати значних величин: у США щорічно утворюється 4,1 км<sup>3</sup> СПВ, а у світі цей показник становить близько 40 мільйонів м<sup>3</sup> щоденно. В Україні, що володіє значними запасами нафти та газу, річний обсяг видобутку СПВ коливається від 10 до 12 мільйонів м<sup>3</sup>. Хімічний склад таких розсолів зумовлений геологічними, структурними та іншими особливостями нафтових і газових родовищ, способом і стадією їх видобутку. Характерними ознаками зазначених розсолів є висока мінералізація (може сягати 250 г/дм<sup>3</sup> і більше), а також високі концентрації завислих речовин, органічних речовин, зокрема бензолу, толуолу, етилбензолу, фенолів та поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Крім того, СПВ можуть містити значну кількість мікроелементів та важких металів, таких як літій, бром, йод, бор, стронцій, барій, кадмій, хром, свинець та ртуть. Важливо відзначити, що деякі з цих елементів, зокрема літій, бром і бор, є цінними корисними копалинами, вилучення яких може бути економічно доцільним.

На сьогоднішній день існуючі методи утилізації СПВ, включаючи повторне закачування в підземні горизонти для підтримки пластового тиску, захоронення, а також очищення та використання для промислових потреб, мають певні обмеження та екологічні ризики. Закачування може призводити до збільшення сейсмічної активності та забруднення ґрунтів і підземних вод. Скидання очищених розсолів у поверхневі водойми вимагає суворого дотримання нормативних документів, а частка таких розсолів є незначною. У зв'язку з цим зростає актуальність пошуку більш ефективних та екологічно безпечних технологій оброблення СПВ, які б дозволили не лише безпечно їх утилізувати, але й отримувати цінні ресурси.

Важливим етапом у технології оброблення розсолів нафтогазовидобутку є опріснення води. Через високу мінералізацію СПВ застосування зворотного осмосу для їхнього опріснення є малоефективним без складної попередньої обробки для видалення нерозчинних і розчинних органічних та неорганічних речовин. Опріснення випаровуванням є енергоємним процесом і також вимагає ретельного очищення розсолу. Натомість, опріснення розсолів нафтогазовидобутку за допомогою низькотемпературного розділення (виморожування) має значний потенціал для практичного застосування.

По-перше, цей спосіб потребує низьких витрат енергії на отримання опрісненої води. По-друге, можна суттєво спростити технологію попереднього оброблення розсолу перед виморожуванням. При зниженні температури розсолу змінюється розчинність речовин, деякі з них переходять у нерозчинні сполуки й самовільно осаджуються. Парафіни тверднуть і легко відокремлюються з поверхні. Завдяки різним властивостям домішок розсолу при виморожуванні відбувається їх перерозподіл між фазами «лід-концентрований розсіл», що також створює додаткові можливості для отримання низки затребуваних для інших галузей хімічних речовин. Зміна іонного складу рідкої фази та збільшення в ній концентрації електролітів призводить до коагуляції колоїдних речовин, зменшення вмісту органічних речовин та мікроорганізмів. Крім того, проведення процесу за низьких температур зменшує інтенсивність корозійних процесів, що важливо для збільшення

ресурсу роботи обладнання. А більш високий ступінь опріснення води після виморожування може бути досягнутий застосуванням після кристалізатора зворотньоосмотичної установки.

Таким чином, низькотемпературне розділення є перспективною технологією оброблення супутніх пластових вод, яка поєднує ефективне опріснення з можливістю вилучення цінних компонентів та мінімізацією екологічних ризиків.

УДК 502.51:504.5:665.6

## ТЕХНОЛОГІЇ ЛІКВІДАЦІЇ РОЗЛИВІВ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДРОНІВ

Чайковська Т.В., студентка, Якуб Л.М., д.т.н. проф.,  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, [lydia.yakub@gmail.com](mailto:lydia.yakub@gmail.com)

Нафтова галузь відіграє важливу роль у світовій економіці, але є одним з найбільш інтенсивних джерел забруднення навколишнього середовища.

Нафтові забруднення належать до числа найбільш масових і небезпечних за своїми наслідками проявів антропогенного впливу на природні екосистеми. У води річок, озер і Світового океану щорічно з різних причин надходить від 2 до 10 млн тон нафти. Космічною зйомкою зафіксовано, що вже майже 30% поверхні океану вкрито нафтовою плівкою.

В роботі розглядаються сучасні методи та технології очищення ґрунтів та водних ресурсів від нафти та нафтопродуктів з використанням диспергентів.

У водних акваторіях головними засобами локалізації та ліквідації розливів нафти і нафтопродуктів є бонові загородження. Збір нафти з поверхні моря проводиться окремим або сумісним комплексом методів і технічних засобів:

Велика ефективність цього методу досягається на самому початку розливу, у зв'язку з тим, що товщина нафтового шару залишається великою.

Попадаючи до морського середовища нафта спочатку розтікається у вигляді плівки, утворюючи шари різної потужності. По кольору плівки можна визначити її товщину.

**Таблиця 1–Визначення кількості нафти за кольором та товщиною**

Зовнішній вигляд	Товща, мкм	Кількість нафти, л/км <sup>2</sup>
Не помітна	0,038	44
Срібний відблиск	0,76	88
Сліди забарвлення	0,152	176
Яскраві розводи	0,303	352
Бліда пляма	1,016	1170
Темна пляма	2,032	2310

Збір розлитої нафти за допомогою фізико-хімічного методу. Цей метод використовує диспергенти і сорбенти і ефективний у разі, коли механічний збір неможливий, наприклад, за малої товщини плівки і коли пляма нафтопродуктів, що розлилася, загрожує реальною загрозою екологічно вразливим районам. Сорбенти при зіткненні з нафтою починають негайно її вбирати, період насичення досягається в перші десять секунд (за умови середньої щільності нафтопродуктів). У випадках руху нафтової плями до природоохоронних місць, у хід ідуть диспергенти..

Деякі чинники, що свідчать на користь застосування диспергентів:

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року**

- застосування диспергентів зменшує вплив розливів нафти на берегові лінії, місця проживання птахів та представників тваринного світу і т. д. за рахунок запобігання контакту з нафтою;
- можливість застосування в умовах течій, причому дані умови посилюють ефективність застосування диспергентів, в той час як інші альтернативні варіанти (механічне видалення), стають неефективними;
- застосування диспергентів дозволяє швидко обробити великі площі, що є основною перевагою цього методу, оскільки навіть невелика кількість розлитої нафти може охопити велику акваторію;

Використання сорбентів для збору нафтопродуктів із поверхні ґрунту давно стало загально визнаною міжнародною практикою [1]. Нафта та її похідні, потрапляючи в ґрунт, викликають значні, іноді необоротні, зміни: утворення гудронізованих солончаків, бітумізацію та цементацию. В результаті ґрунт втрачає свою родючість, стає гідрофобним, підвищується ерозія, вивітрювання і т.д. Нафта, як суміш високовідновлених сполук, надзвичайно важко піддається біологічному окисленню. В природних умовах розклад вуглеводнів може тривати десятиріччями. Вуглеводні нафти поряд з пестицидами визнані у світі пріоритетними забруднюючими речовинами. Шкідливий вплив нафтопродуктів відзначається для багатьох видів ґрунтів, а процеси самоочищення протікають повільно. Слід зазначити, що цей метод ефективний тільки при зборі невеликих кількостей нафтопродукту з ґрунту, а тому при великих виливах він може використовуватися на етапі «до збирання» палива після застосування збираючого устаткування. Для розрахунку норми нанесення необхідно визначити співвідношення диспергента та нафти, необхідне ефективної дисперсії. Залежно від методу нанесення, типу диспергента, виду нафти та переважних умов це співвідношення може становити від 1:1 для диспергентів 1 типу до 1:50 для диспергентів 3 типу. Для розрахунку норми нанесення необхідно визначити співвідношення диспергента та нафти, необхідне ефективної дисперсії. Залежно від методу нанесення, типу диспергента, виду нафти та переважних умов це співвідношення може становити від 1:1 для диспергентів 1 типу до 1:50 для диспергентів 3 типу.

Розрахунок витрати нанесення диспергента складається з двох етапів і проводиться наступним чином:

1. Оцінка обсягу підлягає обробці нафти на основі спостережень та припущень про середню товщину та площу плями.
2. Розрахунок кількості диспергента, необхідного для досягнення необхідного дозування (співвідношення диспергент: нафта).

Оцінка обсягу підлягає обробці нафти на основі припущень про середню товщину та площу плями. Розрахунок кількості диспергента, необхідного для досягнення необхідного дозування (співвідношення диспергент: нафта).

Встановлено, що, незважаючи на суттєвий розкид товщини нафти у плямі, більшість видів свіжої нафти розтікається за кілька годин із досягненням загальної середньої товщини плями 0,1 мм ( $10^{-4}$  м). Ця величина часто використовується як основа для планування операцій і визначає обсяг нафти на один га ( $10^4$  м<sup>2</sup>) як:

$$10^{-4} \text{ м} \times 10^4 \text{ м}^2 = 1 \text{ м}^3 \text{ або } 1000 \text{ літрів}$$

Для дозування 1:20 потрібна наступна кількість диспергента:

Кількість диспергента = 1000 літрів нафти / 20 = 50 літрів. Отже, норма нанесення становитиме 50 літрів/га. Наприклад, для досягнення норми нанесення 50 літрів/га (0,005 літра/м<sup>2</sup>) з літака, що летить зі швидкістю 45 м/с, при ширині охоплення в 15 метрів, необхідна швидкість нанесення буде наступною:

$$\text{Швидкість нанесення} = 0,005 \text{ літр/м}^2 \times 15 \text{ м} \times 45 \text{ м/с} = 3,37 \text{ літра/с (або близько 200 літрів/хв.)}$$

На нафту, розливу у відкритому морі, диспергенти можуть наноситися з суден чи літаків.

Громадянські безпілотники знайшли застосування у різних сферах: сільськогосподарські; геодезичні роботи – картографія; безпека; надзвичайні повсякденний моніторинг різних служб.

Дрони відіграють важливу роль у ліквідації нафтових забруднень, особливо у відкритому морі та важкодоступних районах. Вони допомагають у кількох ключових аспектах:

- моніторинг і виявлення розливів нафти
- оцінка масштабу катастрофи
- розпилення сорбентів і біоремедіаційних агентів

Дрони роблять процес ліквідації нафтових забруднень швидшим, дешевшим та безпечнішим. Вони дозволяють зменшити шкоду для екології та прискорити реагування на надзвичайні ситуації. Щодо розміру та маневреності, то багатороторні БПЛА зазвичай більші за розміром та менш маневренні порівняно з БПЛА вертолітного типу [2].

Для вирішення проблеми ліквідації розливів нафти в Україні слід використовувати дрони українського виробництва, які здатні самостійно переміщатися у повітрі та подолати різну дистанцію, вміння витримувати задану висоту та швидкість польоту; переміщення додаткового навантаження різної маси. Мультимоторні безпілотні літальні апарати (БПЛА) здобули значну популярність в сучасній авіаційній індустрії, завдяки маневреності, ефективності та різноманітним можливостям використання. Одним з важливих аспектів функціональності мультимоторних БПЛА є їх здатність до скидання вантажів. Квадрокоптери зазвичай мають систему управління, яка дозволяє пілоту відкривати та закривати механізм скидання вантажів. Вибір матеріалів залежить від різних факторів, таких як маса вантажу, вимоги щодо міцності та функціональності, бюджет та інші фактори, які враховуються при розробці системи доставки диспергентів для дронів. Для створення парашутних систем скидання можуть використовуватись текстильні матеріали, такі як нейлон або поліестер., саме такі пакети можливо використовувати для диспергентів. Одним із підходів до встановлення системи скидання вантажу на DJI Mavic 3 є використання зовнішнього пристрою, який може бути прикріплений до корпусу дрона.



Рис.1. Нанесення диспергентів з літака. Заміна літака дроном має великі переваги для України.

Диспергенти можна вантажити з судна або з морської нафтової платформи на гелікоптери для подальшого розпилення у відкритому морі. Важливі аспекти, які повинні враховуватися при виборі оптимального дрона, це витрата палива, величина корисного навантаження, відстань від місця базування літака до місця розливу, час обороту. На жаль, зараз, під час війни, громадянське використання БПЛА заборонено, а тому роздрібного продажу та розвитку функціоналу дронів для

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року*

господарської діяльності зовсім не відбувається в Україні. Однак існують можливості та необхідність використовувати дрони, які за якісь умов вже не потрібні ЗСУ або втратили бойову спроможність.

**Література**

1. Кожанова Г.А., Бобрешова Н.С., Гудзенко Т.В. та інші.// Науково-технічний журнал «Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань». — №2. -1998. -С. 68- 69. Сб. «Проблеми збирання, переробки та утилізації відходів». Одеса, ОЦНТЕІ, 2000р., с 266-270.
2. Збірник наукових праць ВІТІ № 1, 2017. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.viti.edu.ua/files/rom/2017/2\\_2017.pdf](http://www.viti.edu.ua/files/rom/2017/2_2017.pdf)

## **СЕКЦІЯ №4 – ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА, НАФТОГАЗОВА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

УДК 536.2:536.4

### **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ МОНОТОННОГО НАГРІВУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВІДНОСТІ ТЕРМОАКУМУЛЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ФАЗОВОМУ ПЕРЕХОДІ**

**Квасницький Б.А., аспірант ОНТУ, Глек Я.О., ст.викладач ОДАБА, Івченко Д.О., доцент ОНТУ, Халак В.Ф., ст. викладач ОНТУ, Желєзний В.П., професор, науковий керівник Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, [zheleznyv@gmail.com](mailto:zheleznyv@gmail.com)**

Теплопровідність є базовою властивістю, яка визначає, наскільки швидко переносить матеріал теплову енергію за наявності градієнта температур в досліджуваних об'єктах. Оскільки останнім часом матеріали з фазовими переходами широко застосовуються в термоакумуляторах, дослідження теплопровідності при реалізації фазових переходів має велике наукове та практичне значення. [1].

Визначення теплопровідності та температуропровідності таких складних термодинамічних систем як наногібридні композиційні ТАМ [1,2] є актуальним завданням сучасної теплофізики. Теоретичні методи обліку не в змозі врахувати всі фактори, що впливають на значення теплопровідності при фазових переходах, такі як: збільшення ефективної теплоємності поблизу фазового переходу, теплові ефекти при розмитих та структурних фазових переходах, швидкість зміни температури у зразку, вплив наноструктур на теплофізичні властивості базового компоненту ТАМ тощо. Тому основним джерелом інформації про теплопровідність та температуропровідність ТАМ наногібридних композиційних ТАМ залишається експеримент [2].

Експериментальні методи визначення коефіцієнтів перенесення не потребують детального розгляду механізму перенесення, оскільки в них використовується лише апарат феноменологічної теорії теплопровідності. Проте застосовувані нині експериментальні методи дослідження коефіцієнтів перенесення (найчастіше стаціонарні і нестаціонарні методи нагрітого дроту [2]) мають низку обмежень.

На якість одержуваних експериментальних даних істотно впливає порушення стаціонарності у процесі вимірювання теплопровідності, оскільки фазові переходи, особливо першого роду, супроводжуються різкою зміною теплофізичних властивостей досліджуваного зразка.

Фазові переходи пов'язані з поглинанням або виділенням прихованої теплоти, яка не враховується у класичній теорії методів вимірювання теплопровідності. Цей ефект призводить до значних похибок у визначенні теплопровідності, оскільки частина теплової енергії витрачається на фазовий перехід, а не зміну температури.

Слід враховувати, що в області фазового переходу досліджуваних зразках ТАМ і наногібридних ТАМ можуть виникати різкі градієнти температури, зумовлені утворенням нових фаз. Це порушує припущення про циліндричну симетрію температурного поля, що лежить в основі методу нагрітої нитки, методу коаксіальних циліндрів.

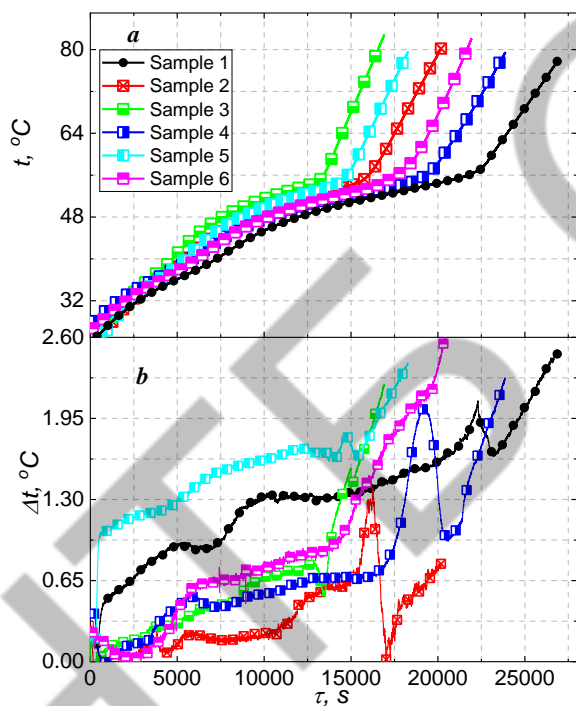
Крім того, фазові переходи ТАМ часто супроводжуються інтенсивними конвективними потоками у вимірювальній комірці, особливо при переході об'єкта з твердої фази в рідку. Кондуктивний теплообмін у твердій та рідкій фазах композиційних наногібридних ТАМ робить значний внесок у теплоперенесення, що спотворює результати вимірювань теплопровідності. Поділ кондуктивного та конвективного теплоперенесення в області фазового переходу є складним завданням.

Слід також враховувати, що за фазових переходах відбувається зміна обсягу ТАМ і наногібридних ТАМ, що веде до зміни щільності. При зміні обсягу зразків при фазовому переході можлива поява тензоефектів на елементах вимірювального осередку (наприклад, у платиновому дроті у методі нагрітого дроту). Так само зміна об'єму може вести до зміни контакту між нагрітою ниткою та речовиною, що також призводить до збільшення похибки вимірювання теплопровідності.

З урахуванням викладеного очевидно, що при моделюванні процесів теплообміну в термоакумуляторах найбільш актуальною проблемою є відсутність інформації про теплопровідність та температуропровідність використовуваних ТАМ і наногібридних ТАМ при фазовому переході.

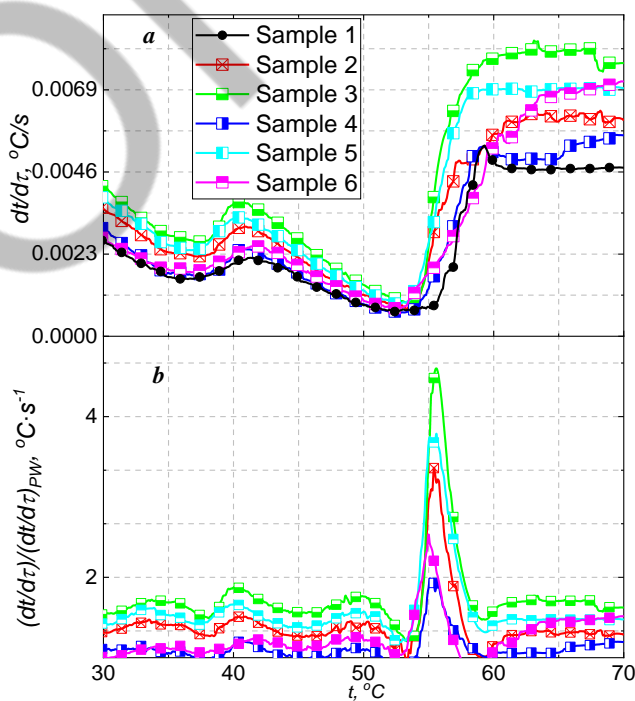
У цій доповіді авторами пропонується для вимірювання теплопровідності або температуропровідності використовувати комплексні методи одночасного вимірювання теплоємності, ентальпії фазових переходів, теплопровідності та температуропровідності. Реалізацію цього методу було здійснено на калориметричній установці, призначеній для вивчення калоричних властивостей ТАМ та наногібридних ТАМ, яка реалізує метод монотонного нагріву, а адіабатному калориметрі змінної температури. Детальний опис установки та методики проведення дослідження наведено у [3,4]. Об'єктами дослідження є ТАМ та наногібридні ТАМ на основі парафіну.

У процесі виконаних досліджень були отримані термограми для зразків, що містять різну концентрацію ТРГ та наночастинок CuO.



**Рисунок 1 – Зміна температури зразків наногібридних ТАМ у процесі дослідження калоричних властивостей від часу нагрівання:**

a – термограми для зразків НГТАМ різного складу; b – різниця температур по радіусу зразків у калориметричній посудині.



**Рисунок 2 - Швидкість зміни температури зразків НГТАМ у процесі калориметричного дослідження:**

a- залежності абсолютної швидкості зміни температури в центрі зразків; b – залежності нормалізованої швидкості зміни температури у центрі зразків

Досліджувані зразки мали склад: зразок 1 – (PW-100%); зразок 2 – (PW-95.9302%/EG - 4.0697%); зразок 3 – (PW-94.8995%/EG-4.4085%/CuO-0.692%); зразок 4 – (PW-91.9962%/EG-

3.0032%/CuO-5.0004%); зразок 5 – (PW-91,2257%/EG-2,7736%/CuO-6.005%); зразок 6 – (PW-90,1421%/EG - 3,1161%/CuO-6,7416%).

З використанням отриманої інформації були розраховані швидкості вимірювання температури зразків при тепловому навантаженні від 1Вт до 1,5 Вт.

Аналіз зміни нормалізованих значень швидкості зміни температури у центрі зразка дозволяє зробити кілька висновків. Домішки ТРГ і наночастинок CuO можуть як збільшувати, так і зменшувати швидкість зміни температури парафіну поблизу фазового переходу за рахунок згаданих вище факторів і також зміни калоричних властивостей зразків (ефективної теплоємності і різниці ентальпій фазових переходів під впливом домішок ТРГ і наночастинок CuO. Найбільш значний вплив нано5 на 4 наноструктур 63°C, тобто при температурах вище температури фазового переходу технічного парафіну (від 54°C до 55°C) На думку авторів цей ефект пов'язаний з руйнуванням псевдокристалічних структур компонентів парафіну.

З проведеного аналізу також випливає, що домішки ТРГ і наночастинок пригнічують реалізацію різних метастабільних структур і фазових ротаційних переходів у численних компонентах парафіну.

Завдання постійних теплових потоків на зовнішній поверхні калориметра дозволяє реалізувати методи комплексного визначення теплофізичних характеристик  $\alpha$ ,  $\lambda$ , в режимі безперервної зміни температури зразків ТАМ. Розрахункові формули для визначення теплопровідності та температуропровідності зразків ТАМ при реалізації методу монотонного нагріву вимагають обмежену інформацію про тепловий потік, геометричні розміри вимірювального осередку та швидкість вимірювання температури зразка:

$$\lambda = \frac{q \cdot R}{2 \cdot \Delta T} \cdot \left( \frac{r_2^2 - r_1^2}{R^2} \right) \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{b}{2 \cdot \Gamma \cdot \Delta T} \cdot (r_2^2 - r_1^2) \quad (2)$$

де  $\Delta T = T(r_2, \tau) - T(r_1, \tau)$  - різниця температур між будь-якими двома точками тіла в один и той же момент часу.

Запропонований розрахунковий метод визначення теплопровідності та температуропровідності складних композиційних матеріалів у галузі фазового переходу дозволить якісно покращити визначення теплових ефектів під час використання систем акумулювання теплової енергії. Що, у свою чергу, сприятиме підвищенню рівня використання нетрадиційних джерел енергії, що мають значно менший вуглецевий слід.

#### **Літературні джерела:**

1. Chen, H., Yue, Z., Ren, D., Zeng, H., Wei, T., Zhao, K., Yang, R., Qiu, P., Chen, L., & Shi, X. (2023). Thermal Conductivity during Phase Transitions. *Advanced Materials*, 35(1), 2207689. <https://doi.org/10.1002/adma.202207689>
2. Велез, С., Хайет, М., & Ортіс де Сарате, Х.М. (2010). Температурно-залежні теплові властивості твердо-рідких фазових змін парних n-алканів: n-гексадекан, n-октадекан і n-ейкозан. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(19-20), 4058-4065.
3. Zhelezny, V. P., Ivchenko, D. Y., Hlek, Ya. O., Khliyeva, O. Ya., & Shestopalov, K. O. (2024). Experimental study of phase transition heat of composite thermal energy storage materials paraffin wax/expanded graphite. *Journal of Energy Storage*.
4. Zhelezny, V., Ivchenko, D., Hlek, Y., Khliyeva, O., Zajdel, P., Shestopalov, K., Khliiev, N., Grosu, Y., 2023. Effect of fullerene C60 on phase transition enthalpy of paraffin wax: Calorimetry and structural analysis. *J. Energy Storage* 72. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108713>

УДК 531.756.4:531.787.913

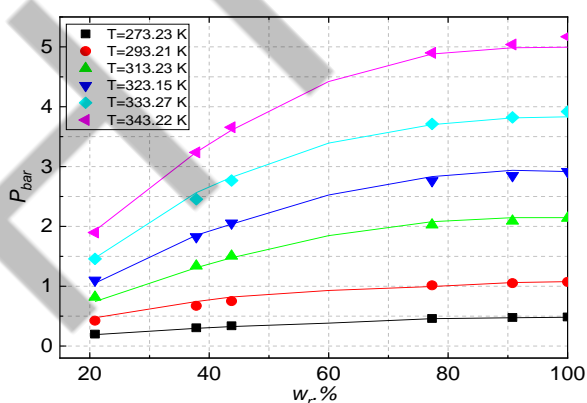
## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУМІШЕЙ ХОЛОДОАГЕНТУ R1233zd(E) ТА КОМПРЕСОРНОГО МАСТИЛА PLANETELF ACD 100FY

Борисов В.О., аспірант, Івченко Д.О., к.т.н., доцент, Желєзний В.П., д.т.н., професор Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, [zheleznyv@gmail.com](mailto:zheleznyv@gmail.com)

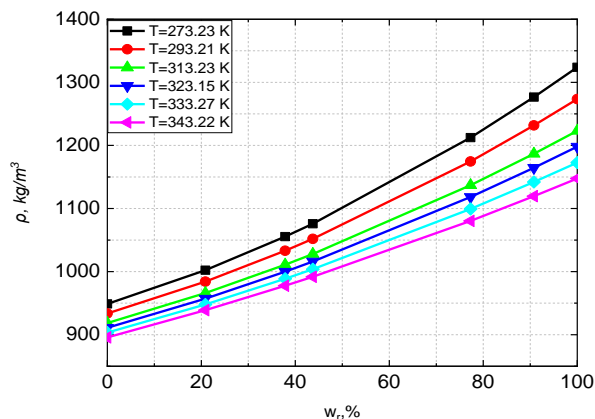
Покращення ефективності використання низькопотенційних енергетичних джерел та утилізації теплових відходів можна досягти за допомогою теплових насосів, інтегрованих у системи енергоустановок, що функціонують на базі органічного циклу Ренкіна. В якості робочих агентів у таких системах рекомендують застосовувати холодоагенти з підвищеною температурою кипіння, що відповідають сучасним екологічним та енергоефективним вимогам. Особливу перспективність демонструє холодоагент R1233zd(E), теплофізичні параметри якого детально досліджені. Однак у практичних умовах робочі середовища парокompресійних насосів є не чистими холодоагентами, а їхніми сумішами з компресорними мастилами.

На сьогодні холодоагент R1233zd(E) вважається одним із найперспективніших робочих середовищ для високотемпературних теплових насосів. Його теплофізичні параметри ретельно досліджені та наявні у науковій літературі. Однак у реальній роботі парокompресійних систем використовуються не чисті холодоагенти, а їхні розчини з компресорними мастилами (РХМ). При цьому дані про теплофізичні характеристики сумішей R1233zd(E) з поліефірними компресорними мастилами залишаються вкрай обмеженими, що й обумовлює наукову цінність представленого аналізу.

У представленій доповіді як об'єкти дослідження використовували зразки розчинів холодоагент (R1233zd(E))/компресорне мастило (Planetelf ACD 100FY) різних складів. Вимірювання тиску насичених парів і густини зразків розчинів R1233zd(E)/Planetelf ACD 100FY проведено статичним методом в діапазонах параметрів: температур - від 273.2 К до 343.22 К, тисків - від 0.48 до 5 бар, за середніх масових концентрацій заправки 20.87 мас.%. 37.83 мас.%. 43.73 мас. % 77.3 мас. % 90.76 мас. % холодоагенту в мастилі. Результати проведених досліджень представлено на рисунку 1.



а)

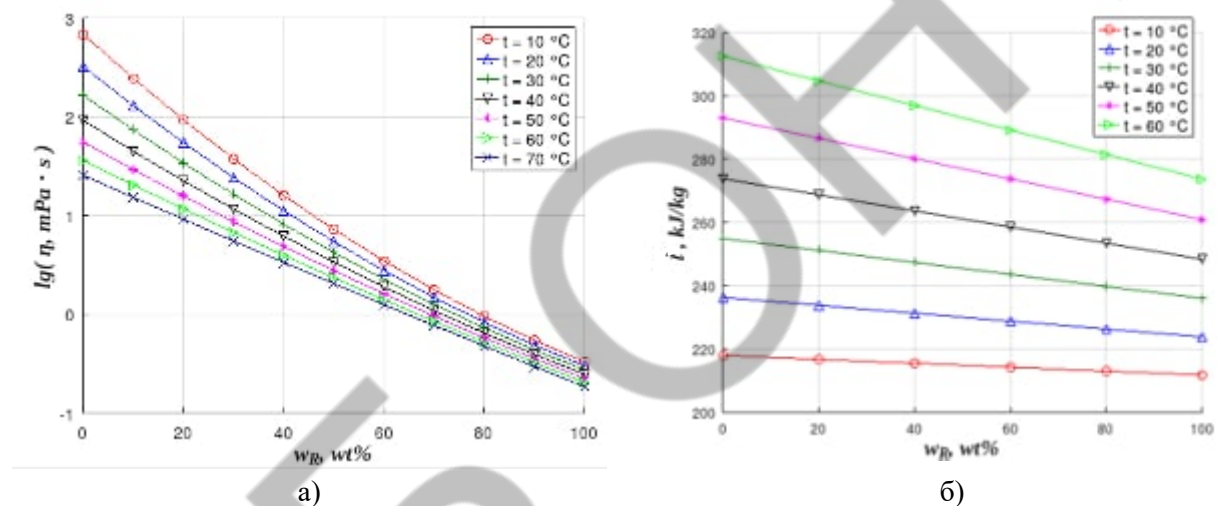


б)

Рисунок 1 - Концентраційні залежності тиску насичених парів (а) і густини (б) розчинів R1233zd(E)/Planetelf ACD 100FY за різних температур

Суміші холодоагентів із мастилами є складними термодинамічними системами, що обумовлено специфікою міжмолекулярних взаємодій між їхніми компонентами [1 - 2]. Згідно з результатами дослідження, наявність мастила у складі холодоагенту сприяє формуванню сумішей із явно вираженою зетропною поведінкою. Це робить неможливим точний розрахунок термодинамічних властивостей РХМ за допомогою адитивних моделей. Додатково важливим аспектом є відмінність концентрації компонентів у поверхневому шарі рідкої фази РХМ від їхньої об'ємної концентрації, що провокує систематичну методичну складність у моделюванні фазових рівноваг.

З метою розширення наявної бази даних щодо теплофізичних властивостей розчинів гідрофторолефінів у компресорних мастилах, наведено результати експериментального дослідження динамічної в'язкості (метод кульки, що котиться), теплоємності (диференціальний скануючий калориметр). Отримана інформація про теплоємність компресорного мастила Planetelf ACD 100FY [3] дала змогу розрахувати значення ентальпії розчинів різної концентрації холодоагенту R1233zd(E) у синтетичному поліефірному мастилі Planetelf ACD 100FY (див. рисунок 2).



**Рисунок 2 - Концентраційні залежності динамічної в'язкості – (а) і ентальпії - (б) досліджуваних зразків розчинів R1233zd(E)/Planetelf ACD 100FY за різних температур**

Отримані експериментальні дані апроксимовано малоконстантними рівняннями в діапазоні концентрацій холодоагенту від 0 до 100% і в діапазоні температур від 10 до 70°C Розширена невизначеність отриманих експериментальних даних не перевищує: для в'язкості. 2.8%, теплоємності 1.3%, щільності 0,3% тиску насичених парів 0,06 бар.

Інформація, наведена на рисунку 2 (а) наочно показує, що домішки компресорного мастила Planetelf ACD 100FY за низьких температур можуть на кілька порядків змінювати в'язкість холодоагенту R1233zd(E). Настільки значний вплив компресорного мастила суттєво впливатиме на гідравлічний опір руху потоку робочого тіла у випарнику та збільшуватиме термічний опір між робочим тілом і стінками теплообмінних апаратів. З наведеної на рисунку 2(б) інформації випливає, що домішки компресорного мастила Planetelf ACD 100FY істотно впливають на значення ентальпії холодоагенту R1233zd(E). Тому, як раніше було показано в роботах [4 - 5], при дослідженні коефіцієнтів тепловіддачі під час кипіння реальних робочих тіл (РРТ) у випарнику та розрахунку показників ефективності компресорних систем необхідно враховувати наявність домішок компресорних мастил у холодоагенті R1233zd(E).

Наведена інформація про в'язкість та ентальпію РХМ R1233zd(E)/Planetelf ACD 100FY може бути використана при проектуванні випарників, компресорів, теплообмінників з метою підвищення енергетичної ефективності холодильного обладнання.

#### **Література**

1. В.П. Железний, Ю.В. Семенюк. - Одеса: Фенікс, Теплофізичні властивості розчинів холодоагентів у компресорних мастилах/ 2013. - 418 с.
2. V.P. Zhelezny, Y.V. Semenyuk, S.N. Ancherbak, A.Y. Grebenkov, O.V. Belyaeva Experimental study and modeling of solubility, density and surface tension of solutions of 1,1,1,1,3,3,3-pentafluoropropane (R-245fa)/synthetic polyolefin compressor oil // Journal of Fluorine Chemistry 2007-09
3. Semenyuk, Y. V., Sechenyh, V. V., Zhelezny, V. P., & Skripov, P. V. (2008). Thermophysical properties of compressor oils for refrigerating plant. *Journal of Synthetic Lubrication*, 25(2), 57-73.
4. V.P. Zhelezny et al. An experimental investigation and modelling of the solubility, density and surface tension of 1,1,1,3,3-pentafluoropropane (R-245fa)/synthetic polyolester compressor oil solutions / Journal of Fluorine Chemistry 128 (2007) 1029–1038.
5. VP Zhelezny, SV Nichenko, YV Semenyuk, BV Kosoy, R Kumar Influence of compressor oil admixtures on theoretical efficiency of a compressor system//International journal of refrigeration 32 (7), 1526-1535.



**УДК 536.24:544.015.4**

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ПІД ЧАС ФАЗОВИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ ХОЛОДОАГЕНТУ R1233ZD(E) У ТРУБІ МОДЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ПАРИ**

**Борисов В.О., аспірант, Івченко Д.О., к.т.н., доцент, Железний В.П., д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, [zheleznyv@gmail.com](mailto:zheleznyv@gmail.com)**

Органічний цикл Ренкіна (ORC) є технологією з широкими перспективами розвитку, що використовує органічні робочі тіла з низькою температурою кипіння для перетворення теплових відходів, сонячної енергії, енергії згоряння біомаси, геотермальної та інших видів енергії на електричну та механічну енергію. Таким чином, тенденції розвитку енергетики, що сформувалися на цей час, формують технологічний запит на ефективне використання відновлюваних і низькопотенційних джерел енергії. Однак, енергетичне обладнання, в якому використовується поновлювані джерела енергії, як правило, має низьку ефективність оскільки отримує низькопотенційну енергію протягом обмеженого періоду часу доби. Тому підвищення енергетичної ефективності споживання відновлюваної енергії, одержуваної від низькопотенційних джерел енергії, неможливе без розроблення ефективних технологій її зберігання на певному температурному рівні. Досягнення цієї комплексної мети неможливе без розроблення нового покоління високоефективних термоакумуючих матеріалів з фазовим переходом та використання когенераційних сонячних енергетичних установок, які реалізують органічний цикл Ренкіна. Нині науково обґрунтований вибір робочого тіла для енергетичних установок, що використовують органічний цикл Ренкіна, досі залишається досить складним завданням. Оптимальний вибір робочого тіла має враховувати термодинамічну ефективність, сумісність із конструкційними матеріалами, вартість, інтенсивність теплообмінних процесів у генераторі пари, а також екологічну безпеку.

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року**

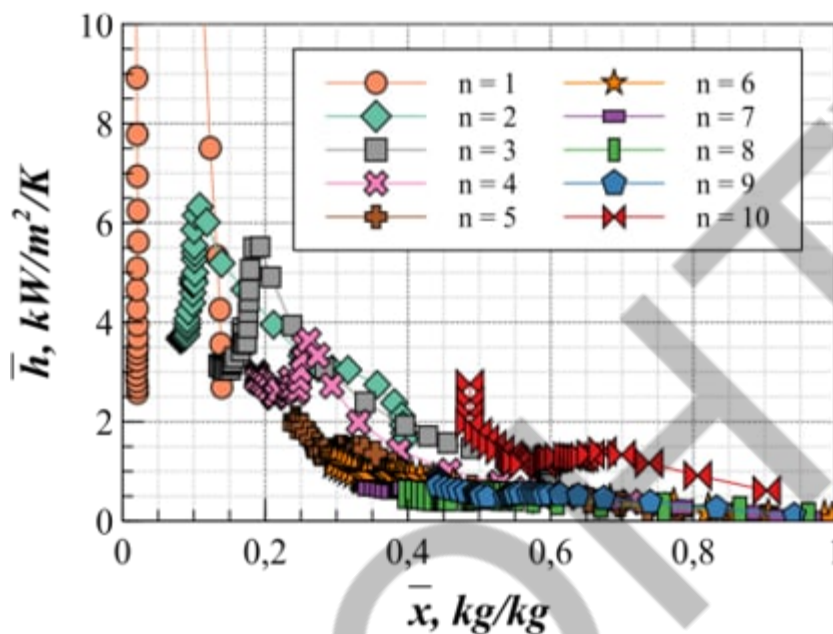
Виконаний аналіз опублікованих останніми роками публікацій показує, що холодоагенти HFO і HCFO мають значний потенціал використання в когенераційних сонячних установках, в яких застосовується органічний циклічний процес перетворення енергії (ORC). З огляду на перспективу використання HFO і HCFO холодоагентів у сучасних системах кондиціонування, теплових насосах і ORC-додатках, за останні роки опубліковано результати кількох досліджень, присвячених вивченню процесів теплообміну під час кипіння цих речовин у випарниках. Аналіз цих публікацій дає змогу виділити кілька ключових аспектів. По-перше, більшість досліджень зосереджено на визначенні коефіцієнтів тепловіддачі в умовах стаціонарних процесів кипіння. По-друге, у проведених дослідженнях температура робочої поверхні випарника практично не варіюється вздовж її довжини, що свідчить про рівномірний розподіл теплових потоків уздовж довжини випарника і стабільність процесів теплообміну. Проведені дослідження підкреслюють високий потенціал використання HFO і HCFO холодоагентів для забезпечення не тільки високої теплової ефективності теплообмінних апаратів. Крім того, зазначені холодоагенти відповідають сучасним екологічним вимогам до застосування альтернативних холодоагентів, що є критично важливим в умовах зростаючих вимог до енергозбереження та зниження викидів шкідливих речовин.

Серед HFO та HCFO-речовин особливу увагу для застосування в ORC-додатках привертає холодоагент R1233zd(E), що зумовлено його термодинамічними властивостями, високою стабільністю, низьким потенціалом глобального потепління та підвищеною безпекою використання в енергетичних установках [4]. Аналіз опублікованих даних дає змогу дійти висновку, що питання, пов'язані з теплообміном під час фазових трансформацій R1233zd(E) у генераторі пари (нагрівання рідкої фази, кипіння в різних режимах і перегрівання утвореної пари) залишаються недостатньо дослідженими. Саме тому ця робота спрямована на детальне вивчення процесів теплообміну в модельному генераторі пари з використанням R1233zd(E) для низькотемпературних і середньотемпературних когенераційних сонячних установок невеликої потужності. Основною метою проведених досліджень було вивчення впливу масової витрати холодоагенту і теплового навантаження на інтенсивність теплообміну під час нестационарного процесу фазових трансформацій робочого тіла (R1233zd(E)), а також перевірка придатності наявних моделей для апроксимації отриманих експериментальних даних.

Детальний опис експериментальної установки та методик проведення експерименту наведено в [5]. Пропонована схема вимірювань давала змогу в режимі реального часу відстежувати зміну всіх параметрів на кожній секції робочої ділянки протягом усього експерименту. Дані, отримані мультиметром (зокрема, показники температур  $T_i$ , температурні перепади  $\Delta T_i$  та інші електричні параметри), автоматично передавалися персональному комп'ютеру для подальшого опрацювання експериментальних даних. Розроблена експериментальна установка вирізняється низькою особливостей порівняно з аналогами, описаними в літературі. Серед її основних переваг висока універсальність під час розв'язання комплексних задач дослідження режимів кипіння робочого тіла, можливість вимірювання локальних коефіцієнтів тепловіддачі як для рідкої, так і для парової фаз у різних секціях установки, а також визначення середніх значень коефіцієнтів тепловіддачі вздовж випарника.

У перших секціях робочої ділянки холодоагент нагрівається до температури кипіння. Тільки наприкінці експерименту, коли масова витрата холодоагенту зменшується, у перших секціях генератора пари з'являються перші ознаки бульбашкового кипіння. У наступних секціях модельного генератора пари спостерігається процес кипіння холодоагенту R1233zd(E) значно раніше. Під час подальшого руху холодоагенту через робочу ділянку він незначно перегрівается, і його температура кипіння збільшується. На заключних секціях генератора пари процес кипіння завершується і насичена пара R1233zd(E) стає перегрітою. При цьому її температура різко збільшується. Таким чином динаміка фазових трансформацій холодоагенту R1233zd(E) на робочій ділянці повною мірою моделює процеси теплообміну в генераторі пари установок, що реалізують органічний цикл Ренкіна.

У доповіді проаналізовано результати дослідження коефіцієнта тепловіддачі коефіцієнта тепловіддачі під час фазових трансформацій холодоагенту R1233zd(E). Залежність середніх по секціях значень коефіцієнта тепловіддачі від ступеня сухості холодоагенту R1233zd(E) наведено на рисунку 1.



**Рисунок - Залежності середніх значень коефіцієнтів тепловіддачі на секціях робочої ділянки від ступеня сухості робочого тіла за заданої густини теплового потоку  $q = 3255 \text{ Вт/м}^2$**

З наведеної на цьому рисунку інформації випливає, що під час збільшення ступеня сухості спостерігається істотне монотонне зменшення середніх по секціях робочої ділянки значень коефіцієнтів тепловіддачі.

Найбільший методичний інтерес становить інформація про залежність середнього на певній секції робочої ділянки коефіцієнта тепловіддачі від значень локальних коефіцієнтів тепловіддачі в рідкій і паровій фазах у цій же секції. Отримані експериментальні дані про зазначені коефіцієнти тепловіддачі мають бути узгоджені з результатами візуальних досліджень режимів кипіння. З урахуванням зазначених зауважень розглянемо процеси теплообміну в секції 9 робочої ділянки. У цій секції диференціальними термопарами вимірювалися різниці температур між паровою і рідкою фазами R1233zd(E) і стінкою робочої ділянки, а на виході з цієї секції (на ділянці візуалізації) фіксується режим кипіння робочого тіла.

Маючи експериментальну інформацію про величину різниці температур між стінкою трубки секції робочої ділянки та робочим тілом R1233zd(E), можна розрахувати локальні коефіцієнти тепловіддачі. Наведено результати комплексного експериментального дослідження процесів теплообміну в експериментальній установці, що реалізує нестационарний режим теплообміну, під час фазових трансформацій екологічно безпечного холодоагенту R1233zd(E) в нержавіючій трубці діаметром 5 мм модельного генератора пари. Дослідження проведено в широкому діапазоні параметрів, що змінюються: температура робочого тіла від 303,0 до 373,0 К, масова витрата від 0 до 1,5 г/с, тиск від 1,00 до 1,50 бар і ступеня сухості пари від 0,01 до 1,0 кг/кг. Процеси теплообміну досліджено при розшарованому режимі кипіння робочого тіла. Наведено результати детального дослідження зміни параметрів дослідження в часі. Отримано нову інформацію про середні по перерізах генератора пари та локальні для рідини і пари коефіцієнти тепловіддачі при кипінні R1233zd(E) за теплових потоків від 1000 до 4500 Вт/м<sup>2</sup>. Запропоновано метод визначення середніх

коефіцієнтів тепловіддачі на певній секції робочої ділянки для розширеного режиму кипіння R1233zd(E). Вивчено вплив ступеня сухості пари на локальні та середні коефіцієнти тепловіддачі при кипінні робочого тіла в трубі.

### **Література**

1. Helming, F., Kontomaris, K., Pfaffl, J., Hartl, M., & Fleckl, T. (2016). Measured Performance of a High Temperature Heat Pump with HFO-1336mzz-Z as the Working Fluid. ASHRAE 2016 Annual Conference, St. Louis, Missouri, 25–29 June 2016, 1–8.
2. Nilsson, M., Risla, H. N., & Kontomaris, K. (2017). Measured performance of a novel high temperature heat pump with HFO-1336mzz-Z as the working fluid. 12th IEA Heat Pump Conference 2017, Rotterdam, 1–10.
3. Pysz, M., & Mikielwicz, D. (2023). Flow boiling of R1233zd(E) in a 3 mm vertical tube at moderate and high reduced pressures. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 147, 110964. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2023.110964>.
4. Zhao, W. Z., Yang, Z., Zhang, Z. P., Zhai, R., Ge, Y. Y., & Chen, S. Y. (2021). Experimental investigation for solubility of weak flammable trans-1,3,3,3-Tetrafluoropropene (R1234ze(E)) in PVE and POE lubricants. *Journal of Chemical Engineering Data*, 66, 621–627. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jced.0c01057>.
5. Zhelieznyi, V. P., Zheliba, Y. O., Ivchenko, D. O., Borisov, V. O., Shumskiy, O. A., & Kantor, S. A. (2024). Experimental study of local coefficients of heat transfer during generation of R245fa vapor in a model vapor generator. *Refrigeration engineering and technology*, 60(1).



**УДК 620.91:697**

## **СОНЯЧНА ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ОДЕСИ: АНАЛІЗ РЕСУРСНОЇ БАЗИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ**

**Квасницький Б.А., аспірант ОНТУ, Глек Я.О., ст.викладач ОДАБА, Івченко Д.О., доцент ОНТУ, Халак В.Ф., ст. викладач ОНТУ, Желєзний В.П., професор, науковий керівник Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, [zheleznyv@gmail.com](mailto:zheleznyv@gmail.com)**

Глобальний перехід до відновлюваних джерел енергії став необхідним для пом'якшення наслідків зміни клімату та зменшення залежності від викопних видів палива. Сонячна енергія, як чистий і доступний ресурс, відіграє ключову роль у цьому переході. Сонячні теплові системи, які перетворюють сонячне випромінювання в корисне тепло, особливо ефективні для таких застосувань, як опалення приміщень, нагрівання води та промислові процеси. Однак ефективність цих систем сильно залежить від місцевих кліматичних умов, включаючи сонячне випромінювання та температуру навколишнього середовища.

Розвиток відновлюваної енергетики є одним із пріоритетних напрямків для України в контексті енергетичної незалежності та декарбонізації економіки. Південні регіони України, зокрема Одеська область, мають значний потенціал для розвитку сонячної енергетики завдяки високим показникам сонячної радіації. Однак, ефективність фотоелектричних систем суттєво залежить від кліматичних умов, включаючи температурний режим та особливості інсоляції.

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року**

Одеса, місто на півдні України, характеризується помірним кліматом з виразними сезонними коливаннями. Хоча регіон отримує значні обсяги сонячної енергії, її використання для потреб опалення обмежується мінливістю сонячного випромінювання та необхідністю додаткового опалення в холодні періоди. Це дослідження має на меті оцінити доцільність розгортання сонячних теплових систем в Одесі, проаналізувавши 10-річні дані про сонячне випромінювання та температуру з набору даних NASA POWER для подальшого використання при проектуванні та моделювання сонячних систем.

Методологія:

Для оцінки потенціалу сонячної теплової енергії в Одесі було використано 10-річні дані щодо сонячного випромінювання та температури, отримані з набору даних NASA POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources). Автоматизований збір даних здійснювався через API NASA [1] для географічних координат Одеси (46.47° пн. ш., 30.73° сх. д.) з годинною деталізацією за період 2013-2022 рр. Аналіз даних проводився з використанням мови R [2] та пакету dplyr, який дозволяє обробляти дані, проводити операції з вибірки, сортування та інших [3]. Дослідження включало такі етапи:

- Збір та обробка щогодинних даних про сонячне випромінювання (ALLSKY\_SFC\_SW\_DWN) та температуру повітря (T2M)
  - Статистичний аналіз сезонних та добових коливань доступної сонячної енергії
- Оскільки дані NASA не містять погодинних значень на основі денних значень була обчислена відносна інтенсивність випромінювання на основі висоти Сонця [4]:

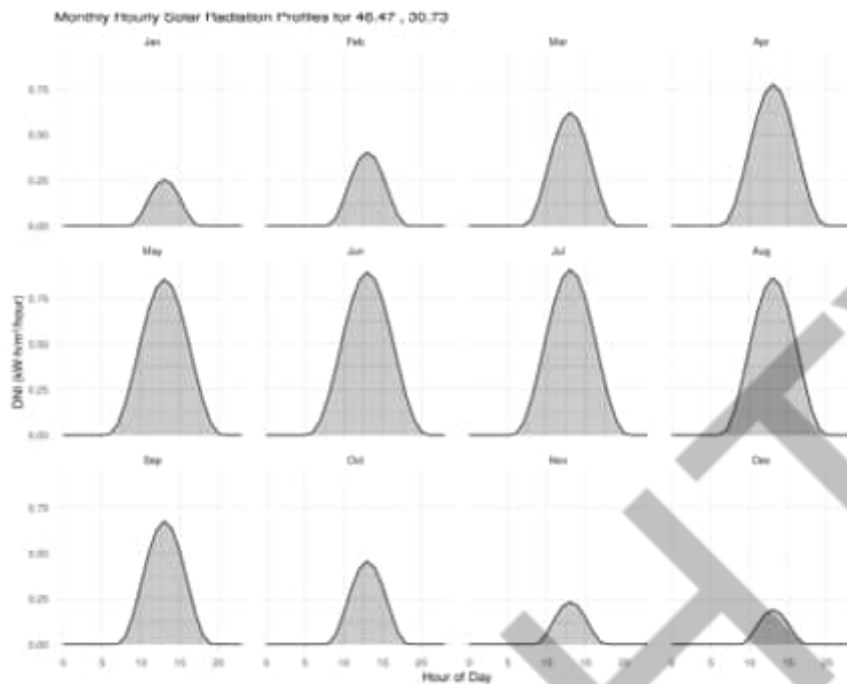
$$\sinh = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega$$

розрахунок коефіцієнта годинної радіації ( $r_0$ )

$$r_0 = \frac{\sinh \cdot (\pi/2 \cdot \sinh)}{N \cdot \sin(\pi/2 \cdot N/24)}$$

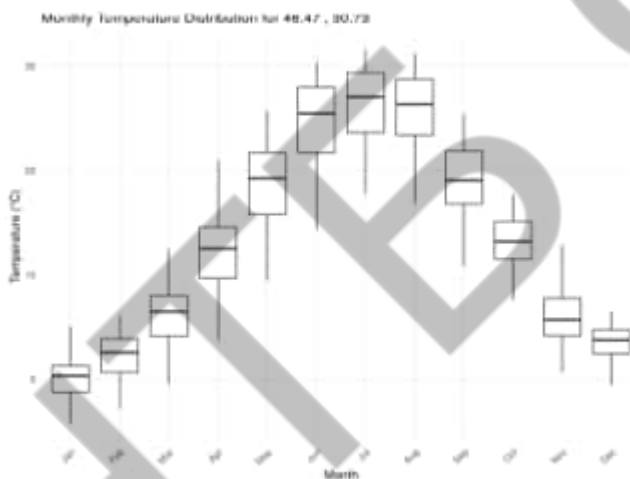
Дана модель відома як модифікована модель Liu-Jordan [5], яка враховує геометричні особливості руху Сонця та емпіричні закономірності розподілу сонячної радіації протягом дня.

Проведений аналіз показав наступний результат (погодинні значення сонячної інтенсивності) за місяцями.

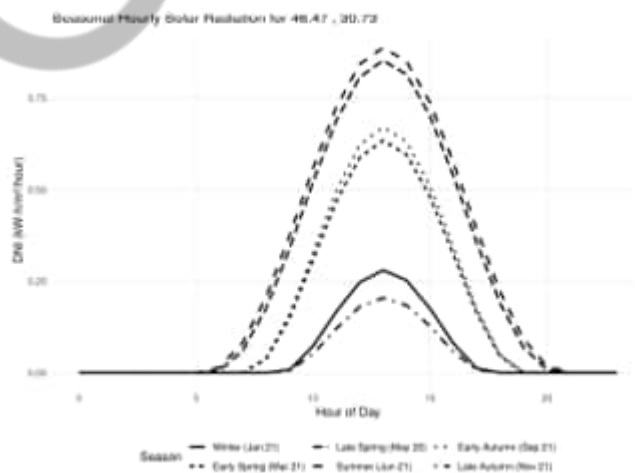


**Рисунок 1 - Погодинні значення сонячної інтенсивності за місяцями.**

Спостерігається значна сезонна варіація – від 0,25 кВт·год/м<sup>2</sup> на день у зимові місяці до 0,8-0,85 кВт·год/м<sup>2</sup> влітку. Найбільша інтенсивність сонячного випромінювання спостерігається з травня по серпень, коли середньодобові температури також найвищі (22-32°C) [6].



**Рисунок 2 – Розподіл температур по місяцях.**



**Рисунок 3 – Рівні сонячної радіації по годинах впродовж дня**

Результати дослідження свідчать про доцільність інтеграції сонячних теплових систем з тепловими насосами у гібридні системи теплопостачання. Такі комбіновані рішення дозволяють забезпечити до 85% річних потреб у теплі для опалення та гарячого водопостачання будівель в умовах Одеси.

### **Висновки**

Отримані результати можуть бути використані при розробці регіональних програм енергоефективності та проектуванні систем теплопостачання для індивідуальних та багатоквартирних будинків в Одесі та інших регіонах з подібними кліматичними умовами.

Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію конфігурації гібридних систем та розробку адаптивних алгоритмів керування з використанням методів машинного навчання для прогнозування сонячного випромінювання та енергоспоживання будівель.

**Літературні джерела:**

1. NASA POWER Project (2022). Prediction of Worldwide Energy Resources. URL:<https://power.larc.nasa.gov/>
2. R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL:<https://www.R-project.org/>
3. Wickham H, François R, Henry L, Müller K, Vaughan D (2023). dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.1.4, <https://github.com/tidyverse/dplyr>
4. Collares-Pereira, M., & Rabl, A. (1979). The average distribution of solar radiation—correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. Solar Energy, 22(2), 155-164.
5. Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C. (1960). The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. Solar Energy, 4(3), 1-19
6. Cesaraccio, C., Spano, D., Duce, P., & Snyder, R. L. (2001). An improved model for determining degree-day values from daily temperature data. International Journal of Biometeorology, 45(4), 161-169.

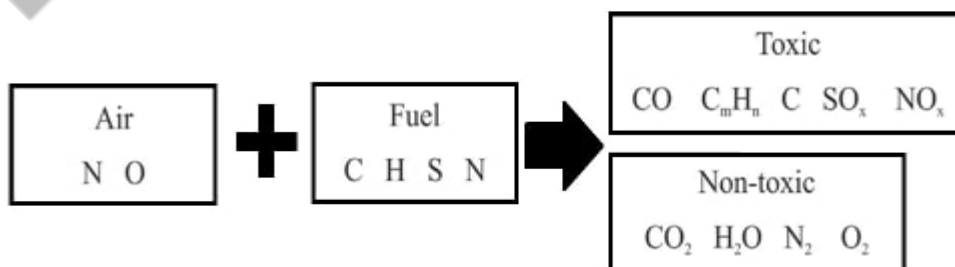
УДК 621.431.74

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ВИТРАТА ПАЛИВА СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Корнієвич С.Г., ст.викладач

Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса, [soadidfor@gmail.com](mailto:soadidfor@gmail.com)

**Вступ.** Суднові дизельні двигуни відіграють ключову роль у морському транспорті, забезпечуючи енергопостачання, рух суден та їх ефективну експлуатацію. Однак їхній вплив на навколишнє середовище залишається значним через викиди парникових газів, оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ), сірки ( $\text{SO}_x$ ) та твердих часток (PM-Particulate Matter). Зменшення витрати палива безпосередньо пов'язане зі зниженням рівня забруднення та економічною ефективністю експлуатації судна. Розглянуто взаємозв'язок між екологічною безпекою та витратою палива суднових дизельних двигунів, а також методи мінімізації негативного впливу на довкілля. Ключова ідея – зменшення витрати палива веде до зниження рівня забруднення та підвищення економічної ефективності експлуатації судна. На Рисунку 1 наведено основні хімічні сполуки що утворюються при згорянні палива, які забруднюють оточуюче середовище[1].

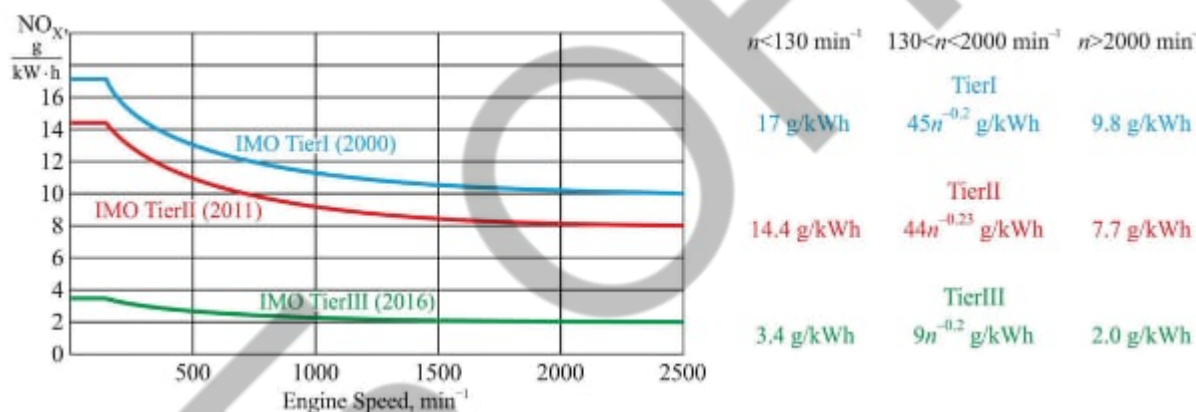


*Рис.1 Механізм утворення токсичних компонентів вихлопних газів при окисленні і згорянні палива*

Екологічна безпека судноплавства безпосередньо залежить від кількості спожитого палива, оскільки саме згоряння дизеля є основним джерелом шкідливих викидів. Основні фактори, що визначають екологічний вплив витрати палива:

- викиди вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  (Зменшення витрати палива знижує кількість викидів вуглекислого газу, який є основним парниковим газом);
- викиди оксиду азоту ( $\text{NO}_x$ ) (Зниження споживання палива або покращена система згоряння допомагає скоротити утворення  $\text{NO}_x$ );
- викиди сірчаних оксидів ( $\text{SO}_x$ ): (Вміст сірки в паливі впливає на утворення  $\text{SO}_x$ , які сприяють кислотним дощам);
- утворення твердих частинок (PM): (Використання ефективного згоряння знижує кількість сажі та інших часток у вихлопних газах).

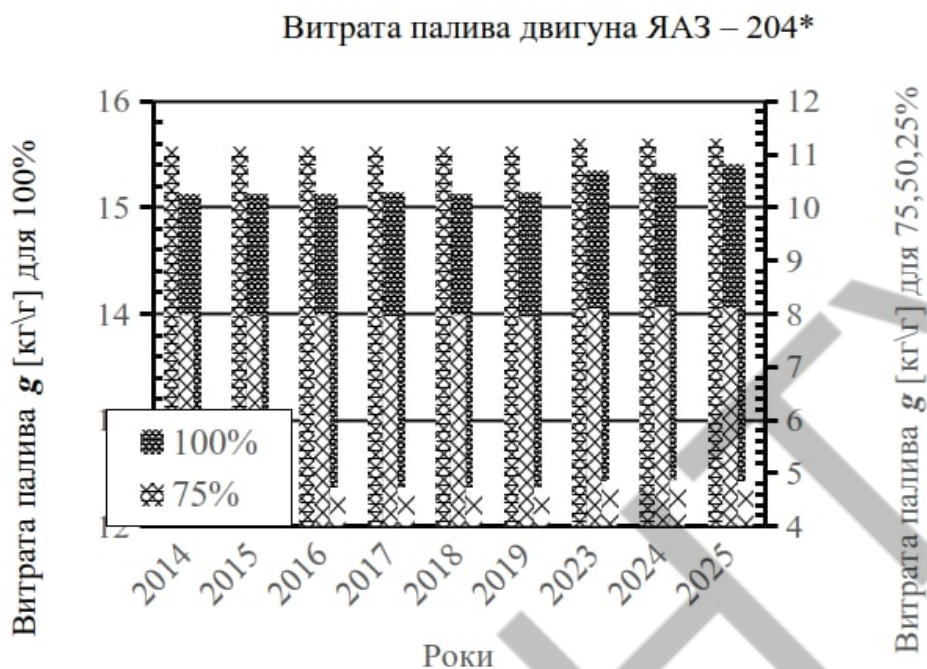
При впровадженні нових методів треба завжди відштовхуватися від нормативно-правових документів та актів які регулюють ті чи інші аспекти їх використання. У випадку з екологією, основними документами є «MARPOL Annex VI», де вказані норми як для холодильного обладнання, так і для двигунів внутрішнього згоряння, також норми викидів наведено на Рисунку 2[1].



**Рис.2 Вимоги Додатку VI MARPOL до кількості  $\text{NO}_x$  у вихлопних газах суднових двигунів (таблиця залежності кількості  $\text{NO}_x$  від обертів)[1]**

#### Методи зниження витрати палива та покращення екологічної безпеки:

- оптимізація робочих параметрів двигуна. (Поліпшення системи впорскування палива. Регулювання повітряно-паливної суміші для досягнення оптимального згоряння. Використання сучасних електронних систем керування паливоподачею);
- використання альтернативних видів палива. (Переобладнання на зріджений природний газ (LNG-Liquefied Natural Gas), що значно знижує рівень  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  та PM. Використання біопалива, що сприяє зменшенню викидів  $\text{CO}_2$ , проте потребує адаптації двигунів);
- використання\модернізація системи очищення вихлопних газів ( Встановлення скрубєрів для зниження рівня  $\text{SO}_x$ . Використання системи рециркуляції вихлопних газів (EGR- Exhaust Gas Recirculation) для зменшення  $\text{NO}_x$ . Встановлення каталітичних нейтралізаторів (SCR-Selective Catalytic Reduction) для зменшення шкідливих викидів);
- експлуатаційні заходи. (Зменшення швидкості судна (slow steaming), що дозволяє суттєво скоротити витрати палива та викиди. Оптимізація маршруту та навантаження, з використанням даних з погодних умов та стану моря для вибору оптимального маршруту. Підвищення енергоефективності суднових енергетичних установок (EEDI-Energy Efficiency Design Index, SEEMP-Ship Energy Efficiency Management Plan), при впровадженні програм управління енергоспоживанням.



**Рис. 3. Залежність витрати палива g[кг/г] від моменту часу[роки]**

Дослідження які було проведене при роботі двотактного дизельного двигуна ЯА3-204\* (\*-без компресора типу Рутс), показали, що при роботі на режимі 75%, споживання палива значно менше (а саме на 1.45%) ніж на 25%( а саме на 2.75%) , 50%( а саме на 1.92%) та 100%( а саме на 1.47%) після простою двигуна з 2019 по 2023 рік. Параметри споживання палива (для 4х різних режимів, 25%, 50%, 75% та 100% відповідно) відносно моментів роботи наведено на Рисунку 3.

**Висновки.** Зменшення витрати палива та вибір оптимального режиму роботи двигунів внутрішнього згорання є ключовим фактором у підвищенні екологічної безпеки морських перевезень. Оптимізація роботи двигунів, перехід на альтернативні види палива, використання сучасних систем очищення вихлопних газів та ефективні експлуатаційні заходи дозволяють суттєво знизити рівень шкідливих викидів. Додатково, впровадження міжнародних екологічних стандартів, таких як MARPOL Annex VI, сприяє зменшенню викидів оксидів сірки (SO<sub>x</sub>) та азоту (NO<sub>x</sub>), а також контролює якість використовуваного суднового палива. Він встановлює суворі обмеження щодо вмісту сірки в паливі, що змушує судновласників переходити на низькосірчисті види палива або використовувати системи очищення вихлопних газів, такі як скрубери. Крім того, MARPOL Annex VI передбачає використання Індексу енергоефективності суден (EEDI) та Плану управління енергоефективністю судна (SEEMP), які допомагають зменшити витрати палива завдяки більш ефективним технологіям і методам експлуатації. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розвиток інноваційних технологій у сфері суднових енергетичних установок та впровадження розумних систем керування паливоподачею.

#### *СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ*

1. Victorovych Sagin, S., Andriiovych Kuropyatnyk, O., Victorovych Zablotskiy, Y., & Victorovich Gaichenia, O. V. G. (2022). Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters. NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo, 69(1), 53-61.,

УДК 536.252

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДАЧІ ПРИ ВИМУШЕНІЙ КОНВЕКЦІЇ ТЕТРАЛІНУ В ТРУБІ

Желєзний В.П., професор, Івченко Д.О., доцент, Шумський О.А., аспірант,  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, [zheleznyv@gmail.com](mailto:zheleznyv@gmail.com)

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності сонячних енергетичних установок є використання нанофлюїдів замість традиційних теплоносіїв. Застосування нанотехнологій дозволяє цілеспрямовано змінювати теплофізичні властивості високотемпературних теплоносіїв, регулювати ефективність поглинання сонячного світла завдяки застосуванню гібридних нанофлюїдів. Крім того, наявність наночастинок у теплоносії може сприяти підвищенню інтенсивності тепловіддачі в теплообмінному обладнанні, зниженню масогабаритних характеристик теплообмінного обладнання, зменшенню витрат енергії на прокачування теплоносія. Тому завдання вивчення впливу матеріалу наночастинок, їх розмірів та концентрації на теплофізичні теплоносії, витрати енергії на циркуляцію теплоносія та значення коефіцієнта тепловіддачі є актуальними.

Тетралін за сукупністю теплофізичних властивостей та здатності добре розчиняти вуглецеві наночастки може розглядатися як перспективний високотемпературний теплоносій для сонячної енергетики. Однак теплофізичні властивості тетралін/фулерен  $C_{60}$  та коефіцієнт тепловіддачі при ламінарному та турбулентному русі теплоносія в трубі залишаються досі слабо вивченими.

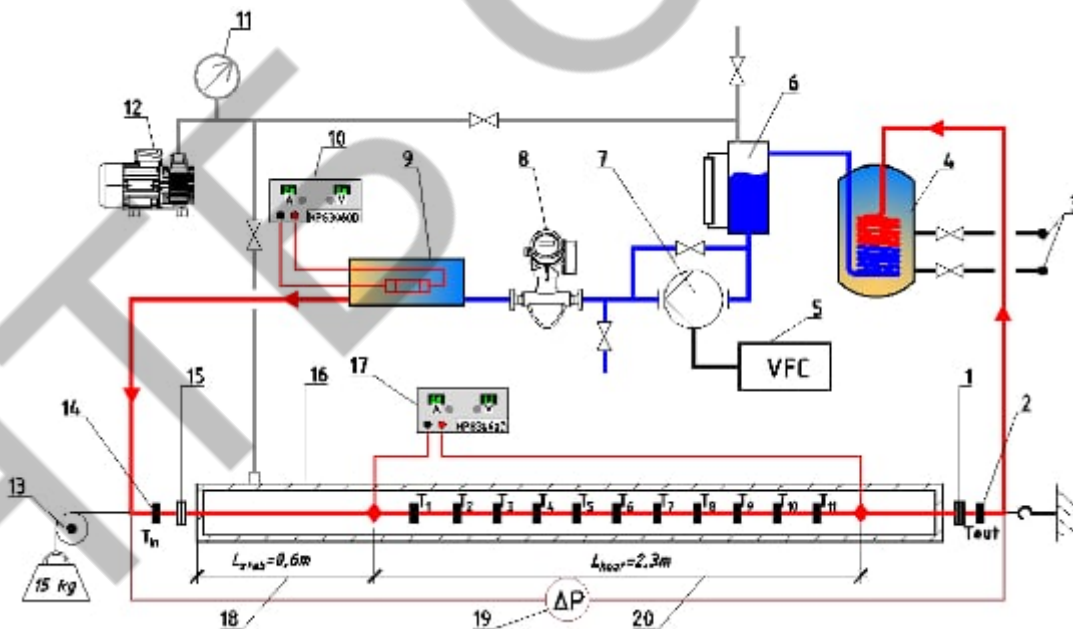


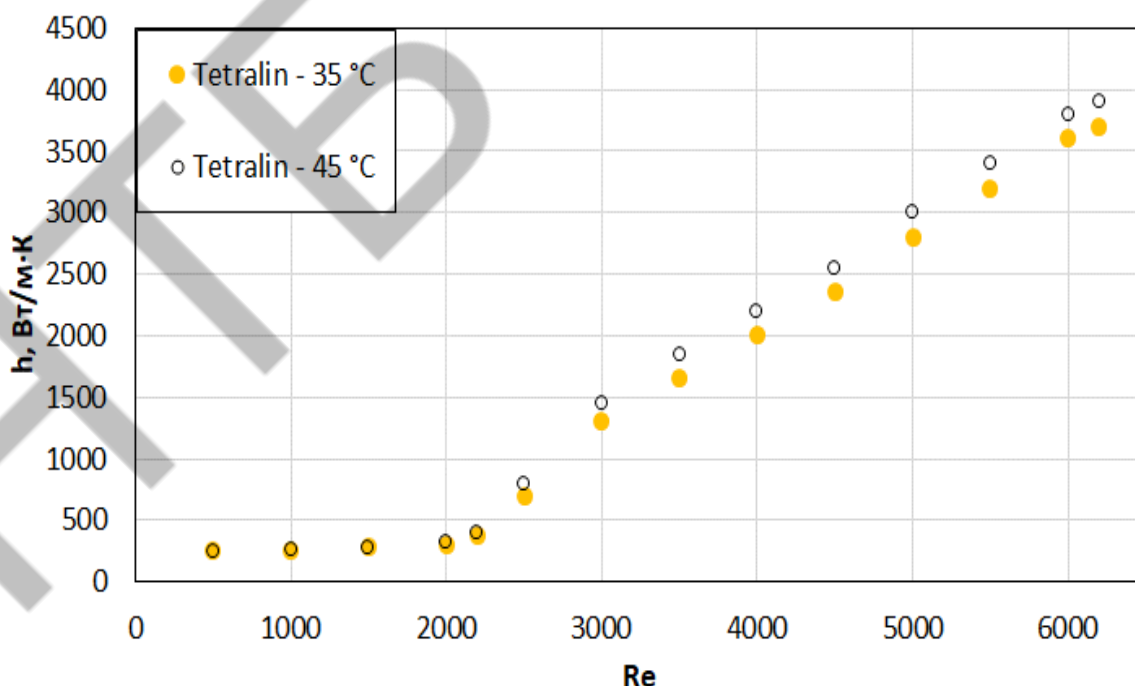
Рисунок 1 – Схема експериментальної установки:

1, 15 – ізолятор, 2, 14 – термометричні кишені, 3 – підключення системи охолодження, 4 – бак охолодження, 5 – частотно-регулюючий контролер BLDH 350, 6 – бак приймач, 7 – циркуляційний насос WBX-12, 8 – коріолісовий витратомір Proline Promass 83 F, 9 – попередній нагрівач, 10, 17 – стабілізоване джерело живлення Masteram HPS 3060 D, 11 – вакуумметр WIKA, 12 – вакуумний насос Value VE 225 N, 13 – розтягуючий пристрій, 16 – вакуумна камера, 18 – ділянка стабілізації, 19 – датчик тиску WIKA 0-25 bar, 20 – робоча ділянка вимірювань.

Для експериментального дослідження коефіцієнту тепловіддачі при ламінарному та турбулентному режимах була створено експериментальній стенд. Схема експериментальної установки показана на рисунку 1. Робоча ділянка (18, 20) являє собою трубку з нержавіючої сталі зовнішнім діаметром 4 мм, товщиною стінки 0.25 мм і загальною довжиною 3.1 м. Початкова ділянка труби (18) довжиною 0.6 м (до клеми стабілізованого джерела живлення (17)) є ділянкою стабілізації потоку, решта труби є робочою ділянкою установки (20). Для контролю температури теплоносія перед входом у робочу ділянку та на виході з неї передбачені термометричні кишені, в яких встановлені мідь-константанові термопари (2, 14). Ці термопари дозволяють контролювати сталість температури на вході в робочу ділянку установки, а також її зміну на виході. Контур охолодження (3,4) використовується для зменшення температури теплоносія перед циркуляційним насосом (7) і витратоміром (8).

По довжині робочої ділянки вимірювань встановлено одинадцять спаїв мідь-константанових термопар ( $T_I-T_{II}$ ) для вимірювання локальної температури. Всі термопари ізольовані від поверхні сталеві трубки тефлоновою стрічкою товщиною 0.05 мм. Для усунення теплових втрат у навколишнє середовище робоча ділянка поміщена у вакуумну камеру (16), де підтримується динамічний вакуум (менше 100 Па).

Розтягуючий пристрій (13) служить для компенсації термічної деформації робочої ділянки установки та забезпечує його горизонтальне положення за допомогою підвішених вантажів масою 15 кг. Теплоносій перекачується циркуляційним насосом (7) через замкнутий контур установки. Масова витрата теплоносія може регулюватися зміною частоти обертів двигуна насоса за допомогою частотно-регулюючого контролера (5). Масова витрата теплоносія вимірюється за допомогою коріолісового витратоміра (8), що працює в діапазоні витрати рідини від 0 до 2000 кг/год з невизначеністю 0,10 %. Крім того, застосування цього типу масового витратоміра забезпечує можливість отримання даних про густину теплоносіїв з невизначеністю  $\pm 5 \text{ кг/м}^3$ .



**Рисунок 2 – Залежність коефіцієнту тепловіддачі  $h$  (Вт/м·К) від числа  $Re$  для тетраліну при різних температурних режимах.**

Подача теплового навантаження на робочу ділянку здійснюється від стабілізованого джерела живлення (HPS3060D) (17). Ізолятори (1) та (15) використовуються для усунення можливого електричного контакту робочої ділянки від інших частин експериментальної установки. Для автоматизації збору експериментальних даних та первинної обробки отриманої інформації використовується модуль Arduino UNO, мультиметр PICOTEST 3510A та комп'ютер. Заповнення експериментальної установки тестовим зразком нанотеплоносія відбувається через бак приймач (1), при цьому весь контур попередньо вакуумується вакуумним насосом (12).

Дослідження проводилось для чистого тетраліну на різних температурах (35, 45). Масова витрата рідини від 0,00076 до 0,041 кг/с. Перепад температур на робочій ділянці 1 К. На рисунку 2 представлено коефіцієнти тепловіддачі залежно від робочого режиму.

#### **Літературні джерела:**

- 1) Н. Babar and H.M. Ali, Towards hybrid nanofluids: Preparation, thermophysical properties, applications, and challenges, Journal of Molecular Liquids Volume 281 (2019) P.598–633
- 2) A. Nikulin, A.S. Moita, A.L.N. Moreira, S.M.S. Murshed, A. Huminic, Y. Grosu, A. Faik, J. Nieto-Maestre, O. Khliyeva, Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles on laminar, transient and turbulent flow of isopropyl alcohol, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 130 (2019) P. 1032-1044  
Rita Adrião Lamosa, Igor Motovoy, Nikita Khliiev, Artem Nikulin, Olga Khliyeva, Ana S. Moita, Janusz Krupanek, Yaroslav Grosu, Vitaly Zhelezny, Antonio Luis Moreira, Palomo del Barrio Elena, Tetralin + fullerene C<sub>60</sub> solutions for thermal management of flat-plate photovoltaic/thermal collector



**УДК 621.1:622.276.34**

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І КАЛОРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕРИТРИТУ**

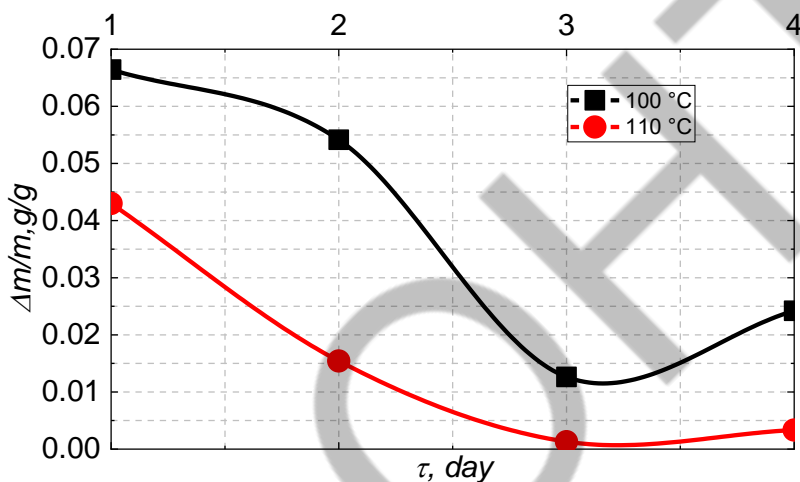
**Квасницький Б.А., аспірант ОНТУ, Глек Я.О., ст.викладач ОДАБА, Івченко Д.О., доцент ОНТУ,  
Халак В.Ф., ст. викладач ОНТУ, Желєзний В.П., професор, науковий керівник  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, [zheleznyv@gmail.com](mailto:zheleznyv@gmail.com)**

Еритрит (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>) являє собою багатоатомний спирт з 4 атомами вуглецю. Ця речовина за нормальних умов має вигляд білих кристалів без запаху, які добре розчиняються у воді та спирті, але нерозчинні в органічних розчинниках і жирах. Еритрит плавиться за температури 121,5 °С. Маючи такі параметри плавлення, останніми роками еритрит розглядають як вельми перспективний термоакумулювальний матеріал із теплою фазового переходу понад 200 Дж/г. Як показано в різних літературних джерелах, його природне походження, низький вплив на навколишнє середовище, нетоксичність і доступність роблять еритрит конкурентоспроможним і безпечним матеріалом. Ця речовина може перебувати у двох кристалічних формах [1]: стабільна кристалічна форма з T<sub>m</sub> близько 117 °С і метастабільна кристалічна форма з T<sub>m</sub> близько 104 °С.

Основними проблемами, що перешкоджають використанню еритриту як матеріалу з фазовим переходом (PCM), є його здатність до переохолодження, низька теплопровідність і термостабільність [2]. Еритрит може вважатися придатним для застосування в середньотемпературних накопичувачах теплової енергії з прихованою теплою фазового переходу (НТЕПТФП) за умови, що його недоліки (низьке значення теплопровідності та високий ступінь переохолодження) будуть адекватно враховані.

Низьке значення теплопровідності еритриту (0.733 Вт/(м·К) у твердому стані та 0.326 Вт/(м·К) у рідкому стані) суттєво впливає на час заряджання/розряджання під час використання в НТЕПТФП. Для підвищення теплопровідності еритриту можна використовувати різні методи, наприклад, композиційні матеріали, до складу яких входять пористі матеріали або наноматеріали з високою теплопровідністю.

Проведений термографічний аналіз показав, що еритрит має високий ступінь переохолодження. Хоча переохолодження еритриту ще не до кінця вивчено, можна стверджувати, що на нього впливає безліч причин, таких як об'єм зразка, наявність домішок, властивості контейнера та умови охолодження [2]. У всіх випадках, метою розробки композиційних ТАМ є збільшення центрів кристалізації еритриту.



**Рисунок 1 - Термогравіметричний аналіз еритриту за різних температур і тиску 20 кПа.**

Під час дослідження калоричних властивостей еритриту необхідно також враховувати термічну стійкість еритриту. Результати проведеного термогравіметричного аналізу за температур 100 °C, 110 °C, 130 °C і тиску 20 кПа.

Як видно з рисунка 1, в околицях температур 100-110 °C у 1 день дослідження показує найбільше значення, пов'язане, можливо, з десорбцією вологи. У наступні дні значення домішок абсорбованої води зменшуються

Дослідження теплоємності еритриту було виконано методом монотонного нагрівання в калориметрі змінної температури на установці, докладний опис якої наведено [3].

Термограма проведеного дослідження і температурна залежність ефективної теплоємності еритриту наведені на рисунках 2,3.

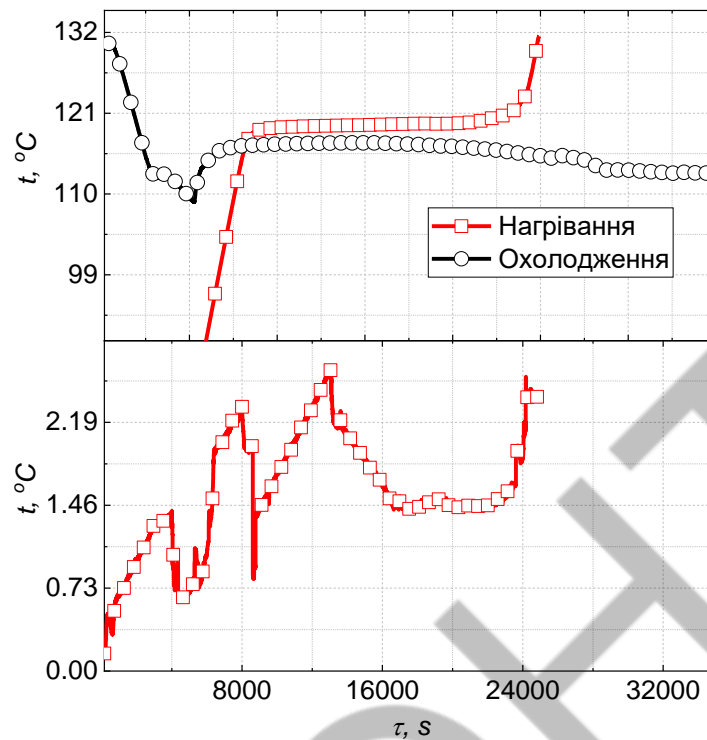


Рисунок 2 Термограми процесу плавлення і кристалізації еритриту

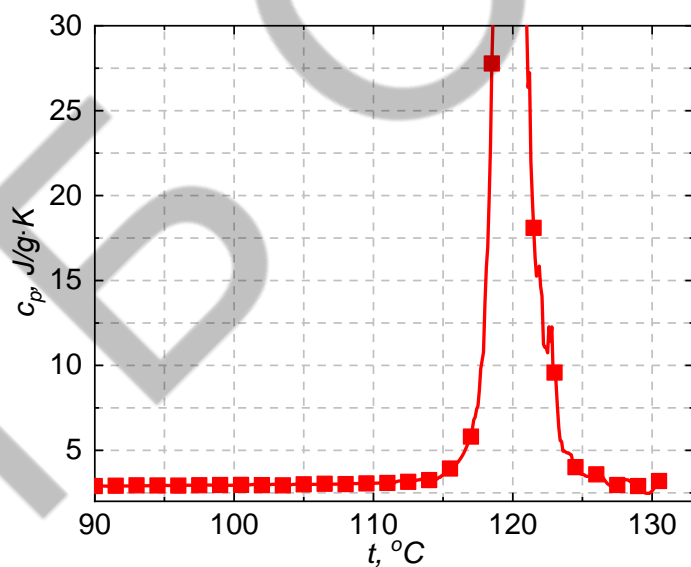


Рисунок 3 Температурні залежності ефективної теплоємності еритриту в околиці фазового переходу

Нагрівання відбувалося за потужності калориметричного нагрівача, потужність якого становила 3 Вт. Адіабатні умови підтримувалися завдяки двом адіабатним оболонкам, виготовленим із міді та покритим фольгою. На поверхні екранів за допомогою термостійкого клею встановлено нагрівачі. Під час нагрівання градієнт температур не перевищував 3 °С.

Проведений аналіз отриманих даних показує, що теплота плавлення еритриту становить 480 Дж/г, що дає змогу рекомендувати цю речовину як базовий компонент при створенні

нанокомпозиційних термоакумуючих матеріалів з метою усунення переохолодження і збільшення теплопровідності.

#### **Література**

[1] A.L. Jesus, S.C. Nunes, M.R. Silva, A.M. Beja, J. Redinha, Erythritol: crystal growth from the melt, *Int. J. Pharm.* 388 (2010) 129-135.

[2] Sebastiano Tomassetti, Alessia Aquilanti, Pio Francesco Muciaccia, Gianluca Coccia, Christoph Mankel, Eduardus A.B. Koenders, Giovanni Di Nicola, A review on thermophysical properties and thermal stability of sugar alcohols as phase change materials, *Journal of Energy Storage*, Volume 55, Part B, 2022, 105456, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105456>.

[3] V. Zhelezny, Y. Hlek, Y. Grosu, B. Kvasnytskyi, и D. Ivchenko, «Effect of Fullerene Additives on the Optical and Thermodynamic Properties of Eicosane», в 2024 IEEE 14th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP), сеп. 2024, сс. 1–4. doi:10.1109/NAP62956.2024.10739675.

**UDC 621.575.931:621.565.92**

## **ANALYSIS OF THE PROSPECTS OF USING SOLAR SYSTEMS TO OBTAIN WATER FROM ATMOSPHERIC AIR**

**Graduate student, Kravchenko V.V.**

**Odesa National University of Technology, Odesa, Ukraine**

[vladkrav1122@gmail.com](mailto:vladkrav1122@gmail.com)

The shortage of water resources is one of the most important problems of our time. Nowadays, countries all over the world feel the effects of this issue on various scales. Reports and studies conducted by the United Nations claim that more than 2 million people do not have access to safe water and the situation worsens every year [1, 2]. It is important to note that in Ukraine, which is one of the countries with limited water resources, the situation is worsening due to the war and requires immediate intervention.

The problem of water shortage is not new, and scientists from all over the world are engaged in solving this problem. There are several ways to reduce the water scarcity: importation, desalination of salt water and extraction of water from atmospheric air. There are several methods of obtaining water from the air, the most common of which are cooling the air below the dew point or using special materials to absorb water with its further extraction [3]. The choice of method depends on climatic conditions and economic factors.

The presented methods of obtaining water from the air require a certain amount of energy, and solar radiation will be considered as a source of the necessary energy.

Currently, the most common and studied method is the design of air dryer systems using special materials that absorb water (absorption process) during the night time period. For the subsequent release of water (desorption process), it is necessary to heat the material. To implement this method, a temperature in the range of 50-80 °C is sufficient, which is quite satisfactorily implemented using solar systems. There is a large amount of research and materials for the implementation of this method, but at this stage it is still not enough for their implementation.

Another promising direction is the development of systems for obtaining water from the air based on solar systems and absorption ammonia-water refrigerating machines (AWRM) [4,5]. They implement the process of condensation of water from the air when the temperature is below the dew point. A peculiarity of the use and research of AWRM is the interdependence of temperatures: the heating medium, the cooling medium, and the temperature of the cooling object. The variable parameter of these three is the temperature of the heating source. To implement the operation of this system, it is necessary to specify the temperatures of the cooling object and determine the temperature range of the heating source.

For this type of system, research was conducted for various conditions and with some modifications. The advantage of using AWRM is the minimal amount of energy consumed, reliability and durability, the absence of complex mechanisms and the availability of parts and construction materials, and also a natural working body that has many advantages - an ammonia-water solution (AWS). The choice of solar systems is related to their autonomy, wide distribution and a large assortment of devices for various tasks.

One of these schemes for obtaining water from the air is the AWRM scheme with a booster compressor (Fig. 1).

The need to install a booster compressor is due to the high operating temperature range of AWRM 120-170 °C. An additional compressor allows you to reduce the range of optimal operating temperatures to 70 °C.

The disadvantage of the presented system is the need for an increased amount of energy for operation.

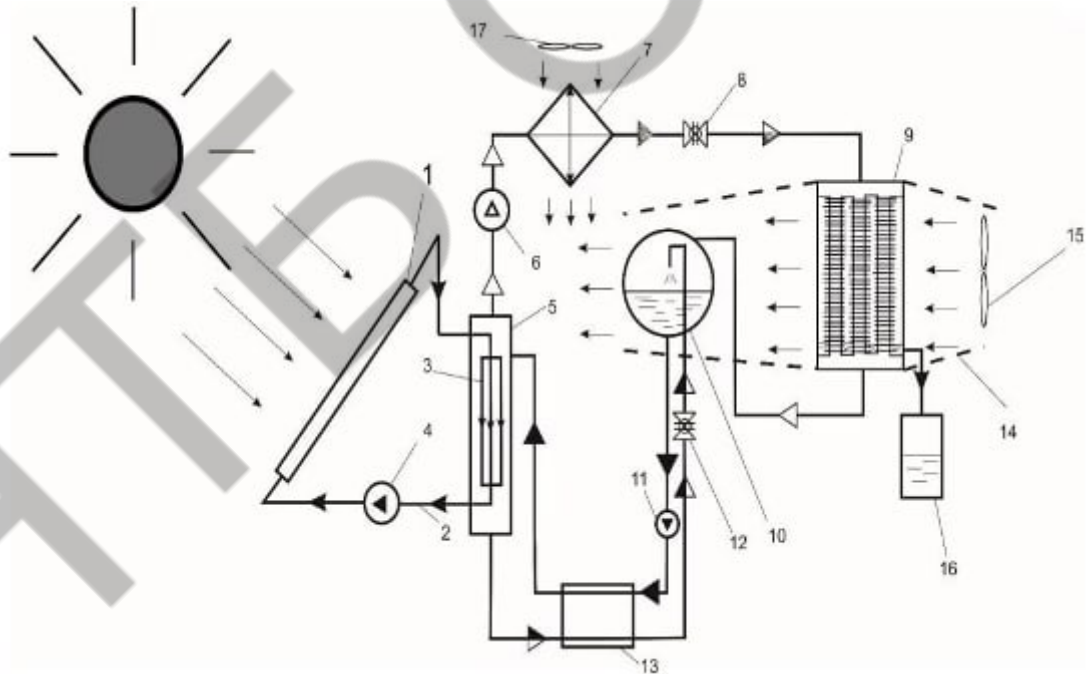


Fig. 1. Scheme of AWRM with booster-compressor: 1 – solar system; 2 – circulation circuit; 3 – heat exchanger; 4 – circulation pump; 5 – generator; 6 – booster-compressor; 7 – ammonia steam condenser; 8 – throttle of liquid ammonia; 9 – evaporator; 10 – absorber; 11 – solid solution pump; 12 – throttle of a weak solution; 13 – heat exchanger; 14 – air channel; 15, 17 – fans; 16 – condensate collector.

In the case when there is no additional source of electrical energy, it is advisable to consider the AWRM scheme with an additional solution evaporator (Fig. 2).

The presented scheme with an additional solution evaporator has a higher concentration of ammonia and can use a heat source with a temperature of 75 °C for its operation.

Presented and other existing schemes for obtaining water from the air are gradually attracting the attention of more and more people and look somewhat promising. However, for their implementation, it is necessary to carry out further studies of operating modes, improvement of calculation methods, selection of more efficient materials from the point of view of heat and mass exchange and minimization of economic costs.

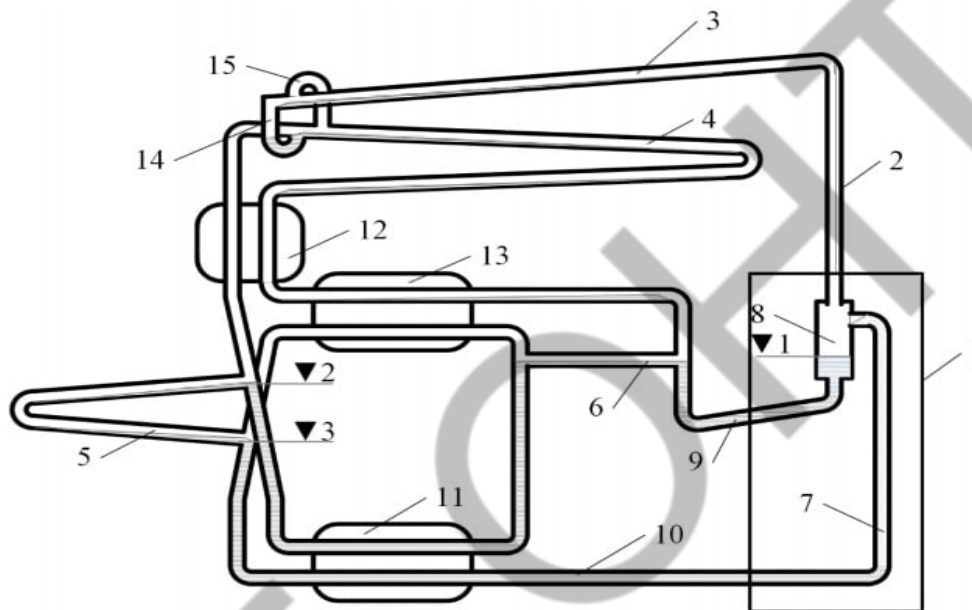


Fig. 2. Schematic diagram of AWRM with an additional solution evaporator: 1 - generator unit; 2 — reflux condenser; 3 — condenser; 4 — ammonia evaporator; 5 — absorber; 6 - solution evaporator; 7 — generator; 8 — separator; 9 — channel of weak AWS; 10 — channel of strong AWS; 11 — solution heat exchanger; 12, 13 — heat exchangers; 14 — ammonia hydraulic seal; 15 — equalizing main; ▼1, ▼2, ▼3 — levels, respectively, of a weak solution in the separator, at the inlet and outlet of the absorber.

#### REFERENCES

1. UNESCO. The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. UNESCO: Paris, France, 2021. Available online: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>
2. Koncagül E., Connor R., Abete V. The United Nations World Water Development Report 2024: water for prosperity and peace; facts, figures and action examples // programmer and meeting document / UNESCO. Colombella, Perugia, Italy, 2024. P. 19.
3. Wang, Y.; Danook, S.H.; AL-bonsrulah, H.A.; Veeman, D.; Wang, F. A Recent and Systematic Review on Water Extraction from the Atmosphere for Arid Zones. *Energies* 2022, 15, 421. <https://doi.org/10.3390/en15020421>.
4. Osadchuk, Ye.O., Titlov, O.S., Mazurenko, S.Yu. (2014) The designation of energy efficient operation modes of absorption water-ammonia refrigeration machine in systems for removing water from atmospheric air. *Refrigeration engineering and technology*, 4, 54-57.

5. Біленко, Н., & Тітлов, О. (2021). Розробка абсорбційних холодильних агрегатів на низькопотенційних джерелах теплової енергії. *Refrigeration Engineering and Technology*, 57(1), 13-25. <https://doi.org/10.15673/ret.v57i1.1976>

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ НАГРІВАННЯ ПОРОШКІВ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ КЕРАМІКИ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ

Кравченко Є.О., аспірант, ОНТУ, м. Одеса, [Odessaevgeniy@gmail.com](mailto:Odessaevgeniy@gmail.com)

Борець С.О., аспірант, ОНТУ, м. Одеса, [borec.stas@gmail.com](mailto:borec.stas@gmail.com)

В роботі проводився аналіз експериментальних даних по дослідженню впливу одночасного збільшення маси матеріалу та вихідної потужності магнетрону. Результати аналізу різних дослідів, наведені для рівного інтервалу зміни вмісту вологи, показують, що питомі витрати електроенергії на сушіння падають при одночасному збільшенні маси і вихідної потужності магнетрона (табл. 1).

Таблиця 1 – Вплив збільшення маси та вихідної потужності магнетрону на питомі енерговитрати

№	Мощность магнетрона, Вт	Масса материала, кг	Швидкість $N \cdot 10^5, c^{-1}$	Час, с	Енерговитрати, $P \cdot 10^{-6}, Дж/кг$
1	80	0,06	0,61	240	1,275
2	180	0,08	0,56	240	2,34
3	180	0,1	0,69	240	1,52
4	240	0,16	0,77	240	1,14
5	240	0,24	0,83	240	0,703

Експериментально визначено, що при нагріванні зразків товщиною  $\delta \geq 30$  мм зі швидкістю вище 0,5 К/с і при більшій вихідній потужності магнетрону в матеріалі виникають тріщини, поверхня стає неоднорідною, а волога, що випарувалася в обсязі, формує внутрішні мікроканали.

В роботі отримано залежність для розрахунку ККД мікрохвильової камери при завантаженні її зразками з глини, яка враховує початковий вміст вологи вміст матеріалу і ступінь заповненості мікрохвильової камери матеріалом. При зміні маси глиняного зразка від 0,06 кг до 0,9 кг та зміні відносного об'єму від 0,003 до 0,09 ККД камери при товщині шару  $7 < l < 30$  мм описується з похибкою 14% співвідношенням:

$$\eta_k = 0,72 \cdot \left(1 - e^{-203 \cdot (V_{обп} / V_k)}\right) \cdot \left(\frac{u}{0,46}\right)^{0,35}$$

Отримано, що економічно доцільно збільшувати завантаження камери, а забезпечення високої продуктивності установки слід встановлювати максимально можливу потужність магнетрона. Останнє пов'язані з особливостями роботи магнетрону: зменшення вихідний потужності досягається перериваннями у його роботи. Збільшення потужності призводить до збільшення ККД камери. При зниженні потужності збільшуються теплові втрати в

навколишнє середовище і спостерігається нераціональний витрата енергії на розігрів матеріалу.

**ВИСНОВКИ.** Значення споживаної енергії на мікрохвильове нагрівання можуть бути суттєво знижені за рахунок зниження теплових втрат, одним із методів зниження яких є використання поглинаючих покриттів.

Отримано, що економічно доцільно збільшувати завантаження камери, а для забезпечення високої продуктивності установки слід встановлювати максимально можливу потужність магнетрона.

Список інформаційних джерел

1. Wakchaure Y. B., Patle B. K., Pawar S. Prospects of robotics in food processing: an overview. *Journal of Mechanical Engineering, Automation and Control Systems*. 2023. URL: <https://doi.org/10.21595/jmeacs.2023.23209>.

2. Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials / ed. by S. Grundas. InTech, 2011. URL: <https://doi.org/10.5772/562>.

3. Rahaman M. N. Ceramic Processing and Sintering. CRC Press, 2017. URL: <https://doi.org/10.1201/9781315274126>.

4. Kolesnychenko N., Volgusheva N., Boshkova I. Analytical study of the processes of thermal conductivity at high intensity heating. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 5, no. 8 (83). P. 26–31. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79990>.

5. Technische Keramiken sicher entbindern und sintern / P. Haigh et al. *Keramische Zeitschrift*. 2021. Vol. 73, no. 4-5. P. 30–33. URL: <https://doi.org/10.1007/s42410-021-0497-9>.

УДК 536.24:66.045.132

## **АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ВТОРИННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ**

**Арику А.В., ст. викладач, ОНТУ, м. Одеса [solodkava140619@gmail.com](mailto:solodkava140619@gmail.com)**

**Писаревський І.О., аспірант, ОНТУ, м. Одеса, [ellaa@ukr.net](mailto:ellaa@ukr.net)**

В ході будь-якого технологічного процесу спостерігається неповне використання первинної енергії. Перспективи утилізації вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) надають можливість отримання значної економії палива та істотно знизити капітальні витрати на створення відповідних енергозберігаючих установок [1, 2]. Відповідно існуючій класифікації, розрізняють: горючі ВЕР, теплові ВЕР і ВЕР надлишкового тиску [3]. Теплові ВЕР можуть використовуватися як безпосередньо у вигляді теплоти, так і для роздільного або комбінованого виробництва теплоти, холоду, електроенергії в утилізаційних установках [4].

За ступенем концентрації енергії розрізняють джерела ВЕР [5]:

1. Високопотенційні: перш за все теплові ВЕР високотемпературних (400–1000 °С) технологій, пов'язаних з нагріванням, плавленням, випалюванням, термообробкою або сублімацією. Величина втрат енергії з димовими газами від нагрівальних термічних втрат сягає до 70%;

2. Середньопотенційні: димові гази, конденсат, відпрацьована пара, продуктові потоки з температурою вище 150 °С;

3. Низькопотенційні: системи оборотного водопостачання, охолодження зі зміною температури води на 5–10 °С, скиди пари тиском 1–1,5 атм в атмосферу, побутові стоки, гази температурою 100–150 °С, вентиляційні викиди.

Енергетичний потенціал ВЕР реалізується в утилізаційних установках і системах, до яких відносяться котли-утилізатори, теплообмінники, печі, газотурбіни, системи оборотного водопостачання для зниження витрати

Загальний річний вихід ВЕР в Україні оцінюється величиною 26,18 млн. т. у.п. Однак для залучення його в енергетичний баланс необхідні значні капітальні вкладення, пов'язані з впровадженням енергозберігаючого обладнання і технологій. Теплота промислових викидів навіть в Європейських країнах досягає 30%, що вимагає пильної уваги і аналізу можливості її утилізації. Факторами, що ускладнюють використання ВЕР, є також змінність їх як джерела енергії і розбіжність режимів роботи установок, які виробляють ВЕР, з режимами попиту на теплову енергію. У зв'язку з цим в схемах використання ВЕР повинні знайти широке застосування акумулятори теплоти.

Димові гази, що відходять, мають високий енергетичний потенціал, при його використанні тільки на 50% можливе отримання додаткової теплової енергії в кількості близько 0,7 млн. Гкал на рік. Використання теплової енергії відхідних газів проводиться в два етапи: регенерацією (поверненням) газів в початковий процес і перетворенням енергії газів в котлах-утилізаторах в більш зручний для споживання вид: енергію пари або гарячої води.

У рамках даного дослідження увага зосереджена на потенціалі теплових ВЕР, які включають фізичну теплоту відхідних газів з промислових підприємств незначної енергетичної потужності, зокрема харчових. До способів використання низькопотенційних ВЕР на підприємствах відносять попередній підігрів повітря в системах вентиляції, води для гарячого водопостачання і автономних систем опалення, підігрівання повітря в приміщеннях різного призначення.

## ВИСНОВКИ

1. Використання низькопотенційного тепла має значний енергетичний потенціал, внаслідок чого перетворення (утилізація) теплової енергії в корисну є важливим практичним завданням. До способів використання низькопотенційних ВЕР на підприємствах відносять попередній підігрів повітря в системах вентиляції, води для гарячого водопостачання і автономних систем опалення.

2. Через існування домішок у відпрацьованих газах для утилізації тепла в даний час використовують виключно рекуперативні теплообмінні установки, в яких теплообмін відбувається через розділову стінку, тобто з'являється додатковий термічний опір, що погіршує ефективність теплопередачі.

3. Ступінь утилізації теплоти залежить від ефективності теплообмінника, яка може бути визначена. Для пластинчастих повітро-повітряних теплообмінників цей показник знаходиться

в межах від 0,4 до 0,7. Більш високі показники мають регенеративні теплообмінники з обертовою насадкою ( $\varepsilon=0,7-0,85$ ).

4. Регенеративні теплообмінники з рухомим та нерухомим щільним шаром характеризуються високою тепловою ефективністю, компактністю, невеликою масою, простотою конструкції, надійністю, що дозволяє забезпечити значну продуктивність

#### Список інформаційних джерел

1. Ilyin R. A., Shishkin N. D. Development of a wind power plant that recycles secondary energy resources of marine infrastructure facilities. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies*. 2024. Vol. 2024, no. 4. P. 99–105. URL: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2024-4-99-105>.

2. Optimization and economic evaluation of industrial gas production and combined heat and power generation from gasification of corn stover and distillers grains / A. Kumar et al. *Bioresource Technology*. 2010. Vol. 101, no. 10. P. 3696–3701. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.103>.

3. Low grade thermal energy sources and uses from the process industry in the UK / Y. Ammar et al. *Applied Energy*. 2012. Vol. 89, no. 1. P. 3–20. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.003>.

4. Копецька Ю. О. Сутність, основні види та класифікація енергетичних ресурсів як складові виробничого потенціалу підприємства. *Науковий вісник*. Ужгород, 2016. Вип. 7, Ч.2. С. 21–26.

5. Derii V. O., Sokolovska I. S., Teslenko O. I. Prospects for using heat pumps in district heating systems around the world and Ukraine. *The Problems of General Energy*. 2021. Vol. 2021, no. 3. P. 43–52. URL: <https://doi.org/10.15407/pge2021.03.043>.

УДК 621.1:622.276.34

## **НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ ГОЛОВНИХ ПРИНЦИПІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ В ПРОЦЕСАХ ВИДОБУВАННЯ І ТРАНСПОРТУ НАФТИ І ГАЗУ**

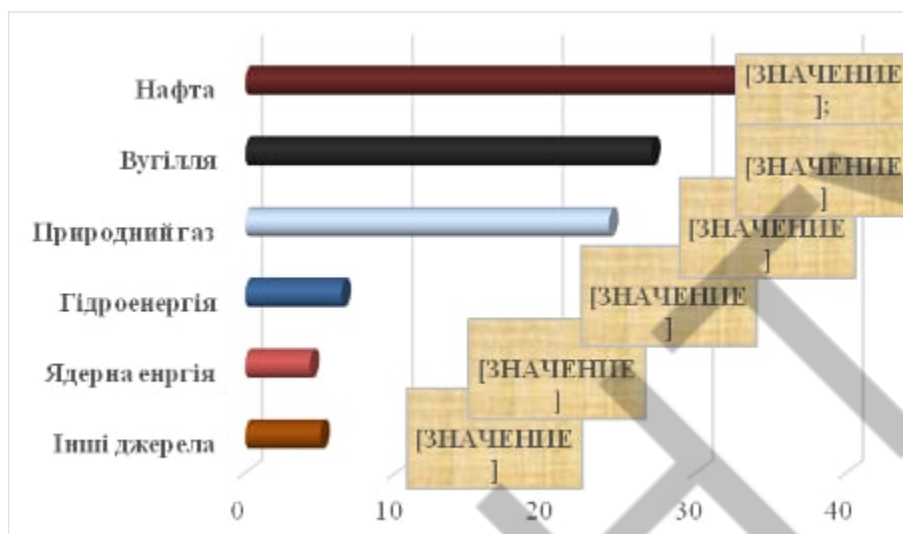
**Дорошенко В.В., аспірант, ОНТУ, м. Одеса, [znajpomni@gmail.com](mailto:znajpomni@gmail.com)**

Теплоенергетика або теплова енергетика є одним із основних видів енергетики, який об'єднує енергетичні ресурси та енергоносії, виробництво, перетворення, передачу і використання різних форм енергії.

Енергетика містить систему галузей, що охоплюють паливну промисловість, електро- і теплоенергетику з відповідними підприємствами та комунікаціями.

В структурі первинних джерел енергопостачання (*primary energy resource*) виділяється сира нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці та ядерна енергія [1; 2]. Існують й інші паливо-енергетичні ресурси або джерела енергії, наприклад біомаса, енергія сонця, вітру, хвиль, гідроенергія, геотермальна енергія. Це відновні види енергії, які є прямим

результатом впливу енергії Сонця, тоді як викопне паливо створюється в процесі біохімічних реакцій в надрах Землі.



**Рис. 1. Світове споживання первинної енергії, %**

Першочергова роль на найближчий час відводиться невідновлюваним паливо-енергетичним ресурсам, власне органічним паливам, таким як вугілля, нафта, природний газ, торф, горючі сланці та ядерна енергія, причому нафта і газ залишаються найбільш вагомими джерелами первинної енергії, складаючи 57,3 % від загального обсягу енергопостачання [3; 4; 5].

В Одеському національному технологічному університеті наказом Міністерства освіти і науки України (2019) створено кафедру «Нафтогазові технології, інженерія та теплоенергетика» подібно тому, як розвивається напрямок фундаментальних і прикладних досліджень «Вугільна теплоенергетика» в Інституті газу НАН України [6], «Нафтогазова енергетика» в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу [7]. В цьому аспекті, теплоенергетику і видобування нафти і газу слід розглядати як єдиний ансамбль в паливо-енергетичному комплексі країни – «Нафтогазова теплоенергетика».

Теоретичну основу теплоенергетики становлять [термодинаміка](#), [тепломасообмін](#) та [гідрогазодинаміка](#), які, в певній мірі, розкривають особливості головних напрямків нафтогазової інженерії – видобування та транспортування нафти і газу. ( рис. 2).



**Рис. 2. Перспективні напрямки вивчення і удосконалення процесів нафтогазової інженерії на принципах теплоенергетики**

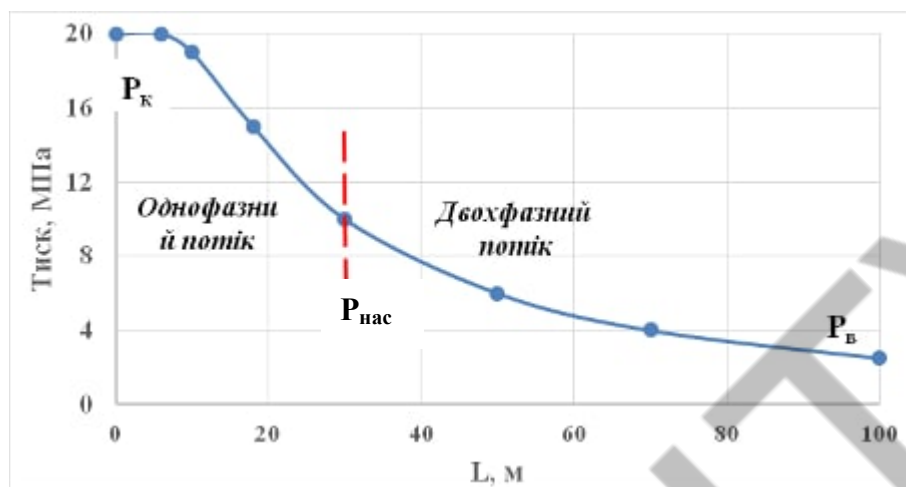
Нами представлена архітектура перспективних напрямків дослідження процесів нафтогазової інженерії, яка особливо прийнятна і актуальна для нафтових родовищ, які перебувають на пізній стадії розробки, кількість яких має тенденцію до збільшення.

В частині розробки родовищ та видобування нафти і газу найбільш актуальними є процеси тепло- і масопереносу в нафтонасиченому поровому середовищі, в стовбурі свердловини та в пласті у ході штучної дії нього з метою підвищення повноти вилучення нафти та інтенсифікації її припливу у свердловини.

Температурний режим працюючих нафтових свердловин, як і усього родовища в цілому, залежить від багатьох чинників і практично ніколи не є сталим за часом. Важливими параметрами температурного режиму є тепло-фізичні властивості нафто- газонасиченого пористого середовища та поверхневі явища на межі флюїд-порода. Однак визначальними в цьому комплексі є тиск і температура.

Рух нафти і газу від контура живлення до вибою свердловини відбувається за рахунок перепаду тиску або депресії між тиском на контурі живлення і вибійним тиском. При цьому на певній відстані від стовбура свердловини значення пластового тиску сягає тиску насичення нафти газом, величина якого залежить від співвідношення об'ємів нафти і розчиненого газу, від їх складу і пластової температури, від кількості залишкової води та її властивостей.

По досягненні нафтогазової суміші тиску насичення, газ, розчинений в нафті починає переходити у вільний, власне в нафті з'являються перші бульбашки газу, які поступово збільшуються в об'ємі і коалесціюють, формуючи двофазний потік (рис. 3).



**Рис. 3.** Принципова схема розподілу тиску в пласті та диференціації потоку з однофазного на двофазний (числові значення умовні):  $P_k$  – тиск на контурі живлення (пластовий тиск);  $P_{нас}$  – тиск насичення нафти газом;  $P_v$  – тиск на вибою свердловини;  $L$  – відстань від контура живлення до вибою свердловини.

При фільтрації флюїду в пласті в стані однофазного потоку, зміна температури незначна, зважаючи на те, що флюїд контактує з великим масивом пористого середовища і між ними відбувається постійний теплообмін. В цьому випадку процес фільтрації однофазного потоку приймається як ізотермічний, а температура флюїду близька до пластовій температурі.

Зміну температури флюїду при його русі під дією перепаду тиску, в першому наближенні, можна оцінити за ефектом Джоуля-Томсона:

$$\Delta T = -\varepsilon \Delta P \quad (1),$$

де  $\Delta T$  – різниця значень пластової температури  $T_{\Pi}$  і температури на вибою свердловини  $T_v$ ;

$\Delta P$  – різниця значень тиску на контурі живлення (пластовий тиск)  $P_k$  та вибійного тиску  $P_v$ ;

$\varepsilon$  – інтегральний коефіцієнт Джоуля-Томсона, який в реальному діапазоні зміни тиску, можна вважати сталим.

По досягненні значення пластового тиску, рівного тиску насичення, починає утворюватися двофазний потік, змінюючи термодинамічний стан системи. Слід зауважити, що по де-яких родовищах, у тому числі і по родовищах України, наприклад Битківському, Північно-Долинському, Луквинському, Гвіздецікому, тиск насичення дорівнює або близький до пластового і родовища розробляються в режимі розчиненого газу при  $P_{\Pi} = P_{нас}$ .

В цьому випадку рівняння (1) стосовно нафти і газу трансформується на:

$$T_{\Pi} - T_v = -\varepsilon_H (P_{нас} - P_v) \quad (2),$$

$$T_{\Pi} - T_v = -\varepsilon_G (P_{нас} - P_v) \quad (3),$$

де  $\varepsilon_H$ ,  $\varepsilon_G$  – коефіцієнти Джоуля-Томсона, які для води, нафти і газу дорівнюють, відповідно: 0,24, (0,41 – 0,61) і (2,55 – 4,08) °С/МПа.

За калориметричним рівнянням, без урахування конвективних і теплопровідних впливів, температуру суміші нафти і вільного газу  $T_c$  можна визначити:

$$T_c = (c_n Q_n T_n + c_g Q_g T_g) / (c_n Q_n + c_g Q_g) \quad (4),$$

де  $c_n, c_g$  – масова теплоємність нафти і газу, відповідно, Дж/кг·К;

$T_c$  – результуюча температура нафтогазового потоку, °С;

$Q_n, Q_g$  – масова витрата нафти і газу, кг/с.

Витрату вільного газу можна визначити за залежністю:

$$Q_g = (G_0 - \alpha P_{нас}) Q_n \frac{\rho_g}{\rho_n}, \quad (5),$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт розчинності газу у нафті, м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup> · МПа);

$\rho_g, \rho_n$  – густина нафти і газу, кг/м<sup>3</sup>;

$G_0$  – експлуатаційний газовий фактор, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Для родовищ з високопарафіністими нафтами, з урахуванням калориметричного рівняння нафтогазової суміші і витрати вільного газу, можна визначити критичне значення газового фактору при якому починається виділення кристалів парафіну з розчину нафти:

$$G_0 = \frac{(c_g \rho_g \varepsilon_g b a P_{в} - c_n \rho_n \varepsilon_n) \cdot (P_{нас} - P_{в}) - (c_g \rho_g b a P_{в} - c_n \rho_n) \cdot (T_0 - T_c)}{c_g \rho_g \varepsilon_g b \cdot (P_{нас} - P_{в}) - c_g \rho_g b \cdot (T_0 - T_c)} \quad (6),$$

де  $a$  – коефіцієнт розчинення газу в нафті, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$b$  – об'ємний коефіцієнт нафти;

$\rho_n, \rho_g$  – густина нафти і газу в нормальних умовах, кг/м<sup>3</sup>;

$T_0$  – температура насичення нафти парафіном, °С.

Подальший сумісний розв'язок рівнянь (4, 5, 6) для плоскорадіальної фільтрації суміші нафти і газу дозволяє визначити радіус можливих відкладів парафіну в поровому просторі і напрацювати рекомендації щодо встановлення раціонального режиму роботи свердловини та прийнятних методів тепловою обробки привибійної зони пласта.

В процесах транспортування нафти і газу теплоенергетичні перетворення стосуються, насамперед, компресорних станцій магістральних трубопроводів.

Компресорні станції обладнані газотурбінними агрегатами, енергоносієм, для роботи яких, в більшості випадків, є транспортований природний газ. При цьому, підвищення температури газу призводить до збільшення його об'єму та швидкостей потоку і, відповідно, зростання втрат енергії. Одним з дієвих напрямків підвищення енергетичної ефективності газоперекачуючих агрегатів (ГПА) є попереднє охолодження газу перед його компресуванням (стисканням).

Аналіз існуючих методів охолодження газу в ГПА свідчить, що одним з перспективних напрямків є застосування абсорбційних водоаміачних холодильних машин. Термодинамічний розрахунок циклів такої холодильної машини, побудований на головних постулатах теплоенергетики, свідчить, що вона забезпечує прийнятний рівень температур охолодження природного газу перед його стисканням в ГПА.

1. Кириленко О.В. та ін. Енергетика України: ймовірні сценарії відновлення та розвитку. Вісник НАН України, 2022. № 9. С. 22-37.
2. Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Енергетика, наука і інженерія сьогодення: стан та виклики розвитку. Теплофізика та теплоенергетика. 2023. Т. 45. №1.
3. Jackson, R B; Friedlingstein, P; Le Quéré, C; Abernethy, S; Andrew, R M; Canadell, J G; Ciais, P; Davis, S J; Deng, Zhu (2022). [Global fossil carbon emissions rebound near pre-COVID-19 levels](#). *Environmental Research Letters*. Т. 17. № 3.
4. Варламов Г. Б., Любчик Г. М., Маляренко В. А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії (2003). – Київ, Видавництво «Політехніка».
5. Амоша О.І., Гарковенко Є.Є. Світовий паливно-енергетичний комплекс: сучасний стан та тенденції розвитку. Економіка промисловості. 2006. № 4 (35).

*Науковий керівник: проф., д-р техн. наук Тітлов О.С.*

УДК 620.98

## **ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ КВАРТАЛЬНИХ КОТЕЛЕН З ВИКОРИСТАННЯМ ХОЛОДИЛЬНИХ АГЕНТІВ ДЛЯ ОРГАНІЧНОГО ЦИКЛУ РЕНКІНА**

**Михайличенко Д.В., аспірант, каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ**  
**Пилипенко О.Ю., доц. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ, [alekseypulypenko@gmail.com](mailto:alekseypulypenko@gmail.com)**

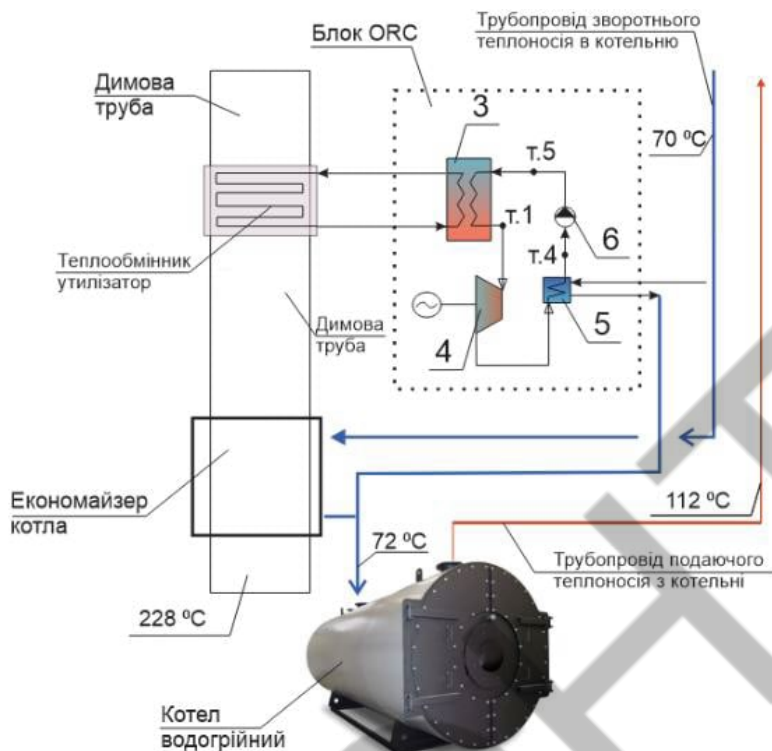
Останнім часом, розвиток громадського будівництва у Києві та Львові робить акцент на забудову по принципу «місто в місті», що не сприяє влаштуванню на кожній будівлі дахової котельні. Передбачається приєднання або до існуючих теплових мереж міста, або будівництво власної квартальної водогрійної котельні.

При спорудженні квартальної котельні виникає проблема із її забезпеченням резервним джерелом електричної енергії. Одним із варіантів вирішення вказаної проблеми є використання блоку генерації електричної енергії за органічним циклом Ренкіна. В якості робочого тіла використовується холодильний агент, що дозволяє використовувати низько потенційну теплоту димових газів.

Під час аналізу перспектив використання ОРС-циклу, розглянуто варіант впровадження власної генерації електричної енергії на квартальній котельні тепловою потужністю 23,1 МВт з температурним графіком 116/70 °С. Запропоновано до використання схему котельні (рис. 1) з блоком генерації електроенергії та основним обладнанням наведеним у табл. 1.

Таблиця 1 Основне обладнання котельні

Найменування обладнання	Позначення	Кількість
Котел водогрійний газовий Q=7700кВт, 10бар з економайзером ECO 7/1350/965 WZ 2 Q=395кВт.	Bosch Unimat UT-L 42	3 шт.
Пальник газовий (UltraLowNOx), DN80 1000-11000 кВт в комплекті з арматурою.	Weishaupt WM-G50/2-A, ZM-4LN	3 шт.



*Рисунок 1* Схема квартальної котельні з блоком генерації електричної енергії

Пропонується на канал димових газів встановити додатковий теплообмінник-утилізатор задля використання теплової енергії димових газів що рухаються від котла з температурою 228 °C на потреби блоку ORC. При цьому економайзер котла не використовується. Особливістю схемного рішення є врахування проблеми утилізації теплоти конденсації блоку ORC.

Табл. 2 демонструє основні робочі параметри одного генеруючого блоку встановленого на один котел. Зазначені величини досягаються при утилізації теплоти димових газів з одночасним використанням зворотного теплоносія як охолоджуючої рідини конденсатору блоку ORC. В цьому випадку температура рідини на конденсаторі дорівнює температурі мережевої води і складає 70 °C. Таке рішення зберігає розрахункові технологічні параметри води на вході у водогрійний котел в межах 72 °C.

Таблиця 2. Показники використання ORC-циклу на різних холодильних агентах.

Параметр/Холодильний агент	R600a	R134a	R11	R32	R717
Температура холодоагенту після турбіни блоку ORC, °C	182,61	196.96	95.9	211.29	103.4
Температура після конденсатору блоку ORC, °C	72	72	72	72	72
Кількість виробленої електричної енергії, кВт	220,25	133.286	408.2	34.98	316.37
Кількість утилізованої теплової енергії, кВт	3 147	3 147	3 147	3 147	3 147
Кількість відпущеної теплової енергії, кВт	2 782	2 922	2 480	3 075	2 628
ККД циклу, %	6,999	4.236	12.973	1.119	10.054

Як видно з табл. 2 оптимальними холодильними агентами для блоку ORC є R11, R600a та R717. Відповідно до екологічних та безпекових норм до використання може бути допущений R600a. Генерація електричної енергії з використанням цього хладону досягатиме 220 кВт. Разом з тим, встановлена потужність електричного обладнання розглянутої котельні становить 254,2 кВт. Таким чином, впровадження запропонованого схемного рішення з встановленням одного блоку ORC для одного котла може забезпечити 86,6% власних потреб у електричній енергії.

Аналогічну ситуацію спостерігаємо при зміні режиму роботи запропонованої схеми та теплової потужності котельні. Так при зниженні температури димових газів до 173 °С, температури зворотної мережевої води до 62 °С та теплової потужності до 8,55Гкал/год, динаміка зміни ККД ORC-циклу залишається не змінною. Відповідно до наведених у табл. 3 результатів розрахунків найбільш оптимальними робочими до використання залишаються R11, R717 та R600a.

Таблиця 3. Показники використання ORC-циклу на різних холодильних агентах на котлі тепловою потужністю 8,55Гкал/год.

Параметр/Холодильний агент	R600a	R134a	R11	R32	R717
Температура холодоагенту після турбіни блоку ORC, °С	122	140,38	73	156,4	73
Температура після конденсатору блоку ORC, °С	72	72	72	72	72
Кількість згенерованої електричної енергії, кВт	41,2	24,34	59,15	5,24	45,48
Кількість утилізованої теплової енергії, кВт	550	550	550	550	550
Кількість відпущеної теплової енергії, кВт	487,6	514,48	456,97	544,11	481
ККД циклу, %	12	7,46	17,45	2,14	13,49

Впровадження електрогерегуючого блоку ORC за запропонованою схемою для забезпечення електричної енергії на потреби котельні буде суттєво залежати від обраної речовини та температурного режиму як димових газів так і графіку роботи самої теплової мережі. В подальшому потрібно розглянути кожен робочу речовину відповідно до режимної карти котла з визначенням залежності від температур та фізичних характеристик холодильного агента який використовується в циклі генерації електричної енергії.

УДК 621.575.932:621.565.92

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АТМОСФЕРНОЇ ВОДИ В ХАРЧОВІЙ ТА ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

**Годик К.О., аспірант, ОНТУ, м. Одеса, [godvkkostas@gmail.com](mailto:godvkkostas@gmail.com)**

Забезпечення якісної питної води є одним із ключових факторів для стабільного функціонування харчової промисловості та індустрії гостинності. В умовах зростаючого дефіциту водних ресурсів підприємства шукають альтернативні рішення для водопостачання. Одним із перспективних напрямів є отримання води з атмосферного повітря, що може забезпечити безперебійне водопостачання, зменшити залежність від традиційних джерел і сприяти екологічній стійкості галузі.

Метою даної доповіді є аналіз можливості використання атмосферної води у харчовій промисловості та закладах гостинності, оцінка її якості, технологічної доцільності та економічної ефективності.

Існує кілька основних методів отримання води з повітря:

- Конденсаційний метод – заснований на охолодженні повітря до точки роси з наступною конденсацією вологи.

- Сорбційний метод – передбачає використання гігроскопічних матеріалів (наприклад, цеолітів) для поглинання водяної пари з подальшим її виділенням.

**Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року**

•Мембранні технології – застосування спеціальних мембран, що забезпечують селективне виділення молекул води.

Застосування цих методів у харчовій промисловості можливе за умови відповідності отриманої води стандартам якості та безпеки.

Якість води, отриманої з повітря, залежить від чистоти повітряного середовища. Дослідження показують, що після відповідного очищення така вода може відповідати нормативам питної води. Основні показники, які необхідно контролювати:

- Вміст органічних та неорганічних домішок.
- Бактеріологічна чистота.
- Мінеральний склад (може потребувати корекції для покращення смакових якостей).

У харчовій промисловості така вода може використовуватися як інгредієнт для напоїв, у виробничих процесах, а також для миття обладнання та продуктів.

Заклади гостинності (готелі, ресторани, кафе) можуть інтегрувати системи отримання води з повітря для таких потреб:

- Питне водопостачання.
- Використання у приготуванні їжі.
- Забезпечення автономного водопостачання у віддалених регіонах.
- Водовикористання у системах кондиціонування та вентиляції.

Застосування таких технологій сприяє підвищенню екологічної стійкості закладів і зниженню експлуатаційних витрат.

Важливим фактором є енергоспоживання таких систем. Для зниження витрат доцільно використовувати:

- Сонячні панелі для живлення систем конденсації.
- Вітрові генератори у регіонах із відповідними кліматичними умовами.
- Гібридні енергетичні рішення для автономної роботи систем у віддалених районах.

Попередні розрахунки показують, що при використанні відновлюваних джерел енергії можна значно знизити собівартість отриманої води, що робить такі системи конкурентоспроможними у порівнянні з традиційними методами водопостачання.

**ВИСНОВКИ :** Отримання води з атмосферного повітря є перспективним рішенням для харчової промисловості та індустрії гостинності, особливо в регіонах із проблемами водопостачання. Впровадження таких технологій сприяє:

- Забезпеченню безперебійного постачання якісної води.
- Зменшенню витрат на традиційне водопостачання.
- Екологічній стійкості підприємств.

Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію систем отримання води з урахуванням регіональних кліматичних умов та максимальне використання відновлюваних джерел енергії.

Список інформаційних джерел

1.Глобальні проблеми водопостачання. Gleick, P. H. (2019). The World's Water: The Biennial Report on Freshwater Resources. Island Press.

2.Атмосферна вода як альтернативне джерело. Tu, Y., Wang, R., Zhang, Y., & Wang, J. (2018). Atmospheric water harvesting: A review of material and structural designs. Journal of Materials Chemistry A, 6(7), 3552–3569.

3.Технології конденсації води з повітря. Zhai, Y., Ma, Y., David, S. N., Zhao, D., Lou, R., & Yu, Z. (2017). Radiative cooling for passive atmospheric water harvesting. *Nature Communications*, 8(1), 2103.

4.Використання сорбційних матеріалів у водозборі. Kim, H., Yang, S., Rao, S. R., Narayanan, S., Kapustin, E. A., Furukawa, H., & Yaghi, O. M. (2017). Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight. *Science*, 356(6336), 430–434.

5.Відновлювані джерела енергії у водопостачанні. Boyle, G. (2017). *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. Oxford University Press.

*Науковий керівник: проф., д-р техн. наук Тітлов О.С.*

**UDC 621.181.27**

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF A COMPRESSOR STATION BY UTILIZING THE HEAT FROM THE EXHAUST GASES OF GAS TURBINE ENGINES**

**Violeta Sahala, student, ONUT, Odesa, [sagala.onaft@gmail.com](mailto:sagala.onaft@gmail.com)**

**Tetiana Ashyk, ass. professor, ONUT**

The primary method of natural gas transportation is pipeline transport. Compressor stations of main gas pipelines are an integral part of the gas transmission system and are designed to increase gas pressure by compressing it using gas compressor unit boosters.

The most common types of gas compressor units are those driven by gas turbine installations, which account for more than 85% of the total installed capacity of compressor stations. A portion of the natural gas transported through the pipeline is used as fuel for these units.

During the combustion of natural gas in combustion chambers, combustion products are generated, serving as the working fluid for the turbine. After passing through the turbine, these gases are released into the atmosphere. The exhaust gas temperature at such compressor stations typically ranges from 380°C to 420°C, with a maximum value reaching up to 450 °C.

This study examines the utilization of exhaust gas heat from gas turbine engines at compressor stations, specifically its use as a secondary energy resource. This issue is particularly relevant in the context of Ukraine's modern economy, as it contributes to improving the energy efficiency of the fuel and energy sector and enhances the overall energy situation.

The literature review on the utilization of exhaust gas heat at compressor stations shows that the main approaches are using heat for electricity and thermal energy production, as well as cooling gases before compression. These methods all contribute to increased energy efficiency and reduced energy costs in gas transportation systems [1,2,3].

The review of waste heat boiler designs highlights various approaches to their design, including the use of coil tubes, different tube arrangement schemes (such as checkerboard or corridor arrangements), and considerations such as exhaust gas temperature and heat exchange types. Waste heat boiler designs aim to maximize energy utilization from exhaust gases to ensure an efficient heat exchange process and minimize energy losses [4].

The objective of this study is to implement energy-saving measures by utilizing the heat from exhaust gases of gas turbine engines at compressor stations. The object of the study is the compressor station and its thermal processes. The subject of the study is exhaust gas heat recovery methods to improve station efficiency. The research methods applied in this study include analytical and computational approaches.

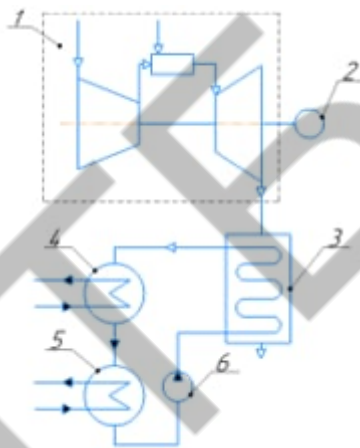
### **Directions for Utilizing Exhaust Gas Heat from Gas Turbine Engines at Compressor Stations**

After analyzing publications and modern approaches to exhaust gas heat recovery, three main directions have been identified.

The first direction is the use of exhaust gas heat for thermal energy production, specifically for heating and hot water supply systems (Fig. 1). To implement this approach, a waste heat boiler is installed at the gas turbine engine's exhaust, where steam is generated by cooling the exhaust gases. This steam serves as an intermediate heat carrier, transferring heat to the heating and hot water supply systems.

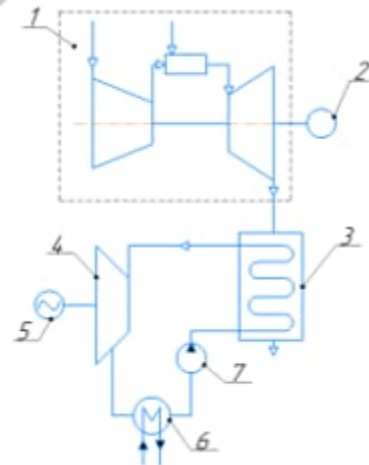
The second direction involves electricity generation (Fig. 2). In this technology, the steam produced in the waste heat boiler is directed to a steam turbine, which drives an electric generator, resulting in additional electricity generation. Notably, this electricity production scheme has one of the highest efficiency rates among existing technologies.

The third direction is the production of artificial cooling using heat-driven refrigeration machines, such as an adsorption or vapor-ejector refrigeration systems. Possible applications of artificial cooling include cooling natural gas after compression or pre-cooling it before compression.



1 – Gas turbine engine, 2 – Compressor, 3 – Waste heat boiler, 4 – To the heating system, 5 – To the hot water supply system, 6 – Circulation pump

**Fig. 1. Diagram of a Gas Turbine System with Heat Recovery for Heating and Hot Water Supply**



1 – Gas turbine engine, 2 – Compressor, 3 – Waste heat boiler, 4 – Steam turbine, 5 – Electric generator, 6 – Condenser, 7 – Circulation pump

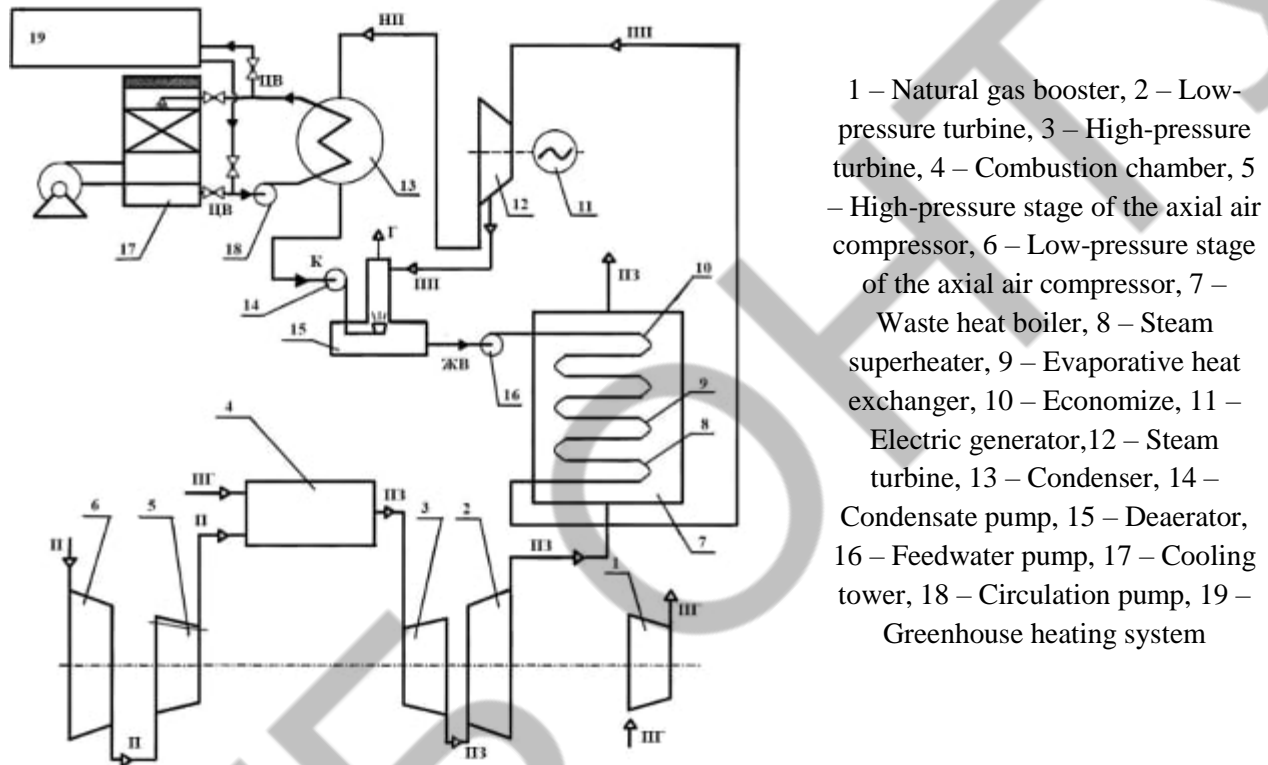
**Fig. 2. Schematic Diagram of the Gas-Steam Turbine Technology**

The choice of a specific utilization approach depends on the operating conditions of the station, available technologies, and economic feasibility.

### **Heat-Utilizing System at a Gas Compressor Station**

When utilizing exhaust gas heat for heating and hot water supply systems, a significant drawback arises: the high-temperature exhaust gases (approximately 400°C to 450°C) are used to produce low-potential thermal energy. Therefore, it is advisable to combine the first and second approaches described earlier, enabling the simultaneous generation of both electrical and thermal energy (Fig. 3).

The proposed system utilizes heat energy for greenhouse heating. The gas turbine system operates as follows: fuel gas and air at a pressure of 1.5–2.0 MPa are supplied to the combustion chamber (4). When the



- 1 – Natural gas booster, 2 – Low-pressure turbine, 3 – High-pressure turbine, 4 – Combustion chamber, 5 – High-pressure stage of the axial air compressor, 6 – Low-pressure stage of the axial air compressor, 7 – Waste heat boiler, 8 – Steam superheater, 9 – Evaporative heat exchanger, 10 – Economizer, 11 – Electric generator, 12 – Steam turbine, 13 – Condenser, 14 – Condensate pump, 15 – Deaerator, 16 – Feedwater pump, 17 – Cooling tower, 18 – Circulation pump, 19 – Greenhouse heating system

**Fig. 3. Schematic Diagram of a Gas Turbine System for Additional Electricity Generation and Greenhouse Heating Using Secondary Energy Resources**

gas combusts, combustion products are generated at temperatures ranging from 1,000 °C to 1,200 °C, depending on the gas turbine engine's power. These gases flow into turbines (3 and 2), which drive the axial compressor stages (5 and 6) and the centrifugal natural gas booster (1). The exhaust gases from the GTE enter the waste heat boiler (7) and are then either released into the atmosphere or directed to the next stage of the heat recovery system. The recovered heat from the waste heat boiler is used to generate superheated steam, which exits the steam superheater (8). The steam energy is then converted into electricity using a turbine (12) connected to an electric generator (11). Nearly all the steam, in a near-saturated or saturated state, is then directed to the condenser (13), where it fully condenses, releasing latent heat to the circulating water. A small portion of the superheated steam is extracted from turbine (12) and directed to the ejectors of the deaerator (15), where it creates a vacuum and heats the condensate to remove dissolved gases (O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>), which contribute to metal corrosion. The deaerator outputs feedwater instead of condensate. A pump (16) increases the pressure of this feedwater to match that of the superheated steam and supplies it to the waste heat boiler, producing the next batch of steam – thus completing the cycle.

The main directions for utilizing exhaust gas heat from gas turbine engines at compressor stations of main gas pipelines have been discussed. A heat recovery scheme for exhaust gases to generate electricity and heat greenhouse facilities has been proposed. The calculations conducted include the following:

- The combustion products generated in the combustion chamber of the gas turbine engine;
- The structural design calculation of the steam superheater in the waste heat boiler. The superheater consists of two bundles of coil pipes with a diameter of  $\varnothing 32 \times 3$  mm. The tube pitch is 111 mm (transverse) and 96 mm (longitudinal). The bundle dimensions are 3 x 5.5 x 0.82 m (h). The heat exchanger has a single-pass design with corridor-type tube arrangement. The total heat exchange surface area for both bundles is 258.7 m<sup>2</sup>;
- The structural design calculation of the evaporative heat exchanger in the waste heat boiler. The heat exchanger is assembled from four bundles of coils with  $\varnothing 32 \times 3$  mm pipes. The tube pitch is 96.8 mm (transverse) and 48 mm (longitudinal). The heat exchanger features a checkerboard tube arrangement. The total heat exchange surface area is 2,722 m<sup>2</sup>;
- The structural design calculation of the economizer in the waste heat boiler. The heat exchanger consists of six bundles of coils with  $\varnothing 32 \times 3$  mm pipes. The tube pitch is 80 mm (transverse) and 96 mm (longitudinal). The bundle dimensions are 2.16 x 5.5 x 1.3 meters. The heat exchanger has a single-pass design with a checkerboard tube arrangement. The total heat exchange surface area is 1,250 m<sup>2</sup>.

An assessment was conducted to evaluate the feasibility of utilizing exhaust gas heat from a gas turbine system at a compressor station to heat a greenhouse for vegetable cultivation covering a total area of 5 hectares, located in the Odesa region. The assessment was based on a cost analysis comparing the use of an in-house boiler in the case of using an in-house boiler. The savings in natural gas fuel costs range from 1.8 to 4.4 million UAH per month.

1. Тітлов, О., Бошкова, І., Дорошенко, В., Світлицький, В., Сагала, Т., & Морозов, О. (2021). Аналіз енергетичних перспектив охолодження природного газу в магістральних газопроводах за допомогою абсорбційних холодильних машин. *Refrigeration Engineering and Technology*, 57(3), 147-157. <https://doi.org/10.15673/ret.v57i3.2165>.

2. Titlov, O., Vasylyv, O., Sahala, T., & Bilenko, N. (2019). Evaluation of the Prospects for Preliminary Cooling of Natural Gas on Main Pipelines before Compression through the Discharge of Exhaust Heat of Gas-Turbine Units. *EUREKA: Physics and Engineering*, (5), 47-55. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00978>.

3. Титлов А.С., Сагала Т.А., Артюх В.Н., Дьяченко Т.В. Анализ перспектив использования парожеткторной и абсорбционной холодильных установок для охлаждения технологического газа и получения жидкого углеводородного топлива // *Холодильна техніка та технологія*. – 2017. – Том 53 № 6. – С. 11-18.

4. Кологривов М.М. Котли-утилизатори: Навчальний посібник / М.М. Кологривов, Т.А. Сагала, В.П. Бузовський. – Одеса: Апрель, 2015. – 83 с.

УДК 621.574.9

## **PROSPECTS FOR USING PRE-COOLING SYSTEMS AT COMPRESSOR STATIONS OF MAIN GAS PIPELINES**

**Felonyuk S.A., postgraduate student**  
**Odesa National Technological University, Odesa**  
[s-feloniuk@ukr.net](mailto:s-feloniuk@ukr.net)

The work is devoted to researching the possibilities of using artificial cold at compressor stations of main gas pipelines to reduce energy and operating costs during natural gas transportation. An innovative approach based on the introduction of cooling systems of the working environment in the conditions of compressor stations using heat emissions is proposed.

The paper analyzes the current level of use of artificial cold in energy, in particular, in gas transport systems.

The potential of using renewable energy sources and secondary heat for cooling natural gas has been studied, which allows to reduce transportation costs and reduce energy consumption of compressor stations.

The urgency of the work is due to the high operational costs that arise at elevated temperatures of the working environment at compressor stations. The study states that reducing the temperature of the gas at the compressor inlet allows to reduce energy consumption, increase the efficiency of the units, and also reduce the wear and tear of the equipment. The use of artificial cold can reduce the volume of consumption of natural gas, which is burned to power compressor units, and helps to optimize the operation of the entire gas transportation system.

Based on numerical models, calculations were made that demonstrate that the use of artificial cooling at various stages of natural gas transportation can reduce energy losses by up to 15 %, depending on parameters and operating conditions. A variant calculation of the impact of temperature reduction on the energy and economic performance of compressor stations, in particular, at high loads and different temperature regimes, was performed.

Conducted experimental studies confirm the effectiveness of the developed systems, and technical recommendations for their implementation have also been developed. The proposed artificial cooling systems provide cooling of the gas at the compressor inlet with minimal energy consumption due to the use of secondary heat from the compressors and environmentally friendly cooling methods. Research results point to the prospects of reducing carbon emissions by reducing energy consumption for transportation.

The practical significance of the obtained results lies in the possibility of using the developed cooling systems at compressor stations to optimize natural gas transportation processes and reduce the costs of its pumping, which contributes to increasing the overall efficiency of the gas transportation infrastructure.

In the near future, water will become the most valuable resource on the planet, and this trend will only.

For the transportation of natural gas through pipelines, gas pumping units (GPU) are installed at numerous compressor stations (CS), the energy carrier for which, in most cases, is transported

natural gas. 0.5 ... 1.5% of the volume of transported gas is consumed (burned) by the pumping unit drive.

The situation with the replacement of existing equipment with modern equipment is associated with significant investments, on the one hand, and the uncertainty with the transit of Russian natural gas through gas transmission systems of Ukraine in the near future. More promising is the way to increase the efficiency of the GPU cycle through the use of circuits with preliminary cooling of the compressed gas.

The aim of this research is studying the prospects for the application of technology for pre-cooling technological natural gas before compression in a gas pumping unit based on heat-using absorption refrigeration machines.

To analyze the effect of pre-cooling of technological natural gas on the compressor stations of main gas pipelines, gas pumping units - GTK-10I were selected.

The calculation of GPU power consumption and fuel gas consumption at various temperatures of the process gas at the inlet to the supercharger was performed.

The calculation of the operating parameters of the gas pumping unit is performed and the energy and financial prospects of the technology for cooling the process gas before compression in the GPU CS are shown. For the current economic situation in the Ukrainian gas market, the daily decrease in operating costs in standard gas pipelines with a decrease in gas temperature before compression in the gas pumping unit by 20 K ranges from 1800 USD to 3360 USD.

A scheme of a recycling plant based on absorption water-ammonia refrigeration machine (AWRM) is proposed, which in the range of initial data allows to reduce the temperature of technological natural gas before compression by 11 ... 13 ° C.

*Scientific advisor: Professor Titlov O.S.*

**UDC 621.575**

## **WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF AUTONOMOUS SOLAR SYSTEMS USING ABSORPTION THERMOTRANSFORMERS**

**Bilyi O.S., postgraduate student**  
**Odesa National University of Technology, Odesa, Ukraine**  
[dnn@utecon.com](mailto:dnn@utecon.com)

In the near future, water will become the most valuable resource on the planet, and this trend will only increase in the foreseeable future. Great prospects for solving the problem of water supply have methods related to the operation of autonomous generators of artificial cold, which are guaranteed to provide a temperature below the dew point. Of particular interest to countries with a shortage of water resources are systems for obtaining water from atmospheric air based on absorption thermotransformers (ATTs), which work from a source of low potential heat - solar energy. In the near future, water will become the most valuable resource on the planet, and the problem of water supply to the population will only grow in the foreseeable future. To help solve this problem, the

United Nations General Assembly declared 2005-2015 the International Decade of Action "Water for Life".

It is known that the main part of fresh water is in the 1-kilometer layer of the planet's atmosphere, and the average absolute humidity is 11 g/m<sup>3</sup>, and in tropical regions it reaches 25 g/m<sup>3</sup> and higher. Since ancient times, fresh water in limited quantities was obtained by collecting condensed drops from the air as a result of the natural daily radiation cooling of the earth's surface. Currently, in order to increase the efficiency of water vapor condensation processes from atmospheric air, crushed stone-based cold accumulators, two-phase thermosyphons that provide heat transfer over considerable distances, and sorbents that work in a cyclic "charge-discharge" mode are used. However, for a stable water supply, the methods associated with the operation of artificial cold generators, guaranteed to ensure a temperature below the dew point, have the greatest prospects. As shown by numerous studies of real generators of artificial cold, to obtain 1 liter of water from atmospheric air, on average, about 1 kWh of electricity must be spent, and 10 g of water must be extracted from 1 kg of air. With a cooling coefficient of a compression refrigerator equal to 3, energy of the order of 0.33 kWh will be consumed for the production of 1 liter of water. In the modern world, the main volume of the equipment market for obtaining water from the air is accounted for by systems that include a compression refrigeration unit with an electric drive.

A necessary condition for the operation of a compression refrigerator is the availability of electrical energy, and the majority of countries (North Africa, Central Asia and America) that experience water shortages are limited in electricity generation capacity, but have an excess of solar energy.

The most rational solution to the problem of water supply in such a situation can be the use of absorption thermotransformers working on solar energy.

Analysis of the modes of operation of absorption thermotransformers showed that the main tasks that must be solved when using them in systems for obtaining water from atmospheric air are as follows: a) first, to develop designs of thermotransformers with air cooling of heat-dissipating elements; b) secondly, to propose a cycle that could be implemented at elevated temperatures of atmospheric air (30...40 °C) and temperatures of traditional water solar collectors (80...100 °C).

The analysis of different types of thermotransformers showed that absorption thermotransformers (ATT) have the greatest prospects in the conditions of operation of systems for obtaining water from atmospheric air. ATT, unlike their analogs - bromistolithium heat absorption thermotransformers and steam-water ejector heat thermotransformers, have a wider scope of application, in particular, in the temperature range down to minus 30 °C. In contrast to bromolithium absorption thermotransformers, ATT heat sources are not so critical to temperature changes, they use ordinary structural steels in their design, and the cycle is implemented at pressures exceeding atmospheric.

Of particular interest are ATTs that work on the energy of solar radiation. Such interest is connected with the possibility of year-round use of solar collectors, which are currently widely used in heating and hot water supply systems. It is assumed that if there is an excess of solar energy in the warm period of the year, part of it can be directed to the ATT generator for further low-temperature cooling in the systems of obtaining water from the atmospheric air and in the air conditioning systems.

Recently, topics of "apocalyptic" scenario of the development of events are being discussed more and more frequently in the world community. The theme of the world cataclysm and the subsequent survival of the remaining humanity.

Conditions of the absence of global sources of electrical energy.

In such conditions, autonomous sources of electrical energy are needed - first of all, solar batteries that can ensure the operation of systems for obtaining water from atmospheric air in the absence of a centralized power supply.

Thus, research related to the development of new schemes and designs of ATT on solar energy for operation in systems for obtaining water from atmospheric air is relevant.

For you the solution to this problem is to carry out work on improving the efficiency of autonomous systems for obtaining water from atmospheric air by increasing the energy efficiency of ATT with solar energy sources.

For this purpose, in the first approximation, a scheme of an autonomous system for obtaining water from atmospheric air using an absorption-type ATT and solar batteries is proposed (Fig. 1).

The proposed system works as follows.

When solar radiation hits the surface of the solar battery 3, an electric current is generated, which is fed to the ATT generator 1. The generator starts a pumpless diffusion cycle with the production of artificial cold at temperatures below the dew point in the evaporator 5.

The evaporator 5 of the ATT 1 is located in the volume of the air cooler 2, where it is in contact with the atmospheric air flow.

Upon contact, the air stream cools, and water vapor condenses on the cooled surface of the evaporator 5.

The resulting condensate flows into a special assembly 4, and the cooled and partially dried air flow is directed into the air channel 7 located on the surface of the solar battery 3.

Upon contact, the air is partially heated and released into the atmosphere, and the solar battery 3 is partially cooled.

Atmospheric air is supplied to the system using a pressure fan 6.

The electric current received by the solar battery 3 is fed to the ATT generator 1 and to the air fan drive 6 using a special control unit 8.

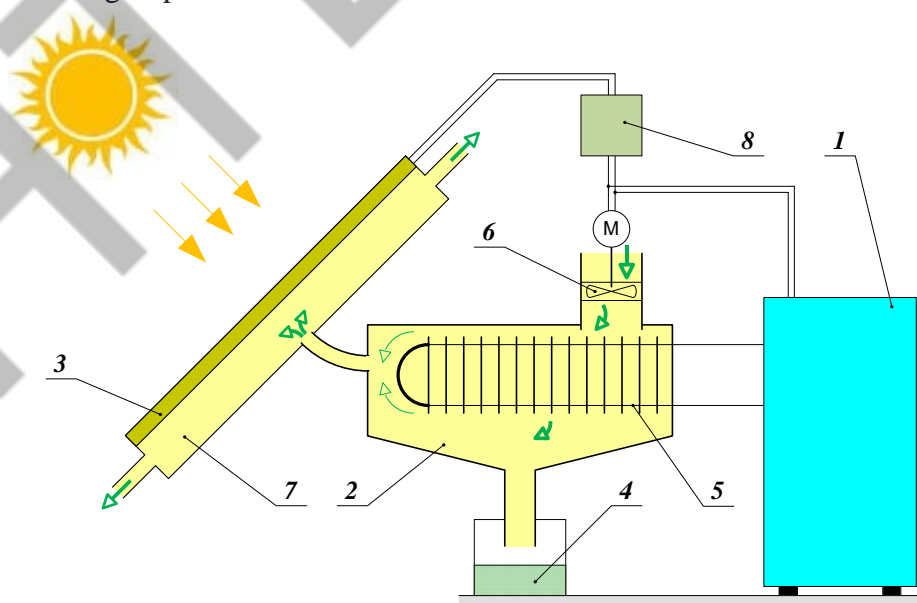


Fig. 1. Scheme of an autonomous system for obtaining water from atmospheric air: 1 – absorption thermotransformer; 2 – air cooler; 3 – solar battery; 4 - condensate collector; 5 – evaporator; 6 – pressure fan; 7 – solar battery air cooler; 8 – power load control unit

The proposed scheme of operation makes it possible to increase the energy efficiency of the solar battery due to additional cooling by the flow of partially dried exhausted air.

Ultimately, the efficiency of the system for obtaining water from atmospheric air increases due to an increase in the amount of condensate obtained.

*Scientific advisor: Professor Nikitin D.M.*



**UDC 621.575**

## **DEVELOPMENT OF COMBINED HEAT AND COOLING SYSTEMS**

**Dmytrenko D.V., postgraduate student**  
**Odesa National University of Technology, Odesa, Ukraine**  
[basheaction@gmail.com](mailto:basheaction@gmail.com)

The desire of people to live in comfortable conditions and enjoy all the benefits of civilization is growing uncontrollably, as well as the cost of energy carriers that provide these needs, as the reserves of traditional fuels - oil, gas, coal, and wood - are being depleted. In addition, the consumption of natural resources in unlimited quantities (as is happening now) threatens humanity with a global ecological disaster. For this reason, the use of low-potential energy: soil, water, air, unusable heat is one of the most effective ways to reduce the level of thermal pollution of the planet and provide an effective economic alternative to traditional life support systems.

The study shows that waste heat accounts for about 19 billion kWh of total energy consumption in the industry, i.e., about 25 %. Here, therefore, there is a great potential for the production of electricity and heat, which can be used.

The problems of energy saving are currently important primarily in connection with the limitation of natural resources, their uneven distribution, as well as in connection with the increasingly man-made pollution of the environment, part of which is the dumping of refrigerating machines.

Reducing the harmful impact on the environment can be achieved by increasing the efficiency of domestic heating and cooling systems both during their creation and during operation.

A vitally important problem that arises in industry, but also during the use of household appliances, is how to efficiently use limited energy sources.

In the field of household appliances, generating systems include heat-using absorption refrigerating machines.

From the point of view of energy saving, a promising direction in modern technology is the creation of designs of combined household absorption refrigerating devices that combine the functions of cold storage and thermal processing of food products, semi-finished products and agricultural raw materials. The thermal chamber of the combined absorption refrigerator can

currently maintain the temperature level in the range from 25 to 70 °C, and in the future, it is possible to reach high temperatures. The use of thermal cameras is aimed primarily at households in different climatic zones.

The use of thermal cameras is possible for:

- preservation and maintenance of temperature at a certain level (thermostat);
- heating the product to the specified temperature;
- various types of technological processing, as a result of which a new product can be obtained (drying, drying, fermentation, etc.).

During most household technological processes, the temperature is absorbed at 70 °C. For technological modes with a temperature level below 70 °C in the thermal chamber (TC) of the refrigerator, devices can be used that allow the heated air to be removed outside the chamber, for example, dampers, plugs, etc. Among all types of modern household refrigerating equipment, elements of the absorption refrigerating unit (AHA) — the dephlegmator and the rectifier — have such a temperature potential.

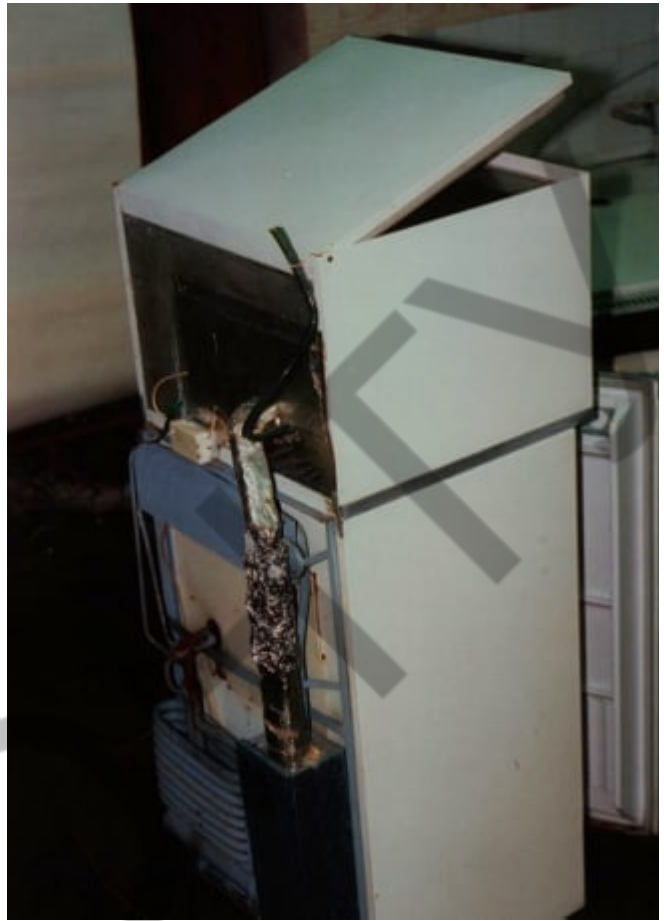
Various schemes of household refrigerating appliances with additional cooling equipment have been developed, which differ in: the method of heat transfer (direct contact of the dephlegmator and cooling equipment, use of intermediate heat transfer devices, including those with the "osmosis" effect); the location of the TC (on top of the refrigerating cabinet and in the lower part); constructive execution of TC (one-chamber, two-chamber); a source of indirect heat and, accordingly, the temperature level (condenser, dephlegmator).

The simplest in terms of design is the scheme with an intermediate heat transfer device, which provides for a minimum of changes in the composition of the household combined appliance and AHA.

Two types of such household combined devices have been developed and studied - from air TC and liquid TC (Fig. 1).



a



b

a) with air and liquid TC; b) with liquid TC; 1- TC; 2-refrigerator.

Fig. 1. Household combined appliances - with air TC (a) and liquid TC (b)

*Scientific advisor: Professor Titlov O.S.*

*Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан і перспективи холодильної техніки та еколого-енергетичні проблеми сучасності», 14 по 15 квітня 2025 року*

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій та  
екоенергетики  
ім. В.С. Мартиновського**

**ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНІКИ ТА  
ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОСТІ**

**STATE AND PROSPECTS OF LOW-TEMPERATURE TECHNOLOGY AND  
CURRENT ENVIRONMENTAL AND ENERGY PROBLEMS**

*14-15 квітня 2025 року*

**ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ**

'''Матеріали, занесені до збірника, друкуються за авторськими оригіналами. За достовірність інформації відповідає автор публікації

**Комп'ютерний набір і верстка: Жихарєва Н.В.**

Одеса - 2025