

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Одеський національний технологічний університет

## Міжкафедральний комплексний дипломний проект

**Тема: ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЄКТУВАННЯ  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ТРЦ  
«РІВ'ЄРА» М. ОДЕСА З БОМБОСХОВИЩЕМ**

**Головний керівник проекту**

Доцент кафедри ХУіКП

(посада, кафедра)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Жихарєва Н.В.

(прізвище, ініціали)

**Тема індивідуального проекту: ПРОЄКТ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ  
ТЕПЛОСПОЖИВЧОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ НА  
ОСНОВІ АБСОРБЦІЙНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ**

**Керівник дипломного проекту**

В.о. завідувача кафедрою НТІТ

(посада, кафедра)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Тітлов О.С.

(прізвище, ініціали)

**Розробив: студент-бакалавр, спеціальність 144 –теплоенергетика, кафедра  
нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики**

(спеціальність, кафедра)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Баранов А.М.

(прізвище, ініціали)

**Міністерство освіти і науки України**  
**Одеський національний технологічний університет**

Інститут	Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
Кафедра	Нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	144 Теплоенергетика
Освітня програма	Енергетичний інжиніринг та енергоаудит



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**на тему:** Проект альтернативної теплоспоживчої системи кондиціонування повітря на основі абсорбційних термотрансформаторів

Здобувача

Баранова Андрія  
Миколайовича

4 курсу  
Керівник

ТЕ-441 групи  
проф. Тітлов  
Олександр Сергійович

Консультанти:

проф. Басюркіна Н.І.  
доц. Кологривов М.М.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від  
В.О. завідувача  
кафедрою НТІТ

від 10 червня 2026 року

протокол № 12

Олександр ТІТЛОВ

(підпис)

Одеса – 2026 рік

## ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
Кафедра	Нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	144 Теплоенергетика
Освітня програма	Енергетичний інжиніринг та енергоаудит

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри НТІТ  
Тітлов О.С.

02 лютого 2026 року

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Баранов Андрій Миколайович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): «Проект альтернативної теплоспоживчої системи кондиціонування повітря на основі абсорбційних термотрансформаторів».

керівник проекту (роботи): Тітлов Олександр Сергійович, доктор технічних наук, професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

наук, професор

затверджені наказом вищого навчального закладу від 02.10.2025 р., № 537-03

2. Строк подання студентом проекту (роботи): 02.06.2026

3. Вихідні дані до (роботи): альтернативна система кондиціонування повітря бомбосховища ТРЦ «Рив'єра» м. Одеса на основі абсорбційних термотрансформаторів; температура: конденсації 36 °С; кипіння 7 °С; в приміщеннях 22...24 °С; холодопродуктивність 80,0 кВт; доступність одно- та трифазного мережевий електроенергії; доступність необхідного для роботи абсорбційного термотрансформатора (АТТ) кількості енергії сонячного випромінювання протягом світлового дня; відсутність строгих масогабаритних обмежень для АТТ та допоміжних елементів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: провести літературно-патентний огляд і аналіз сучасного стану розробок і моделювання АТТ з використанням традиційних та відновлювальних джерел енергії; створить методики термодинамічного розрахунку АТТ; розрахувати, розробити та конструктивно оформити теплообмінник розчинів АТТ; провести техніко-економічний аналіз перспективних АТТ з комбінованим використанням традиційних та відновлювальних джерел енергії.

5. Перелік графічного матеріалу: а) та б) принципові схеми АТТ; в) загальний вигляд теплообмінника розчинів; г) деталіровка елементів теплообмінника розчинів.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання видав
Економіка	Басюркіна Н.І., професор		
Охорона праці	Тітлов О.С., професор		
Н. контроль	Кологривов М.М., доцент		

7. Дата видачі завдання 02.02.2026

Керівник

\_\_\_\_\_ Тітлов О.С.  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ Баранов А.М.  
(підпис)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літературних джерел, методик розрахунків, підготовка структури роботи	01.03-10.03.26	
2	Підготовка теоретичного розділу роботи	11.03-21.03.26	
3	Підготовка проєктного розділу роботи	22.03-22.04.26	
4	Підготовка розділу з охорони праці	23.04-30.04.26	
5	Підготовка економічного розділу	01.05-07.05.26	
6	Оформлення пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	08.05-11.05.26	
7	Підготовка графічної частини роботи	12.05-23.05.26	
8	Підготовка презентації та доповіді	24.05-31.05.26	
9	Відгук керівника, рецензування, підготовка до захисту кваліфікаційної роботи	01.06-08.06.26	

Здобувач-дипломник

\_\_\_\_\_ Баранов А.М.  
(підпис)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Тітлов О.С.  
(підпис)

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.*

*Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник

\_\_\_\_\_ Баранов Андрій Миколайович

(підпис)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з: 103 сторінок друкованого тексту, 20 рисунків, 13 таблиць, 19 посилань на джерела.

Мета роботи – розробити та обґрунтувати схемні рішення систем кондиціонування повітря.

Проведено літературно-патентний огляд і аналіз сучасного стану розробок і моделювання абсорбційних термотрансформаторів (АТТ) з використанням традиційних та відновлювальних джерел енергії.

Розроблено методика термодинамічного розрахунку АТТ та виконано розрахунки теплових режимів.

Розраховано, розроблено та конструктивно оформлено теплообмінник розчинів АТТ.

Виконано техніко-економічний аналіз перспективних АТТ з комбінованим використанням традиційних та відновлювальних джерел енергії.

Перелік графічного матеріалу: принципові схеми АТТ; загальний вигляд теплообмінника розчинів; деталіровка елементів теплообмінника розчинів

**Ключові слова:** абсорбційний термотрансформатор, термодинамічний розрахунок, тепловий розрахунок регенеративного теплообмінника, відновлені джерела енергії, техніко-економічний аналіз

## ABSTRACT

Qualification work consists of 103 pages of printed text, 20 figures, 13 tables, 19 references.

The purpose of the work is to develop and substantiate circuit solutions for air conditioning systems.

A literature and patent review and analysis of the current state of development and modeling of absorption thermal transformers (ATT) using traditional and renewable energy sources were conducted.

A method for thermodynamic calculation of ATT was developed and thermal regime calculations were performed.

An ATT solution heat exchanger was calculated, developed and structurally designed.

A feasibility study of promising ATTs with combined use of traditional and renewable energy sources was performed.

List of graphic material: schematic diagrams of ATT; general view of the solution heat exchanger; detailing of the elements of the solution heat exchanger

**Keywords:** absorption thermal transformer, thermodynamic calculation, thermal calculation of a regenerative heat exchanger, renewable energy sources, feasibility study.

## ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД І АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗРОБОК І МОДЕЛЮВАННЯ АТТ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	29
1.1 Термотрансформатор (ТТ)	29
1.2 Абсорбційні термотрансформатори	32
1.3 Бромистолітєві установки	36
1.4 Абсорбційні установки періодичної дії	37
1.5 Тепловикористовуючі сонячні системи	40
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	47
2.1 Розрахунок термодинамічних режимів роботи АТТ	47
2.2 Розрахунок регенеративного теплообмінника розчинів	51
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ТРЦ «РІВ'ЄРА» М. ОДЕСА З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА БОМБОСХОВИЩЕМ	70
3.1. Аналіз вихідних даних та формування проєкту системи кондиціонування ТРЦ «Рів'єра»	70
3.2. SWOT-аналіз та еколого-економічні переваги впровадження енергоефективної системи кондиціонування з альтернативними джерелами енергії	75
3.3. Розрахунок інвестиційних витрат та оцінка економічної ефективності впровадження системи кондиціонування ТРЦ «Рів'єра»	80
3.4. Висновки до розділу 3	84
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖАРНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВОДОАМІАЧНИХ СУМІШІ	86
4.1 Фізико-хімічні властивості водного аміаку	86
4.2 Основні умови транспортування і зберігання водного аміаку	87

	8
4.3 Токсичність застосовуваних або одержуваних речовин	89
4.4 Класифікація виробництва за ступенем вибухової, вибухопожежної та пожежної небезпеки згідно ОНТП24-86	89
4.5 Забезпечення вибухобезпеки експлуатації обладнання	90
4.6 Методи забезпечення вибухобезпеки обладнання	90
4.7 Категорії вибухонебезпечності суміші	91
4.8 Випробування судин, працюючих під тиском	92
4.9 Методи визначення місць витоків холодильного агента.	93
4.9.1 Виявлення витoku за допомогою мильного розчину	93
4.9.2 Метод занурення в воду	94
4.9.3 Поради щодо застосування методу занурення в воду	95
4.9.4 Галоїдний течешукач	95
4.9.5 Метод проникаючого фарбника	95
4.9.6 Метод перевірки системи під тиском	96
4.9.7 Електронні течешукачі	97
4.9.8 Ультразвукові течешукачі	98
4.10 Порядок проведення інструктажу про заходи безпеки	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	102

## ВСТУП

Проблема енергозбереження в системах кондиціонування повітря (СКП) та вентиляції сьогодні перейшла з категорії суто економічних питань до стратегічних завдань національної безпеки та екології.

Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), на кондиціонування будівель припадає близько 20 % усього світового споживання електроенергії. Влітку, під час пікових температур, СКП можуть споживати до 50% енергії, що призводить до аварійних відключень мереж. В умовах України, де енергосистема зазнає значних навантажень, оптимізація СКП є критично важливою.

Світова спільнота розглядає використання місцевих альтернативних джерел енергії як один із перспективних шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення. Невичерпність ресурсної бази та її екологічна чистота є визначальними перевагами за умов зменшення ресурсів органічного палива та зростаючих темпів забруднення довкілля. Місцева біомаса є одним з найбільш потужних і доступних альтернативних джерел енергії на Землі. У житті сучасного суспільства найважливішу роль відіграють енергетика, економіка та екологія. Енергетика є визначальною, оскільки вона впливає на розвиток і економіки, і екології. Вона значною мірою обумовлює економічний потенціал держав і добробут населення, а також найбільше впливає на довкілля, екосистеми й біосферу загалом. Будь-які екологічні проблеми (зміна клімату, кислотні опади, загальне забруднення середовища тощо) прямо чи опосередковано пов'язані з виробництвом або використанням енергії.

Енергетична галузь спричиняє не тільки хімічні, але й інші забруднення: теплове, аерозольне, електромагнітне, радіоактивне. Отже, не буде перебільшенням те, що вирішення енергетичних проблем обумовлює вирішення основних екологічних проблем. Енергетика, як галузь виробництва, розвивається дуже швидкими темпами, тому гарантування енергетичної безпеки та зниження антропогенного впливу енергетики на довкілля – важливе завдання сьогодення.

В даний час все гостріше постає проблема обмеженості паливних природних ресурсів для цілей енергопостачання. Запасів природних копалин вистачить за різними підрахунками на 5...100 років. Крім того, посилюється небезпека шкідливого впливу продуктів згоряння органічних палив на склад атмосфери, яка веде до збільшення в ній CO<sub>2</sub>, що викликає парниковий ефект.

З кожним роком в світі все ширше розвивається нетрадиційна енергетика з поновлюваними джерелами енергії. Ці джерела в принципі можуть забезпечити людство екологічно прийнятною енергією в кількості, що набагато перевищує наші потреби. Згідно з програмою Європейської комісії, опублікованим в Білій книзі, вже в 2010 році 12 % отримані від поновлюваних джерел, з яких 5 % пов'язані з нагріванням і кондиціонуванням. Ця обставина стає особливо важливим, якщо врахувати, що на ці цілі сьогодні витрачається близько 40 % палива, що добувається-більше, ніж на вироблення електроенергії і транспорт.

Використання сонячної енергії - найбільш прогресивний і екологічно безпечний спосіб отримання теплової енергії для систем опалення та гарячого водопостачання. Залежно від кліматичних умов і широти місцевості, потік сонячного випромінювання на земну поверхню складає від 100 до 250 Вт / м<sup>2</sup>. У полуденний час, якщо на небі немає хмар, настає пік сонячної активності, що становить близько 1000 Вт / м<sup>2</sup>.

Попит на реалізацію проектів сонячного теплопостачання в житлових і громадських районах в Європі, США і ряді азіатських країн зростає з кожним годом. В даний час лідером за кількістю встановленої потужності сонячних колекторів є Німеччина (9785 МВт). Потім йдуть Іспанія (3386 МВт), Японія (2633 МВт), США (1650 МВт), Італія (1167 МВт).

Сонячна енергія доступна споживачам протягом усього року, вона дає їм незалежність від постачальника енергії і гарантує постійну роботу систем при будь-яких життєвих обставин, наприклад, при погіршенні платоспроможності споживача. Сонячні колектори безшумні і не

забруднюють навколишнє середовище, тому їх можна встановлювати в житлових районах і дитячих установах.

За даними статистики, за минулий рік, завдяки всім світовим сонячним джерел енергії (теплової та електричної), викиди вуглекислого газу в атмосферу скоротилися на 35 млн т. При цьому було зекономлено 75 млн барелів нафти (10,2 млн т). Спираючись на такі значні показники, аналітики пророкують, що вже через 80-90 років сонце стане основним джерелом енергії на планеті.

Використання термотрансформаторів в геліосистемах теплопостачання дозволяє вирішити декілька задач а саме: - знизити температуру теплоносія на вході в сонячний колектор, що підвищує його ККД; - підвищити тепловий потенціал теплоносія на виході до споживача; - використовувати теплоутилізацію від джерел з низьким тепловим потенціалом. Для комбінованих систем теплохолодопостачання крім отримання тепла необхідне отримання холоду, при цьому отримання холоду за рахунок сонячної енергії може бути реалізовано за допомогою наступних методів: - компресійний цикл, в якому охолодження здійснюється сонячною машиною; - абсорбційні системи; - випарне охолодження; - радіаційне охолодження.

З всіх вищезазначених методів отримання холоду за допомогою геліосистем найбільше розповсюдження отримали абсорбційні термотрансформатори, в яких рушійною силою є сама тепла енергія, що усуває необхідність проміжних перетворень енергії.

Основною конструктивною особливістю комбінованих геліосистем опалення, гарячого водопостачання та кондиціонування повітря, які використовуються в наш час є відокремленість систем теплопостачання та холодопостачання одна від одної. Таким чином використовується наступна послідовність роботи обладнання: сонячний колектор та бак-теплоакумулятор від якого виконується розподілення тепла до споживачів – систем опалення, гарячого водопостачання або до абсорбційного термотрансформатора для отримання холоду, який потрібен системі кондиціонування повітря. Подібна

послідовність роботи має ряд недоліків, а саме – від абсорбційного термотрансформатора відводиться вторинне тепло, яке викидається в навколишнє середовище без використання. Абсорбційний термотрансформатор (АТТ), яка призначена тільки для отримання холоду, не використовується в перехідний та холодний періоди, тому є необхідність виконання спеціального циркуляційного контуру для сонячних колекторів.

Робочим речовиною в АТТ служать розчини двох компонентів з різними температурами кипіння при однаковому тиску. Компонент, киплячий при більш низькій температурі, виконує функцію холодоагенту; другий служить абсорбентом. В області температур від 0 до мінус 45 °С застосовуються АТТ, де робочою речовиною служить водний розчин аміаку (холодоагент - аміак).

При температурах охолодження вище 0 °С переважно використовують АТТ, що працюють на водному розчині броміду літію (холодоагент - вода).

Використання сонячної енергії для охолодження приміщень є одним із найперспективніших напрямків в інженерії. Цей підхід має унікальну перевагу: пік сонячної активності (максимум генерації енергії) ідеально збігається за часом із піком потреби в охолодженні повітря (найспекотніші години дня). Це дозволяє суттєво розвантажити традиційну електричну мережу влітку.

Використання сонячної енергії для охолодження приміщень є одним із найперспективніших напрямків в інженерії. Цей підхід має унікальну перевагу: пік сонячної активності (максимум генерації енергії) ідеально збігається за часом із піком потреби в охолодженні повітря (найспекотніші години дня). Це дозволяє суттєво розвантажити традиційну електричну мережу влітку.

Існує два принципово різних методи використання сонячної енергії в СКП: фотоелектричний (сонячні панелі + електричний кондиціонер) та термосонячний (сонячні колектори + тепловий кондиціонер)

#### 1. Фотоелектричний метод (Solar PV Air Conditioning)

Це найбільш популярний, гнучкий та технічно простий спосіб. Сонячні кремнієві панелі (PV) виробляють постійний струм (DC), який використовується для живлення кондиціонера.

Варіанти реалізації:

- Гібридні системи постійного/змінного струму (AC/DC Hybrid): Кондиціонер підключається одночасно до сонячних панелей (напрямку без інвертора) і до міської мережі 220 В. Удень пріоритет віддається сонячній енергії. Якщо сонця не вистачає (хмари або вечір), система автоматично добирає необхідні вати з загальної мережі.
- Автономні системи (Off-Grid): Працюють повністю незалежно від електромережі. Потребують потужного банку акумуляторних батарей (АКБ) та контролерів заряду для забезпечення роботи кондиціонера у вечірній та нічний час.
- Мережеві системи (On-Grid): Сонячна станція (СЕС) скидає енергію в загальну мережу будинку, від якої живиться звичайний інверторний кондиціонер. Надлишки енергії влітку можна продавати за "зеленим тарифом" або використовувати для інших потреб.

Переваги:

- Висока надійність і великий термін служби сонячних панелей (понад 25 років).
- Простий монтаж, масштабованість та легкість в обслуговуванні.
- Можливість використання інверторних кондиціонерів, які споживають мало енергії на низьких обертах.

Недоліки:

- Висока вартість акумуляторних батарей (для автономних систем) та обмежений термін їх служби (5–10 років).
- ККД фотоелектричних панелей становить близько 18–22%, що потребує значної площі даху для розміщення.

2. Термосонячний метод (Solar Thermal Cooling)

Цей метод використовує не світло, а безпосередньо тепло сонця. Замість фотопанелей встановлюються сонячні термальні колектори (вакуумні або плоскі), які нагрівають теплоносії (воду або спеціальний антифриз) до високих температур (70–120 °С). Це тепло потім подається в спеціальні холодильні машини.

Основні типи технологій:

- Абсорбційні чиллери (Absorption Chillers): Замість механічного компресора використовується хімічний термодинамічний цикл. Найчастіше застосовуються пари "вода-бромід літію" (LiBr/H<sub>2</sub>O) або "аміак-вода". Тепло від сонячного колектора випаровує холодоагент у генераторі, запускаючи процес охолодження води для системи кондиціонування.

- Адсорбційні чиллери (Adsorption Chillers): Використовують тверді сорбенти (наприклад, силікагель) та воду. Процес відбувається циклічно через поглинання та десорбцію вологи під дією сонячного тепла. Вони можуть працювати від нижчих температур теплоносія (від 60 °С).

- Дисікантні системи (Desiccant Cooling): Використовуються для вентиляції. Сонячне тепло сушить спеціальний ротор із вологопоглиначем, який осушує припливне повітря. Потім це повітря охолоджується шляхом випаровування води (адіабатичне охолодження).

Переваги:

- Набагато вищий ККД сонячних колекторів (до 70–80%) порівняно з фотопанелями. Для збору тієї ж кількості енергії потрібно менше площі на даху.

- Відсутність рухомих механічних компресорів у чилерах робить їх безшумними та довговічними.

- Екологічність: використовуються природні холодоагенти (вода), повністю відсутні шкідливі фреони.

Недоліки:

- Висока початкова вартість абсорбційного обладнання (економічно вигідно переважно для великих об'єктів — ТРЦ, готелі, заводи).

- Громіздкість системи (потрібні теплоаккумулятори, градирні для скидання тепла).
- Складне гідравлічне регулювання та чутливість до замерзання взимку (потребує зливу води або використання гліколевих сумішей).

#### Порівняльна таблиця двох методів

Критерій	Фотоелектричний (PV + Кондиціонер)	Термосонячний (Колектор + Абсорбція)
Ефективність збору енергії	Низька (18 – 22 %)	Висока (60 – 80 %)
Сфера застосування	Від малих кімнат до великих офісів	Переважно великі комерційні будівлі
Складність обслуговування	Низька (просто протирати від пилу)	Висока (контроль тиску, насосів, хімії)
Використання взимку	Електрика йде на будь-які прилади чи обігрів	Тепла вода йде на опалення та ГВП
Початкові інвестиції	Доступні (швидко дешевшають)	Високі (довгий термін окупності)

#### Перспективи та виклики в Україні

- Кліматичний потенціал: Південні та центральні регіони України мають чудовий рівень інсоляції влітку (понад 1200–1400 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік), що робить сонячне кондиціонування дуже ефективним.
- Енергонезалежність: В умовах нестабільного централізованого електропостачання гібридні та автономні PV-системи кондиціонування стають єдиним способом підтримувати комфортний мікроклімат у житлових будинках, серверних кімнатах чи медичних закладах.
- Окупність: Наразі фотоелектричний метод (сонячні панелі + інверторний кондиціонер) є абсолютним лідером в Україні за швидкістю окупності (в середньому 4–6 років) завдяки стрімкому здешевленню сонячних панелей та накопичувачів енергії.

Проектування та експлуатація СКП для торговельно-розважальних центрів (ТРЦ) є одним із найскладніших завдань у галузі HVAC (опалення, вентиляція та кондиціонування). Це зумовлено величезними масштабами будівель, різноманітністю функціональних зон та постійною зміною внутрішніх теплових навантажень.

З огляду на масштаби ТРЦ, витрати на енергопостачання СКП є колосальними. Для їх оптимізації впроваджують такі технології:

Рекуперація тепла та вологи: Повітря з торгових залів перед викиданням на вулицю віддає свій холод припливному гарячому повітрю через роторні або пластинчасті рекуператори.

Технологія Free-cooling (Вільне охолодження): У перехідні періоди (весна/осінь) та вночі чиллери вимикаються. Охолодження ТРЦ відбувається суто за рахунок подачі прохолодного вуличного повітря вентиляторами.

Керування за рівнем CO<sub>2</sub> (Demand Controlled Ventilation): Датчики в кінотеатрах та фуд-кортах аналізують рівень вуглекислого газу. Коли людей мало, об'єм вентиляції зменшується, що економить до 40% енергії на підготовку повітря.

Інтеграція з системою диспетчеризації (BMS): Автоматика в режимі реального часу відстежує роботу тисяч датчиків, оптимізує графіки роботи систем (наприклад, переводить ТРЦ в економний нічний режим після закриття) та попереджає про аварії.

Впровадження сонячної енергії в системах кондиціонування повітря (СКП) торговельно-розважальних центрів є ідеальним інженерним та економічним рішенням. ТРЦ мають дві унікальні особливості, які роблять цей симбіоз максимально ефективним:

1. Величезна площа даху, яка зазвичай нічим не зайнята (окрім технічного обладнання) і підходить для масштабування сонячних станцій.
2. Збіг піків навантаження: ТРЦ споживає найбільше енергії на охолодження саме в сонячні та спекотні години дня, коли генерація сонячної станції сягає свого максимуму.

Нижче наведено детальний аналіз варіантів реалізації, переваг та технічних нюансів такого рішення.

У масштабних комерційних будівлях сонячна енергія може інтегруватися двома різними шляхами:

1. Мережева СЕС під власне споживання (On-Grid PV + Чиллери) — найпопулярніший метод.

- Як це працює: Дах ТРЦ покривається тисячами фотоелектричних сонячних панелей. Згенерований ними постійний струм через промислові інвертори перетворюється на змінний і спрямовується в загальну електромережу будівлі.

- Взаємодія з СКП: Електрика від сонця миттєво підхоплюється найпотужнішими споживачами — компресорами чиллерів, насосними станціями та приводами центральних кондиціонерів.

- Особливість: Система працює без дорогих і громіздких акумуляторів. Якщо сонця забагато — вся енергія йде на роботу ТРЦ (ескалатори, освітлення, супермаркети). Якщо хмарна — дефіцит автоматично добирається з міської мережі.

2. Термосонячні системи (Сонячні колектори + Абсорбційні чиллери) — Інженерна альтернатива

- Замість фотопанелей на даху встановлюють вакуумні або високоселективні плоскі сонячні колектори. Вони нагрівають теплоносії (воду/антифриз) до температури 85–110 °С.

- Взаємодія з СКП: Гаряча вода від сонця подається в генератор абсорбційного чиллера. Завдяки хімічному термодинамічному циклу (зазвичай бромістолітєвому), це тепло перетворюється на холодну воду (7 °С), яка потім йде на фанкойли в магазини.

- Особливість: Ця система має в 3–4 рази вищий ККД збору енергії з квадратного метра даху, ніж фотопанелі.

- Зрізання пікових навантажень (Peak Shaving): Обленерго часто штрафують комерційні об'єкти за перевищення лімітів потужності в години

пік або вимагають великі гроші за купівлю додаткових кВт. Сонячна станція повністю закриває цей літній пік споживання кондиціонерами.

- Швидка окупність (для On-Grid PV): Для ТРЦ, які платять за комерційним (підвищеним) тарифом за електроенергію, термін окупності мережевої сонячної станції під власне споживання в Україні становить всього 3.5 – 5 років.

- Зниження експлуатаційних витрат (ОРЕХ): Оскільки кондиціонування формує значну частину комунальних платежів ТРЦ, використання безкоштовної енергії сонця суттєво підвищує рентабельність об'єкта та знижує собівартість оренди для butikів.

- Маркетинговий ефект "Green Building": Наявність сонячної станції дозволяє ТРЦ отримати міжнародні екологічні сертифікати (BREEAM, LEED), що приваблює топових європейських та світових ритейлерів (наприклад, H&M, Zara, ІКЕА), які мають жорсткі корпоративні вимоги до екологічності.

Впровадження сонячного кондиціонування в ТРЦ потребує ретельного прорахунку кількох факторів:

Виклик	Опис проблеми	Шляхи вирішення
Навантаження на покрівлю	Вага сонячних панелей та баластних конструкцій створює додатковий тиск на дах ТРЦ.	Проектування полегшених алюмінієвих конструкцій або використання СЕС як навісів (карпортів) на відкритих парковках ТРЦ.
Ефект вихідного дня	У неділю влітку генерація сонця максимальна, але деякі зони ТРЦ (наприклад, офісні блоки всередині) закриті, тому споживання холоду може впасти.	Інтеграція з розумною системою BMS, яка перенаправляє надлишки енергії на комерційний холод супермаркетів або зарядні станції для електромобілів на парковці.
Сезонність для термосонячних систем	Що робити з гарячою водою від термальних колекторів взимку, коли кондиціонування не потрібне?	Інтеграція системи в контур опалення ТРЦ або підігрів великих об'ємів води для системи ГВП (гарячого водопостачання) фуд-кортів та санвузлів.

Забезпечення мікроклімату в захисних спорудах цивільного захисту (сховищах та протирадіаційних укриттях) кардинально відрізняється від проектування звичайних цивільних об'єктів. Тут системи кондиціонування повітря (СКП) та вентиляції є життєво важливими системами (Life Support Systems), від надійності яких безпосередньо залежить порятунок людей.

В умовах України, де захисні споруди використовуються дуже активно, інженери стикаються з низкою специфічних і критичних проблем.

Головні проблеми СКП та вентиляції в укриттях:

### 1. Робота в умовах повної герметизації (Режим III)

Згідно з нормативами (зокрема українськими ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту»), сховища мають підтримувати три режими вентиляції:

- Режим I: Чиста вентиляція (очищення від пилу).
- Режим II: Фільтровентиляція (очищення від газоподібних отруйних речовин, бактеріальних засобів та радіоактивного пилу).
- Режим III: Повна ізоляція з регенерацією внутрішнього повітря (застосовується під час пожеж навколо сховища або критичної загазованості).
- Проблема: У Режимі III приплив повітря з вулиці перекривається взагалі. Традиційні фреонові кондиціонери лише ганяють повітря по колу, але не здатні видаляти вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) та виділяти кисень ( $\text{O}_2$ ). Без спеціальних регенеративних патронів або балонів з киснем люди в укритті швидко задихнуться, навіть якщо температура буде комфортною.

### 2. Колосальні тепло- та вологоприпливи від людей.

- Проблема: Бомбосховища проектуються під високу щільність заселення (до  $0.5\text{--}1\text{ м}^2$  на людину). Кожна доросла людина в стані стресу виділяє близько  $100\text{--}120\text{ Вт}$  тепла і до  $40\text{--}60$  грамів вологи за годину.

- Наслідки: За лічені години укриття без ефективного кондиціонування перетворюється на "термос". Температура стрімко зростає до  $+30\text{...}+35^\circ\text{C}$ , а вологість досягає  $90\text{--}100\%$ . Це призводить до теплових ударів у людей та утворення конденсату на стінах, що псує обладнання та проводку.

### 3. Енергозалежність та автономність.

- Проблема: Потужні компресори кондиціонерів та приводи вентиляторів споживають багато електроенергії. Під час обстрілів централізоване електропостачання майже завжди зникає.

- Наслідки: Аварійні дизель-генератори укриття змушені витратити значну частину палива суто на роботу кондиціонерів. Якщо генератор вийде з ладу, укриття залишиться без повітря. Тому ДБН вимагає наявності ручного (механічного) приводу для вентиляторів, але запустити кондиціонер вручну фізично неможливо.

#### 4. Захист від ударної хвилі та затікання вибухових газів.

- Проблема: Повітрязабірні шахти виходять на поверхню і є найуразливішим місцем сховища. Вибухова хвиля або токсичні продукти горіння від пожеж поруч можуть проникнути через вентиляційні канали всередину.

- Рішення та складність: Необхідне встановлення масивних захисних противибухових пристроїв (ЗУП, маятникові захисні секції), які автоматично зачиняються під дією ударної хвилі. Ці пристрої створюють величезний аеродинамічний опір, що змушує використовувати надпотужні вентилятори, які споживають ще більше енергії.

#### 5. Високий рівень шуму та вібрації.

- Проблема: Потужні вентиляційні установки, кондиціонери та дизель-генератори встановлюються в замкнутому підземному просторі бетонного бункера.

- Наслідки: Виникає сильний гул та вібрація стін. У замкнутому просторі тривалий шум негативно діє на психіку людей, які й так перебувають у стані стресу. Необхідно закладати складні системи шумоглушення та віброізоляції фундаментів обладнання.

#### 6. Проблема сирості та плісняви в період простою.

- Проблема: Більшу частину часу бомбосховища стоять порожніми. Оскільки вони розташовані під землею, там панує природна вологість і низька температура (10...14 °C).

- Наслідки: Якщо СКП не працює в режимі регулярного осушення та провітрювання, фільтри кондиціонерів покриваються пліснявою,

забиваються грибок, а металеві повітропроводи іржавіють. Коли укриття терміново знадобиться, запуск такої системи занесе інфекції в легені людей.

Для подолання цих проблем у сучасних українських сховищах застосовують спеціалізовані інженерні підходи:

1. Фільтровентиляційні агрегати (ФВА): Спеціальні військові та цивільні установки (наприклад, серій ФВА, ФВУ), які містять передфільтри (від великого пилу), протипилові тканинні фільтри та вугільні фільтри-поглиначі (від хімічної та радіаційної загрози).

2. Адіабатичне охолодження повітря: Замість енергоємних фреонових кондиціонерів іноді використовують промивання повітря водою у спеціальних камерах (скруберах). Це дозволяє охолодити повітря за рахунок випаровування води з мінімальними витратами електрики.

3. Регенерація повітря (для Режиму III): Використання хімічних речовин (наприклад, надпероксиду натрію або калію), які поглинають CO<sub>2</sub> і одночасно виділяють O<sub>2</sub>.

4. Герметичні клапани (ГК): Електроприводи та ручні заслінки з гумовими ущільнювачами, які здатні повністю відсікти внутрішній простір бункера від зовнішнього середовища.

#### Резюме порівняння цивільного ТРЦ та бомбосховища

Характеристика	Кондиціонування в ТРЦ	Кондиціонування в бомбосховищі
Головна мета	Економічний комфорт та прибуток	Виживання людей та збереження життя
Джерело повітря	Безмежне вуличне повітря	Часто обмежене або повністю відсічене
Енергозабезпечення	Потужна міська мережа / СЕС	Автономний дизель-генератор / Ручний привід
Вимоги до фільтрації	Базові (пил класу G4/F7)	Абсолютні (радіація, хімічна зброя, віруси)
Захист від руйнування	Не передбачено	Противибухові клапани, стійкість до сейсміки

Для сучасного ТРЦ в Україні використання фотоелектричних панелей (PV) разом із промисловими чиллерами є найбільш вигідною стратегією. Така система не потребує складного обслуговування, легко інтегрується в існуючу систему вентиляції та кондиціонування, суттєво знижує залежність від міської енергомережі та безпосередньо трансформує сонячну спеку в комфортний.

На початковому етапі комплексного проектування було проведено відповідні розрахунки та визначено вихідні параметри системи кондиціонування повітря для ТРЦ із бомбосховищем.

Проект системи кондиціонування повітря бомбосховища ТРЦ «Рив'єра» м. Одеса. Необхідна холодопродуктивність системи кондиціонування з урахуванням 10 % запасу - 77,2 кВт.

Підібрано обладнання: припливна установка продуктивністю 5000 м<sup>3</sup>/год, чилер холодопродуктивністю 80 кВт (COP = 3,2, споживана потужність 24,1 кВт), ФВУ типу ФВК-1 для режиму фільтровентиляції.

Холодопродуктивність  $Q_0 = 80$  кВт, температура охолодження  $T_0 = 7$  °С, температура конденсації  $T_k = 36$  °С .

На основі проведеного аналізу було запропоновано альтернативну схему системи кондиціонування повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів (рис. В.1 и рис. В.2).

Завдання альтернативної схеми забезпечити самі функції традиційної системи кондиціонування, тобто. охолодження у теплий період року та опалення у холодний період. У перехідний період осінь-весна реалізується режим вентиляції і при необхідності включається або опалення або охолодження.

Для вирішення цих завдань в оброблюваних приміщеннях встановлюються фанкойли 11 з вентиляторами 13 і теплообмінники системи опалення 14 також з можливістю забезпечення циркуляції за допомогою вентиляторів 4. Джерелом тепла та холоду в альтернативній схемі системи кондиціонування є абсорбційний термотрансформатор 10, який, у свою чергу, використовує переважно сонячну енергію для забезпечення своєї роботи.





Збір сонячної енергії з подальшою подачею до термотрансформатора 10 відбувається за допомогою сонячних батарей 7 і сонячних колекторів 1 за допомогою циркуляційних насосів 8.

Сонячні колектора 1 подають гарячий теплоносій через акумулятор тепла 2 або безпосередньо в систему опалення або генератор абсорбційного термотрансформатора 10.

Сонячні батареї 7 забезпечують вироблення електричної енергії для функціонування циркуляційних насосів 8 та роботи системи автоматичного керування.

Для підвищення енергетичної ефективності альтернативної системи кондиціонування передбачені можливості акумулювання тепла в баках 2 та холоду в баках 12.

Така технологія дозволяє проводити по-перше, рівномірну подачу теплового навантаження на генератор абсорбційного термотрансформатора на протязі світлового дня та при зміні погоди, а по-друге, забезпечити роботу у вечірній та нічний час доби, коли сонячна енергія відсутня.

Аналогічну задачу підвищення енергетичної ефективності альтернативної системи кондиціонування покликаний вирішувати регенеративний теплообмінник 3, вбудований в систему сонячних колекторів 1 бака-акумулятора тепла 2. Для роботи в умовах нестабільного теплового навантаження або при повній його відсутності (вечірній і нічний час доби або похмура погода) в альтернативній схемі системи кондиціонування передбачена окрема резервна система подачі тепла. Це може бути газовий пальник або будь-який інший вид органічного палива (біогаз, дрова, торф, паливні брикети тощо). Для роботи системи вентиляції передбачена припливно-витяжна схема, яка вбудована в традиційну систему кондиціонування повітря і складається з повітряних вентиляторів 9 та 16, регенеративного теплообмінника повітряних потоків та системи забору та відведення повітря 17 та 18. Як абсорбційний термотрансформатор розглянуті дві схеми з підтискаючими бустер-компресорами (рис. В.3 і рис. В.4).

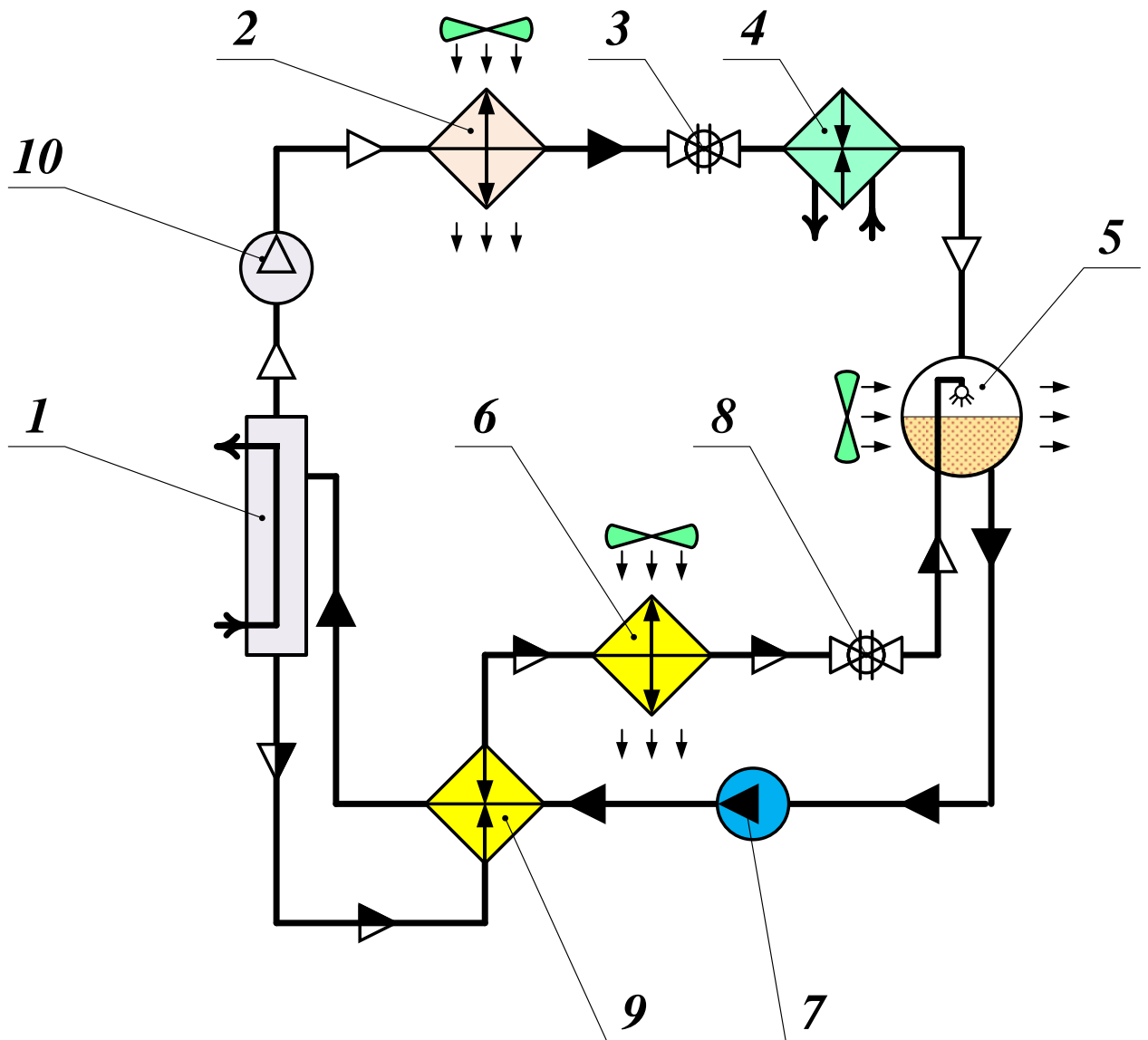


Рис. В.3 – Схема АВТ з підтискаючим бустер-компресором:

1 – генератор; 2 – повітряний конденсор пари аміаку; 3 – дросель рідкого аміаку; 4 – випарник-повітроохолоджувач; 5 – абсорбер; 6 – теплообмінник слабого ВАР; 7 – насос міцного ВАР; 8 – дросель слабого ВАР; 9 – теплообмінник слабого і міцного ВАР; 10 – бустер-компресор конденсатора.

Перша схема (рис. В.3) дозволяє використовувати тепло низького температурного потенціалу до 70 С, за рахунок роботи підтискаючого бустер-компресора 10. Компресор 10 нагнітає пар холодильного агента (аміаку) в конденсатор 1 і забезпечує конденсат для конденсації рівень тиску. Надалі схема не відрізняється від традиційних рішень. Особливо важливо, що в цьому випадку можна використовувати бюджетні сонячні колектори з водою як теплоносії та суттєво скоротити фінансові витрати.

Друга схема (рис. В.4) є розвитком альтернативної системи кондиціонування. Вона передбачена зниження металоємності абсорбційного термотрансформатора і підвищенням її функціональних можливостей у частині управління у широкому діапазоні параметрів експлуатації.

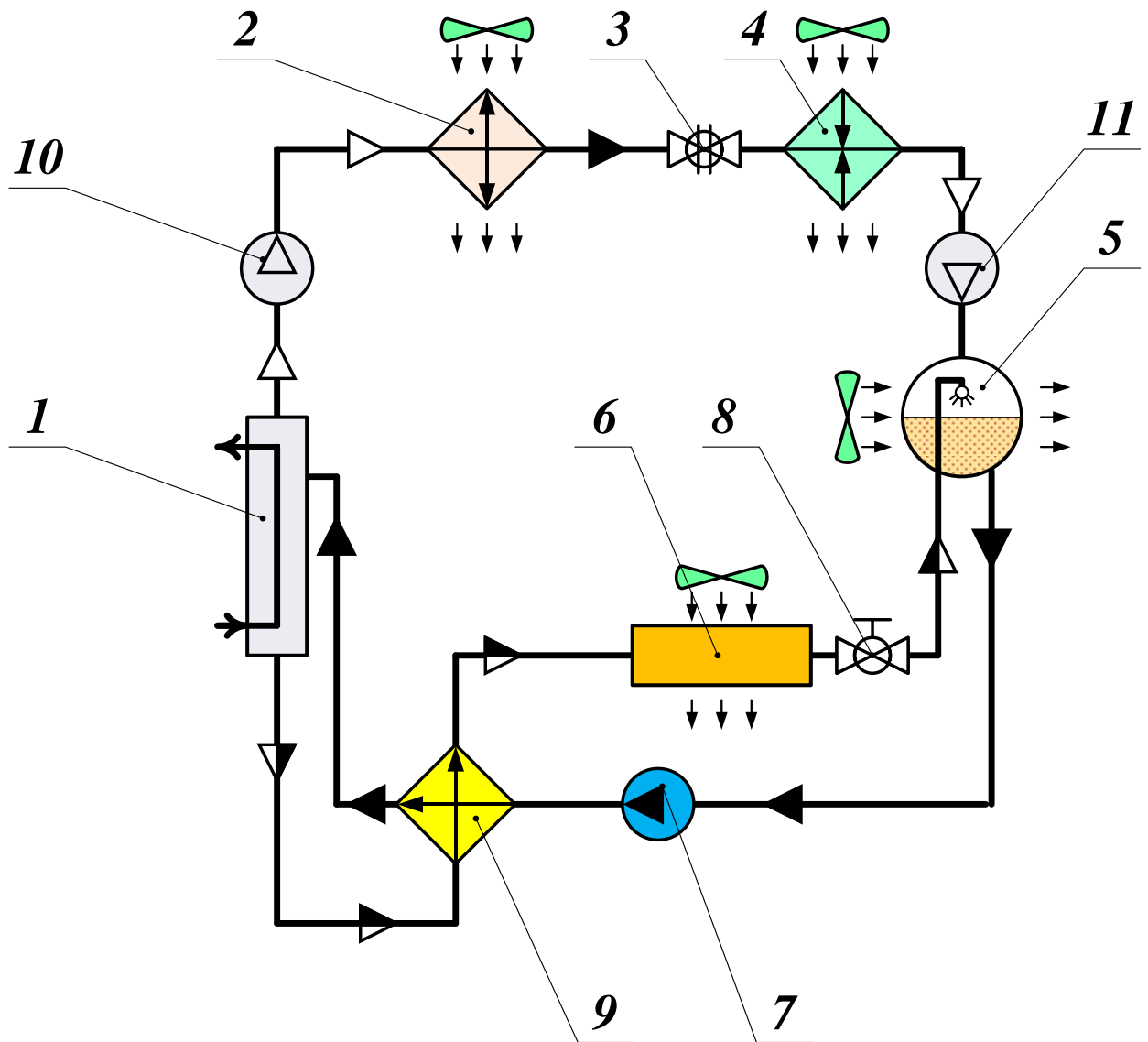


Рис. 4 – Схема АВТ з двома підтискаючими бустер-компресорами:

- 1 – генератор; 2 – повітряний конденсатор пари аміаку; 3 – дросель рідкого аміаку; 4 – випарник-повітроохолоджувач; 5 – абсорбер; 6 – теплообмінник слабого ВАР; 7 – насос міцного ВАР; 8 – дросель слабого ВАР; 9 – теплообмінник слабого і міцного ВАР; 10 – бустер-компресор конденсатора; 11 – бустер-компресор випарника.

Для цього у схемі абсорбційного термотрансформатора на магістралі між випарником 4 і абсорбером 5 встановлюють другий підтискаючий

компресор 11, який створює підвищений тиск в абсорбері 5. Підвищений тиск абсорбції дозволяє інтенсифікувати процеси масообміну при поглинанні пари аміаку слабким водоаміачним розчином і тим самим отримати можливість знизити масогабаритні параметри абсорбера 5.

Однією з позитивних характеристик такої схеми є можливість вирівняти тиск між генератором 1 і абсорбером 5 та виключити із схеми циркуляційний насос 7.

Таким чином у рамках комплексної роботи необхідно виконати такі дослідження:

а) розробити та обґрунтувати схемні рішення систем кондиціонування повітря;

б) розробити та обґрунтувати застосування акумуляторів тепла та холоду;

в) вивчити особливості роботи основних елементів АТТ: генераторного вузла і абсорбера в режимі повітряного охолодження;

г) вивчити питання техніки безпеки під час роботи з водою аміачним розчином та аміаком;

д) обґрунтувати інвестиційну привабливість проекту.

## РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД І АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗРОБОК І МОДЕЛЮВАННЯ АТТ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

### 1.1 Термотрансформатор (ТТ)

Тепловий трансформатор – це установка, у якій здійснюється перенесення енергії від джерела з відносно низькою температурою до джерела з відносно високою температурою за допомогою робочої речовини - охолоджувача і витрат енергії. Якщо тепловий трансформатор служить переважно для виробництва холоду, він називається холодильником (клас R). Якщо тепловий трансформатор служить переважно для виробництва тепла, він називається тепловим насосом (клас Н). Якщо тепловий трансформатор служить одночасно для виробництва і тепла і холоду, то він називається кондиціонером (клас RH).

Області застосування теплових трансформаторів:

1. Металургія: Виробництво кисню, азоту та аргону для використання в металургічних процесах.
2. Машинобудування: Обробка сталі холодом для підвищення твердості та зносостійкості.
3. Хімічна промисловість: Осушення газів, конденсація парів, розділення складних сумішей, регулювання хімічних реакцій.
4. Газова промисловість: Розділення газових сумішей, оживлення природного газу.
5. Авіація та космонавтика: Виробництво кисню та водню для реактивних двигунів.
6. Енергетика: Створення ліній електропередачі з використанням ефекту сверхпророзчинності.
7. Радіотехніка та електроніка: Підтримання температури елементів апаратури при низьких температурах.

8. Харчова промисловість: Заморожування та зберігання харчових продуктів.

9. Медицина: Використання кріомедицини та кріохірургії.

Класифікація термотрансформаторів. Трансформатори (далі ТТ) класифікуються:

- за принципом організації роботи ТТ;
- за характером процесів, що протікають у ТТ;
- за характером перебігу процесів у часі.

За принципом організації роботи - ТТ бувають:

- термомеханічні (найпоширеніші у промисловості);
- магнітокалоричні;
- електрокалоричні.

Термомеханічні ТТ бувають:

- компресійні;
- сорбційні;
- струминні.

Компресійні ТТ залежно від характеру зміни стану робочого тіла бувають:

- парорідкісні ТТ (далі ПРТТ) (робоче тіло змінює фазовий стан пар-рідина);
- газорідинні ТТ (далі ГРТТ) (газ-рідина);
- газові.

Сорбційні ТТ. У цих установках тиск робочого тіла змінюється у процесі сорбції ( $P$  зменшується) та десорбції ( $P$  збільшується). Ці установки бувають:

- абсорбційні;
- адсорбційні.

В абсорбційних машин робоче тіло поглинається рідиною.

В адсорбційному – твердим тілом.

Процеси сорбції та десорбції супроводжуються підведенням та відведенням тепла.

У якості робочих тіл використовуються системи:  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O-LiBr}$

За характером процесів, що протікають у ТТ, вони бувають:

- з трансформацією підвищенням (коли підводиться теплота низького потенціалу, а відводиться теплота високого потенціалу). До цього класу належать: рефрижератори, криогенні установки, теплові насоси, кондиціонери.

- з розщеплювальною трансформацією (підрозчинюється теплота із середнім потенціалом і ділиться на 2 потоки: 1 з низьким, 2 з підвищеним потенціалом). Це – струменеві трансформатори – пароежекторні машини (рис. 1.1) та вихрові труби.

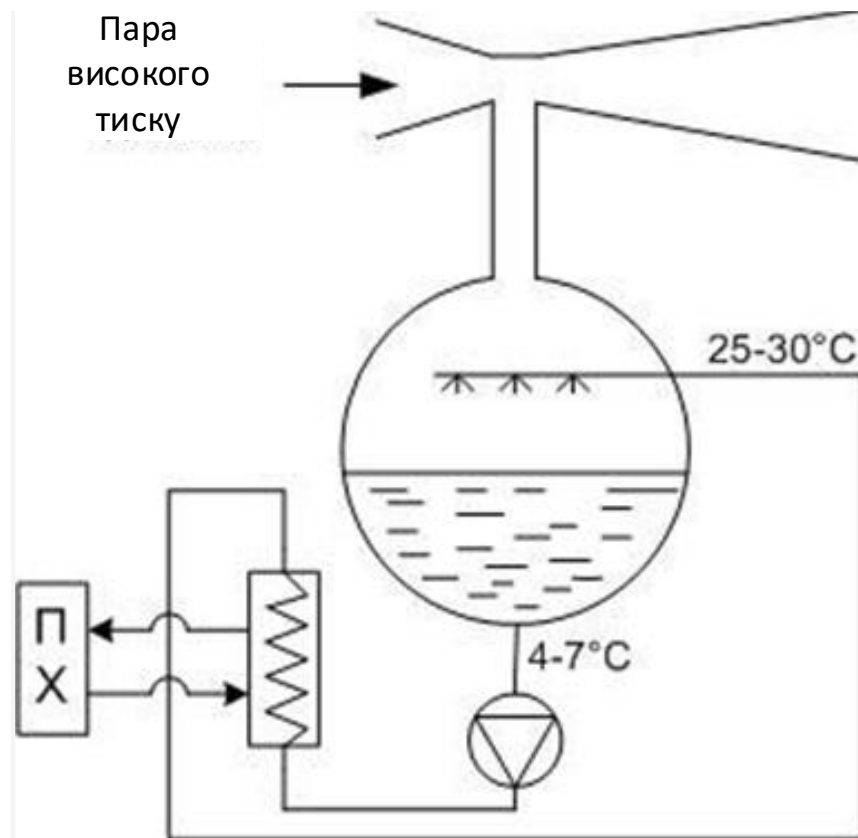


Рис. 1.1. Струменеві трансформатори – пароежекторні машини.

За характером перебігу процесів у часі:

- циклічні, коли процес повертається у вихідну точку;
- квазіциклічні процеси, робоче тіло після проходження циклу залишає цей цикл. Це компресори, турбіни, двигуни, вентилятори;
- нециклічні. Електромагнітні теплові трансформатори. Немає робочого тіла.

## 1.2 Абсорбційні термотрансформатори

Головна відмінність абсорбційних ТТ від парорідинних полягає у можливості використання не електричної, а теплової енергії. Принцип роботи – послідовне здійснення термохімічних реакцій змішування (сорбції) та поділу (десорбції) двох або кількох робочих компонентів: компонент - легкокипляча фракція (робочий агент); компонент – важча фракція (абсорбент).

Використовуються лише такі робочі агенти, до яких підібрані свої абсорбенти. Термохімічний компресор (ТХК) складається з абсорбера (у ньому здійснюється процес змішування) та генератора (процес поділу). Схеми роботи: підвищувальна; розчіплювальна.

У першому випадку трансформація тепла йде від середовища з температурою ТН до температури ТС. Для цього використовується зовнішнє джерело, температура якого дорівнює ТБ. У другій схемі до встановлення підрозчинюється робочий потік теплоносія з температурою ТЗ, який поділяється на два потоки: один потік підвищує свою температуру до ТБ, а другий - знижує до ТН. Застосовувані холодоагенти наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Застосовувані холодоагенти.

№ з/п	Робочий агент	Абсорбент	Область використання
1	Аміак	Вода	ХЛУ, ТНУ
2	Вода	LiBr	ХЛУ
3	Вода	NaOH, KOH, CaCl <sub>2</sub>	ТНУ

Головна вимога при підборі робочих компонентів: максимальна різниця температур нормального кипіння сорбенту та робочого агенту для легшого поділу суміші.

$$D_T = T_{HK} - T_H. \quad (1.1)$$

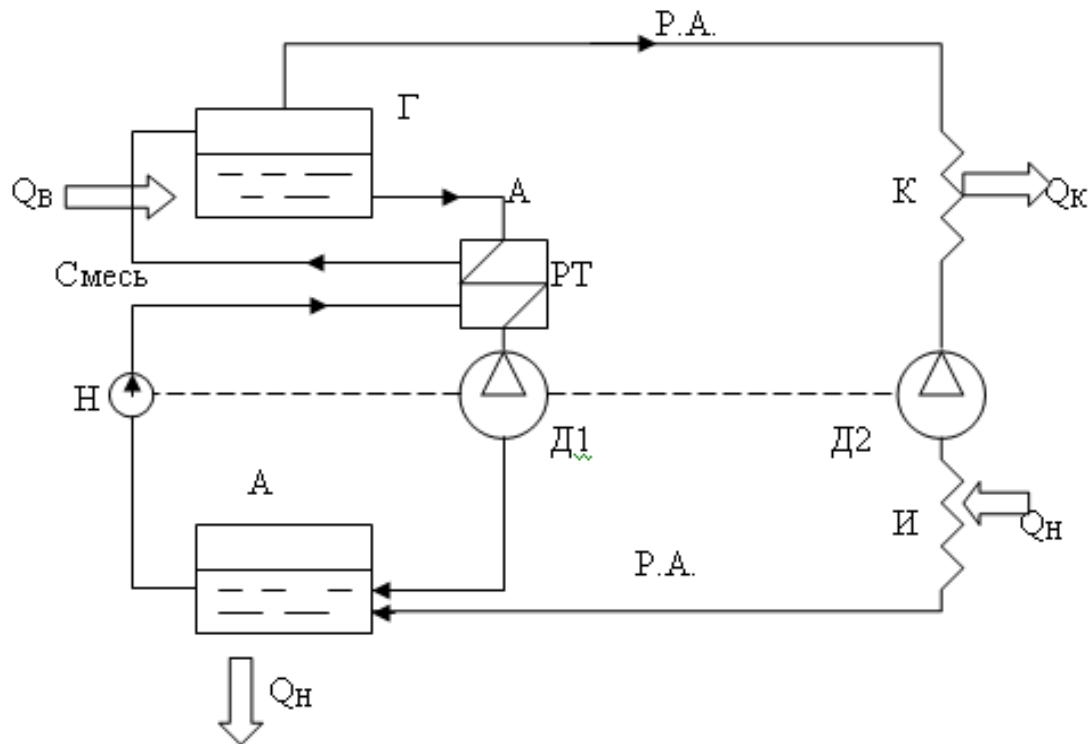


Рис. 1.2 - Схема термотрансформатора:

Г – генератор; А – абсорбер; Н – насос для розчину; РТ – регенеративний теплообмінник;  
Д – детандер; А – абсорбент; P.A. – робочий агент.

В ідеальній схемі приводом насоса є дві турбіни (детандери) (рис. 1.2). В абсорбер А йде два потоки: абсорбент з генератора (через РТ і Д1) та робочий агент з випарника И.

В результаті змішування – екзотермічна реакція, тепло якої відрозчиниться до джерела з температурою ТС (зазвичай навколишнє середовище). Суміш перекачується насосом Н через РТ генератор для поділу (випарювання).

Для цього Г підрозчиниться зовнішнє тепло  $Q_B$  при температурі  $T_B > T_C$ . В результаті поділу робочий агент у вигляді пари йде в конденсатор, в якому відбувається відведення тепла  $Q_K$  до джерела ТС, а потім Д2 йде у випарник.

У випарнику тепло  $Q_H$  відрозчинюється від НІТ до робочого агента за температури  $T_H$ . Тепловий баланс:

$$Q_H + Q_B = Q_A + Q_K \quad (1.2)$$

Якщо втрат немає, то ексергетичний баланс:

$$E_H + E_B = E_A + E_K \quad (1.3)$$

$$Q_H t_H + Q_{Bt_B} = (Q_H + Q_B) t_C, \quad (1.4)$$

де  $t_i$  - коефіцієнт працездатності.

Питомі витрати на виробництво холоду:

$$\varepsilon_H = \frac{Q_B}{Q_H} = \frac{\frac{1}{T_H} - \frac{1}{T_C}}{\frac{1}{T_C} - \frac{1}{T_B}} \quad (1.5)$$

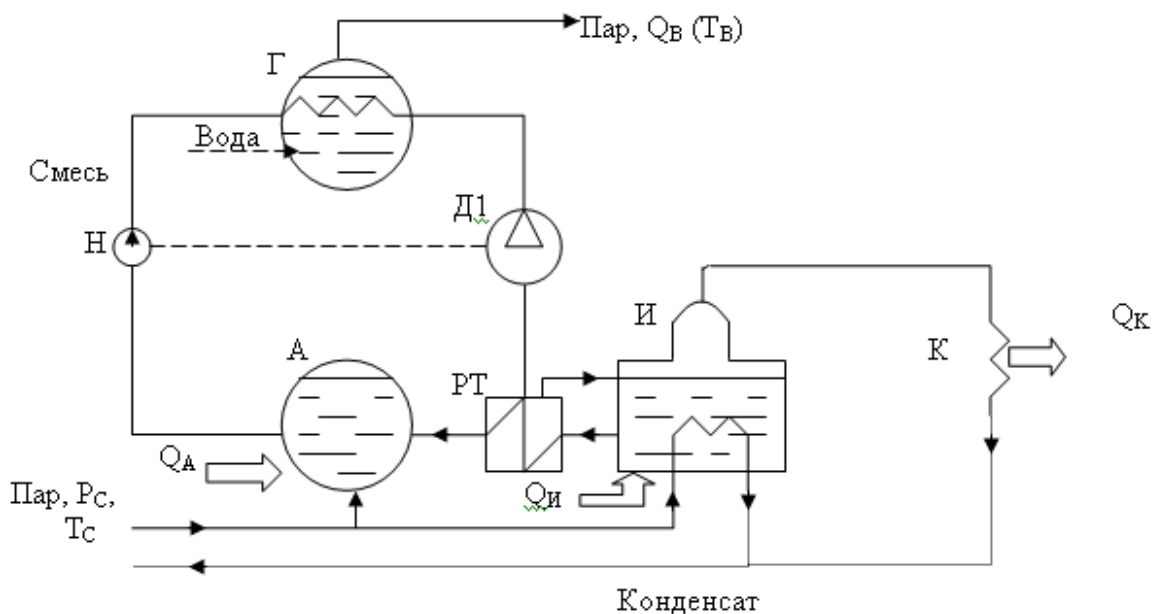


Рис. 1.3 - Схема ідеальної абсорбційної теплонасосної установки  
(розщеплювальна схема):

Г – генератор; РТ – регенеративний теплообмінник. Привід насоса – турбіна (ідеальна схема).

В абсорбер підрозчинюється водяна пара середніх параметрів  $P_C$ ,  $T_C$  і абсорбент з випарника И. В результаті термохімічної реакції утворюється суміш із підвищеною температурою. Суміш надходить у генератор, де тепло суміші через поверхню нагріву віддається воді, внаслідок чого утворюється пара з підвищеною температурою  $T_B > T_C > T_H$ , що надходить до споживача. Відпрацьована суміш через Д і РТ прямує у випарник для поділу. Відділення робочого агента від абсорбенту здійснюється за рахунок тепла потоку пари середніх параметрів. Тепловий баланс:

Основні відмінності ідеальної схеми від реальної: детандери замінені регулюючими вентилями; для підвищення ефективності поділу суміші на вихідні компоненти у схему включені процес ректифікації та дефлегматор; всі процеси теплообміну протікають при кінцевих різницях температур, відмінних від нуля; для зниження втрат від дроселювання перед регулюючим вентилем встановлюють ОК або РТ. Схема реальної одноступінчастої абсорбційної ХЛУ наведена на рис. 1.4.

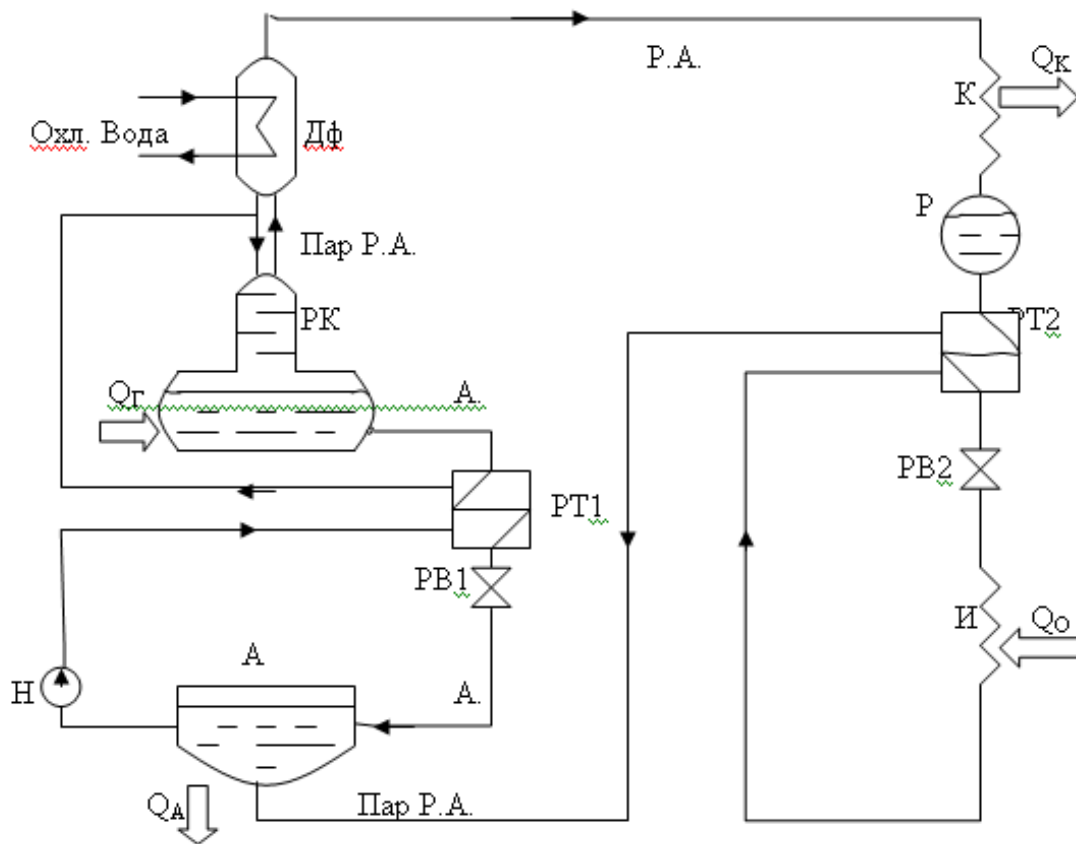


Рис. 1.4. Схема реальної одноступінчастої абсорбційної холодильної установки:

РК - ректифікаційна колонка; Г – генератор; Р – лінійний ресивер; Дф – дефлектор.

Принцип роботи: в абсорбері А поєднуються робочий агент і абсорбент. В результаті змішування виділяється тепло, яке відводиться у навколишнє середовище. Суміш, що утворилася, насосом Н через РТ1 направляється у верхню частину РК. Далі вона самопливом стікає через насадку чи тарілки. Назустріч їй із Р виходить пара робочого агента з

домішкою абсорбенту. В результаті тепломасообміну між паровим і рідким потоками концентрація легкокиплячого компонента (робочий агент) у паровому потоці зростає, а потік суміші за рахунок нагрівання знижує концентрацію легкокиплячого компонента. На виході із РК концентрація робочого агента становить 85-90 %. Для подальшого очищення пари робочого агента у верхній частині встановлюється додатковий теплообмінник – дефлектор. У дефлекторі циркулює вода, що охолоджує. За рахунок часткової конденсації робочого агента з нього виділяється флегма (залишки абсорбенту), яка стікає в РК і далі Г. На виході з дефлектора концентрація робочого агента становить 98 %.

### 1.3 Бромистолітєві установки

У цих установках у якості робочого агента використовується вода, а у якості абсорбенту – LiBr. Установки використовуються для одержання холодного повітря в системах ВКВ із температурою 8-10 °С.

Повітря охолоджується холодною водою, що отримується у випарнику абсорбційної установки (нижній корпус).

ХЛУ складається із двох корпусів (рис. 1.5). У верхньому циліндричному корпусі розташований генератор та конденсатор. У нижньому корпусі – випарник та абсорбер.

У нижньому корпусі (I+A) підтримується низький тиск відповідно до заданої температури охолоджувальної розчину  $t_0$ . Це розрядження, що відповідає 1,2 - 1,4 кПа, створюється за рахунок сорбції бромистим літєм водяної пари, що утворюються при надходженні від споживача теплої розчину з температурою  $t_B > t_0$ .

Змішування абсорбенту та робочого агента відбувається в абсорбері, де слабкий розчин, що виходить з Г, через РТ подається на розподільний гребінець абсорбера. Кріпкий розчин, що утворився, з абсорбера насосом Н перекачується через РТ в генератор для подальшого його поділу. Випарювання розчину здійснюється за рахунок тепла продуктів згоряння або водяної пари,

що проходять жаровими трубами. Пара конденсується в К, а потім надходить у випарник. Для збільшення щільності зрошення трубних пучків абсорбера і генератора у схемі присутній відведення міцного розчину через вентиль РВ3, а в генераторі за допомогою РН до міцного розчину підмішується слабкий.

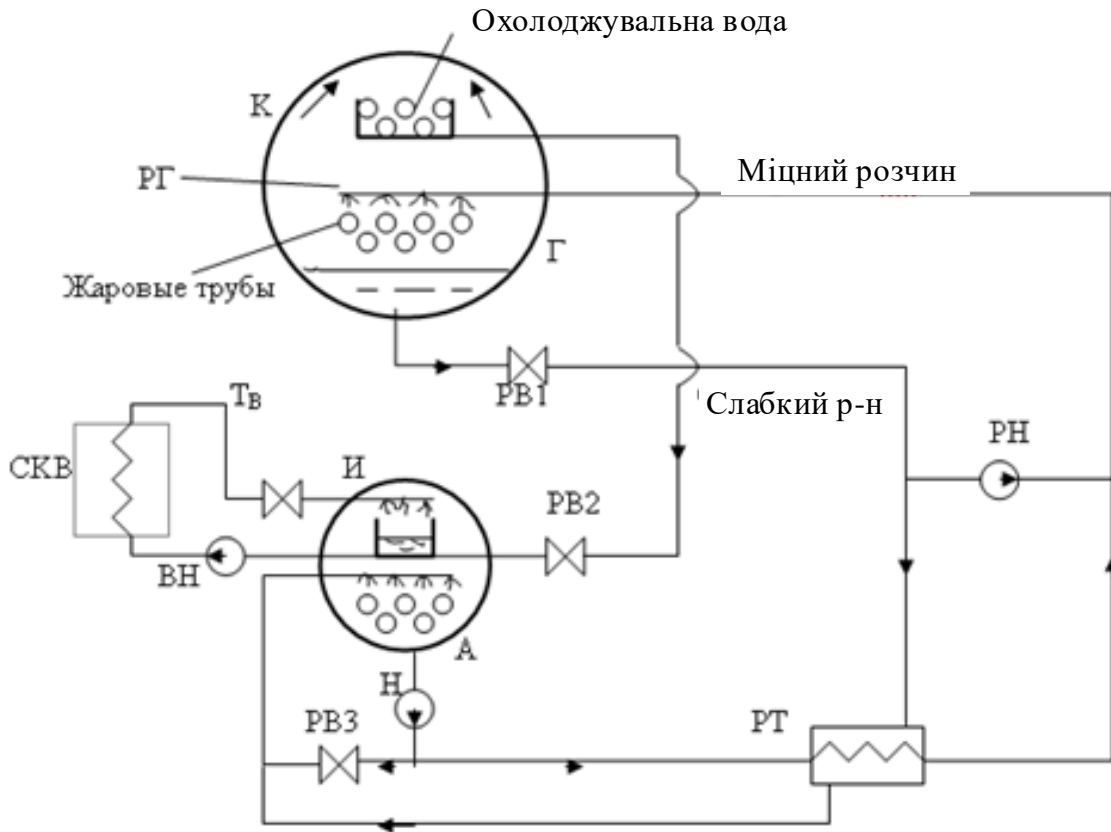


Рис. 1.5 - Схема ХЛЮ:

ВН – водяний насос; РН – рециркуляційний насос; Н – насос для міцного розчину; РГ - розподільна гребінка.

#### 1.4 Абсорбційні установки періодичної дії

У тих випадках, коли немає необхідності безперервного вироблення холоду, використовують схеми періодичного вироблення (рис. 1.6).

У цьому випадку функції генератора поєднані з функціями абсорбера, а функції конденсатора – з функціями випарника.

Весь цикл роботи поділяється на два етапи: заряджання установки; робочий період. Зарядка схеми триває 1...3 години на добу, а робота – 21...23 години. Установка повністю автономна.

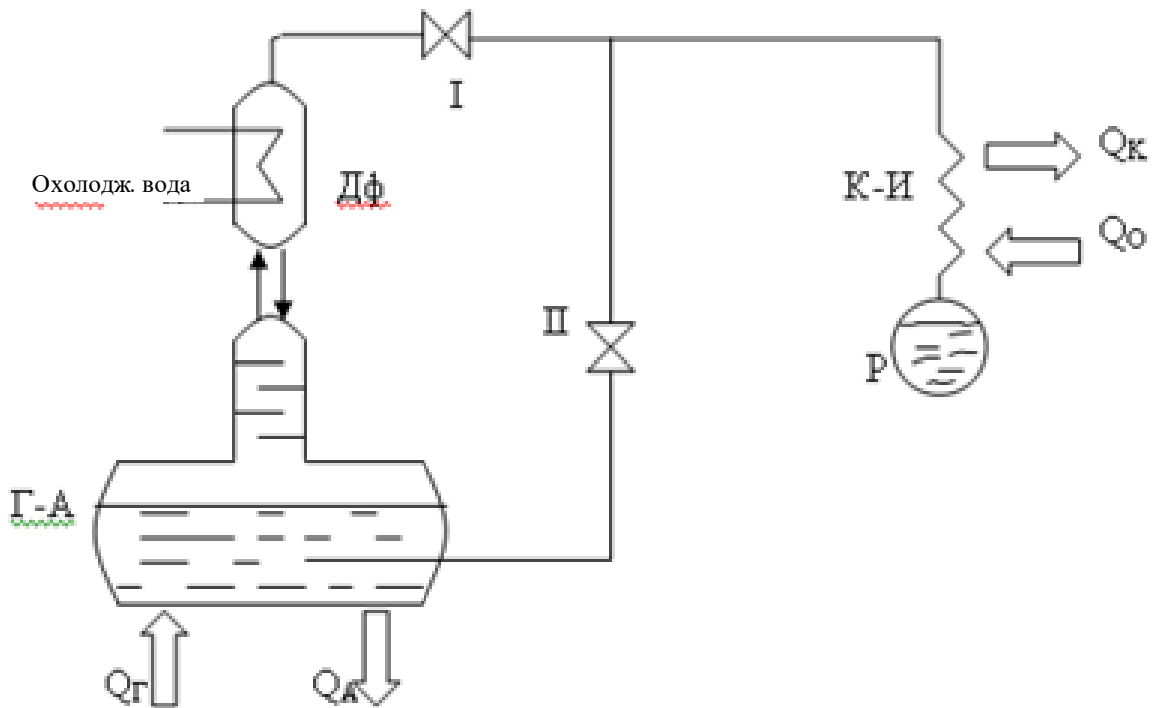


Рис. 1.6 - Схема установки періодичної дії:

Р – лінійний ресивер; Дф – дефлегматор.

Заряджання. Водоаміачна суміш знаходиться у генераторі. Вентиль I – відкритий, а вентиль II – закритий.

До встановлення підрозчинюється зовнішнє джерело тепла. Парі аміаку, відокремлюючись і очищаючись в дефлегматоре, надходять у конденсатор, де, охолоджуючись під впливом навколишнього середовища, скраплюються і збираються в ресивері. Процес заряджання закінчується фіксацією поділу водоаміачного розчину. У ресивері – аміак, у генераторі – вода. При цьому тиск у всіх елементах схеми є однаковим. Перед робочим періодом обидва вентиля закриті, джерело тепла відключається і від генератора відрозчинюється  $Q_A$  тепло в навколишнє середовище. При охолодженні тиск у абсорбері знижується щодо ресивера та конденсатора.

Робочий період (рис. 1.7). Робочий період починається з відкриття вентиля II. При цьому тиск передається з абсорбера у випарник і при досягненні ним тиску насичення у випарнику рідкий аміак починає кипіти.

Парі проходять через вентиль II, і відбувається змішування розчину та аміаку.

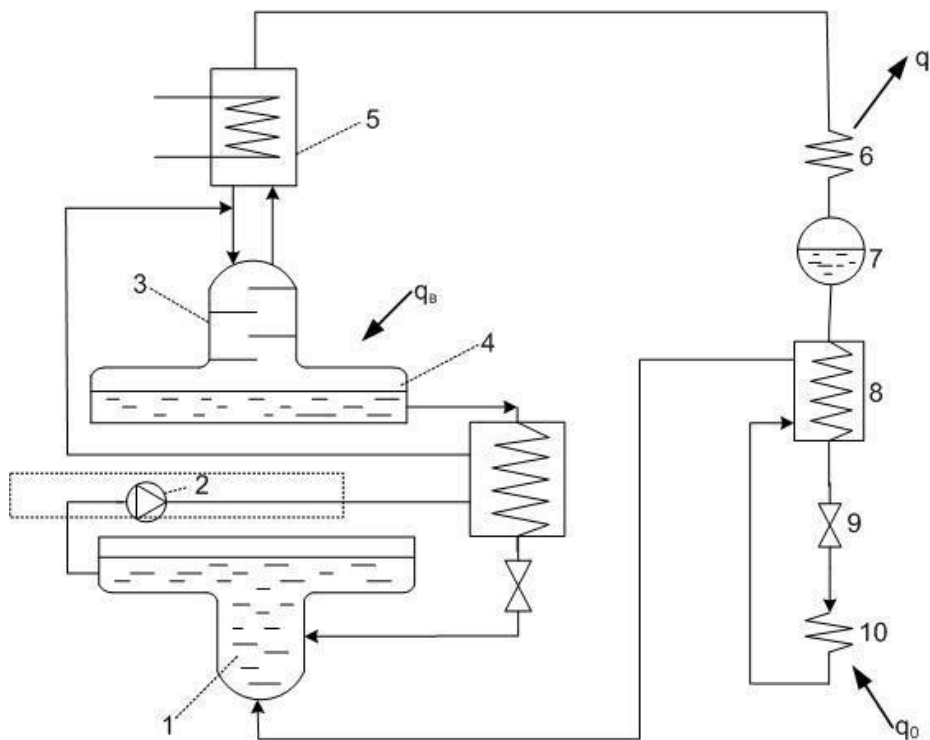
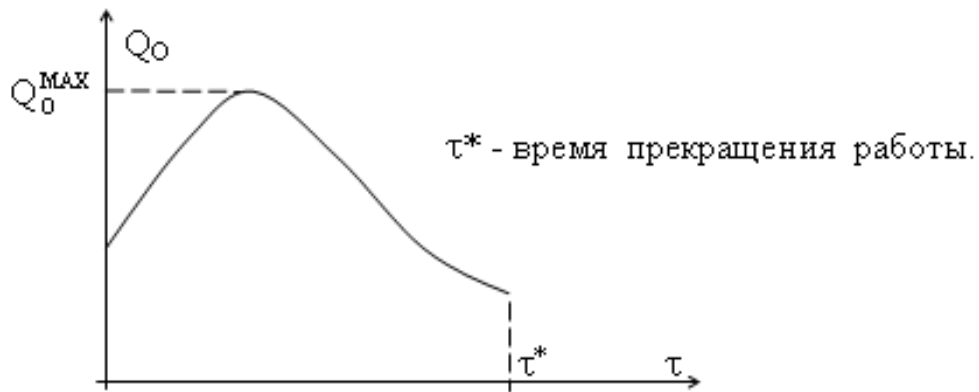


Рис. 1.7.

1 – абсорбер  $\text{NH}_3\text{OH}$  з 1 насосом 2 підрозчинюється до ректифікатора 3 до генератора. Міцний розчин = робочий агент + абсорбент. У т.3 назустріч пару рухається пара. Концентрація  $\text{NH}_3$  у парі збільшується. У генераторі 4 розчину підрозчинюється теплота. Розчин з міцного перетворюється на слабкий і стікає на абсорбер 1. Розчин у генераторі кипить. З т.3 пар надходить дефлегматор 5, де охолоджується. Флегма, що виділяється, тече назустріч парі. Після чого пара надходить у конденсатор 6. З рідини 6 надходить в ресивер 7 (регулювання роботи установки в змінних режимах), далі надходить в охолоджувач 8 і через дросельний вентиль 9 випарник 10. Пари  $\text{NH}_3$  надходять

до абсорбера 1, де зріджуються зі слабким розчином. Процес абсорбції скорочує зменшення тиску і для переходу в міцний розчин абсорбера відрозчиниться тепло. Генератор, колона, дефлегматор, конденсатор, охолодження під високим тиском.

### 1.5 Тепловикористовуючі сонячні системи

На рис. 1.8 [2] наведено схему установки для отримання прісної води з атмосферного повітря.

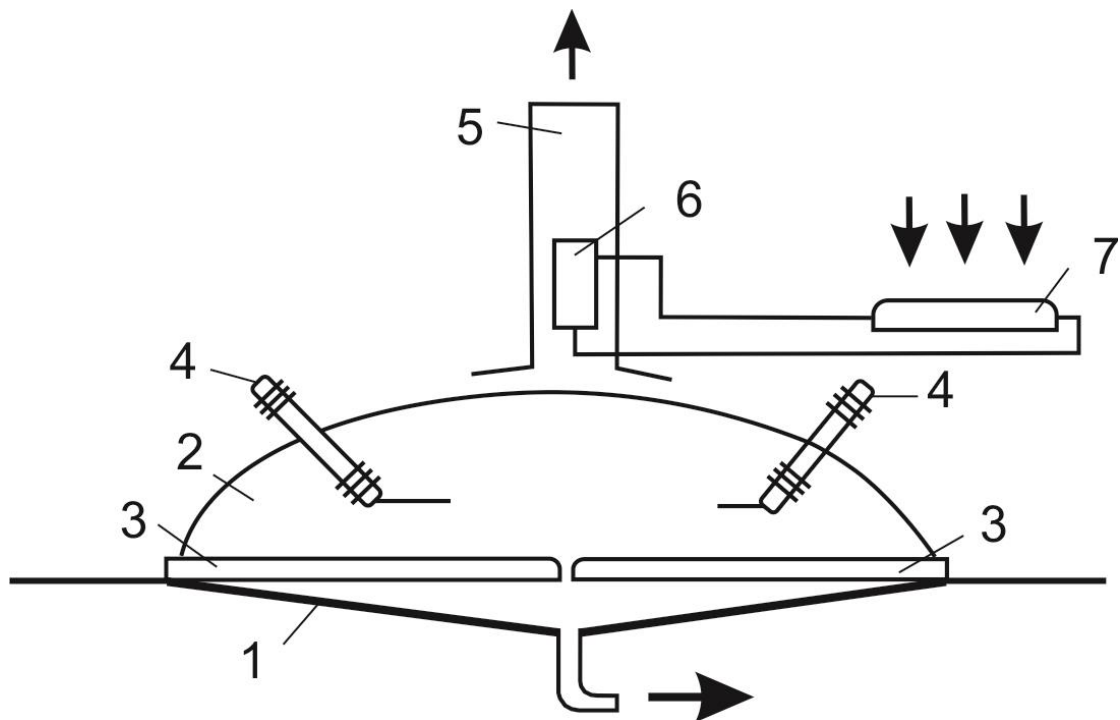


Рис. 1.8 - Установка для отримання води з повітряного басейну.

Звернемося до опису патенту (зі скороченнями). Установка містить водозбірник 1, на якому знаходиться акумулятор холоду 2, у нижній його частині розташовані повітряні труби 3. Теплові труби 4 також знаходяться одним ребреним кінцем в акумуляторі холоду 2, при цьому інші ребрені кінці знаходяться в повітрі. Над акумулятором холоду 2 розташована витяжна труба 5, всередині якої розташований нагрівач повітря 6, з'єднаний трубами з сонячним колектором 7.

Акумулятор холоду 2 виконаний з твердого матеріалу, що утворює об'єм з великою конденсаційною поверхнею і хорошою проникністю для повітряних

потоків. Для зменшення вартості установки в якості такого матеріалу можна використовувати щебінь, крупну гальку та інші матеріали, що створюють повітропроникну структуру з розвиненою поверхнею. Якщо використовувати для створення акумулятора холоду 2 такі матеріали, як щебінь, то повітряні канали 3 можуть бути виконані у вигляді порожнистих труб з бічними отворами в їхніх стінках.

Теплова труба 4 являє собою пристрій, здатний передавати великі теплові потоки при малих перепадах температур. Вона складається з герметичної труби, заповненої рідким теплоносієм, який, випаровуючись у одного кінця труби, поглинає теплоту, а конденсуючись у іншого кінця, віддає її. Таким чином, перенесення тепла здійснюється в одному напрямку. Теплоносієм може бути вода. Витяжна труба 5 може бути виконана у вигляді легкої конструкції, наприклад каркаса, обтягнутого плівкою. Нагрівач повітря 6 виконаний у вигляді ємності з матеріалу з хорошою теплопровідністю і заповнений водою. Сонячний колектор 7 – це пристрій для нагрівання води за допомогою сонячного випромінювання.

Установка працює наступним чином. Вночі температура поверхні землі і повітря починає зменшуватися за рахунок радіаційного випромінювання. Коли температура повітря стає нижче температури в місці закладення теплової труби, він починає охолоджувати акумулятор холоду зсередини. Для того, щоб процес перенесення тепла проходив інтенсивніше, частини теплової труби, що знаходяться в тепловому акумуляторі і в повітрі, забезпечені ребрами. Оскільки в нагрівачі повітря 6 знаходиться тепла вода, нагріта за день за допомогою сонячного колектора 7, у витяжній трубі 5 створюється потік теплого повітря. У результаті створюється різниця тисків, і атмосферне повітря повітряними каналами 3 надходить в нижню частину акумулятора холоду, піднімається вгору і виходить у витяжну трубу 5. Якщо вологість повітря становить 100 %, то водяна пара, що знаходиться в ньому, конденсується на внутрішній поверхні акумулятора холоду. Якщо вологість

повітря менша, ніж 100 %, то попередньо повітря охолоджується до температури, коли пара стає насиченою.

Процес конденсації водяної пари триває також і вдень, тільки спочатку тепле атмосферне повітря охолоджується акумулятором холоду до температури, коли пара, що знаходиться в ньому, стане насиченою. Удень утворенню повітряних потоків через акумулятор холоду сприяє також його нагрівання сонячними променями, що створює всередині нього градієнт температур. Таким чином, для роботи установки не потрібна енергія, вона функціонує автоматично і є екологічно чистою.

Одним з перспективних напрямків може бути сонячний цикл теплової машини Ренкіна (рис. 1.9) [4].

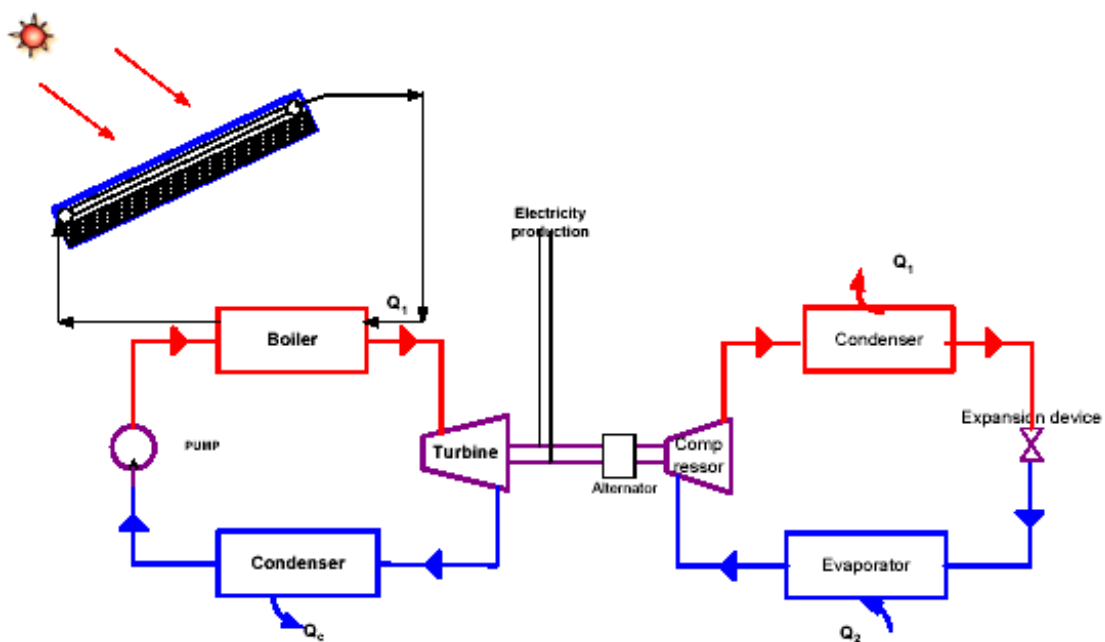


Рис. 1.9 - Комбінований цикл Ренкіна.

Ліва, силова частина призначена виключно для приводу компресора правої частини. Права частина схеми по суті є звичайним холодильником. Ефективної силової частини, залежно від її конструктивних особливостей, буде в межах 7–15 % [16]. А енергетична ефективність (COP) правої частини, по суті теплового насоса, буде в межах 2–3, тобто сумарна енергетична ефективність схеми буде достатньою, щоб використовувати її для виділення

істотної кількості води з повітря. До його недоліків можна віднести достатню складність конструкції.

В даний час є широкий спектр технічних пропозицій щодо способів абсорбції (поглинання) сонячної енергії [17].

Розглянемо ті з них, які здатні забезпечити рівень робочих температур у генераторі АХА від 150 до 170 °С.

З сонячних колекторів із теплоносієм – це вакуумні сонячні колектори, у тому числі й із використанням теплових труб (рис. 1.10) [19].

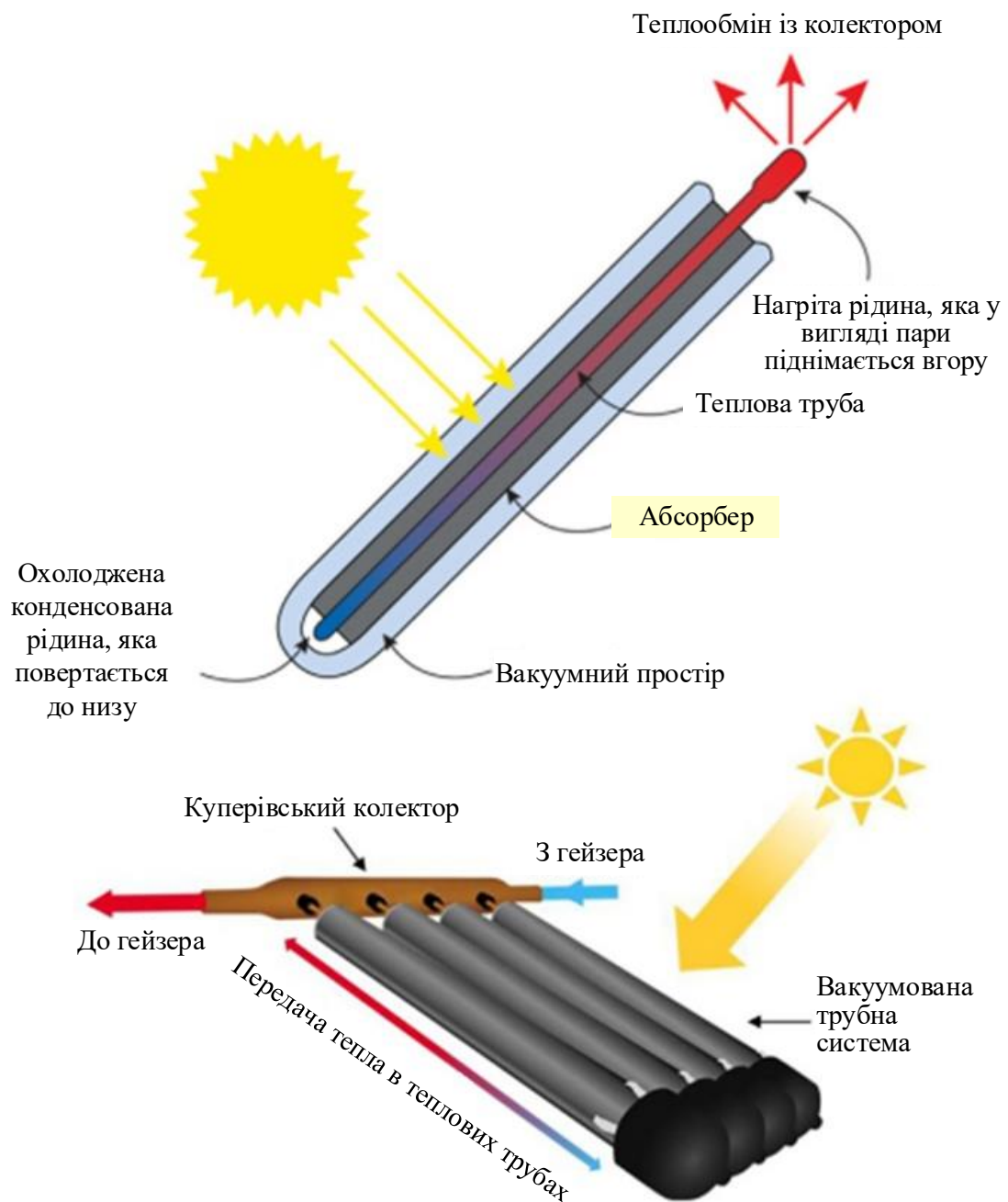


Рис. 1.10 - Типова конструкція вакуумних колекторів із тепловими трубами.

У такій системі є можливість досягти температури 250 °С, що є прийнятним для роботи АХА.

Концентратори сонячної енергії – параболічні сонячні колектори – також дозволяють досягти прийнятних до роботи АХА температур у генераторі (рис.1.11) [8].

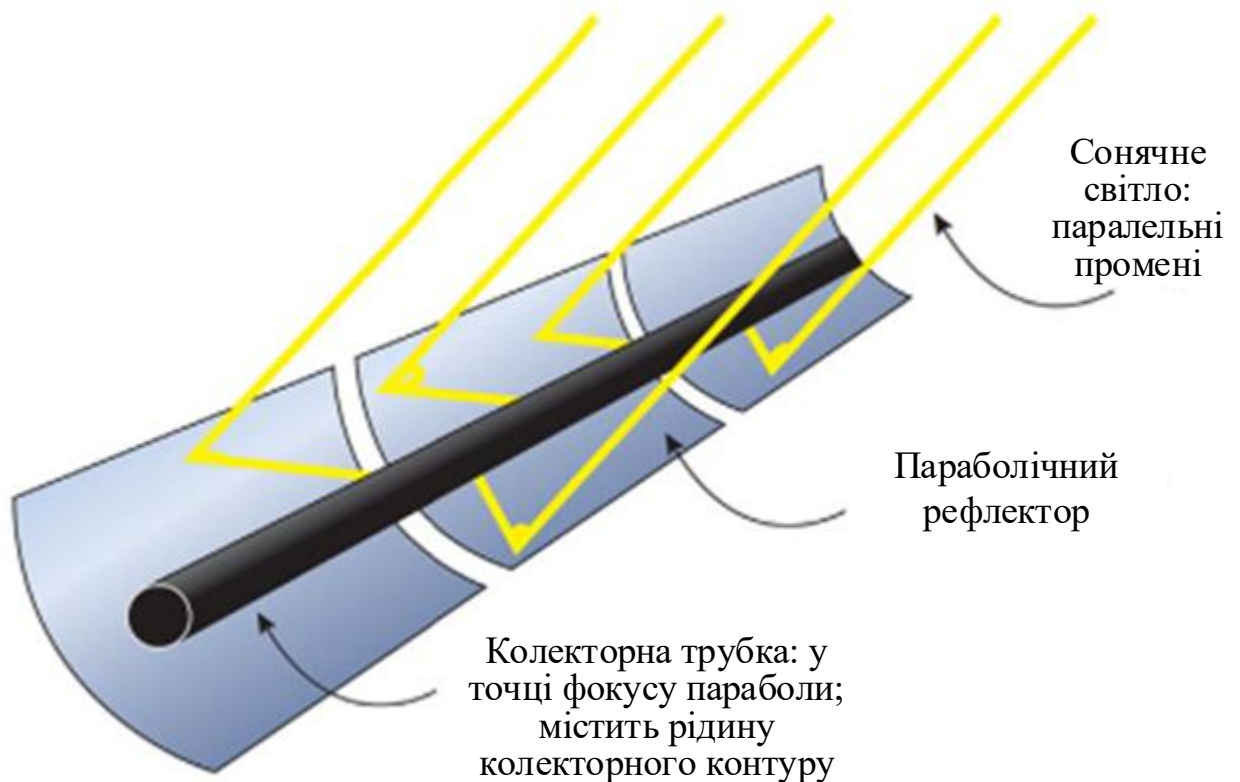


Рис. 1.11 - Типова конструкція параболічних колекторів

Параболічний жолоб: ці дзеркала є параболічними лише в одному вимірі та утворюють довгий жолоб параболічної форми. Хоча розташування жолобів механічно простіше, ніж системи двовимірних чаш, які вимагають складніших систем відстеження, коефіцієнт концентрації нижчий.

Механізми, які дозволяють параболічному концентратору слідувати за сонцем (система стеження), необхідні для того, щоб максимальна кількість сонячного світла потрапляла в концентруючу систему.

Жолобні системи можуть бути орієнтовані горизонтально, довгими рядами або вертикально. Горизонтально орієнтовані системи зазвичай

розташовують у напрямку схід-захід, щоб зменшити кількість необхідного відстеження, а отже, і вартість. Крім того, вертикально встановлені системи слідують за рухом сонця протягом дня, обертаючи напрямок западини.

Параболічна тарілка: практичним застосуванням параболічної тарілки є лінза ліхтарика, яка використовується для перетворення точкового джерела світла в паралельний промінь. Справедливо навпаки. Оскільки випромінювання сонячного світла в основному паралельне, воно може бути зосереджене в точці фокусу лінзи. По суті, крихітну лінзу ліхтарика можна використовувати як запальничку, замінивши лампочку сигаретою та направивши лінзу в напрямку сонця. Тип тарілчастого концентратора із сонячним відбивачем також можна виготовити, обшивши внутрішню частину картонної коробки алюмінієвою фольгою. Великі експериментальні параболічні тарілки, відомі як геліодини, здатні плавити сталь, але вони працюють з низькою ефективністю і повинні бути постійно вирівняні, щоб мати будь-яку практичну цінність.

Плоскі теплові сонячні колектори є найпоширенішим типом сонячних колекторів. Їх конструкція та експлуатація прості. Велика пластина з почорнілого матеріалу орієнтована таким чином, що сонячна енергія, яка падає на пластину, поглинається і перетворюється на теплову енергію, тим самим нагріваючи пластину. Плоскі колектори мають перевагу в тому, що вони поглинають не лише енергію, що надходить безпосередньо від диска Сонця (звичайна інсоляція променю), але й сонячну енергію, яка розсіяна в небо та відбита від землі. Плоскі пластинчасті теплові колектори рідко відстежуються, щоб слідувати денному шляху сонця по небу, однак їх стаціонарне кріплення зазвичай забезпечує нахил на південь, щоб мінімізувати кут між сонячними променями та поверхнею опівдні. Нахил плоских колекторів на південь забезпечує більший рівень енергії опівдні та більше загальної енергії протягом усього дня. Вакуумні колектори мають менше тепловтрат і краще працюють при високих температурах. Вакуумні колектори зазвичай виготовляються у вигляді скляної труби, тобто металевого абсорбера,

вставленого в вакуумну скляну трубку, щоб витримувати різницю тиску між вакуумом і атмосферою.

Для підвищення ефективності абсорбції сонячної енергії протягом усього світлового дня запропоновано використовувати світловідбивну панель з дзеркальними набірними пластинами (рис. 1.12) [9].

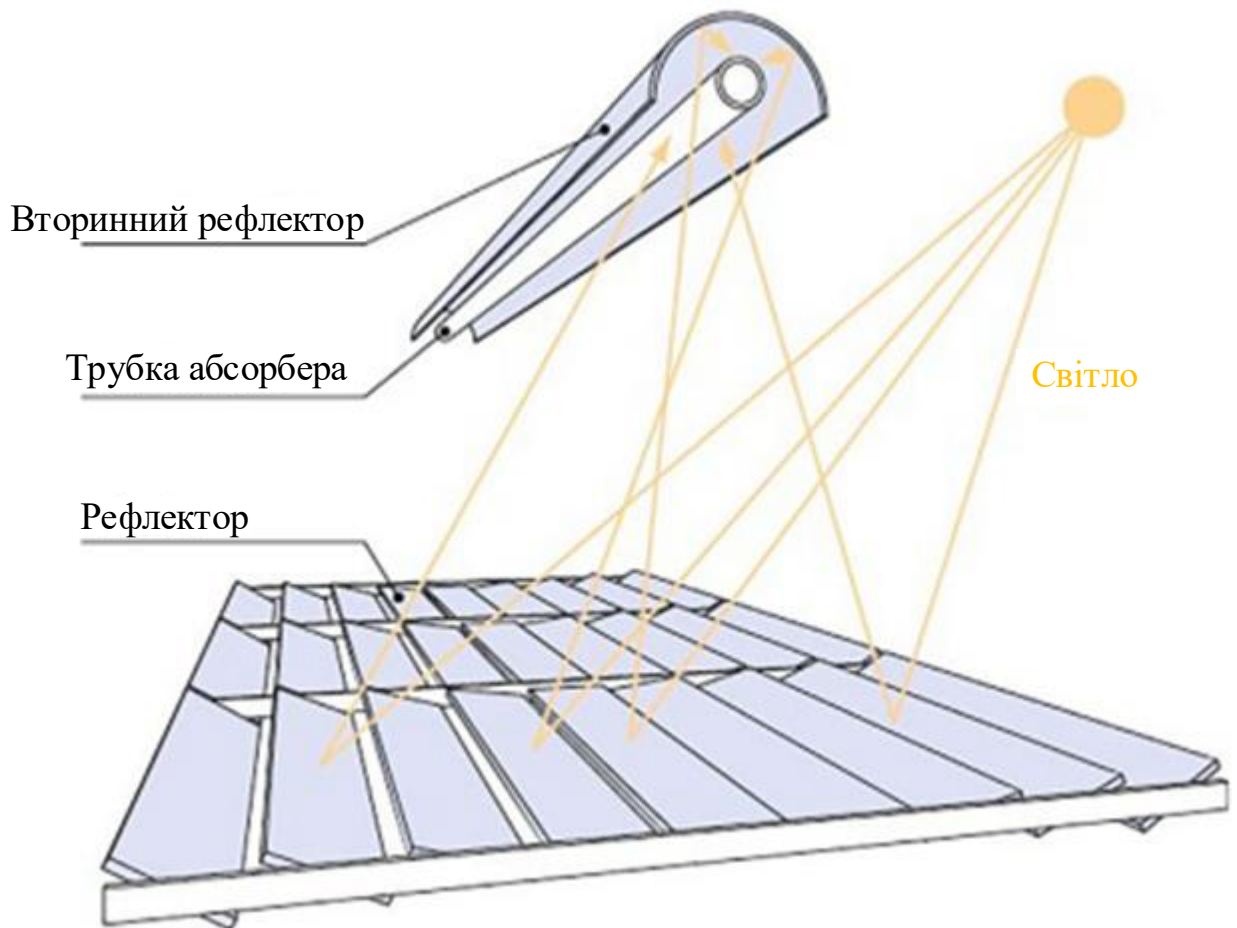


Рис. 1.12 - Типова конструкція системи колекторів зі змінним кутом абсорбції сонячних променів на протязі світлового дня.

Пластини мають можливість осевого обертання відповідно до руху сонця небосхилом протягом усього світлового дня.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок термодинамічних режимів роботи АТТ

Для схеми АТТ з трьома рівнями тисків алгоритм розрахунку наступний.

З урахуванням вихідних даних при тиску 0,7 МПа, і температури міцного водоаміачного розчину (ВАР) на вході в генератор 70 °С, температурі слабкого ВАР на виході з генератора 80 °С, склад слабкого ВАР – 0,32, міцного – 0,42.

Температура міцного ВАР на виході абсорбера, питомий об'єм міцного ВАР на виході абсорберу  $\nu' = 1,20 \text{ м}^3 / \text{кг}$ .

Масову частку аміаку в паровій суміші визначимо по тиску 0,7 МПа і максимальною температурою в генераторі 80 °С – 0,96.

Параметри флегми, що стікає в генератор з дефлегматора, визначимо по тиску 0,7 МПа і температурі навколишнього середовища 42 °С, питома ентальпія 390 кДж / кг, складає 0,67.

Кратність циркуляції ВАР:

$$f = \frac{0,96 - 0,32}{0,42 - 0,32} = 6,4$$

Температура міцного ВАР на вході в РТР 42 °С, питома ентальпія 392 кДж / кг.

Температура слабкого ВАР на виході з РТР  $42 + 5 = 47$  °С, питома ентальпія 410 кДж / кг. Температура слабкого ВАР на вході в РТР дорівнює температурі виходу з генератора 80 °С, тоді питома ентальпія складе 522 кДж / кг.

З рівняння теплового балансу регенеративного теплообмінника АТТ [8] знаходимо питому ентальпію міцного ВАР на його виході:

$$\frac{0,98 - 0,96}{0,96 - 0,38} = R_{\phi} = 0,034$$

де 0,58 – склад флегми при тиску 0,7 МПа і температурі 42 °С.

Знаходимо питому ентальпію і питому ентропію очищеного пара аміаку на виході дефлегматора – вході бустер-компресора по тиску 0,7 МПа і температурі 42 °С – 1764 кДж / кг.

Приймаємо процес стиснення аміаку в бустер-компресорі адіабатним, тобто при постійній ентропії. При постійній ентропії по табличних даних [7] знаходимо питому ентальпію парового потоку після адіабатного стиснення від тиску 0,7 МПа до 1,6 МПа – 1892 кДж / кг і температуру 95 °С.

Питома ентальпія рідкого аміаку на виході конденсатора – 614 кДж / кг.

За температури об'єкта охолодження рівної мінус 5 °С визначаємо тиск у випарнику-абсорбері – 0,35 МПа.

Таким чином, у схемі АВХМ з бустер-компресором мають місце три рівні тисків:

- а) тиск в генераторі-дефлегматорі – 0,70 МПа;
- б) тиск в конденсаторі – 1,6 МПа;
- в) тиск у випарнику-абсорбері – 0,35 МПа.

Питома ентальпія пара аміаку при тиску випаровування 0,35 МПа складе 1681 кДж / кг.

Тоді питома холодопродуктивність випарника:

$$q_0 = 1681 - 614 = 1067 \text{ кДж / кг}$$

Знаходимо питоме теплове навантаження елементів АВХМ:

а) дефлегматора

$$q_D = (1 + R_\phi) \cdot i_\Gamma^{11} - i_x^{11} - R_\phi \cdot i_\phi \quad (2.1)$$

де  $i_\Gamma = 1901 \text{ кДж / кг}$  – питома ентальпія парової суміші на виході генератора;

$i_x^{11} = 1764 \text{ кДж / кг}$  – питома ентальпія очищеної пари аміаку;

$i_\phi = 521 \text{ кДж / кг}$  при  $t = 70 \text{ °С}$ ,

тоді

$$q_D = (1 + 0,034) \cdot 1901 - 1764 - 0,034 \cdot 521 = 184 \text{ кДж / кг}$$

б) генератора:

$$q_G = (1 + R_{cp}) \cdot i_G^{11} - f \cdot i_{kp}^1 + (f - 1) \cdot i_{cl}^{11} - R_{cp} \cdot i_{cp} \quad (2.2)$$

$$q_G = (1 + 0,034)1901 - 6,4 \cdot 487 + (6,4 - 1) \cdot 522 - 0,034 \cdot 522 = 1650 \text{кДж/кг}$$

в) конденсатора:

$$q_k = i^1 - i_S^1 \quad (2.3)$$

де  $i^1 = 1892$  кДж/кг – питома ентальпія стиснення пари в бустер-компресорі від 0,7 до 1,6 МПа;

$i_S = 614$ кДж/кг – ентальпія рідкого аміаку при тиску 1,6 МПа.

$$q_k = 1892 - 614 = 1278 \text{кДж/кг}.$$

г) абсорбера:

$$q_A = i^{11} - f i_{kp}^{11} + (f \cdot 1) i_{cl} \quad (2.4)$$

Ентальпія киплячого аміаку  $i_{kp} = 380$ кДж, тоді питома ентальпія міцного ВАР на виході абсорбера:

$$q_A = 1681 - 6,4 \cdot 380 + (6,4 \cdot 1) \cdot 410 = 1463 \text{кДж/кг}$$

д) циркуляційного насоса:

$$l_u = f(i_{kp}^1 - i_{kp}^{11}) = 6,4(392 - 380) = 77 \text{кДж/кг}$$

е) бустер-компресора:

$$l_{km} = i^1 - i_x^{11} = 1892 - 1764 = 128 \text{кДж/кг}$$

Теплота, що підводиться

$$\begin{aligned} q_1 &= q_G + q_0 + l_u + l_{km} = \\ &= 1067 + 77 + 128 + 1650 + 1067 + 77 + 128 = \\ &= 2922 \text{кДж/кг}. \end{aligned}$$

Теплота, що відводиться

$$q_2 = q_k + q_A + q_D = 1278 + 1463 + 184 = 2925 \text{кДж/кг}.$$

Баланс відведеної і підведеної теплоти виконується  $q_1 \approx q_2$ .

Масова витрата циркулюючої в апарату пари аміаку становить:

$$G_0 = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{86900}{1067 \cdot 10^3} = 0,081 \text{кг/с}.$$

Визначимо повні теплові навантаження (теплові потужності):

а) генератора:

$$Q_G = G_o \cdot q_G = 0,081 \cdot 1650 = 133,65 \text{ кВт}$$

б) абсорбера:

$$Q_A = G_o \cdot q_A = 0,081 \cdot 1463 = 118,50 \text{ кВт}$$

в) циркуляційного насоса:

$$L_{\text{ц}} = G_o \cdot l_{\text{ц}} = 0,081 \cdot 77 = 6,24 \text{ кВт}$$

г) бустер-компресора:

$$L_{\text{км}} = G_o \cdot l_{\text{км}} = 0,081 \cdot 128 = 10,37 \text{ кВт}$$

Тепловий коефіцієнт розрахункового циклу АВХМ з бустер-компресором:

$$\eta = \frac{Q_o}{Q_c} = \frac{86900}{133650} = 0,65$$

Теоретичний коефіцієнт АТТ з розрахунку використання електричної енергії для приводу циркуляційного насоса і бустер-компресора

$$\varepsilon_{mэ} = \frac{Q_o}{L_{\text{ц}} + L_{\text{км}}} = \frac{28400}{2080 + 3460} = 5,13$$

$$\varepsilon_{me} = \frac{Q_o}{L_{\text{ц}} + L_{\text{км}}} = \frac{86900}{6240 + 10370} = 5,23$$

Коефіцієнт циклу Карно для даних умов роботи АВХМ ( $T_o = 268\text{K}$  ;  $T_k = 315\text{K}$ ):

$$\varepsilon_k = \frac{268}{315 - 268} = 5,70$$

Ступінь термодинамічної досконалості:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{mэ}}{\varepsilon_k} = \frac{5,23}{5,70} = 0,92$$

Для порівняння в цих умовах роботи парокompресійного термотрансформатора:  $\varepsilon_{mэ} = 3,170$  (при роботі на аміаку, з високою  $144\text{ }^\circ\text{C}$

температурою кінця стиснення);  $\varepsilon_{m\text{э}} = 3,075$  (на R134a);  $\varepsilon_{m\text{э}} = 3,114$  (на R600a).

## 2.2 Розрахунок регенеративного теплообмінника розчинів

Традиційна конструкція регенеративного теплообмінника в схемах АТТ типу «труба в трубі» слабкий ВАР, що гріє, рухається по внутрішній сталевій трубі діаметром  $d_2/d_1=36/32$  мм і має температуру на вході  $t_1' = 70^\circ\text{C}$ .

Витрата слабкого ВАР, що гріє,  $G_1=0,60$  кг/с. Кріпкий ВАР рухається протитечією по кільцевому каналу між трубами і нагрівається від  $t_2' = 15^\circ\text{C}$  до  $t_2'' = 45^\circ\text{C}$ . Витрата ВАР, що нагрівається,  $G_2 = 0,90$  кг/с. Внутрішній діаметр зовнішньої труби  $D=36$  мм. Довжина однієї секції теплообмінника  $l=2.850$  м. Витратами теплоти через зовнішню поверхню теплообмінника зневажити.

Визначити площу поверхні нагрівання і число секцій.

Проведімо розрахунок теплообмінника методом середнього температурного напору.

Властивості теплоносіїв, коефіцієнти теплопередачі і тепловіддачі вважати постійними.

1. Розраховуємо значення еквівалентів гріючої і нагріваемого ВАР:

$$W_1 = G_1 c_{p1} = 0,59 \cdot 4,214 \cdot 10^3 = 2,49 \cdot 10^3 \text{ Вт/К}$$

$$W_2 = G_2 c_{p2} = 0,89 \cdot 4,174 \cdot 10^3 = 3,71 \cdot 10^3 \text{ Вт/К}$$

зі значень  $W_1$  і  $W_2$  вибираємо менше:  $W_m = W_1 = 2,49 \cdot 10^3 \text{ Вт/К}$ .

2. По заданих вхідних і вихідних температурах теплоносіїв розраховуємо ефективність теплообмінника по теплоносію з меншим водяним еквівалентом:

$$\varepsilon = \frac{\delta t_{\text{ср}}}{\Delta t_{\text{макс}}} = \frac{t_1' - t_1''}{t_1' - t_2'} = \frac{95 - 50}{95 - 15} = 0,563$$

3. Тепловий потік:

$$Q = G_2 c_{p2} (t_2'' - t_2') = 0,89 \cdot 4,174 (45 - 15) = 111,3 \text{ кВт}$$

4. Розраховуємо коефіцієнти тепловіддачі з відповідних критеріальних рівнянь і коефіцієнт теплопередачі (алгоритм і результати розрахунку приведені в задачі 1.1). Тоді, відповідно:  $\alpha_1 = 3940 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ;  $\alpha_2 = 4500 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ,  $k = 1970 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

5. Визначаємо число одиниць переносу теплоти для теплоносія з меншим водяним еквівалентом з рівняння [1,4,5]:

$$N_1 = \ln \frac{1 - f_\varphi \varepsilon \omega}{1 - \left[ \frac{1}{\omega} + (1 - f_\varphi) \right] \varepsilon \omega} [1 + \omega (1 - 2f_\varphi)]^{-1},$$

$f_\varphi$  - характеристика схеми руху, що змінюється для різних схем у межах від нуля (прямотечія) до одиниці (протитечія) [1,4,5].

Розглядається протитечія,  $f_\varphi = 1$ .

Відношення водяних еквівалентів

$$\omega = \frac{(Gc_p)_m}{(Gc_p)_b} = \frac{W_m}{W_b} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{2,49}{3,71} = 0,67$$

Тоді число одиниць переносу:

$$N_1 = \left\{ \ln \frac{1 - 0,563 \cdot 0,67}{1 - \left[ \frac{1}{0,67} + (1 - 1) \right] 0,563 \cdot 0,67} \right\} [1 + 0,67(1 - 2)]^{-1} = 1,07$$

6. Обчислюємо площу теплообмінної поверхні із співвідношення

$$F = \frac{N_1 W_1}{k} = \frac{1,07 \cdot 2,49 \cdot 10^3}{1970} = 1,35 \text{ м}^2.$$

7. Число секцій:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_{cp} l} = \frac{1,35}{3,14(35 + 32) \cdot 10^{-3} / 21,9} \approx 7$$

Застосуємо метод середнього температурного напору перевірочний розрахунок теплообмінника. Витратами теплоти через зовнішню поверхню теплообмінника знехтувати.

Властивості теплоносіїв, коефіцієнти теплопередачі і тепловіддачі вважати постійними. Для першого наближення задані вихідними температурами теплоносіїв  $t_1'' = 40, ^\circ\text{C}$   $t_2'' = 42, ^\circ\text{C}$ .

1. Теплофізичні властивості гріючого розчину і розчину, що нагрівається:

$$\bar{t}_1 = (95 + 40) / 2 = 67,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_1 = 979,2 \text{ кг/м}^3; \nu_1 = 0,431 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \lambda_1 = 0,661 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$c_{p1} = 4,185 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; \text{Pr}_1 = 2,66$$

$$\bar{t}_2 = (15 + 42) / 2 = 28,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_2 = 996,1 \text{ кг/м}^3; \nu_2 = 0,835 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \lambda_2 = 0,615 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$c_{p2} = 4,175 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; \text{Pr}_2 = 5,66$$

2. Середньоарифметичний температурний напір:

$$\Delta \bar{t}_{ap} = \frac{\Delta t' + \Delta t''}{2} = (53 + 25) / 2 = 39 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3. Обчислюємо коефіцієнт тепловіддачі від розчину, що гріє, до стінки.

3.1 Визначаємо швидкість руху ВАР:

$$w_1 = \frac{4G_1}{\rho_1 \pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,59}{979,2 \cdot 3,14 \cdot (32 \cdot 10^{-3})^2} = 0,75 \text{ м/с}$$

3.2 Число Рейнольдса:

$$\text{Re}_1 = \frac{0,75 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{0,431 \cdot 10^{-6}} = 55684$$

3.3 Режим течії води – турбулентний, для розрахунку числа Нуссельта використовуємо залежність [3]:

$$\text{Nu}_1 = 0,021 \text{Re}_1^{0,8} \text{Pr}_1^{0,43} \left( \frac{\text{Pr}_1}{\text{Pr}_{cm}} \right)^{0,25}.$$

Підставляємо отримані вище числові значення:

$$\text{Nu}_1 = 0,021 (55684)^{0,8} 2,66^{0,43} \left( \frac{2,66}{3,7} \right)^{0,25} = 184$$

При середній температурі стінки  $\bar{t}_{cm} \approx (\bar{t}_1 + \bar{t}_2)/2 = 48^{\circ}\text{C}$  значення

$$\text{Pr}_{cm} = 3,7$$

3.4 Коефіцієнт тепловіддачі від ВАР, що гріє, до стінки труби:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1} = \frac{184 \cdot 0,661}{32 \cdot 10^{-3}} = 3802 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

4. Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до ВАР, що нагрівається.

4.1 Визначаємо швидкість руху ВАР:

$$w_2 = \frac{4 \cdot 0,89}{996,1 \cdot 3,14 \cdot (48^2 - 35^2) \cdot 10^{-6}} = 1,05 \text{ м/с}$$

4.2 Розраховуємо число Рейнольдса:

$$\text{Re}_2 = \frac{w_2 d_2}{\nu_2} = \frac{1,05 \cdot (48 - 35) \cdot 10^{-3}}{0,835 \cdot 10^{-6}} = 16347$$

4.3 Для турбулентного руху рідини ВАР в кільцевому каналі число Нуссельта визначаємо по залежності [3,9]:

$$\begin{aligned} Nu_2 &= 0,017 \text{Re}_2^{0,8} \text{Pr}_2^{0,4} \left( \frac{\text{Pr}_2}{\text{Pr}_{cm}} \right)^{0,25} \left( \frac{D}{d_2} \right)^{0,18} = \\ &= 0,017 (16347)^{0,8} 5,66^{0,4} \left( \frac{5,66}{3,7} \right)^{0,25} \left( \frac{48}{35} \right)^{0,18} = 94 \end{aligned}$$

4.4 Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до ВАР, що нагрівається:

$$\alpha_2 = \frac{94 \cdot 0,615}{1,3 \cdot 10^{-2}} = 4447 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

5. Розраховуємо коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3802} + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{1}{4447}} = 1919 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

6. Визначаємо тепловий потік з рівняння теплопередачі:

$$Q = kF\Delta t = 1919 \cdot 1,33 \cdot 39 = 99538,53 \text{ Вт}$$

7. Розраховуємо вихідні температури теплоносіїв з рівняння теплового балансу:

$$t_1'' = t_1' - \frac{Q}{G_1 c_{p1}} = 95 - \frac{99,538}{0,59 \cdot 4,185} = 54,68 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2'' = t_2' + \frac{Q}{G_2 c_{p2}} = 15 + \frac{99,538}{0,89 \cdot 4,175} = 41,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

8. Зіставляємо отримані значення вихідних температур із прийнятими в першому наближенні: похибка визначення вихідної температури теплоносія, що гріє, складає 27 %, що нагрівається – 0,7 %. Повторюємо розрахунок у другому наближенні.

Задаємося вихідними температурами теплоносіїв у другому наближенні:  $t_1'' = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$   $t_2'' = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Повторивши рішення по приведеному вище алгоритму, одержуємо:

$$\text{Тепловий потік: } Q = kF \bar{\Delta t} = 110506 \text{ Вт}$$

Вихідні температури теплоносіїв:

$$t_1'' = 50,4 \text{ } ^\circ\text{C} ; t_2'' = 44,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Умову узгодження прийнятих і отриманих температур виконано, розрахунок вважаємо остаточним.

Виконати методом ефективності перевіірочний розрахунок.

ВАР, що гріє, має температуру на вході  $t_1' = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ , витрата  $G_1 = 0,75 \text{ кг/с}$ . Температура води, що нагрівається, на вході  $t_2' = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ , витрата  $G_2 = 0,85 \text{ кг/с}$ . Витратами теплоти через зовнішню поверхню теплообмінника знехтувати.

Водяні еквіваленти теплоносіїв, коефіцієнти теплопередачі і тепловіддачі вважати постійними.

1. Задаємося вихідними температурами теплоносіїв у першому наближенні:  $t_1'' = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $t_2'' = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

2. Випишуємо теплофізичні властивості теплоносіїв:

$$\bar{t}_1 = (80 + 40) / 2 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_1 = 983,2 \text{ кг/м}^3; \nu_1 = 0,478 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \lambda_1 = 0,659 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$c_{p1} = 4,179 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; Pr_1 = 2,98$$

$$\bar{t}_2 = (10 + 30) / 2 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_2 = 998,2 \text{ кг/м}^3; \nu_2 = 1,006 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \lambda_2 = 0,599 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К});$$

$$c_{p2} = 4,183 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); \text{Pr}_2 = 7,02$$

3. Розраховуємо значення коефіцієнтів тепловіддачі: Коефіцієнт тепловіддачі для ВАР, що гріє.

3.1 Швидкість руху ВАР:

$$w_1 = \frac{4G_1}{\rho_1 \pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,75}{983,2 \cdot 3,14 \cdot (32 \cdot 10^{-3})^2} = 0,95 \text{ м/с}$$

3.2 Число Рейнольдса:

$$\text{Re}_1 = \frac{0,95 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2}}{0,478 \cdot 10^{-6}} = 6,39 \cdot 10^4$$

3.3 Число Нуссельта для турбулентного руху ВАР в трубах [3]:

$$\begin{aligned} Nu_1 &= 0,021 \text{Re}_1^{0,8} \text{Pr}_1^{0,43} \left( \frac{\text{Pr}_1}{\text{Pr}_{cm}} \right)^{0,25} = \\ &= 0,021 (6,39 \cdot 10^4)^{0,8} 2,98^{0,43} \left( \frac{2,98}{4,31} \right)^{0,25} = 214 \end{aligned}$$

При середній температурі стінки

$$\bar{t}_{cm} \approx (\bar{t}_1 + \bar{t}_2) / 2 = (60 + 20) / 2 = 40^\circ \text{C}$$

значення  $\text{Pr}_{cm} = 4,31$

3.4 Коефіцієнт тепловіддачі для ВАР, що гріє.

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1} = \frac{214 \cdot 0,659}{32 \cdot 10^{-3}} = 4407 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Коефіцієнт тепловіддачі для ВАР, що нагрівається.

3.5 Швидкість рідини:

$$w_2 = \frac{4 \cdot 0,85}{998,2 \cdot 3,14 \cdot (4,8^2 - 3,5^2) \cdot 10^{-4}} = 1,0 \text{ м/с}$$

3.6 Число Рейнольдса:

$$\text{Re}_2 = \frac{w_2 d_2}{\nu_2} = \frac{1,0 \cdot (4,8 - 3,5) \cdot 10^{-2}}{1,006 \cdot 10^{-6}} = 1,29 \cdot 10^4$$

3.7. Число Нуссельта при турбулентному режимі плинину в кільцевому каналі [3,9]:

$$\begin{aligned} Nu_2 &= 0,017 \text{Re}_2^{0,8} \text{Pr}_2^{0,4} \left( \frac{\text{Pr}_2}{\text{Pr}_{cm}} \right)^{0,25} \left( \frac{D}{d_2} \right)^{0,18} = \\ &= 0,017 (1,29 \cdot 10^4)^{0,8} 7,02^{0,4} \left( \frac{7,02}{4,31} \right)^{0,25} \left( \frac{48}{35} \right)^{0,18} = 86 \end{aligned}$$

3.8 Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_2 = \frac{86 \cdot 0,599}{1,3 \cdot 10^{-2}} = 3963 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

4. Розраховуємо коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{4407} + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{1}{3963}} = 1951 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

5. Розраховуємо еквіваленти теплоносіїв:

$$W_1 = G_1 c_{p1} = 0,75 \cdot 4,179 \cdot 10^3 = 3,13 \cdot 10^3 \text{ Вт}/\text{К}$$

$$W_2 = G_2 c_{p2} = 0,85 \cdot 4,183 \cdot 10^3 = 3,56 \cdot 10^3 \text{ Вт}/\text{К}$$

$$W_m = W_1 = 3,13 \cdot 10^3 \text{ Вт}/\text{К}$$

6. Визначаємо число одиниць переносу по теплоносію з меншим водяним еквівалентом (ВАР, що гріє):

$$N_1 = \frac{k F}{W_1} = \frac{1951 \cdot 1,33}{3,13 \cdot 10^3} = 0,829$$

7. Відношення водяних еквівалентів теплоносіїв:

$$\omega = \frac{W_m}{W_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{3,13}{3,56} = 0,879$$

8. У відповідності зі схемою руху, характеристика ф-струму згідно [4,5]:

$$f_\phi = 1.$$

9. Визначаємо ефективність теплообмінника по ВАР, що гріє:

$$\varepsilon_1 = \frac{1 - \exp\{-N_1[1 + \omega \langle 1 - 2f_\varphi \rangle]\}}{1 + \omega(1 - f_\varphi) - \omega f_\varphi \exp\{-N_1[1 + \omega \langle 1 - 2f_\varphi \rangle]\}} = \frac{1 - \exp\{-0,829[1 + 0,879(1 - 2)]\}}{1 - 0,879 \exp\{-0,829[1 + 0,879(1 - 2)]\}} = \frac{0,095}{0,205} = 0,463$$

10. З формули  $\varepsilon_1 = \frac{\delta t_1}{\Delta t_{\max}}$  визначаємо:

$$\delta t_1 = \varepsilon_1 \cdot \Delta t_{\max} = 0,463 \cdot (80 - 10) = 32,4 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{зміна температури ВАР, що}$$

гріє. Звідси одержуємо вихідну температуру ВАР, що гріє

$$t_1'' = t_1' - \delta t_1 = 80 - 32,4 = 47,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

11. Визначаємо зміну температури води, що нагрівається, з рівняння теплового балансу:

$$Q = \delta t_1 W_1 = \delta t_2 W_2 \Rightarrow \delta t_2 = \delta t_1 \frac{W_1}{W_2} = 32,4 \cdot 0,879 = 28,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура води, що нагрівається, на виході з теплообмінного апарата:

$$t_2'' = t_2' + \delta t_2 = 10 + 28,5 = 38,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Значення температур теплоносіїв відрізняються від прийнятих, тому варто повторити розрахунок у другому наближенні.

В другому наближенні задаємося вихідними температурами теплоносіїв:

$$t_1'' = 48 \text{ } ^\circ\text{C}, t_2'' = 38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

12. Випишуємо теплофізичні властивості теплоносіїв:

$$\bar{t}_1 = (80 + 48) / 2 = 64 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_1 = 978,8 \text{ кг/м}^3; \nu_1 = 0,428 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \lambda_1 = 0,666 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$c_{p1} = 4,185 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; \text{Pr}_1 = 2,64$$

$$\bar{t}_2 = (10 + 38) / 2 = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_2 = 997,2 \text{ кг/м}^3; \nu_2 = 0,926 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \lambda_2 = 0,607 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$c_{p2} = 4,18 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; \text{Pr}_2 = 6,38$$

13. Розраховуємо значення коефіцієнтів тепловіддачі:

Коефіцієнт тепловіддачі для ВАР, що гріє.

13.1 Швидкість руху рідини:

$$w_1 = \frac{4G_1}{\rho_1 \pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,75}{978,8 \cdot 3,14 \cdot (32 \cdot 10^{-3})^2} = 0,95 \text{ м/с}$$

13.2 Число Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{0,95 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{0,428 \cdot 10^{-6}} = 7,10 \cdot 10^4$$

13.3 Число Нуссельта для турбулентного руху рідини в трубах

$$Nu_1 = 0,021 \left( 7,10 \cdot 10^4 \right)^{0,8} 2,64^{0,43} \left( \frac{2,64}{3,23} \right)^{0,25} = 230$$

При середній температурі стінки

$$\bar{t}_{cm} \approx (\bar{t}_1 + \bar{t}_2) / 2 = (64 + 24) / 2 = 44^0 \text{ C}$$

значення  $Pr_{cm} = 3,23$

13.4 Коефіцієнт тепловіддачі для води, що гріє.

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1} = \frac{230 \cdot 0,666}{32 \cdot 10^{-3}} = 4787 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

Коефіцієнт тепловіддачі для розчину, що нагрівається:

$$w_2 = \frac{4 \cdot 0,85}{997,2 \cdot 3,14 \cdot (48^2 - 35^2) \cdot 10^{-6}} = 1,005 \text{ м/с}$$

$$Re_2 = \frac{w_2 d_2}{\nu_2} = \frac{1,0 \cdot (48 - 35) \cdot 10^{-3}}{0,926 \cdot 10^{-6}} = 1,40 \cdot 10^4$$

$$Nu_2 = 0,017 (1,40 \cdot 10^4)^{0,8} 6,38^{0,4} \left( \frac{6,38}{3,23} \right)^{0,25} \left( \frac{48}{35} \right)^{0,18} = 92,8$$

$$\alpha_2 = \frac{92,8 \cdot 0,607}{13 \cdot 10^{-3}} = 4333 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

14. Розраховуємо коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{4787} + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{1}{4333}} = 2114 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

15. Розраховуємо еквіваленти:

$$W_1 = G_1 c_{p1} = 0,75 \cdot 4,185 \cdot 10^3 = 3,14 \cdot 10^3 \text{ Вт/К}$$

$$W_2 = G_2 c_{p2} = 0,85 \cdot 4,18 \cdot 10^3 = 3,55 \cdot 10^3 \text{ Вт/К}$$

$$W_m = W_1 = 3,14 \cdot 10^3 \text{ Вт/К}$$

16. Визначаємо число одиниць переносу:

$$N_1 = \frac{k F}{W_1} = \frac{2114 \cdot 1,33}{3,14 \cdot 10^3} = 0,895$$

17. Відношення водяних еквівалентів теплоносіїв:

$$\omega = \frac{W_1}{W_2} = \frac{3,14}{3,55} = 0,885$$

18. Визначаємо ефективність теплообмінника:

$$\varepsilon_1 = \frac{1 - \exp\{-N_1 [1 + \omega \langle 1 - 2f_\varphi \rangle]\}}{1 + \omega (1 - f_\varphi) - \omega f_\varphi \exp\{-N_1 [1 + \omega \langle 1 - 2f_\varphi \rangle]\}} =$$

$$\frac{1 - \exp\{-0,895[1 + 0,885(1 - 2)]\}}{1 - 0,885 \exp\{-0,895[1 + 0,885(1 - 2)]\}} = \frac{0,099}{0,202} = 0,49$$

19. Визначаємо зміну температури розчину, що гріє

$$\delta t_1 = \varepsilon_1 \cdot \Delta t_{\text{макс}} = 0,49(80 - 10) = 34,3.$$

Тоді вихідна температура води, що гріє

$$t_1'' = t_1' - \delta t_1 = 80 - 34,3 = 45,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

20. Зміна температури розчину, що нагрівається:

$$\delta t_2 = \delta t_1 \frac{W_1}{W_2} = 34,3 \cdot 0,879 = 30,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура розчину, що нагрівається, на виході з теплообмінного апарата:

$$t_2'' = t_2' + \delta t_2 = 10 + 30,1 = 40,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Відносні похибки для визначення температур води, що гріє і нагрівається, складають 4,8 % і 5,7 %. Розрахунок вихідних температур можна вважати закінченим.

Проведімо також конструкторський розрахунок регенеративного теплообмінника з урахуванням зміни коефіцієнтів тепловіддачі, зумовленої зміною теплофізичних властивостей теплоносіїв у залежності від температури.

Використовуємо метод [4], заснований на допущенні про лінійну залежність коефіцієнтів тепловіддачі від температури. Попередньо необхідно установити, чи виконується ця умова. Для цього вибираємо в якості визначальних по три значення температур для кожного теплоносія і для них розраховуємо значення  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ .

Для теплоносія, що гріє, виберемо  $t_1' = 95^0 C : t_{n1} = 70 ; t_1'' = 50$

Для теплоносія, що нагрівається  $t_2' = 15^0 C : t_{n2} = 30^0 C ; t_2'' = 45^0 C$

1. Визначаємо теплофізичні властивості води, що гріє і нагрівається, при вхідних, проміжних і вихідних температурах.

$$1.1 \quad t_1' = 95^0 C : \rho_1' = 962 \text{ кг/м}^3; \nu_1' = 0,311 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda_1' = 0,682 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; Pr_1' = 1,85$$

$$1.2 \quad t_{n1} = 70 : \rho_{n1} = 977,8 \text{ кг/м}^3; \nu_{n1} = 0,415 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda_{n1} = 0,668 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; Pr_{n1} = 2,55$$

$$1.3 \quad t_1'' = 50^0 C : \rho_1'' = 988 \text{ кг/м}^3; \nu_1'' = 0,556 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda_1'' = 0,649 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; Pr_1'' = 3,54$$

$$1.4 \quad t_2' = 15^0 C : \rho_2' = 999 \text{ кг/м}^3; \nu_2' = 1,156 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda_2' = 0,587 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; Pr_2' = 8,27$$

$$1.5 \quad t_{n2} = 30^0 C : \rho_{n2} = 995,7 \text{ кг/м}^3; \nu_{n2} = 0,805 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda_{n2} = 0,618 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; Pr_{n2} = 5,42$$

$$1.6 \quad t_2'' = 45^0 C : \rho_2'' = 990 \text{ кг/м}^3; \nu_2'' = 0,608 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda_2'' = 0,642 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; Pr_2'' = 3,93$$

2. Розраховуємо числа Рейнольдса, Нуссельта і коефіцієнти тепловіддачі:

2.1 При вхідній температурі теплоносія 1 (що гріє):

$$w'_1 = \frac{4G_1}{\rho_1 \pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,59}{962 \cdot 3,14 \cdot (32 \cdot 10^{-3})^2} = 0,764 \text{ м/с}$$

$$Re'_1 = \frac{w'_1 d_1}{\nu'_1} = \frac{0,764 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{0,311 \cdot 10^{-6}} = 7,86 \cdot 10^4 \text{ - режим турбулентний;}$$

$Pr_{cm} = 2,55$  - при середній температурі (між вхідними температурами теплоносіїв 1,2):  $\bar{t} = (95 + 45) / 2 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$Nu_1 = 0,021(7,86 \cdot 10^4)^{0,8} 1,85^{0,43} \left( \frac{1,85}{2,55} \right)^{0,25} = 208$$

$$\alpha'_1 = \frac{Nu'_1 \cdot \lambda'_1}{d_1} = \frac{208 \cdot 0,682}{32 \cdot 10^{-3}} = 4433 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

2.2 При проміжній температурі теплоносія 1:

$$w_{n1} = \frac{4 \cdot 0,59}{977,8 \cdot 3,14 \cdot (32 \cdot 10^{-3})^2} = 0,753 \text{ м/с}$$

$$Re_{n1} = \frac{0,753 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{0,415 \cdot 10^{-6}} = 5,806 \cdot 10^4$$

$Pr_{cm} = 3,54$  - визначається по середній температурі:

$$\bar{t} = (70 + 30) / 2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$Nu_1 = 0,021(5,806 \cdot 10^4)^{0,8} 2,55^{0,43} \left( \frac{2,55}{3,54} \right)^{0,25} = 187$$

$$\alpha_{n1} = \frac{187 \cdot 0,668}{32 \cdot 10^{-3}} = 3898 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

2.3 При вихідній температурі теплоносія 1:

$$w''_1 = \frac{4 \cdot 0,59}{988 \cdot 3,14 \cdot (32 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3600} = 0,746 \text{ м/с}$$

$$\text{Re}''_1 = \frac{0,746 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{0,556 \cdot 10^{-6}} = 4,3 \cdot 10^4$$

$\text{Pr}_{cm} = 5,14$  - визначається за середньою температурою

$$(t = (50 + 15) / 2 = 32,5^0\text{K}).$$

$$\text{Nu}''_1 = 0,021(4,3 \cdot 10^4)^{0,8} 3,54^{0,43} \left(\frac{3,54}{5,14}\right)^{0,25} = 167,7$$

$$\alpha''_1 = \frac{167,7 \cdot 0,649}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 3401 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

2.4 При вхідній температурі теплоносія 2 ( що нагрівається):

$$w'_2 = \frac{4G_2}{\rho_2 \pi (D^2 - d_2^2)} = \frac{4 \cdot 0,89}{999 \cdot 3,14 \cdot (4,8^2 - 3,5^2) \cdot 10^{-4}} = 1,06 \text{ м/с}$$

$$\text{Re}'_2 = \frac{1,06 \cdot 13 \cdot 10^{-3}}{1,156 \cdot 10^{-6}} = 1,192 \cdot 10^4$$

$$\text{Nu}'_2 = 0,017(1,19 \cdot 10^4)^{0,8} 8,27^{0,4} \left(\frac{8,27}{5,14}\right)^{0,25} \left(\frac{48}{35}\right)^{0,18} = 86$$

$$\alpha'_2 = \frac{86 \cdot 0,587}{13 \cdot 10^{-3}} = 3883 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

2.5 При проміжній температурі теплоносія 2

$$w_{n2} = \frac{4 \cdot 0,89}{995,7 \cdot 3,14 \cdot (48^2 - 35^2) \cdot 10^{-6}} = 1,05 \text{ м/с}$$

$$\text{Re}_{n2} = \frac{1,05 \cdot 13 \cdot 10^{-3}}{0,805 \cdot 10^{-6}} = 1,7 \cdot 10^4$$

$$\text{Nu}_{n2} = 0,017(1,7 \cdot 10^4)^{0,8} 5,42^{0,4} \left(\frac{5,42}{3,54}\right)^{0,25} \left(\frac{48}{35}\right)^{0,18} = 95$$

$$\alpha_{n2} = \frac{95 \cdot 0,618}{13 \cdot 10^{-3}} = 4516 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

## 2.6 При вихідній температурі теплоносія 2:

$$w_2 = \frac{4 \cdot 0,89}{999 \cdot 3,14 \cdot (48^2 - 35^2) \cdot 10^{-6}} = 1,05 \text{ м/с}$$

$$Re''_2 = \frac{w_2 d_e}{\nu''_2} = \frac{1,05 \cdot 13 \cdot 10^{-3}}{0,608 \cdot 10^{-6}} = 2,245 \cdot 10^4$$

$$Nu''_2 = 0,017(2,245 \cdot 10^4)^{0,8} 3,93^{0,4} \left(\frac{3,93}{2,55}\right)^{0,25} \left(\frac{48}{35}\right)^{0,18} = 105$$

$$\alpha''_2 = \frac{105 \cdot 0,642}{13 \cdot 10^{-3}} = 5185 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

У табл. 2.1 вносимо значення коефіцієнтів тепловіддачі при відповідних температурах.

Таблиця 2.1 - Значення коефіцієнтів тепловіддачі при різних температурах ВАР

	ВАР, що гріє			ВАР, що нагрівається		
$t, ^\circ\text{C}$	95	70	50	15	30	45
$\alpha, \text{Вт/(м}^2\text{К)}$	4433	3898	3401	3883	4516	5185

Будуємо графіки залежності  $\alpha_1 = f(t_1)$  та  $\alpha_2 = f(t_2)$  - рис. 2.1, 2.2.

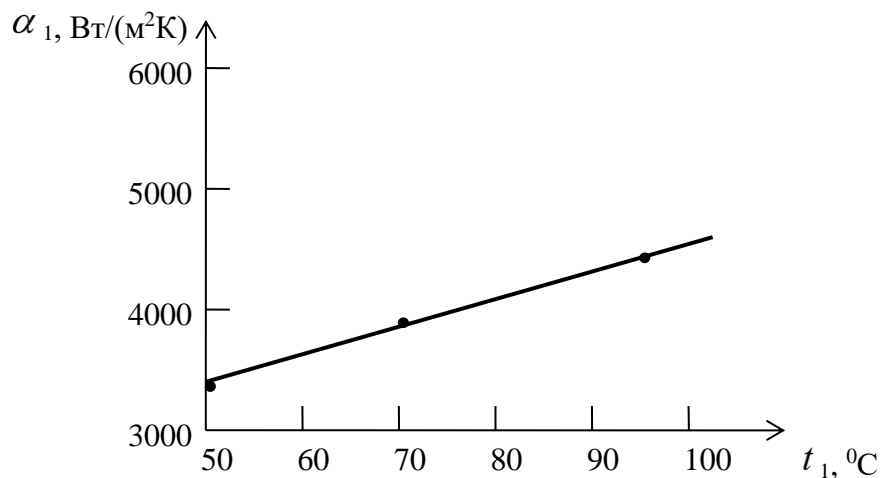


Рисунок 2.1 - Залежність коефіцієнта тепловіддачі теплоносія, що гріє, від температури.

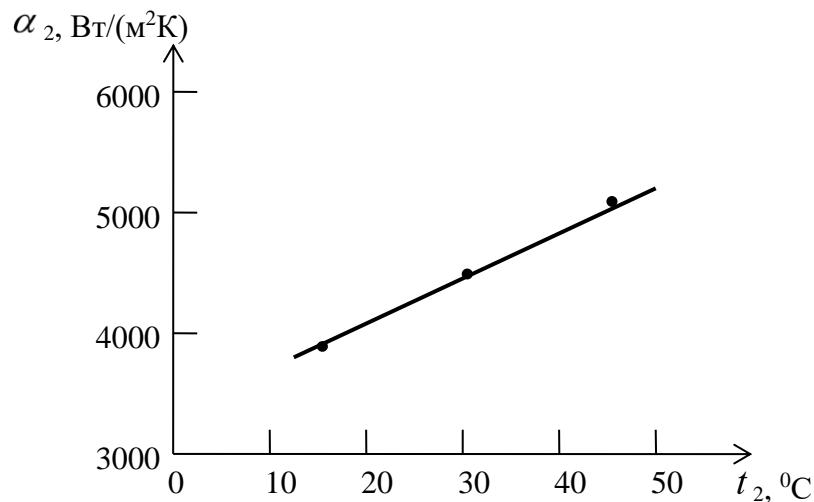


Рисунок 2.2 Залежність коефіцієнта тепловіддачі теплоносія, що нагрівається, від температури

Висновок: допущення про лінійну зміну з температурою обох коефіцієнтів тепловіддачі виконується. При таких допущеннях формула для середньої щільності теплового потоку при паралельній течії набуває вигляду:

$$\bar{q} = \left( \frac{\ln \frac{\Delta t'' \alpha_1''}{\Delta t' \alpha_1'} + \ln \frac{\Delta t'' \alpha_2''}{\Delta t' \alpha_2'}}{\Delta t'' \alpha_1'' - \Delta t' \alpha_1' + \Delta t'' \alpha_2'' - \Delta t' \alpha_2'} \right)^{-1}$$

Коефіцієнти тепловіддачі середовища, що гріє,  $\alpha_1'$ ,  $\alpha_1''$ , і що нагрівається  $\alpha_2'$ ,  $\alpha_2''$ , по їхніх температурах на вході і виході з апарата вже обчислені і приведені в таблиці 1.1.

3. Розраховуємо температурні напори у вхідному і вихідному перерізах для протитечії :

$$\Delta t' = t_1' - t_2'' = 95 - 45 = 50 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\Delta t'' = t_1'' - t_2' = 50 - 15 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. По приведеній залежності розраховуємо щільність теплового потоку:

$$\bar{q} = \left( \frac{\ln \frac{35 \cdot 3401}{50 \cdot 4433} + \ln \frac{35 \cdot 3883}{50 \cdot 5185}}{35 \cdot 3401 - 50 \cdot 4433 + 35 \cdot 3883 - 50 \cdot 5185} \right)^{-1} = 88657 \text{ Вт/м}^2$$

5. Площа теплообмінної поверхні:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{111,3}{88,7} = 1,27 \text{ м}^2$$

6. Число секцій:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_{cp} l} = \frac{1,27}{3,14 \cdot 1,9 \cdot (3,5 + 3,2) \cdot 10^{-2} / 2} = 6,35 \approx 7$$

Проведімо конструкторський розрахунок теплообмінника з урахуванням зміни коефіцієнта теплопередачі, зумовленого зміною властивостей теплоносіїв у залежності від температури.

Використовуємо метод [14], у якому прийняте допущення про лінійну залежність коефіцієнта теплопередачі від температури теплоносія з меншим водяним еквівалентом. Необхідно переконатися, що припущення про лінійний характер залежності коефіцієнта теплопередачі від температури виконується.

1. При трьох значеннях температур теплоносія з меншим водяним еквівалентом розраховуємо три значення  $\alpha$ .

$$W_1 = G_1 c_{p1} = 0,59 \cdot 4,19 \cdot 10^3 = 2,47 \cdot 10^3 \text{ Вт/К}$$

$$W_2 = G_2 c_{p2} = 0,89 \cdot 4,174 \cdot 10^3 = 3,71 \cdot 10^3 \text{ Вт/К}$$

– отже, розрахунок ведемо для теплоносія, що гріє.

Для теплоносія з більш великим водяним еквівалентом коефіцієнт тепловіддачі визначаємо за його середньою температурою. Результати розрахунків приведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Коефіцієнти теплопередачі і тепловіддачі при різних температурах води.

$t_1, ^\circ\text{C}$	ВАР, що гріє			ВАР, що нагрівається	
	95	70	50	$\bar{t}_2, ^\circ\text{C}$	50
$\alpha_1, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$	4433	3898	3401	$\bar{\alpha}_2, \text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$	4500
$k, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$	2078	1953	1820	—	

Будуємо графік залежності  $k = f(t_1)$  (рис. 2.4). Залежність лінійна, що дозволяє користуватися даним методом.

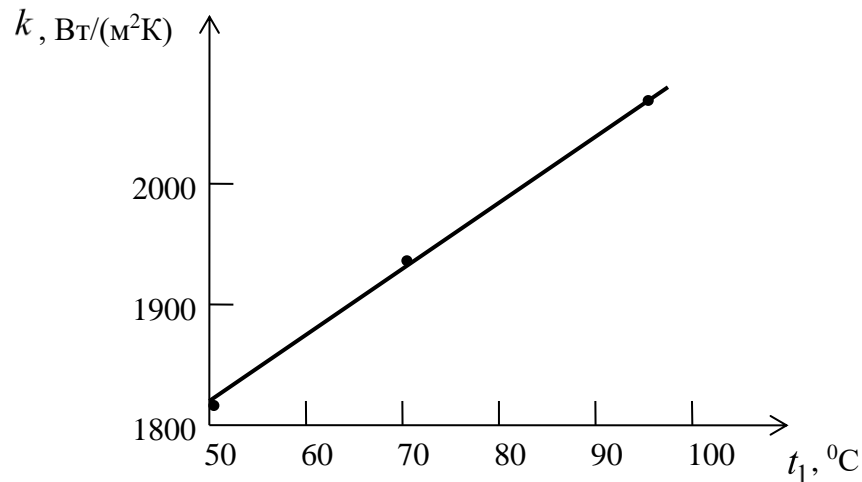


Рисунок 2.4 Залежність коефіцієнта теплопередачі від температури води, що гріє

2. Температурні напори у вхідному і вихідному перерізах для протитечії:

$$\Delta t' = t_1' - t_2'' = 50 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad \Delta t'' = t_1'' - t_2' = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3. Розраховуємо щільність теплового потоку:

$$\bar{q} = \frac{k''\Delta t' - k'\Delta t''}{\ln \frac{k''\Delta t'}{k'\Delta t''}} = \frac{1820 \cdot 50 - 2078 \cdot 35}{\ln \frac{1820 \cdot 50}{2078 \cdot 35}} = \frac{19770}{0,224} = 88259 \text{ Вт/м}^2$$

$$k' = 2078 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}, \quad k'' = 1820 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

де  $k'$ ,  $k''$  - коефіцієнти теплопередачі, розраховані за значеннями коефіцієнтів тепловіддачі на вході і виході з теплообмінного апарата.

4. Розраховуємо тепловий потік і площу теплообмінної поверхні:

$$Q = G_1 c_{p1} \delta t_1 = 0,591 \cdot 4,185 \cdot 10^3 \cdot 45 = 111300 \text{ Вт}$$

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{111,3}{88,23} = 1,26 \text{ м}^2$$

5. Число секцій:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_{cp} l} = \frac{1,26}{3,14 \cdot 1,9 \cdot (3,5 + 3,2) \cdot 10^{-2} / 2} = 6,3 \approx 7$$

Порівняємо результати, отримані різними методами.

Таблиця 2.3 - Результати конструкторського розрахунку теплообмінника типу «труба в трубі».

Метод	Тепловий потік $Q$ , кВт	Площа теплообмінної поверхні $F$ , м <sup>2</sup>	Число секцій, $n$
Середнього температурного напору, при $K = const$	111,3	21,33	6
Ефективності, при $K = const$	111,3	21,34	6
Розрахунок з урахуванням лінійної залежності коефіцієнта теплопередачі від температури	111,3	21,27	6
Розрахунок з урахуванням лінійної залежності коефіцієнтів тепловіддачі від температури	111,3	21,26	6

Розбіжність в площах теплообмінної поверхні при  $K = const$  і  $K = var$  складає близько 7 %. Це пояснюється тим, що температури теплоносіїв в апараті і, отже, їхні властивості змінюються незначно.

На рис.2.5 наведено розрахункову конструкцію теплообміннику розчинів.

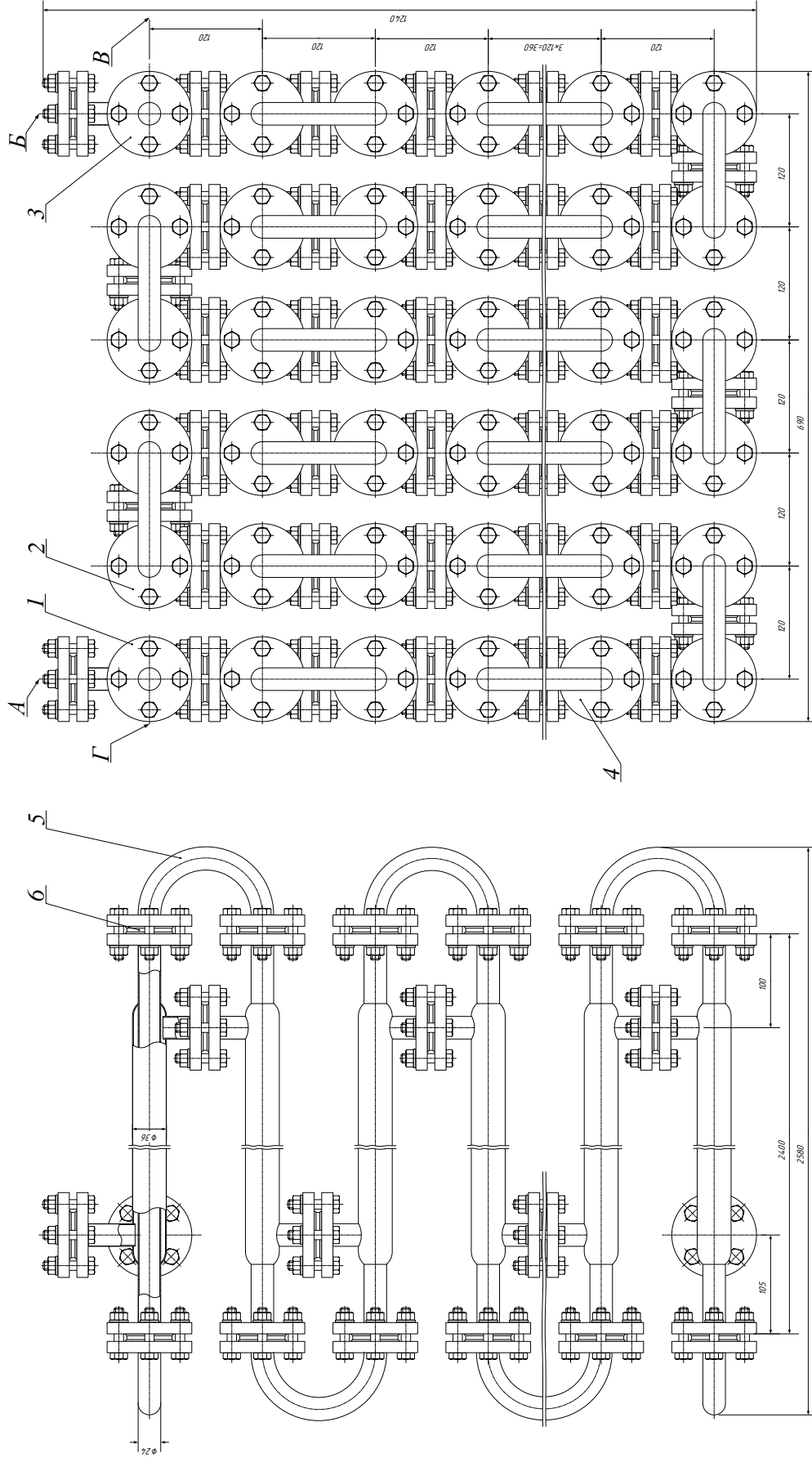


Рис. 2.5 – Теплообмінник «труба у трубі»:

1 – секція 1; 2 – секція 2; 3 – секція 3; 4 – секція 4; 5 – відвід; 6 – прокладка А – вхід міцного ВАР; Б – вихід міцного ВАР; В – вхід слабого ВАР; Г – вихід слабого ВАР.

### РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ТРЦ «РІВ'ЄРА» М. ОДЕСА З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА БОМБОСХОВИЩЕМ

3.1. Аналіз вихідних даних та формування проєкту системи кондиціонування ТРЦ «Рів'єра»

У сучасних умовах розвитку торговельно-розважальної інфраструктури особливої актуальності набуває питання забезпечення комфортного мікроклімату у великих громадських будівлях. Торговельно-розважальні центри належать до об'єктів із підвищеним рівнем енергоспоживання, оскільки для їх стабільного функціонування необхідна безперервна робота систем кондиціонування, вентиляції, освітлення, холодильного обладнання та значної кількості електротехнічних пристроїв. Найбільше навантаження на системи кондиціонування виникає у літній період, коли високі температури зовнішнього повітря та інтенсивне сонячне випромінювання суттєво збільшують обсяги теплопритоків до приміщень.

Для великих торговельно-розважальних центрів підтримання нормативних параметрів мікроклімату є одним із ключових факторів забезпечення комфортних умов перебування відвідувачів і персоналу. Від стабільності температурного режиму залежить не лише рівень комфорту людей, але й ефективність функціонування торговельного обладнання, систем освітлення, холодильних установок та інженерних мереж будівлі. Саме тому впровадження сучасних енергоефективних систем кондиціонування повітря є важливим напрямом розвитку сучасних громадських споруд.

Об'єктом дослідження у даній роботі є торговельно-розважальний центр «Рів'єра» у місті Одеса з бомбосховищем, для якого передбачається розробка енергоефективної системи кондиціонування із використанням альтернативних джерел енергії. Особливістю даного об'єкта є значна площа приміщень, велика кількість відвідувачів, високий рівень внутрішніх тепловиділень та

необхідність забезпечення безперебійної роботи систем кондиціонування навіть у випадку аварійних відключень електроенергії.

ТРЦ «Рів'єра» включає значну кількість функціональних зон різного призначення. До складу комплексу входять торговельні приміщення, магазини, заклади громадського харчування, розважальні та рекреаційні зони, адміністративні приміщення, складські й технічні приміщення, санітарно-технічні вузли, вентиляційні камери та допоміжні інженерні приміщення. Крім цього, у підземній частині будівлі передбачено бомбосховище, розраховане на тимчасове перебування людей під час надзвичайних ситуацій або повітряних тривог. Значні площі торговельних залів, використання великих скляних фасадів, наявність потужних систем освітлення та великої кількості електрообладнання формують суттєві теплові навантаження на систему кондиціонування.

Додатковими джерелами теплопритоків є постійне перебування значної кількості людей у приміщеннях торговельно-розважального центру. Найбільші теплові навантаження спостерігаються у літній період року, коли температура зовнішнього повітря у місті Одеса може перевищувати 30 °С [45]. Наявність бомбосховища суттєво підвищує вимоги до систем вентиляції та кондиціонування, оскільки у випадку надзвичайних ситуацій необхідно забезпечити стабільні параметри мікроклімату у закритому просторі за умов тривалого перебування великої кількості людей. У таких умовах система кондиціонування виконує не лише функцію підтримання комфортного температурного режиму, але й забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні параметри повітряного середовища.

Світова спільнота розглядає використання місцевих альтернативних джерел енергії як один із перспективних шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення [22]

Попит на реалізацію проектів сонячного теплопостачання в житлових і громадських районах в Європі, США і ряді азіатських країн зростає з кожним годом. В даний час лідером за кількістю встановленої потужності сонячних

колекторів є Німеччина (9785 МВт). Потім йдуть Іспанія (3386 МВт), Японія (2633 МВт), США (1650 МВт), Італія (1167 МВт).

Для використання сонячної енергії в системах кондиціонування можуть застосовуватись різні методи отримання холоду, зокрема компресійні, абсорбційні, випарні та радіаційні системи.

Власники домогосподарств та підприємства, які вирішили інвестувати в сонячні електростанції, можуть суттєво зменшити свої рахунки за електроенергію. У деяких випадках надлишок виробленої енергії можна продавати в електромережу, отримуючи додатковий дохід і ще швидше окупаючи свої інвестиції [23].

Найбільшого поширення набули абсорбційні термотрансформатори, оскільки вони використовують теплову енергію безпосередньо для виробництва холоду, що дозволяє зменшити споживання електроенергії.

У сучасних системах сонячна енергія накопичується за допомогою сонячних колекторів і теплоаккумуляторів, після чого використовується для роботи абсорбційного термотрансформатора, який забезпечує отримання холоду для системи кондиціонування повітря.

Робочою речовиною абсорбційного водоаміачного термотрансформатора є водно-аміачний розчин, де аміак виконує функцію холодоагенту. Використання такої системи є перспективним рішенням для торговельно-розважальних центрів, оскільки максимальна сонячна активність збігається з періодом найбільшого навантаження на систему охолодження приміщень.

Для використання сонячної енергії в системах кондиціонування застосовуються два основні підходи: фотоелектричний та термосонячний. Фотоелектричні системи передбачають використання сонячних панелей для виробництва електроенергії, яка надалі використовується для живлення кондиціонерів. Термосонячні системи використовують тепло сонячного випромінювання для безпосереднього виробництва холоду за допомогою абсорбційних холодильних машин. Для торговельно-розважальних центрів більш доцільним є застосування термосонячних систем на базі абсорбційних

водоаміачних термотрансформаторів. Це пояснюється вищим коефіцієнтом використання сонячної енергії, можливістю отримання холоду без значних витрат електроенергії та ефективною роботою при великих теплових навантаженнях. Крім того, використання сонячних колекторів дозволяє забезпечити часткову енергетичну автономність об'єкта та знизити експлуатаційні витрати. З огляду на значну площу ТРЦ «Рів'єра», високі навантаження на систему кондиціонування та необхідність забезпечення роботи бомбосховища, для реалізації проєкту було обрано систему кондиціонування на базі абсорбційного водоаміачного термотрансформатора із використанням сонячних колекторів, акумуляторів тепла та холоду.

Використання енергоефективних систем кондиціонування, що працюють із залученням сонячної енергії, набуває особливого значення для України. Значний потенціал сонячної енергетики, характерний для південних областей країни, зокрема Одеського регіону, створює сприятливі передумови для інтеграції сонячних колекторів у системи теплопостачання та холодопостачання [46].

Не менш важливим аспектом є забезпечення енергетичної стійкості об'єктів в умовах можливих обмежень або перебоїв у централізованому електропостачанні. Застосування відновлюваних джерел енергії дає можливість скоротити залежність від традиційних енергоресурсів, знизити навантаження на електромережі та підвищити надійність функціонування систем кондиціонування.

Для торговельно-розважальних центрів підвищення енергоефективності має особливе значення через високі обсяги споживання електроенергії, необхідної для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату. Впровадження сонячних енергетичних технологій у поєднанні з абсорбційними термотрансформаторами дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, підвищити рівень енергетичної автономності та забезпечити зростання економічної ефективності роботи об'єкта.

Проект системи кондиціонування повітря бомбосховища ТРЦ «Рів'єра» м. Одеса.

Необхідна холодопродуктивність системи кондиціонування з урахуванням 10 % запасу - 77,2 кВт.

Підібрано обладнання: припливна установка продуктивністю 5000 м<sup>3</sup>/год, чилер холодопродуктивністю 80 кВт (COP = 3,2, споживана потужність 24,1 кВт), ФВУ типу ФВК-1 для режиму фільтровентиляції.

Холодопродуктивність  $Q_o = 80$  кВт, температура охолодження  $T_o = 7$  °С, температура конденсації  $T_k = 36$  °С .

На основі проведеного аналізу було запропоновано альтернативну схему системи кондиціонування повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів (рис.1.1).

Як абсорбційний термотрансформатор розглянуті дві схеми з підтискаючими бустер-компресорами (рис. В.2 і рис. В.3).

Проведене дослідження сучасних технологій сонячного кондиціонування засвідчило, що для ТРЦ «Рів'єра» найбільш ефективним рішенням є використання абсорбційного водоаміачного термотрансформатора в комплексі із сонячними колекторами та системами акумулювання тепла і холоду. Таке технічне рішення забезпечує раціональне використання енергії сонячного випромінювання для покриття потреб у кондиціонуванні повітря, що сприяє зменшенню споживання електричної енергії та скороченню експлуатаційних витрат. Важливою перевагою запропонованої системи є її здатність підтримувати стабільні параметри мікроклімату як під час звичайної роботи торговельно-розважального центру, так і в період експлуатації бомбосховища за надзвичайних обставин. Використання акумуляторів тепла та холоду підвищує надійність функціонування обладнання, забезпечує безперервність роботи системи та сприяє більш ефективному розподілу енергетичних ресурсів.

Таким чином, запропонована система кондиціонування на основі абсорбційного водоаміачного термотрансформатора повною мірою відповідає

сучасним вимогам щодо енергоефективності, екологічності та енергетичної незалежності. Реалізація даного проєкту створює передумови для підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів та зниження витрат на експлуатацію об'єкта.

3.2. SWOT-аналіз та еколого-економічні переваги впровадження енергоефективної системи кондиціонування з альтернативними джерелами енергії

У сучасних умовах розвитку енергетичної галузі та постійного підвищення вартості енергетичних ресурсів питання підвищення енергоефективності систем кондиціонування набуває особливо важливого значення. Для великих торговельно-розважальних центрів системи кондиціонування належать до найбільш енергоємних елементів інженерного забезпечення будівлі, оскільки саме вони забезпечують підтримання комфортних параметрів мікроклімату у приміщеннях із великою кількістю відвідувачів. Значні площі ТРЦ, велика кількість освітлювального обладнання, скляних фасадів, торговельної техніки та постійні теплопритоки формують високі навантаження на системи охолодження, що призводить до значного споживання електроенергії.

Після обґрунтування та вибору технічного рішення необхідно проаналізувати перспективи впровадження енергоефективної системи кондиціонування на основі використання альтернативних джерел енергії. Для цього доцільно застосувати SWOT-аналіз, який є одним із найбільш ефективних інструментів стратегічної оцінки та дає можливість визначити переваги й недоліки запропонованого проєкту, а також виявити зовнішні фактори, що можуть сприяти його реалізації або створювати певні ризики.

Актуальність впровадження таких систем зумовлена постійним зростанням цін на енергоресурси, необхідністю підвищення рівня енергоефективності будівель, а також активним розвитком технологій відновлюваної енергетики. Використання сонячної енергії у поєднанні із

сучасними системами акумулювання тепла та холоду дозволяє знизити енергоспоживання, підвищити автономність об'єкта та скоротити експлуатаційні витрати.

З метою оцінки перспектив реалізації запропонованої системи кондиціонування ТРЦ «Рів'єра» проведено SWOT-аналіз, результати якого наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – SWOT-аналіз розвитку систем кондиціонування та альтернативної енергетики.

<b>Сильні сторони (S)</b>	<b>Слабкі сторони (W)</b>
Зростання попиту на енергоефективні системи	Висока вартість сучасних систем
Розвиток технологій використання сонячної енергії	Залежність від імпортного обладнання
Інтеграція з альтернативними джерелами енергії	Значне енергоспоживання
Використання smart-технологій	Потреба у кваліфікованому персоналі
Підвищення енергоефективності обладнання	Потреба у кваліфікованих кадрах
Розвиток «зеленого будівництва»	Складність монтажу систем
Великий вибір обладнання на ринку	Залежність від кліматичних умов
<b>Можливості (O)</b>	<b>Загрози (T)</b>
Державна підтримка енергоефективності	Коливання валютних курсів
Популяризація «зелених» технологій	Економічна нестабільність
Поширення smart-building технологій	Зміна законодавства
Зростання попиту на енергоефективні будівлі	Посилення конкуренції
Використання акумуляторів енергії	Можливі перебої постачання обладнання
Розвиток систем автономного енергозабезпечення	Технічні несправності обладнання

Джерело: розроблено автором.

Результати проведеного аналізу підтверджують наявність значних перспектив розвитку енергоефективних систем кондиціонування, що обумовлено активним використанням відновлюваних джерел енергії, сучасних систем автоматизації та технологій акумулювання енергії.

Водночас впровадження таких рішень пов'язане з необхідністю врахування фінансових, технічних і організаційних чинників ризику.

У зв'язку з цим доцільним є проведення SWOT-аналізу безпосередньо для проєкту системи кондиціонування ТРЦ «Рів'єра» м. Одеса з метою оцінки його сильних і слабких сторін, а також можливостей і загроз зовнішнього середовища, результати якого наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – SWOT-матриця проєкту енергоефективної системи кондиціонування ТРЦ «Рів'єра» м. Одеса

<b>О-Можливості</b>		<b>Т-Загрози</b>	
1. Високий рівень сонячної інсоляції в м. Одеса. 2. Розвиток технологій сонячного теплопостачання 3. Удосконалення систем накопичення енергії. 4. Державна підтримка енергоефективних проєктів. 5. Популяризація «зелених» технологій. Зростання попиту на енергоефективні будівлі.		1. Економічна нестабільність. 2. Коливання валютних курсів. 3. Зростання вартості обладнання. 4. Можливі перебої постачання комплектуючих. 5. Неприятливі погодні умови.	
<b>S-Сильні сторони</b>	<b>SO</b>	<b>ST</b>	
1. Використання сонячної енергії для виробництва холоду. 2. Зниження споживання електроенергії 3. Наявність акумуляторів тепла та холоду. 4. Підвищення енергетичної автономності ТРЦ 5. Можливості роботи бомбосховища при аварійних відключеннях. 6. Зменшення навантаження на електромережу. 7. Екологічна безпечність системи.	1. Максимальне використання сонячної енергії завдяки кліматичним умовам Одеси. 2. Скорочення витрат на електроенергію. Підвищення енергоефективності ТРЦ. 3. Підвищення інвестиційної привабливості об'єкта.	1. Підвищення стійкості об'єкта до перебоїв електропостачання. 2. Зменшення впливу зростання тарифів на електроенергію. 3. Зниження залежності від централізованих енергомереж. 4. Забезпечення стабільної роботи бомбосховища в кризових умовах. 5. Мінімізація ризиків простою системи кондиціонування.	

## Продовження таблиці 3.2.

<b>W-Слабкі сторони</b>	<b>WO</b>	<b>WT</b>
1.Складність інтеграції системи. 2.Необхідність спеціалізованого обладнання. 3.Потреба у кваліфікованому персоналі. 4.Часткова залежність від сонячного випромінювання.	1.Компенсація високих інвестиційних витрат за рахунок державної підтримки. 2.Використання сучасних систем автоматизації для оптимізації експлуатації. 3.Підвищення ефективності системи завдяки розвитку технологій накопичення енергії. 4.Скорочення експлуатаційних витрат у довгостроковій перспективі. 5.Підвищення кваліфікації персоналу при впровадженні нових технологій.	1.Ризик збільшення терміну окупності через подорожчання обладнання. 2.Зниження ефективності системи за несприятливих погодних умов. 3.Ризик технічних несправностей складного обладнання.

Джерело: розроблено автором.

Результати проведеного SWOT-аналізу дають змогу комплексно оцінити перспективи реалізації проєкту енергоефективної системи кондиціонування ТРЦ «Рів'єра» м. Одеса, що базується на використанні абсорбційного водоаміачного термотрансформатора, сонячних колекторів та систем акумулювання теплової енергії.

Отримані результати свідчать про наявність вагомих технічних, економічних та екологічних переваг, які підтверджують доцільність впровадження запропонованого рішення. Однією з ключових переваг проєкту є залучення енергії Сонця для забезпечення процесів кондиціонування повітря [47]. Використання сонячних колекторів дозволяє зменшити залежність від традиційних джерел енергії та скоротити обсяги споживання електроенергії. Важливу роль також відіграють акумулятори тепла та холоду, які сприяють більш раціональному використанню енергетичних ресурсів і підвищують стабільність функціонування системи. Крім того, запропоноване рішення забезпечує підвищення рівня енергетичної автономності торговельно-розважального центру та створює можливість підтримання необхідних

параметрів мікроклімату в бомбосховищі у разі перебоїв із централізованим електропостачанням.

Сприятливими чинниками для реалізації проєкту виступають зовнішні можливості. Насамперед це природно-кліматичні умови м. Одеса, які характеризуються достатнім рівнем сонячної інсоляції для ефективного використання сонячної енергії. Важливе значення також мають подальший розвиток технологій накопичення енергії, поширення smart-систем управління інженерною інфраструктурою та зростання інтересу до енергоефективних і екологічно безпечних будівель. У міру зростання занепокоєння щодо зміни клімату та екологічної стійкості компанія Trane Technologies стала першопрохідником у галузі екологічно чистих рішень HVAC. Компанія вклала значні кошти у дослідження та розробки для створення енергоефективних продуктів, які мінімізують вплив на навколишнє середовище за максимальної продуктивності [24].

Сукупність зазначених факторів створює передумови для успішного впровадження сучасних технологій кондиціонування на основі відновлюваних джерел енергії.

Разом із перевагами необхідно враховувати і певні обмеження проєкту. До них належать значні капітальні вкладення на початковому етапі реалізації, складність інтеграції окремих елементів системи та необхідність залучення спеціалістів відповідної кваліфікації для її обслуговування.

Додатковим фактором є часткова залежність ефективності роботи обладнання від рівня сонячного випромінювання, що потребує використання акумулюючих пристроїв для підтримання стабільності функціонування системи.

На ефективність реалізації проєкту можуть впливати також зовнішні ризики.

Серед них слід відзначити економічну нестабільність, коливання валютних курсів, можливе підвищення вартості обладнання та комплектуючих, а також ризик виникнення технічних несправностей. Однак

застосування сучасних засобів автоматизованого контролю та моніторингу дає змогу своєчасно виявляти відхилення в роботі обладнання та зменшувати ймовірність виникнення аварійних ситуацій [48].

Отже, результати SWOT-аналізу підтверджують перспективність впровадження енергоефективної системи кондиціонування ТРЦ «Рів'єра» з використанням сонячної енергії.

Реалізація запропонованого проєкту сприятиме підвищенню енергетичної незалежності об'єкта, скороченню витрат на енергоресурси, покращенню екологічних характеристик будівлі та забезпеченню безперебійної роботи критично важливих зон.

У довгостроковій перспективі це дозволить підвищити ефективність експлуатації торговельно-розважального центру та зміцнити його інвестиційну привабливість.

### 3.3. Розрахунок інвестиційних витрат та оцінка економічної ефективності впровадження системи кондиціонування ТРЦ «Рів'єра»

На основі проведеного аналізу та обґрунтування технічного рішення для ТРЦ «Рів'єра» м. Одеса було обрано систему теплохолодопостачання, що базується на використанні абсорбційного водоаміачного термотрансформатора, сонячних колекторів та акумуляторів тепла і холоду.

Запропонована схема передбачає використання сонячної енергії для забезпечення потреб системи кондиціонування та спрямована на підвищення енергоефективності й енергетичної автономності об'єкта.

Відповідно до розробленої схеми було визначено склад основного обладнання та сформовано перелік елементів системи, необхідних для її реалізації.

Це дає можливість перейти до оцінки капітальних витрат, визначення економічних показників та подальшого аналізу інвестиційної доцільності проєкту. Вартість основного обладнання системи кондиціонування наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Перелік необхідного обладнання для охолоджувально-отоплюючої установки на базі АТН з бустер-компресором

Обладнання	Вартість, од., грн.	Кількість	Вартість, грн.
Колектор сонячний	10 000	120 шт	1 200 000
Сонячні батареї	2 000	10	20 000
Водоаміачний АТТ	2 000 000	1 шт	2 000 000
Труби магістральні d=30мм	50	50 м	2 500
Теплоізоляція трубна d=30мм	10	50 м	500
Насос циркуляційний	5 000	2 шт	10 000
Вентиль запірний	100	10 шт	1 000
Щебінь	300	10 тон	3 000
Розсол для систем акумуляторів тепла і холоду, системи кондиціонування приміщення (антифриз)	100	200 л	20 000
Теплообмінний агент (водний розчин аміаку 10 %)	50	100 л	5 000
Вентилятор повітряний	2 000	8 шт	16 000
Теплоізоляційні матеріали для акумуляторів тепла і холоду	100	50 м <sup>3</sup>	5 000
Бетон	50	200 кг	10 000
Пісок	200	1 т	200
Система автоматичного керування	10 000	1 шт	10 000
Всього			3 298 200

Джерело: розраховано автором.

Всього ми маємо 3 298 200 грн. на обладнання і матеріали для нашої установки.

Додано ще роботу по монтажу і установці в розмірі 300 000 грн. та отримаємо:

$$3\,298\,200 + 300\,000 = 3\,598\,200 \text{ грн.}$$

Інформація щодо вхідних даних за комплексною роботою:

1. Система дозволяє економити 6 місяців в теплий період року, з середини квітня до середини жовтня, на кондиціонування ТРЦ «Рів'єра» в м. Одеси, та 5 місяців на опаленні в холодний період, з листопада по березень.

Розрахуємо економію коштів на кондиціонування для теплого періоду року:

Вхідні дані: 1 кондиціонер на базі парокомпресійної машини з компресором типу Vitzel холодопродуктивністю 80 кВт і електричною потужністю 28 кВт.

На ринку такої компресор коштує 523 000 грн.

Тариф на електроенергію на травень 2026 складає – 6,00 грн./кВт·год, отже ми маємо наступну економію на добу:

$$6,00 \cdot (28 \cdot 6 \cdot 24) = 24192 \text{ грн./добу.}$$

Визначимо економію за 5 місяців з урахуванням того, що кондиціонер буде працювати 30 діб на місяць:

$$24192 \cdot 5 \cdot 30 = 3\,628\,800 \text{ грн./сезон.}$$

Отже, ми маємо економію за теплий сезон року за рахунок використання сонячних колекторів, акумуляторів холоду та системи кондиціонування на базі АТТ.

2. Розрахуємо економію за рахунок використання сонячних колекторів в холодний період для опалення приміщення:

Вхідні дані для розрахунку з використанням газової установки витрачається 95 м<sup>3</sup> газу на годину, тариф на газ в Одесі на травень 2026 – 7,96 грн./м<sup>3</sup> за розподіл газу (додаємо за постачання газу і отримуємо 9,96), отже ми маємо наступну економію на добу:

$$9,96 \cdot 95 \cdot 30 = 28\,386 \text{ грн./добу.}$$

Тепер розрахуємо економію за 5 місяців холодного періоду року з урахуванням того що опалення необхідне 30 днів на місяць:

$$28\,386 \cdot 5 \cdot 30 = 4\,257\,900 \text{ грн./сезон.}$$

Отже, ми маємо економію в 4 257 900 грн за холодний сезон року за рахунок використання сонячних колекторів, акумулятору тепла для опалення приміщення.

Складемо економію за теплий та холодний сезон, та отримаємо економію за рік:

$$3\,628\,800 + 4\,257\,900 = 7\,886\,700 \text{ грн/рік}$$

Віднімемо витрачену електроенергію на роботу двох насосів потужністю 1,0 кВт, з урахуванням того, що розчину необхідно постійно циркулювати в установці, а це 24 години на добу, 365 днів на рік, отже:

$$1 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 6.00 = 105\,120 \text{ грн./рік.}$$

Перерахуємо економію на рік з урахуванням постійної роботи 2 насосів для циркулювання розсолу в системі с АТТ:

$$7\,886\,700 - 105\,120 = 7\,788\,580 \text{ грн./рік.}$$

Отже ми маємо непогану економію коштів за рік використання акумуляторів тепла і холоду з використанням сонячної енергії та температурного потенціалу атмосферного повітря.

Термін окупності інноваційної технології становить

$$3\,298\,200 : 7\,788\,580 = 0,4238 \text{ року. Тобто 155 днів.}$$

Проведені розрахунки показують перспективу використання у складі системи кондиціонування повітря альтернативного джерела холоду - абсорбційного термотрансформатора з використанням сонячної енергії та акумуляторів тепла та холоду.

Отримані результати розрахунків підтверджують високу економічну ефективність впровадження системи теплохолодопостачання на основі абсорбційного термотрансформатора з використанням сонячних колекторів та акумуляторів тепла і холоду. Загальна вартість обладнання та матеріалів становить 3 298 200 грн, а з урахуванням витрат на монтаж і пусконаладжувальні роботи обсяг початкових інвестицій складає 3 598 200 грн.

Проведена оцінка економічної ефективності показала, що запропонована система забезпечує значне скорочення витрат на енергоресурси протягом року. Економічний ефект досягається за рахунок зменшення споживання електроенергії на кондиціонування повітря у теплий період року та використання сонячної енергії для покриття потреб опалення у холодний сезон. Загальний обсяг річної економії становить 7 886 700 грн. Після врахування витрат електроенергії на роботу циркуляційних насосів чистий річний економічний ефект складає 7 788 580 грн. Розрахований термін окупності інвестицій становить 0,42 року, або приблизно 155 діб, що свідчить про високий рівень інвестиційної привабливості проекту та ефективність запропонованого технічного рішення.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування абсорбційного термотрансформатора у комплексі із сонячними колекторами та системами акумулювання теплової і холодильної енергії для забезпечення потреб будівель в опаленні та кондиціонуванні. Таким чином, реалізація запропонованого проекту сприятиме зниженню експлуатаційних витрат, скороченню споживання традиційних енергоресурсів, підвищенню рівня енергоефективності та енергетичної незалежності об'єкта.

Крім того, використання відновлюваних джерел енергії відповідає сучасним принципам сталого розвитку та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів.

#### 3.4. Висновки до розділу 3

У третьому розділі роботи виконано економічне обґрунтування проекту енергоефективної системи кондиціонування ТРЦ «Рив'єра» м. Одеса з використанням альтернативних джерел енергії та бомбосховищем. На основі аналізу технічних характеристик об'єкта та умов його експлуатації обрано оптимальне технічне рішення, яке передбачає використання абсорбційного водоаміачного термотрансформатора, сонячних колекторів, а також систем акумулювання тепла і холоду.

У ході дослідження сформовано принципову схему сонячної системи кондиціонування та опалення, здатної забезпечувати необхідні параметри мікроклімату як у приміщеннях торговельно-розважального центру, так і в бомбосховищі.

Проведений SWOT-аналіз дозволив оцінити переваги та недоліки запропонованого проєкту, а також визначити основні зовнішні чинники, що впливають на ефективність його реалізації. Отримані результати засвідчили значний потенціал використання сонячної енергії для зниження енергоспоживання та підвищення рівня енергетичної автономності об'єкта. Економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження запропонованої системи.

Загальний обсяг інвестицій становить 3 598 200 грн, а очікуваний річний економічний ефект досягає 7 788 580 грн. За таких умов термін окупності проєкту складає 0,42 року, що свідчить про його високу економічну ефективність та інвестиційну привабливість.

Отже, реалізація запропонованого проєкту сприятиме підвищенню енергоефективності торговельно-розважального центру, зменшенню витрат на енергоресурси, забезпеченню більшої енергетичної незалежності об'єкта та створенню належних умов функціонування бомбосховища. Запропоноване технічне рішення відповідає сучасним тенденціям розвитку енергоощадних технологій та принципам сталого розвитку

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖАРНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВОДОАМІАЧНИХ СУМІШІ

Кожен, хто працює з водним аміаком повинен добре знати основні його властивості і строго дотримуватися встановлених правил поведінки з ним, зберігання, транспортування.

### 4.1 Фізико-хімічні властивості водного аміаку

Водний аміак - це розчин газоподібного аміаку в волі. Характерні ознаки - безбарвна або жовтувата рідина з різким запахом.

Водний аміак випускається двох сортів, які мають такі фізико-хімічні показники.

Сорти водного аміаку	Процент аміаку	Процент азоту	При t=15 °C		Температура замерзання	Надмірний тиск в ат при температурі	
			питома вага	питома обсяг		40 °C	50 °C
1	25,0	20,0	0,910	1,091	—56	0,15	0,65
2	20,0	16,5	0,925	1,081	—33	—	0,10

Водний аміак, незважаючи на великий вміст в ньому води, може замерзати тільки при дуже низькій температурі. Температура замерзання водного аміаку залежить від концентрації в ньому аміаку: при утриманні 10 % аміаку розчин замерзає при температурі мінус 12 °C, при 20 % аміаку - при мінус 33 °C, а при 25 % - при мінус 56 °C. Розчинність аміаку у воді при звичайних температурах дуже висока і зменшується з підвищенням температури. Низька температура замерзання 25 % водного аміаку (- 56 °C) дозволяє зберігати і перевозити його в будь-яких районах. Зі зміною вмісту

аміаку, а отже і азоту, змінюється і питома вага водного аміаку. Вимірюючи його за допомогою ареометра, можна контролювати якість водного аміаку.

Показник питомої обсягу дозволяє розраховувати обсяг цистерн для зберігання водного аміаку. Водний аміак при температурі до 20°C практично не створює тиску. При більш високій температурі виникає незначне підвищення тиску. Пружність парів водного аміаку, яка навіть при температурі плюс 5 °C становить лише 0,65 ат надлишкового тиску, дозволяє зберігати водний аміак в герметично закритих звичайних сталевих цистернах, які застосовуються для пального.

Аміак досить легко випаровується з водного розчину, без помітної зміни обсягу, тому при транспортуванні, зберіганні, переливах з цистерн і внесення добрива необхідно забезпечувати герметичність резервуарів, передбачивши при цьому постановку на них запобіжних (дихальних) клапанів, а також стежити за справністю арматури і шлангів .

Щоб не допустити втрат аміаку при перекачуванні, в проектах прирейкових складів передбачена так звана «газова обв'язка» ємностей, яка з'єднує газові простір наповнюваної і спорожняється ємностей. Завдяки цьому аміак не виділяється в атмосферу і не виникає забрудненості простору близько ємностей. У насосах, арматурі та іншому обладнанні і приладах для водного аміаку не можна використовувати деталі з міді і її сплавів, так як під дією постійно виділяються пари аміаку мідь і її сплави піддаються швидкої корозії. Тому насоси і арматура повинні бути виготовлені зі сталі або чавуну.

Для перекачування рідких азотних добрив застосовуються резино-тканинні шланги.

#### 4.2 Основні умови транспортування і зберігання водного аміаку

1. Щоб знизити потребу в металоємності обладнання для транспортування, зберігання та внесення в ґрунту водного аміаку, раціонально використовувати транспортні засоби і ємності, завозити і застосовувати водний аміак слід концентровано, стосовно до зон розташування заводів-

постачальників. Перевозити водний аміак залізницею на великі відстані не вигідно. У цих зонах і областях повинні виділятися райони і господарства, де водний аміак застосовується в великих кількостях і на якомога більшій площі, що дозволить поліпшити найбільш повне і раціональне використання обладнання, автотранспорту та машин.

2. Величезне значення в організації застосування водного аміаку грає будівництво складських ємностей при станціях залізниць і пристанях, в радгоспах і колгоспах в зонах і районах, де планується застосування водного аміаку, а також придбання транспортних засобів і машин для внесення добрив. Розміри разових ємностей рекомендується визначати стосовно до місцевих умов з розрахунку, в середньому, на 50-60 % від загального обсягу планованого річного завезення водного аміаку, при цьому прирейкові ємності повинні складати приблизно 15-20 %, а ємність в господарствах 35-40 %.

Визначити розмір прирейкових складських ємностей для зберігання водного аміаку можна, користуючись наступною формулою:

$$V = \frac{X}{\text{КР} \cdot 0,91 \cdot 0,93}$$

де V - обсяг резервуарів всіх прирейкових складів в м<sup>3</sup>;

X — обсяг річного завезення водного аміаку в т;

КР — кратність заповнення ємностей прирейкових складів протягом року;

0,91 — питома вага 25 % водного аміаку при температурі = + 20 °С в т/м<sup>3</sup>;

0,93 — максимальний відсоток заповнення резервуарів водним аміаком.

Розміри прирейкових ємностей залежать від кратності їх заповнення. Якщо прийняти кратність заповнення ємностей дорівнює 3, тоді, наприклад, для 125000 т. водного аміаку, споживаного за рік в даному районі, буде

потрібно побудувати прирейкових складів із загальною ємністю резервуарів рівній 125000.

#### 4.3 Токсичність застосовуваних або одержуваних речовин

У досліджуваній холодильній установці використовується водоаміачних суміш. Вода нетоксична. У свою чергу аміак - токсична сполука. Аміак небезпечний при витоку його в навколишнє середовище.

Пари аміаку в концентрації 0,7 мг/л викликають сильне подразнення очей і верхніх дихальних шляхів. З'являється гіперемія слизових оболонок очей і носоглотки, кашель, блювота.

Більш високі концентрації аміаку викликають набряк губ і кон'юнктивіт, тимчасову сліпоту, тяжкість у грудях, кашель з пінистої мокротою, ціаноз, тахікардію.

Може наступити асфіксія внаслідок опіку та набряку гортані. Через кілька годин іноді розвивається набряк легенів.

Смертельна доза водних розчинів аміаку при прийомі всередину 25-50 мл для 10% розчину і 10-15 мл для 25% розчину. ГДК аміаку в повітрі виробничих приміщень 0,02 мг/л.

#### 4.4 Класифікація виробництва за ступенем вибухової, вибухопожежної та пожежної небезпеки згідно ОНТП24-86

Пожежонебезпечної зоною називають простір всередині і зовні приміщення (зовнішньої установки або біля неї), в межах якого або періодично відбувається круговорот горючих речовин.

Підприємство з використанням аміаку відноситься до категорії «Б» - вибухопожежонебезпечних підприємство (також сюди відносяться підприємства виробництва аміаку).

Це означає, що в повітрі внутрішніх приміщень може накопичуватися аміак, який має шанс різко вибухнути. При цьому надлишковий тиск у приміщенні може скласти від 5 кПа.

#### 4.5 Забезпечення вибухобезпеки експлуатації обладнання

Основні принципи вибухобезпеки універсальні у всіх країнах світу. Вони засновані на рекомендаціях Міжнародної Електротехнічної Комісії (МЕК), яка запропонувала методи перевірки апаратури радіозв'язку на відповідність цим вимогам і методи її сертифікації відповідним центрам у Європі і в США. І хоча стандарти в різних країнах мають різні, підходи і методи класифікації у них практично збігаються. Саме тому, якщо апаратура має присвоєний сертифікаційним центром Європи або США клас вибухозахищеності, пройшовши в них відповідну перевірку, це дає підставу вважати, що дана апаратура успішно пройде сертифікацію в будь-якій країні світу. Необхідно підкреслити, що отримання російського сертифіката є обов'язковим, незалежно від наявності сертифікати міжнародного зразка.

Рівні вибухозахищеність електрообладнання мають в класифікації позначення 2, 1 і 0:

1. Рівень 2 - електрообладнання підвищеної надійності проти вибуху: в ньому вибухозахист забезпечується тільки в нормальному режимі роботи;
2. Рівень 1 - вибухобезпечне електрообладнання: вибухозахищеність забезпечується як при нормальних режимах роботи, так і при ймовірних пошкодженнях, що залежать від умов експлуатації, крім пошкоджень засобів, що забезпечують вибухозахищеність;
3. Рівень 0 - особливо вибухобезпечне обладнання, в якому застосовані спеціальні заходи і засоби захисту від вибуху.

#### 4.6 Методи забезпечення вибухобезпеки обладнання

Існує кілька методів забезпечення вибухобезпеки, мета яких – запобігти можливості контакту внутрішніх іскроутворюючого або тепловиділяючих елементів апаратури з зовнішньої вибухонебезпечним середовищем, або перешкоджати виходу назовні вибуху, який виник всередині зовнішньої оболонки апаратури шляхом його локалізації:

1. локалізація, або стримування вибуху - запобігання поширенню вибуху за межі оболонки;

2. ізоляція, або герметизація - заливка компаундом, лаком, підтримання високого тиску всередині оболонки продувкою обладнання стисненим повітрям або інертним газом;

3. заповнення оболонки кварцовим піском, занурення обладнання в масло, що застосовується, наприклад, для обмоток трансформаторів;

4. запобігання, або обмеження електричної і теплової енергії, що виділяється - застосування в методі захисту «іскробезпечного електричного кола».

У європейській класифікації нарозчинуться деталізація застосованого в обладнанні типу вибухозахисту (вона визнається в будь-якій країні Європи і зустрічається в сертифікатах на вибухозахищене обладнання):

1. d - вибухонепроникна оболонка;
2. e - підвищена безпека;
3. ia - іскробезпечне електричне коло (Zone 0 – вибухонебезпечна атмосфера);
4. ib - іскробезпечне електричне коло (Zone 1 – вибухонебезпечна атмосфера, наприклад, у випадках аварій);
5. h - герметична ізоляція;
6. m - герметизація;
7. o - відсутність іскроутворення;
8. p - метод підвищеного тиску;
9. q - заповнення порошком;
10. s - спецзахист.

#### 4.7 Категорії вибухонебезпечності суміші

В існуючій класифікації передбачені дві категорії: I і II.

Категорія I визначає вимоги до обладнання, призначеного для роботи в шахтах і рудниках, де є небезпека вибуху рудникового метану.

До категорії II відносяться обладнання, яке використовується для роботи в умовах можливого утворення промислових вибухонебезпечних сумішей газів і суспензій.

Існують три підкатегорії категорії II, ПА, ПВ, ПС. Кожна наступна категорія включає (може замінити) попередню, тобто, категорія С є вищою і відповідає вимогам усіх категорій - А, В і С. Вона, таким чином, є найбільш «суворою».

Категорії вибухонебезпечності суміші деталізуються в залежності від температури самозаймання вибухонебезпечних газів і сумішей.

Група суміші	Температура самоспалахування, °С
T <sub>1</sub>	Більше 450
T <sub>2</sub>	Від 300 до 450
T <sub>3</sub>	Від 200 до 300
T <sub>4</sub>	Від 135 до 200
T <sub>5</sub>	Від 100 до 135
T <sub>6</sub>	Від 85 до 100

Аміак відноситься до категорії ПА.

#### 4.8 Випробування судин, працюючих під тиском

При гідравлічному випробуванні на міцність, сторона нагнітання (конденсатори, ресивери і т.д.) повинна витримати надлишковий тиск в розмірі  $P = 25 \text{ кг/см}^2$ , а сторона всмоктування (випарник, абсорбер, циркуляційний і дренажний ресивери, тощо)  $P = 20 \text{ кг/см}^2$ .

При повітряному випробуванні (на щільність) сторона нагнітання повинна витримати надлишковий тиск  $P = 20 \text{ кг/см}^2$ , а сторона всмоктування, в свою чергу  $P = 16 \text{ кг/см}^2$ .

Розрахунковим тиском  $P_{расч}$  є максимальний робочий тиск.

Апарат (посудина) вважається таким, що витримав випробування, якщо не виявиться ознак розриву, пропуску аміаку, залишкових деформацій після випробування.

Відчуваючи апарат повітряним тиском, вживають заходів обережності.

Вентиль на наповнюваному трубопроводі від джерела тиску і манометра виводять за межі приміщення, в якому знаходиться випробуваний апарат (посудина), а обслуговуючий персонал виводять в безпечне місце.

Тиск повітря піднімають поступово, оглядаючи при цьому візуально апарати для виявлення деформацій.

Остаточний огляд апаратів проводять за робочого тиску і поєднують з випробуванням на міцність.

Закінчивши випробування стисненим повітрям, виконують вакуумування системи. Вона залишається під вакуумом протягом 18 годин, під тиском рівним 40 мм. рт. ст. Тиск фіксують кожну годину.

#### 4.9 Методи визначення місць витоків холодильного агента.

Однією з найскладніших завдань при обслуговуванні герметичних систем є пошук місця витoku холодоагенту. Витік може виникнути як в трубопроводі, так і в будь-якому з компонентів системи, доступ до якого утруднений або навіть неможливий. Пошук витoku може зажадати великих зусиль, під час виконання даного виду робіт можна бути впевненим, що витік холодоагенту виникла в єдиному місці.

##### 4.9.1 Виявлення витoku за допомогою мильного розчину

Мильний розчин застосовується в тому випадку, коли з високим ступенем ймовірності відома область виникнення витoku. Наприклад, ця область визначена електронним течешукачем.

Приклад: Монтажник замінює компонент системи і знає, що в контурі існує витік і / або спостерігає забруднення ділянки маслом. У цьому випадку доречно скористатися саме мильним розчином.

Даний метод виявлення витоків є найбільш простим і дешевим.

На сучасному ринку є велика кількість мильних розчинів. Деякі фахівці виготовляють власні розчини. Окремі види розчинів продаються разом з помазком, інші забезпечуються спеціальними тампонами (вбирають кульки на жорсткому дроті, прикриті ковпачком). Певні розчини виробляються з розпилювачем для нанесення на ділянку системи за короткий проміжок часу, що є незаперечною перевагою. Недолік розпилювачів полягає в тому, що після проведення робіт необхідно час для очищення трубопроводів або компонентів герметичного контуру. До деяких видів мильних розчинів додають антифриз, який не замерзає на охолоджених поверхнях. Особливі мильні розчини мають досить низьку щільність, що дає можливість виявити мікроскопічні виток холодоагенту.

Особливості застосування мильного розчину.

1. Якщо тиск в системі недостатньо для визначення місця протікання, можна, відкачавши холодоагент з системи, заповнити її сухим азотом. Ця процедура дозволить заощадити час і полегшить пошук місця витоків. Крім того, в деяких випадках виходить з системи азот створює шум і вказує на місце протікання.

2. Під час пошуку витоків забороняється підвищувати тиск в системі вище меж, встановлених виробником. Рівень максимально допустимого тиску вказується на табличці, яка встановлюється безпосередньо на агрегаті. Якщо цих даних немає, то слід виходити з того, що тиск зазвичай не повинна перевищувати 10 бар.

3. Мильний розчин доречно застосовувати у випадках, коли поруч з холодною системою виникають масляні плями, що свідчать про протікання в місцях їх появи.

#### 4.9.2 Метод занурення в воду

Даний метод застосовується в тому випадку, коли система є досить компактною (наприклад, побутові пристрої для охолодження і кондиціонування

повітря) і з неї можливо витягти вимагає перевірки елемент. Цей елемент слід герметизувати, заповнити сухим азотом під тиском і занурити в ємність з водою. Місце витіку визначається по тому, що з'являтимуться бульбашки.

#### 4.9.3 Поради щодо застосування методу занурення в воду

1. У воду можна додати миючий засіб, який знизить поверхневий натяг і не допустить прилипання бульбашок до поверхні компонентів.

2. Іноді гаряча вода в ємності дозволяє підвищити тиск холодоагенту усередині компонента системи або труби. Однак при використанні сухого азоту цей захід виявиться неефективною, так як тиск азоту збільшується незначно.

#### 4.9.4 Галоїдний течешукач

Течешукач виявляє навіть такі малі витіку, як 150 грамів на рік. Робота галоїдного течешукача заснована на принципі пропускання повітря через мідний елемент, який нагрівається вуглеводневим паливом. Якщо в повітрі присутні пари холодоагенту, полум'я в віконці течешукача змінює колір з синього на зелений.

Такий прилад менш чутливий і більш небезпечний (відкрите полум'я), ніж електронний течешукач.

При використанні галоїдного течешукача може виникнути така ситуація: при розкладанні холодоагенту виділяються отруйні гази, які можуть негативно вплинути на здоров'я людини.

#### 4.9.5 Метод проникаючого фарбника

Це метод додавання в систему барвника, який виступить на місці протікання через певну кількість часу.

Існують також ультрафіолетові барвники для пошуку місця витіку, але вони вимагають більш дорогого устаткування:

1. Ультрафіолетова лампа;

2. Ультрафіолетовий барвник;
3. Засоби закачування барвника в систему, що перешкоджають попаданню вологи і повітря.

Даний метод виявлення вимагає тривалого періоду часу, тому що закачаний в систему барвник не відразу досягає місця витіку і стає помітним монтажника.

У більшості випадків цей метод застосовується в системах автомобільного кондиціонування.

Поради щодо використання методу проникаючого барвника:

1. У герметичній системі охолодження барвники можуть вважатися забруднюючими речовинами, а в ході їх закачування в неї може потрапити волога. Навіть невелика кількість барвника може негативно позначитися на тривалості служби системи.

2. Даний метод займає багато часу, так як барвник проникає через місце витіку через кілька годин або днів. Для застосування цього методу необхідно мати доступ до всіх компонентів системи, що обмежує сферу його застосування.

#### 4.9.6 Метод перевірки системи під тиском

Цей метод полягає в підвищенні тиску в контурі системи (не вище 10 бар) шляхом закачування сухого азоту (без кисню).

Через деякий проміжок часу слід перевірити систему на предмет зниження рівня тиску (манометр високого тиску). Чим вище тиск, тим швидше можна виявити витік.

Під час пошуку витіку холодоагенту забороняється підвищувати тиск в системі понад встановлені виробником обмежень.

Недолік цього методу виявлення витіків полягає в тому, що він застосовується лише для систем, які можна відключити на деякий час (зазвичай на ніч або довше).

Позитивним моментом застосування цього методу є висока ймовірність виявлення протікання в системі за рахунок фіксування зниження рівня тиску в герметичному контурі.

Недоліки методу:

1. Цей метод дозволяє визначити тільки наявність протікання, а не її місце.

2. Метод підвищення тиску трудомісткий, але в деяких випадках він є єдино можливим способом визначити витік. Зазвичай він застосовується при відсутності доступу до компонентів системи, де імовірно виник витік. Наприклад: прихована лінія холодоагенту, вмонтований в стіну конденсатор або випарник. Представлений метод має на увазі ізолювання компонента (а також герметизація і закачування сухого азоту), де імовірно виник витік холодоагенту, від іншої частини системи. Далі виконується описана вище процедура. Швидке зниження тиску означає наявність серйозної витіку в компоненті або частини системи. Повільне зниження вказує на незначну витік. Якщо рівень тиску залишається постійним, то значить, що компонент справний.

Цей метод може скоротити час робіт тільки в тому випадку, якщо існує можливість відключення системи на тривалий термін. Після виявлення витіку слід оцінити можливість ремонту. Якщо елемент не підлягає ремонту, його слід замінити. Перехідник для труб і швидкоз'ємні з'єднувачі допоможуть заощадити час. Їх можна швидко під'єднати до частини системи, яка була ізолювана, що допоможе уникнути механічних або паяних з'єднань.

#### 4.9.7 Електронні течешукачі

Електронні течешукачі є найбільш ефективними і дозволяють максимально чітко і швидко визначити місце витіку холодоагенту. Такий вид пристроїв використовується в тому випадку, коли передбачуване місце витіку невідомо.

Після виявлення області розгерметизації наноситься мильний розчин. Застосування електронних течешукачів, на жаль, обмежена. Вони застосовуються лише в тих випадках, коли система працює на хлорфторвуглеці (ХФВ) та гідрохлорфторугеродах (ГХФУ).

Поради щодо використання електронного детектора шукаємо.

1. Не рекомендується використовувати електронний течешукач, якщо система працює не на ХФУ або ГХФУ холодоагентах.

2. Щоб визначити можливість використання детектора шукаємо, слід ознайомитися з його характеристиками.

3. Оксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) і спирт негативно впливають на чутливість більшості електронних течешукачів. Перед використанням приладу слід переконатися у відсутності цих речовин в повітрі. Важливе зауваження:

Багато електронні течешукачів не рекомендується використовувати в атмосфері, що містить горючі гази. Датчик працює при дуже високій температурі. Контакт датчика з палим газом призводить до вибуху.

1. Якщо передбачуваний витік малий, його область можна ізолювати на деякий час з тим, щоб там виросла концентрація холодоагенту. Процедура здійснюється наступним чином:

2. Обернути місце передбачуваної протікання целофаном і, подавши холодоагент під підвищеним тиском, почекати деякий час.

3. Потім прорізати пакет знизу і з допомогою детектора течешукача перевірити, чи є там холодоагент.

#### 4.9.8 Ультразвукові течешукачи

Ультразвукові течешукачи з'явилися в холодильній промисловості відносно недавно.

Вони являють собою пристрої, які посилюють звуки, які людина почути не може.

Більшість таких уловлювачів дозволяють монтажника чути звук, що виникає навіть при малій витокі.

Процедура може бути ефективною тільки в тому випадку, коли в приміщенні повністю відсутні сторонні звуки. Як правило, домогтися повної шумоізоляції при проведенні робіт неможливо, тому використання ультразвукових течешукачів сильно обмежена.

Чим вище тиск в системі, тим більше шансів виявити (почути) витік.

Застосування ультразвукового детектора течешукача схоже з використанням електронного за одним винятком.

Його ефективність набагато вище, якщо в якості робочого середовища під тиском використовується сухий азот, так як його питома вага нижче, ніж у холодоагенту. Тому азот випаровується з системи швидше, і течешукач легко виявляє протікання.

#### 4.10 Порядок проведення інструктажу про заходи безпеки

Відповідно до чинного законодавства про організацію роботи з охорони праці, адміністрація районних і обласних об'єднань, складів і транспортних організацій зобов'язана проводити інструктаж працюючих з водним аміаком по безпечним прийомам роботи.

Інструктаж повинен проводитися:

- а) у разі допуску до роботи на складах, базах, на транспорті, при роботі;
- б) при здійсненні фахівцями контролю за виконанням роботи по зберіганню, транспортуванню водного аміаку (повсякденний інструктаж).

Після проведення інструктажу при видачі доручення заповнюється картка, в якій записуються відомості про проведення інструктажів. Картка зберігається в особовій справі працівника. Про проведення інструктажу на робочому місці має бути зафіксована в журналі реєстрації проведених інструктажів.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра було розроблено і обґрунтовано способи підвищення енергетичної ефективності систем кондиціонування за допомогою абсорбційних водоаміачних термотрансформаторов (АТТ) з використанням сонячної енергії.

Відповідно до цього було вирішено поставлені завдання і отримано наступні результати.

Проведено огляд літературно-патентних джерел. На його основі визначено найбільш перспективні з точки зору теплових режимів АТТ різних типів – традиційні водоаміачні, з бустер-компресором.

Розглянуто принципова схема опалення та кондиціонування повітря з елементами акумуляції тепла і холоду.

Виконано розрахунки циклу АТТ, та конструкторський розрахунок теплообміннику розчинів з використанням різних методів.

У ході дослідження сформовано принципову схему сонячної системи кондиціонування та опалення, здатної забезпечувати необхідні параметри мікроклімату як у приміщеннях торговельно-розважального центру, так і в бомбосховищі.

Проведений SWOT-аналіз дозволив оцінити переваги та недоліки запропонованого проєкту, а також визначити основні зовнішні чинники, що впливають на ефективність його реалізації. Отримані результати засвідчили значний потенціал використання сонячної енергії для зниження енергоспоживання та підвищення рівня енергетичної автономності об'єкта. Економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження запропонованої системи.

Загальний обсяг інвестицій становить 3 598 200 грн, а очікуваний річний економічний ефект досягає 7 788 580 грн. За таких умов термін окупності проєкту складає 0,42 року, що свідчить про його високу економічну ефективність та інвестиційну привабливість.

Отже, реалізація запропонованого проєкту сприятиме підвищенню

енергоефективності торговельно-розважального центру, зменшенню витрат на енергоресурси, забезпеченню більшої енергетичної незалежності об'єкта та створенню належних умов функціонування бомбосховища. Запропоноване технічне рішення відповідає сучасним тенденціям розвитку енергоощадних технологій та принципам сталого розвитку

Розроблено заходи з охорони праці та пожежної безпеки при роботі холодильної установки з використанням водоаміачних суміші.

За дослідженням проєкту розробки альтернативних систем кондиціонування на основі абсорбційних термотрансформаторів з використанням альтернативних джерел енергії, результати експертних оцінок дозволяють рекомендувати проєкт до впровадження та визначають його ефективність на достатньому рівні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Альтернативна енергетика для Вашого будинку Детальніше: Сонячна батарея Sunport SPP350N60H, 350 Вт MWT (монокристалічна) <https://magus.com.ua/ua/p1569705568-solnechnaya-batareya-sunport.html>
2. Альтман Е.І, Бошкова І.Л. Гідравліка : навч. посіб. Одеса : ФОП Бондаренко М.О., 2020. 210 с.
3. Альтман Е.І, Бошкова І.Л. Гідрогазодинаміка : навч. посіб. Одеса : ФОП Бондаренко М.О., 2019. 188 с.
4. Басюркіна Н. Й. Ефективність використання інноваційно-інвестиційного потенціалу продовольчого бізнесу : монографія / ред. Ю. О. Бровкіна. Одеса : ОНАХТ, 2020. 151 с.
5. Березовська, Л., & Тітлов, О. (2023). Аналіз перспектив застосування абсорбційних холодильних систем з альтернативними джерелами теплової енергії. *Refrigeration Engineering and Technology*, 59(1), 73–83. <https://doi.org/10.15673/ret.v59i1.2615>
6. Березовська, Л., & Тітлов, О. (2023). Аналіз перспектив застосування абсорбційних холодильних систем з альтернативними джерелами теплової енергії. *Refrigeration Engineering and Technology*, 59(1), 73–83. <https://doi.org/10.15673/ret.v59i1.2615>
7. Дорошенко В.М., Тітлов О.С., Сагала Т.А., Біленко Н.О. Основи наукових досліджень. Одеса, 2019. 158 с.
8. Жихарєва Н.В. Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестационарних умовах : монографія. Одеса : ТЕС, 2022. 264 с.
9. Жихарєва Н.В. Моделювання та оптимізація систем кондиціонування повітря : навч. посіб. Одеса, 2016. 170 с.
10. Низькопотенційна енергетика /А. О. Редько та ін.; Харків: ТОВ "Друкарня Мадрид", 2016. 412 с.
11. Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Біленко Н.О. Методика визначення термодинамічної ефективності абсорбційних холодильних установок на

основі аналізу ексергетичних втрат в їх елементах. Холодильна техніка та технологія. 2018. № 1. С. 31-42. <https://doi.org/10.15673/ret.v54i1.988>

12. Біленко, Н., Тітлов, О., & Нікітін, Д. (2022). Оцінка термодинамічної ефективності абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів на основі аналізу ексергетичних втрат в їх елементах. *Refrigeration Engineering and Technology*, 58(2), 106-114. <https://doi.org/10.15673/ret.v58i2.2383>

13. Березовська, Л., & Тітлов, О. (2023). Аналіз перспектив застосування абсорбційних холодильних систем з альтернативними джерелами теплової енергії. *Refrigeration Engineering and Technology*, 59(1), 73-83. <https://doi.org/10.15673/ret.v59i1.2615>

14. Березовська, Л., & Тітлов, О. (2023). Результати термодинамічного аналізу типових абсорбційних холодильних агрегатів. *Refrigeration Engineering and Technology*, 59(3), 182-190. <https://doi.org/10.15673/ret.v59i3.2665>

15. Тітлов, О., Березовська, Л., Пономарьов, К., & Георгієш, К. (2024). Підвищення енергетичної ефективності генераторів абсорбційних холодильних агрегатів. *Refrigeration Engineering and Technology*, 60(4), 254-265. <https://doi.org/10.15673/ret.v60i4.3093>.

16. М.Г. Хмельнюк, Д.І. Важинський, Н.В. Жихарева/Сучасні технології осушення повітря./Холодильна техніка та технологія, (ОНАХТ, Одеса, Україна). № 3 (149), 2014. С.15—21.

17. Опріснення морської води. URL: <https://www.sciencedebate2008.com/opresneniye-morskoy-vody-sposoby-ustanovki-i-problemy/>

18. Екологія.Точка роси. URL: <https://ru-ecology.info/term/15842/>

19. Точка роси. URL: [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B0\\_%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B](https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B0_%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B)