Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра кріогенної техніки

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
# ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**На тему: «АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ В ПРОМИСЛОВИХ АКУМУЛЯТОРАХ ХОЛОДУ З ВОДНИМ ЛЬОДОМ ЯК АКУМУЛЮЮЧИМ ПРИРОДНИМ МАТЕРІАЛОМ»**

Здобувача Москін В.В.
2-го курсу КТ 252 групи
Керівники д.т.н. професор Морозюк Л.І.
к.т.н. доц. Соколовська-Єфименко В.В

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від _____ 2023 р., протокол №____

Завідувач кафедри КТ _____ Юрій Симоненко

Одеса - 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Низькотемпературної техніки та інженерної механікі
Кафедра Кріогенної техніки
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування»

Освітня програма «Кріогенні технології виробництва, зрідження і транспортування природного газу»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
**Завідувач кафедри КТ**

**д.т.н., проф. Симоненко Ю.М**
«__» ____ 2023 року

# З А В Д А Н Н Я
## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Москіна Василя Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема роботи Аналіз процесів у промислових акумуляторів холоду з водним льодом як акумулюючим природнім матеріалом.

Керівник роботи д.т.н. професор Морозюк Л.І.
к.т.н. доцент Соколовська-Єфименко Вікторія Вікторівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ОНТУ від 30 листопада 2023 року № 631-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 20 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Промисловий льодогенератора кубкового водного льоду в умовах експлуатації. Льодогенератор марки CV3000 (фірма-виробник Guangzhou Icesource Co., Ltd. (торговая марка CBFI).

4. Перелік питань, які потрібно розробити:
Вступ. Аналітична частина. А наліз літературних даних і постановка проблеми. Водний лід-Природний матеріал для акумуляторів холоду. Дослідження процесу виробництва льоду у льоду генераторах. Теоретичні положення регенерації тепла в циклах холодильної машини. Теоретична частина. Загальні положення. Установка для проведення експерименту. Програма для випробувань. Аналіз роботи РТО як елемента експериментальної установки. Аналіз результатів випробування. Загальні висновки. Охорона праці. Економічні показники. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу:
Презентація Power Point (12 слайдів)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці | доц. Грудко Б.Г. | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 02.02.2022

Керівники _____д.т.н. професор Морозюк Л.І.
_____доц. Соколовська-Єфименко В.В.

Завдання прийняв до виконання _____Москін В.В.

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| **1** | Вивчення технічного завдання | 5 днів | |
| **2** | Огляд і вивчення літератури | 14днів | |
| **3** | Розробка математичної моделі об'єкта | 2 дні | |
| **4** | Вибір методу дослідження | 20 днів | |
| **5** | Адаптація методів дослідження до практичного застосування | 15 днів | |
| **6** | Розробка графічних моделей | 2 дні | |
| **7** | Аналіз результатів досліджень | 2 дні | |
| **8** | Оформлення пояснювальної записки | 2 дні | |
| **9** | Обговорення та затвердження результатів роботи | 2 дні | |
| **10** | Підготовка матеріалів роботи до захисту | 2 дні | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

**Здобувач-дипломник** _____ Москін В.В.
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи** _____ Морозюк Л.І
( підпис ) (прізвище та ініціали)

*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 доброчинності*

***Здобувач-дипломник*** Москін В.В. _____
(ПІБ) ( підпис )

# АНОТАЦІЯ

*Акумулювання теплової енергії різного температурного потенціалу відбувається завдяки широкому спектру технологій. .Незважаючи на розвиток сучасних інноваційних технологій термохімічного акумулювання тепла, два старі процеси накопичення тепла (акумулювання явного і прихованого тепла), як і раніше, найбільш широко використовуються. Метою роботи є аналіз процесів в промислових акумуляторах холоду з водним льодом як акумулюючим природним матеріалом. Проведений огляд існуючих досліджень в галузі промислових акумуляторів холоду з водним льодом показав, що роботи у галузі акумуляції холоду розширюються в область малих промислових та комерційних установок на принципах енергозбереження. Проведено експериментальне дослідження промислового льодогенератора. Розглядання льодогенераторів за схемними рішеннями окремих блоків дозволило оцінити якісний і кількісний склад елементів для подальшого удосконалення процесу льодоутворення конкретної форми готового продукту. Встановлено, що для визначення незворотностей в процесах акумуляції вже на етапі проектування промислових акумуляторів холоду вимагає впровадження термодинамічного аналізу льодогенератора як енергоперетворювальної системи.*

## ABSTRACT

*Accumulation of thermal energy of different temperature potential occurs thanks to a wide range of technologies. .Despite the development of modern innovative technologies of thermochemical heat accumulation, two old processes of heat accumulation (accumulation of apparent and latent heat) are still the most widely used. The purpose of the work is the analysis of processes in industrial cold accumulators with water ice as an accumulating natural material. A review of existing research in the field of industrial cold storage with water ice showed that work in the field of cold storage is expanding into the field of small industrial and commercial installations based on the principles of energy conservation. An experimental study of an industrial ice generator was carried out. Consideration of ice generators according to the schematic solutions of individual blocks made it possible to evaluate the qualitative and quantitative composition of elements for further improvement of the ice formation process of a specific form of the finished product. It was established that in order to determine irreversibility in accumulation processes already at the design stage of industrial cold accumulators, the implementation of thermodynamic analysis of the ice generator as an energy conversion system is required.*

**ЗМІСТ**

ВСТУП ..... 7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА ..... 10
1.1 Аналіз літературних даних і постановка проблеми ..... 10
1.1.1 Водний лід - природний матеріал для акумуляторів холоду ..... 10
1.1.2 Дослідження процесу виробництва льоду у льодогенераторах .. 17
1.1.3 Теоретичні положення регенерації тепла в цикли холодильної машини ..... 20
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА. ..... 20
2.1 Загальні положення ..... 25
2.1.1 Устаткування для проведення експерименту ..... 25
2.2 Програма проведення випробувань ..... 28
2.3 Аналіз роботи РТО як елемента експериментальної установки ..... 36
2.4 Аналіз результатів випробувань ..... 45
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ..... 48
ОХОРОНА ПРАЦІ ..... 49
ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ..... 65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ..... 70

# ВСТУП

**Актуальність теми**

Світовий попит на енергію продовжує зростати у зв'язку зі швидким зростанням використання викопних видів палива, ціни на які та екологічні проблеми спонукають вчених та інженерів знаходити всеосяжні рішення. Використання відновлювальних джерел енергії та акумулювання тепла добре підходять для вирішення цих завдань.

Акумулювання теплової енергії (АТЕ) різного температурного потенціалу відбувається завдяки широкому спектру технологій. Залежно від конкретної технології, воно дає можливість зберігати та використовувати надмірну теплову енергію (тепло чи холод) протягом кількох годин, днів або навіть кількох місяців у масштабах, характерних для окремих користувачів, промислових виробництв у межах району, міста чи регіону. .Незважаючи на розвиток сучасних інноваційних технологій термохімічного акумулювання тепла, два старі процеси накопичення тепла (акумулювання явного і прихованого тепла), як і раніше, найбільш широко використовуються

Приклади використання природних процесів – баланс попиту енергії протягом доби, зберігання тепла влітку для опалення взимку чи зимового холоду для літнього кондиціювання повітря. Серед засобів зберігання – ємності для зберігання матеріалів, природні маси материнського ґрунту або корінна порода, пов'язана з теплообмінниками за допомогою свердловин, глибокі водоносні горизонти між непроникними шарами і т. ін.

Іншими джерелами теплової енергії для зберігання можуть бути тепло або холод, штучно вироблені термотрансформаторами у позапікові періоди виробництва дешевої електроенергії; тепло від теплоелектроцентралей; тепло, вироблене відновлювальними джерелами енергії, що перевищують потреби електромереж, і скидне тепло від промислових процесів. Як сезонне, так і

короткочасне зберігання тепла та холоду вважається важливим засобом для дешевого балансування високої частки різноманітних відновлюваних джерел енергії та реалізації тригенерації в енергосистемах для досягнення 100% частки відновлюваної енергії.

Аналіз сучасних наукових досліджень у галузі технологій накопичення тепла та холоду показав, що існує чотири основних напрямки, освоєння яких може значно розширити область використання акумульованого тепла як джерела енергозбереження: контроль процесів виробництва та зберігання тепла, ідеальне розуміння та створення матеріалів, що використовуються для кожного процесу зберігання, правильний вибір схемно-циклового та конструктивного рішення генератора та володіння системою знань та вмінь, пов'язаною з проектуванням ефективної системи [1].

Кожен із зазначених напрямів представляє дуже складну область дослідження, і більшість робіт зосереджено на одному з напрямків шляхом поглиблення власних досліджень. Більшість акумуляторів тепла та холоду є елементами автономних промислових та комерційних систем, і саме з цим пов'язані деякі проблеми, що перешкоджають досконалості технологій. Розробка методів акумулювання тепла різних температурних потенціалів продовжується, і будь-які дослідження у зазначеній галузі є актуальними.

**Метою роботи є** аналіз процесів в промислових акумуляторах холоду з водним льодом як акумулюючим природним матеріалом.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

– провести огляд існуючих досліджень в галузі промислових акумуляторів холоду з водним льодом;

– провести експериментальне дослідження промислового льодогенератора;

– розробити рекомендації щодо модернізації існуючої системи отримання та акумулювання кубикового водного льоду;

– проаналізувати отримані результати аналізу.

**Об'єктом дослідження** є промисловий льодогенератор кубикового льоду

**Предметом дослідження** є термодинамічні процеси, що здійснюються в елементах технологічної схеми.

**Методи дослідження** – процеси теплопередавання, гідродинамики які здійснюються в елементах льодогенератора.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Модернізація існуючого обладнання для підвищення його експлуатаційної надійності та енергетичної ефективності

**Фактологічною основою є** підручники, навчальні посібники, матеріали фірм-виробників, які містяться на відповідних інтернет-сайтах, періодичних технічних виданнях та ін.

**Структура роботи**

Магістерська робота складається з вступу, двох глав, загальних висновків, охорони праці, економічних показників, списку використаних джерел. Зміст роботи викладено на 71 сторінках, включаючи 13 рисунків, 9 таблиц, список інформаційних джерел 17 найменувань

# РОЗДІЛ 1
# АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

### 1.1.1. Водний лід - природний матеріал для акумуляторів холоду

Охолодження різних об'єктів та підтримка їх на заданому температурному рівні завжди мало велике значення у житті людини. Насамперед, це стосується зберігання харчових продуктів, що безпосередньо впливає на якість харчування і, отже, здоров'я людей. Найбільш швидко і просто зберегти продукти можна застосовуючи водний лід, отриманий природним шляхом або за допомогою спеціальних холодильних машин.

Вода є структурно-складною сполукою водню (11,9%) і кисню (88,1%), що має важливі властивості для льодотехніки.

Водний лід – це результат переходу води у твердий стан при відводі від неї теплової енергії. В ході процесу відведення тепла у водному середовищі відбувається фазове перетворення першого роду, що супроводжується стрибкоподібною зміною внутрішньої енергії, об'єму, а також протікають з виділенням прихованої теплоти фазового переходу, яке для води при нульовій температурі становить W=334 кДж/кг. Процес утворення льоду часто супроводжується утворенням межі фазового перетворення.

Водний лід має особливі теплофізичні властивості, він доступний, має відносно низьку вартість, повністю сумісний з навколишнім середовищем, цим обумовлено його широке застосування в різних галузях науки і техніки. Зростає застосування водного льоду у різних його формах і модифікаціях, зокрема, як холодоносій з постійною температурою і мінливим агрегатним станом, він широко застосовуються в сільському господарстві, харчовій промисловості, торгівельній галузі, будівельній справі та ін. Істотною перевагою застосування водного льоду для охолодження продуктів є відсутність підморожування, що у

ряді випадків украй важливо. У зв'язку з великою сферою застосування виробництво водного льоду є важливим технічним завданням.

Отримання та споживання штучного льоду набуло в даний час глобального характеру як у промисловості (створення ізотермічних умов у хімії, обробка розплавів алюмінію в металургії, охолодження та збереження харчових продуктів тощо), так і у сфері обслуговування (власне споживання харчового льоду, охолодження соків, напоїв,, тощо).

Застосування водольодяних суспензій в холодильній техніці значно скорочує габарити теплообмінного устаткування, інтенсивніше протікають процеси тепломасообміну. Класичні методи одержання дрібнодисперсного водного льоду припускають наявність парокомпресорних холодильних машин, що використовують різні види холодильних агентів.

*Штучний лід* розрізняють за призначенням, залежно від цього можна назвати такі види:

*Технічний.* Він зазвичай каламутний, що обумовлено наявністю в ньому включень, що перейшли із води. Ці включення можуть бути газоподібними, рідкими та твердими. Вода розчиняє складові повітря гази до 3% за обсягом. При замерзанні води розчинені у ній гази повністю виділяються з розчину, утворюючи бульбашки газоподібних включень між кристалами льоду. Хоча повітря більш прозоре, ніж лід, присутність повітряних бульбашок зменшує проникність льоду для світлових променів внаслідок відбиття та розсіювання променів на поверхні розділу льоду з повітряними бульбашками. У більшості випадків вода містить розчинені в ній солі, головним чином кальцію та магнію. Замерзання такого розчину починається з утворення кристалів чистого, тобто абсолютно прозорого льоду. Розчин, що залишається, все більше і більше концентрується, температура його замерзання знижується, він може вмерзати в лід у вигляді плівок і окремих рідких включень між кристалами льоду, що утворюються. Тверді домішки, наприклад, пісок, мул, які знаходилися у воді у

зваженому стані, також вмерзають у лід. При великій кількості різних включень лід виходить білястого і навіть молочно-білого кольору.

*Прозорий.* У процесі кристалізації відбувається своєрідне самоочищення води від домішок, що полягає у виділенні домішок на поверхні чистих і, отже, прозорих кристалів льоду. Якщо ці домішки негайно по їх випаданню видаляти (змивати) з поверхні кристалів, то лід за будь-якої його товщини буде прозорим.

*Харчовий.* Він виготовляється з води, якість якої відповідає стандарту на питну воду. Крім того, при його виготовленні та зберіганні повинні виконуватися всі санітарно-гігієнічні заходи, які потрібні для харчових виробництв. Бажано, щоб це була прозора крига.

*Антисептичний*. Отриманий з води, до якої доданий антисептик (речовина, що перешкоджає розвитку бактерій), наприклад, аскорбінова кислота, нітрат натрію, дозволені Держсанінспекцією, називається антисептичним. Отримують також лід з антибіотиком, наприклад, біоміцином (хлор-тетрацикліном) масовою концентрацією (1 + 5) 10-4%. Антисептичний лід використовують із збільшення терміну зберігання риб.

*Лід з морської води.* Його виготовляють із солоної води (морської або розсолу) і застосовують при перевезенні та зберіганні свіжовиловленої риби. Завдяки присутності солі та нижчій температурі танення триваліше зберігається риба.

Потреба льоду відрізняється для закладів різного типу. Залежно від сезону для фаст-фудів вона становить 0,3 – 0.5 кг на відвідувача, ресторанів з повним набором послуг – удвічі більше, а для барів ще більше – до 1,3 кг. У холодильній техніці широко поширений процес отримання льоду, технологія якого в даний час в більшості випадків реалізується в льодогенераторах.

*Льодогенератори* – автоматичні пристрої, що застосовуються для отримання льоду.

Конструктивно склад і пристрій льодогенератора такий же, як у звичайної холодильної машини. Усі основні елементи присутні в його компонуванні:

компресор, конденсатор, випарник, дросельний пристрій, а також додаткові, що дозволяють зробити роботу безаварійною і автоматизованою.

Відмінністю в пристрої та принципі роботи льодогенератора від звичайної холодильної машини є наявність системи подавання та очищення води, системи вивантаження готового льоду та конструкції випарника.

За допомогою водяного насосу охолоджена вода в резервуарі-сховищі безперервно циркулює в тарілках і ящиках льодогенератора, охолоджуючись за допомогою холодильної машини. Генератор забирає тепло від води, що надходить на випарник. Вода охолоджується до температури 0°С, а потім поступово перетворюється на лід. Коли крига досягає певного рівня товщини, знову починається нова циркуляція.

За продуктивністю льодогенератори поділяють на побутові та промислові. До побутових моделей відносять ті пристрої, які застосовуються у закладах громадського харчування та барах. Продуктивність такого обладнання не перевищує 100 кг льоду на добу. Промислові моделі, які використовують на харчових підприємствах, можуть виробляти лід цілими тоннами. У такій кількості він потрібний для охолодження різних продуктів харчування. Зокрема його використовують для підтримки низької температури риби, викладеної на відкриті прилавки, де немає холодильного обладнання.

Льодогенератори виробляють формений лід (у вигляді кубиків, циліндрів, конусів, куль, блоків, луски і т.ін.).

*Блоковий* виробляють у вигляді прямокутного паралелепіпеда або усіченої піраміди. У більшості випадків блоковий лід отримують шляхом заморожування води у відкритих судинах, які називаються формами ємністюі від 12 до 50 кг.

*Плитковий*. Його наморожують на плоскій вертикальній поверхні завдовжки 3-6 м і висотою 2-3 м шаром завтовшки 0,2-0,3 м. Маса таких плит 1,5-5 т.

*Циліндричний.* Його роблять у вигляді суцільних або частіше порожнистих циліндрів, які отримують шляхом наморожування води на внутрішній поверхні

труб зазвичай діаметрами 57х3,5 або 38х3 мм. Циліндричний лід діаметром 50 чи 32 мм нарізають на шматки завдовжки 30-100 мм.

*Лускатий* виробляють у вигляді платівок різної конфігурації завтовшки

0,5-5 мм. Наморожують такий лід зазвичай на поверхні труб чи барабанів (дисків).

*Шкаралупчастий.* Його одержують на циліндричній поверхні товщиною

від 3 до 20 мм.

Для виробництва льоду визначеної форми випарники повинні мати форму продукції. При цьому для легкого та швидкого вивантаження готового льоду у випарник подається гаряча пара з нагнітальної лінії компресора.

У цей момент процес заморожування зупиняється і відновлюється після повного відтавання випарника.

Льодогенератори, що створюють лід у формі кубиків, є найпопулярнішими побутовими моделями. Саме така форма використовується у барах для приготування коктейлів. Вага кубиків за стандартом варіюється в межах від 13 до 33 гр. Така форма дозволяє швидко охолоджувати напій, але при цьому довше таїти, завдяки чому коктейль чи спиртне не розбавляється талою водою.

Циліндрична форма льоду при однаковій масі з кубиками має велику площу контакту з напоєм, оскільки порожня всередині, як трубка. Завдяки цьому рідина остигає швидше. Єдиний недолік такого льоду полягає в тому, що він не так компактно розміщується у склянці чи келиху. Внаслідок цього порушується естетика напою. Хоча охолодження і відбувається швидко, але циліндри тонші, ніж кубики, тому вони швидко тануть, у результаті концентрація напою розбавляється водою.

Лід у формі пірамідок має вагу від 5 до 7 гр. Він швидко розчиняється та охолоджує напій, але при цьому спостерігається розведення смаку водою. Зазвичай льодогенератори цього типу використовуються у фастфудах, де напій подається в непрозорій склянці, тому естетика не така важлива. Маленькі пірамідки швидко тануть, тож напій клієнта охолоджується у прискореному

темпі. Завдяки цьому відвідувач менше затримується у закладі, не чекаючи, поки температура його соку чи газування буде холодною. Клієнт менше займає столик, що важливо для закладу, оскільки у ньому зазвичай спостерігається черга.

Лід у формі гранул має розмір від 5 до 10 мм. Він швидко тане і легко перемішується із напоєм. Особливість цієї форми в тому, що вона є стандартом льодогенераторів, які роблять лід із температурою 0 градусів. Тому гранули білі, а чи не прозорі.

Протягом багатьох років лід у формі сфери (крижана куля, крижана сфера, тощо) вважається одним з найкращих типів форми льоду для барів та ресторанів. Круглий лід стає популярним, тому що він тане повільніше, ніж традиційні кубики. Сфера має меншу площу поверхні на одиницю об'єму, ніж будь-яка інша форма. Чим менше площа поверхні, тим менший контакт між льодом та охолоджуючим напоєм. Менший контакт означає, що охолодний ефект льоду не змінюється, але напій буде менш розбавлений водою. Потрібно приблизно 20 стандартних кухонних кубиків льоду, щоб отримати загальний обсяг крижаної сфери діаметром 60 мм.

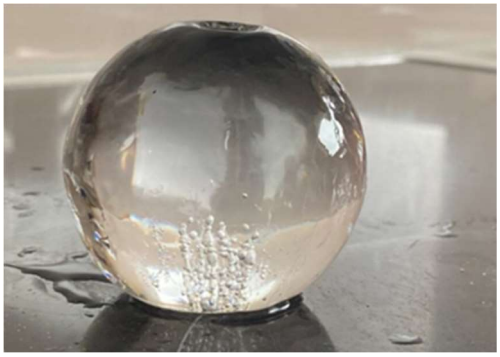


Рисунок 1.1 – Кулька льоду у формі сфери

Луска з льоду зазвичай застосовується для зберігання риби. Температура такого льоду становить від -6 до -12°С. Товщина лусочок всього 1-2 мм. Стандарт 2 мм використовується для охолодження риби, а 1мм – для м'яса.

а)

б)

Рисунок 1.2 – Кулькі лоьоду у формі кубиків (а) та циліндрів (б)

Льодогенератор може робити лід лише однієї форми. Неможливо перемикати режими, і змінювати параметри одержуваних шматочків.

Безформований лід (лускатий та гранульований) отримують з поверхні випарника способом зрізання чи сколювання за допомогою спеціальних ножів. У таких льодогенераторах процес заморожування безперервний.

Щоб льодогенератор працював, його необхідно постачати чистою питною водою. За цим принципом пристрої поділяються на дві категорії - магістральні та заливні. Льодогенератор магістрального типу підключається до звичайної системи водопроводу. У їх конструкції передбачено спеціальний клапан для надходження води у прилад. Магістральний пристрій потребує підключення до каналізації.

Льодогенератори заливного типу мають у своїй конструкції спеціальну ємність, яку потрібно заповнювати водою вручну. Таке обладнання використовується у випадках, коли доступу до водопровідної води немає або вона забруднена.

Оскільки лід у більшості випадків використовується у великих кількостях, підприємства можуть використовувати власні льодогенератори для виробництва льоду, розміщені на їх виробничих площах.

### 1.1.2. Дослідження процесу виробництва льоду у льодогенераторах

Вартість льоду є складовою собівартості продуктів харчування. тому підвищення ефективності обладнання з виробництва льоду є важливим науково-технічним завданням. У роботах представлені результати експериментальних та теоретичних досліджень елементів льодогенераторів. конструкції яких безпосередньо впливають на процес льодоутворення та якість готового продукту. Розробка різних систем для виробництва льоду була результатом окремих зусиль щодо комбінованого застосування кількох хімічних та фізичних принципів для задоволення зростаючого внутрішнього та промислового попиту.

У роботі [2] проаналізовано розвиток різних систем виробництва льоду для побутових та промислових потреб, розглянуто застосування різних холодоагентів, відзначено деталі високого творчого підходу, виявлені їх розробниками, та індивідуально досягнуту продуктивність. Автори роботи [3] провели вивчення теплоакумулюючих характеристик системи «лід на змійовику». Експериментально досліджено вплив вихідних параметрів вторинної рідини. Також представлено деякі чисельні розрахунки, підтверджені експериментальними даними. Результати показали, що температура рідини на вході дуже впливає на акумулювання енергії льодом на змійовику.

У роботі [4] проведено дослідження характеристик фазового теплообміну лускатого льодогенератора. Дослідження проводилися за різних температур води, що омиває пластину випарника. В результаті аналізу оптимізовано період виробництва льоду для системи зберігання льоду. Автори роботи [5] представили комерційно доступний льодогенератор на основі фотогальванічної системи без акумуляторів. В інституті термодинаміки и теплотехніки (Штутгартський университет) [6] було спроеєктовано невеликий склад льоду з номінальним об'ємом 0,5 м3 для вимірювання робочих характеристик системи охолодження нового абсорбційного чиллера потужністю 10 кВт, що працює від сонячної енергії. Процеси зарядки та розрядки акумулятора були досліджені експериментально за різних температур на вході та різних площах

теплообмінника. У роботі [7] представлено інженерну імітаційну модель роботи автоматичного комерційного льодогенератора «кубера». Модель ґрунтується на фундаментальних фізичних принципах окремих компонентів системи. Результати моделювання за допомогою моделі порівнювалися з експериментальними даними повністю обладнаного стандартного льодогенератора потужністю 500 фунтів, що працює при різних температурах навколишнього повітря та води на вході. Результати моделювання показали, що точність моделі знаходиться в межах 5% для різних умов експлуатації. У роботі [8] проведено дослідження автоматичного льодогенератора для отримання кубиків льоду в контрольованих умовах довкілля (24°C та 32°C). Було проаналізовано енергоспоживання машини, швидкість виробництва кубиків льоду та продуктивність системи охолодження. Отриманий висновок про те, що температура навколишнього середовища сильно впливає на енергоспоживання машини, проте незначний вплив на кількість льоду, що виробляється за цикл. У роботі [9] досліджено льодогенератор з отриманням блочного льоду. Пристрій був запущений у тестовому режимі, щоб оцінити його продуктивність. Випробування показали, що сконструйована машина для виготовлення крижаних блоків здатна виробляти охолодний ефект, здатний перетворювати воду кімнатної температури (+28°C) на крижані блоки з температурою (-4..0°C) за 6 годин 30 хвилин. У дослідженні [10] надано нову концепцію опріснення морської води виморожуванням (FD). Розроблено та змодельоване процес FD на генераторі лускатого льоду, що використовує холодну енергію LNG, у процесі регазифікації. Як кристалізатор морської води було вибрано відерце для льоду на генераторі лускатого льоду. Розроблено та змодельовано динамічну модель морозильної секції.

У роботі [11] представлено експериментальне дослідження парокомпресійного холодильного циклу, що використовується в льодогенераторі з багатоканальним випарником. Для вивчення робочих характеристик системи охолодження льодогенератора тестується розподіл

температури рідини в багатоканальних випарних змійовиках і досліджуються динамічні зміни в кожному контурі, що охолоджує, під час фази льодоутворення. Результати показали, що зовнішні контури охолодження мають найбільші коливання температури, викликані великою початковою масовою витратою холодоагенту, що впорскується, і зовнішніми обуреннями навколишнього середовища. Щоб зменшити температурні коливання зовнішніх контурів, пропонується зменшити початкову масову витрату холодоагенту та відрегулювати початкове відкриття терморегулюючого клапана. У роботі [12] представлено експериментальне дослідження парокомпресійного холодильного циклу з переохолоджувачем, що застосовується в льодогенераторі. Для отримання кубиків льоду вибрано багатоканальний випарник. Досліджено фази утворення та танення льоду. Частина основних висновків зроблена на основі аналізу зібраних даних. Виявлено потенційні проблеми в роботі льодогенератора та запропоновано деякі покращення.

Група фахівців у роботі [13] встановила, що продуктивність лускатих льодогенераторів можна поліпшити шляхом зміни конструкції водорозподільного лотка, періоду приготування льоду і кількості води, що розподіляється, а також налаштуванням розміру канал потоку холодоагенту. Ефективність системи льодогенератора автори пропонують підвищити шляхом вибору правильної стратегії управління, оптимізації системи при змінному тепловому навантаженні та виборі холодоагенту. У багатьох представлених на ринку льодогенераторах використовують холодоагент R404A, який має високий показник GWP (3922). Заміна R404A вивчалася багатьма дослідниками. Наприклад, R454A, R454C [14, 15, 16].

Існує багато досліджень холодильної системи, що генерує лід; люди більше зацікавлені у використанні льодогенераторів та поліпшенні конструкції системного процесу, а робочі характеристики льодогенератора вивчені менш глибоко.

Обмежену кількість досліджень визначено тим, що результати моделювання робочих характеристик дуже узагальнені, і неможливо реалізувати в конкретні реальні прототипи. Моделювання представлено без експериментів або експерименти проведені без попереднього моделювання та класична проблема тепломасообміну в нестаціонарних режимах нагрівання або охолодження існує досі. Отже, є актуальним продовження наукових досліджень, пов'язаних із вивченням робочих характеристик діючих льодогенераторів. Такі дослідження допоможуть усвідомити фактичні проблеми роботи льодогенератора, з точки зору якості продукту, і знайти енергоефективну схему оптимізації, що дасть можливість розширити великий ринковий попит на формений лід.

## 1.2 Теоретичні положення регенерації тепла в циклі холодильної машини

Охолодження рідини перед регулюючим вентилем до температури холодного джерела повністю виключає втрати в регулювальному вентилі. Охолодження рідини до температури нижче Т конденсацій водою обмежене. Повне охолодження рідини перед регулюючим вентилем можливе шляхом використання деякої кількості рідини, відібраної у випарнику в процесі отримання корисної холодопродуктивності або нагріванням пари на всмоктуванні компресора. І тут застосовують регенеративний цикл. Охолодження рідини проводять у спеціальному теплообміннику, внутрішніми трубками якого рухається рідина з конденсатора, а в міжтрубному просторі відбувається кипіння частини рідини, взятої з випарника, або підігрів пари.

Оборотний цикл для відведення тепла в процесі охолодження рідини важко здійснити. Так як теплоємність перегрітої пари зазвичай менше теплоємності рідини, повністю охолодити рідину неможливо підігрівом пари до температури конденсації, а тому теплообмін між робочим тілом у вигляді пари і охолоджуваною рідиною буде неповним; останнє пов'язане з незворотними втратами.

Слід зазначити, що для робочих тіл, що взаємно розчиняються з маслом, перегрівання пари перед всмоктуванням його компресором має особливе значення.

Таким чином, регенерація з перегріванням пари перед його всмоктуванням при роботі машин, крім термодинамічних переваг, викликана практичними міркуваннями і з цієї причини широко застосовується.

Термодинамічна доцільність циклу з внутрішнім теплообміном та адіабатичним стиском пари неоднакова для різних робочих тіл і залежить значною мірою від умов зовнішнього середовища (температури джерел)

Нижча температура рідини, що надходить у РТО при охолодженні перед регулюючим вентилем, викликає зниження ефективності регенеративного охолодження за рахунок підігрівання пари. Внаслідок цього регенеративних циклах який завжди застосовують охолодження перед регулюючим вентилем. Разом з тим, термодинамічний аналіз показує, що термодинамічна досконаліть робочого тіла визначається взаємним зв'язком його фізичних властивостей в умовах зовнішнього середовища (температурний режим) і характером циклу. Тезультат термодинамічного аналізу у тому, щоб, спираючись на фізичні закономірності, підібрати характер циклу і робоче тіло те щоб їх процеси найбільше відповідали джерелам довкілля.

*Регенеративний теплообмінник*

У різних типах холодильних машин та теплових насосів регенерація тепла застосовується надзвичайно широко. Розглянемо традиційний регенеративний теплообмінник (РТО) (рис. 1.3). Його встановлюють на лінії рідкої робочої речовини після конденсатора і лінії пари після випарника.

Переохолодження рідини має сенс для агентів, у яких ліва прикордонна крива в діаграмі T-s більш полога. Переохолодження рідини в РТО можливе до температур значно нижче, ніж температура середовища, що охолоджує.

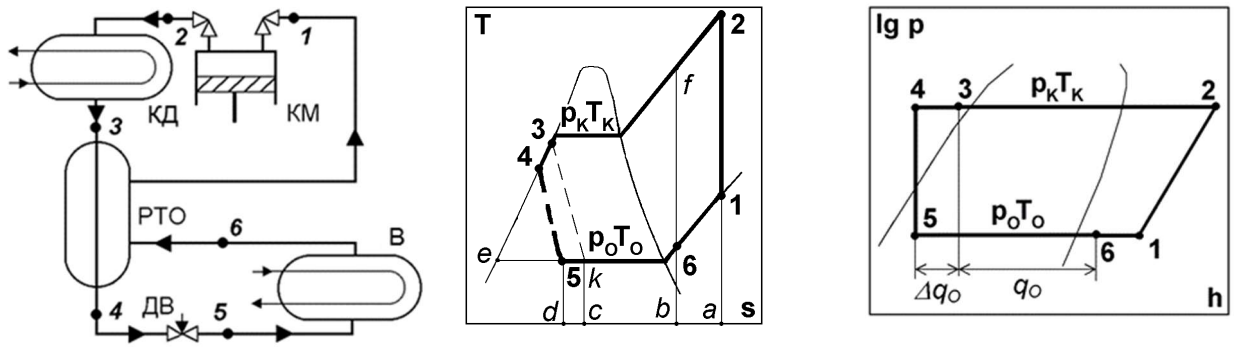



Рисунок 1.3 – Холодильна машина з РТО: а) схема; б, в) цикли

Раціональність застосування РТО зазвичай розглядається з позицій явних чинників (забезпечення «сухого ходу» компресора і збільшення холодопродуктивності), тобто. тих факторів, які можуть бути продемонстровані при побудові циклу та один прихований фактор – виключно з позицій експлуатації:

- *забезпечення "сухого ходу" компресора.* Серед усіх робочих речовин є велика група речовин, які адіабати в області перегрітої пари в діаграмі p-h проходять дуже круто. Таким чином, для забезпечення сухого ходу політропу стиснення необхідно «перенести» в діаграмі станів в область перегрітої пари, при цьому перегрів має бути корисним;
- *збільшення питомої холодопродуктивності*. Для збільшення питомої холодопродуктивності робоча речовина перед дросуванням повинна бути переохолоджена до мінімально можливої температури. Переохолодження рідини раціонально здійснювати з допомогою перегріву пари, тобто. внаслідок регенеративного теплообміну;
- *часткове випарювання робочої речовини з суміші з маслом*. Як зазначалося раніше, велика кількість робочих речовин повністю розчинна з олією. Щоб уникнути випарювання робочої речовини із суміші з олією в процесі стиснення (всередині циліндра), робочу речовину необхідно випарувати до надходження компресора. Таким чином, раціональним є перегрів робочої речовини на всмоктуванні.

*Термодинамічний аналіз РТО*

СОР холодильної машини без РТО:

$$COP = \frac{q_0}{w} = \frac{пл.b6kc}{пл.6f3e6} \quad (1.1)$$

СОР холодильної машини з РТО:

$$COP = \frac{q_O + \Delta q_O}{w + \Delta w} \text{ або } COP = \frac{пл.b6kc + пл.ck5d}{пл.\ 6f3e6 + пл.12f6} = \frac{пл.b65d}{пл.\ 1234e1} \quad (1.2)$$

Раціональність включення РТО можна визначити виключно на підставі термодинамічного аналізу:

- якщо зростання питомої холодопродуктивності ($\Delta q_O$) випереджає зростання питомої роботи компресора ($\Delta w$), то РТО встановлювати доцільно як з точки зору термодинаміки, так і з точки зору експлуатації;
- якщо СОР холодильної машини при включенні РТО не змінився, рекомендується встановлювати РТО з метою безпеки експлуатації (для забезпечення «сухого ходу»);
- якщо приріст питомої холодопродуктивності ($\Delta q_O$) менший за приріст питомої роботи ($\Delta w$), то РТО встановлювати недоцільно, а «сухий хід» компресора слід забезпечити іншими способами.

Тепловий баланс РТО як будь-якого теплообмінного апарату записується у вигляді рівності підведеного та відведеного тепла. У вигляді відведеного тепла виступає тепло, що відбирається від рідкої робочої речовини високого тиску (після конденсатора), у ролі підведеного тепла – тепло, яке підводиться до пари робочої речовини низького тиску (після випарника).

$$Q_{пари} = Q_{рідин.} \quad (1.3)$$

Оскільки витрата робочої речовини однакова у всіх елементах холодильної машини, тоді:

$$q_{пари} = q_{рідин.}, \quad (1.4)$$

$$\text{або: } h_1 - h_6 = h_3 - h_4 \quad (1.5)$$

У діаграмі *T-s* тепловий баланс РТО запишеться рівністю площ (рис.1.4):
$пл.a16b = пл.c34d$ .

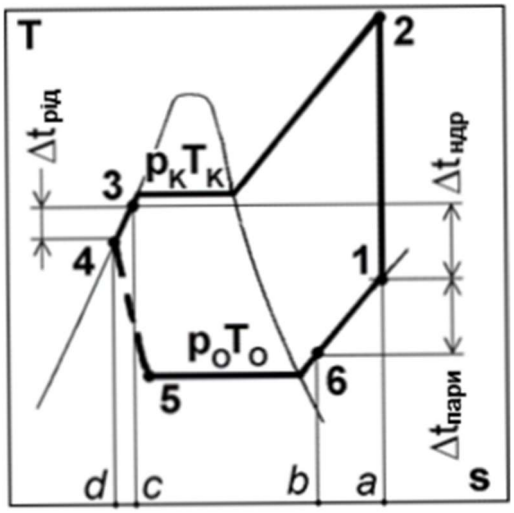



Рисунок 1.4 – Термодинамічний аналіз РТО

Тепло може бути представлене також добутком теплоємності та різниці температур, тоді тепловий баланс РТО має вигляд:

$$c_{пари}(t_1 - t_6) = c_{рідин}(t_3 - t_4) \tag{1.6}$$

Для всіх робочих речовин:

$$c_{пари} < c_{рідин.} . \tag{1.7}$$

$$(t_1 - t_6) > (t_3 - t_4) \tag{1.8}$$

Оскільки для речовин, що застосовуються в холодильних машинах:
$(1,5...3) \cdot c_{пари} \approx c_{рідин.}$, то $(t_1 - t_6) \approx (1,5...3) \cdot (t_3 - t_4)$ .

# РОЗДІЛ 2
# ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

## 2.1 Загальні положення

У роботі пропонується до розгляду дослідження процесів отримання кубикового водного льоду промислового льодогенератора в умовах експлуатації.

Випробування малого промислового і комерційного холодильного обладнання проводяться з метою визначення достовірних нормативних показників якості (холодопродуктивності, споживаної потужності) та експлуатаційної надійності (температурних режимів роботи вбудованих електродвигунів, шумів, вібрації, забруднення теплообмінної поверхні і т.ін.). При цьому експериментальні дослідження контролюють різні фактори, які можуть впливати на об'єкт, що вивчається. Для цього в досліджувані процеси спеціально вносяться зміни, наслідки яких відслідковуються і вимірюються.

### 2.1.1 Устаткування для проведення експерименту

Для проведення експеременту використано промисловий льодогенератор з отриманням водного льоду у формі кубиків марки CV3000 (фірма-виробник Guangzhou Icesource Co., Ltd. (торговая марка CBFI), як найбільш популярного сучасного обладнання для сфери кейтерінга та короткочасного зберігання харчових продуктів у закладах торгівлі.

Льодогенератор складеться з трьох блоків: 1- Холодильна машина, 2 - Блок генерацій водного льоду, 3 - Блок зворотного охолодження води.

В роботі вивчається схемно-циклове рішення холодильної машини, конструкція випарника-льодогенератора та процес утворення льоду.

Експеримент передбачає роботу машини у реальному режимі експлуатації, тому експериментальний стенд являє собою льодогенератор промислового виконання (рис 2.1).

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд льодогенератора промислового виконання

Для проведення експерименту, моделювання та аналізу процесів розроблено технологічну схему льодогенератора (рис.2.2)

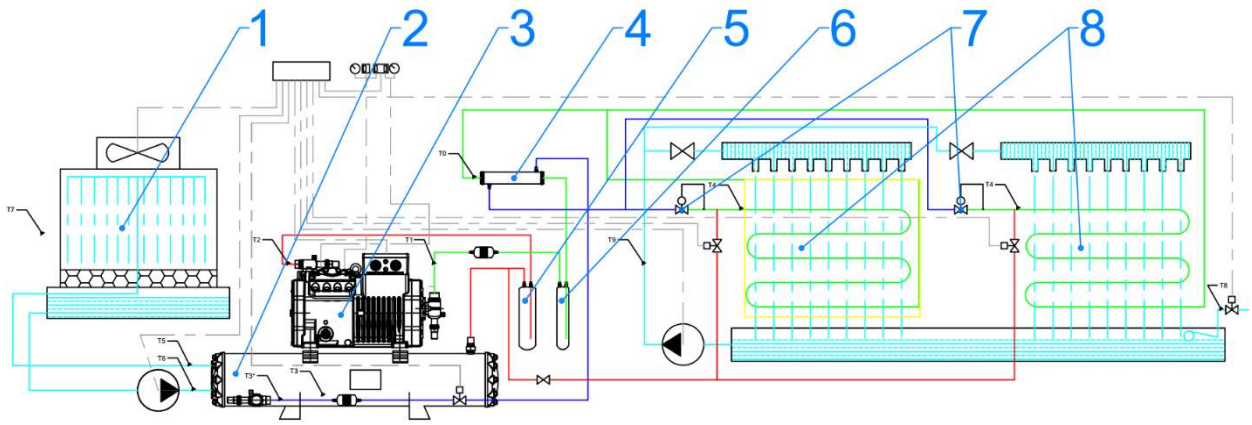



Рисунок 2.2– Технологічна схема льодогенератора- експериментального стенду 1–градирня, 2–конденсатор, 3–компресор, 4–регенеративний теплообмінник, 5–оливовідокремлювач, 6– відокремлювач рідини, 7– терморегулюючий вентиль(ТРВ); 8– випарник.

Стенд являє собою холодильну машину, яка працює за циклом одноступеневого стиснення. Робочою речовиною в машині є R404a. Основні елементи стенду: напівгерметичний поршневий компресор BITZER 4NES-14Y, кожухотрубний водяний конденсатор XMR-WN-20-2 фільтр – осушувач, оливовідокремлювач,

відокремлювач рідини, регенеративний теплообмінник, блок генерації водного льоду; блок оборотного охолодження води.

Блок генерацій водного льоду (рис 2.3) складається з двох циркуляційних контурів: холодоагенту (ТРВ, випарник) та води (розподільчій пристрій (РП) -1, ємність для води-2, циркуляційний насос (ЦН)-3, касета для льодоутворення (К)-4.)

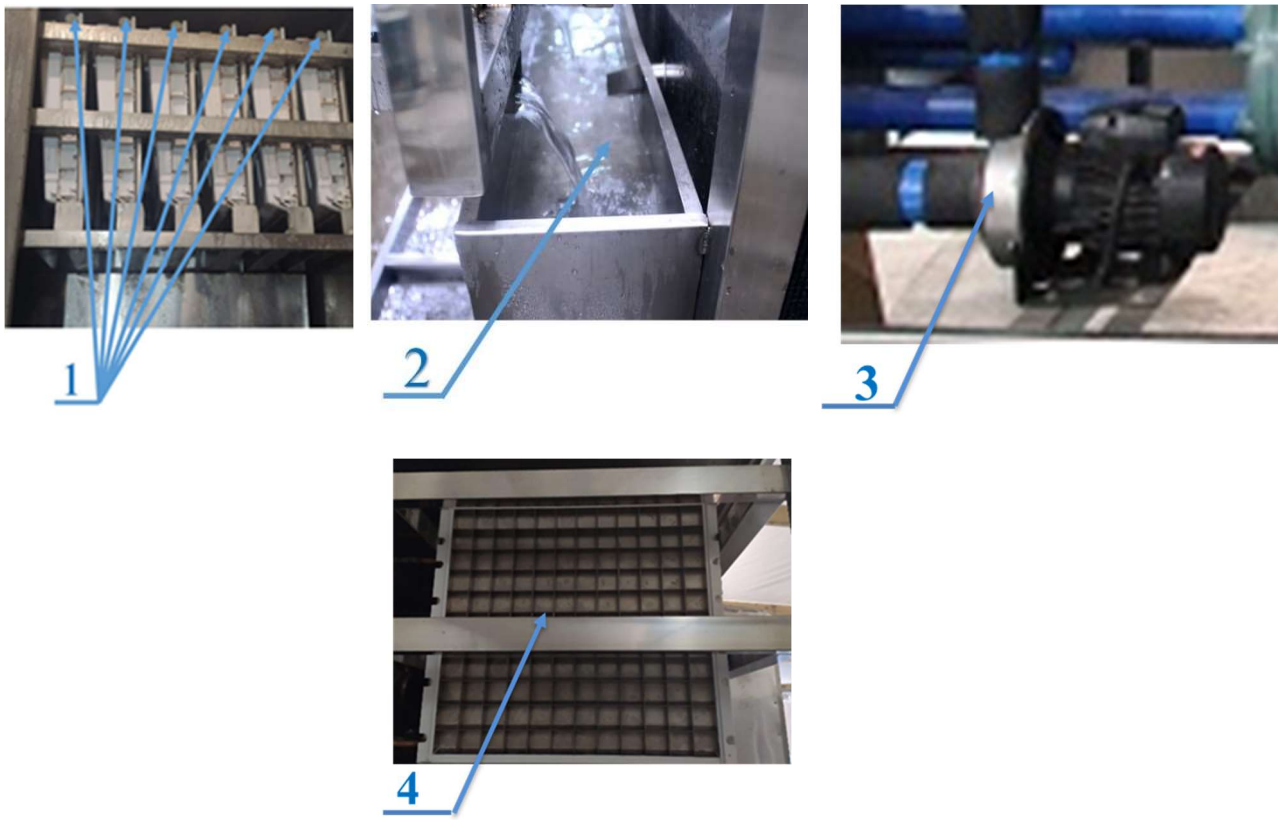



Рисунок 2.3– Блок генерацій водного льоду

Блок оборотного охолодження води (рис.2.4) складається: з вентиляторної градирні (ВГ)-5 та циркуляційного водяного насосу (ЦВН) -6.

Рисунок 2.4– Блок оборотного охолодження води

Стенд обладнаний контрольно-вимірювальними приладами, для визначення параметрів холодоагенту та води (у льодогенераторі і градирні). Температури повітря та робочої речовини фіксує контролер марки *whicepart el 974* з датчиками *ПТС* з класом точності 0,10. Розміщення датчиків температур показано на рис.2.1. Швидкість потоку повітря на вході в градирню вимірюється портативним цифровим анемометром CEM DT-318 з похибкою +0,01 м/с, напруга і сила струму - цифровим мультиметром *UT202** з струмовими кліщами. Тиск на всмоктуванні і нагнітанні в компресор вимірюється манометрами низького і високого тиску, підключеними до штатних вентилів на компресорі.

### 2.2 Програма проведення випробувань

Усі характеристики льодогенератора і його елементів в процесі випробування визначають, з використанням прямих вимірювань: температури потоків води в точках заміру, температури в вузлових точках термодинамічного циклу, тиск на всмоктуванні компресора, тиск на нагнітанні компресора, сила струму електродвигунів компресора  вентилятора градирні та насосів.

Результати вимірювань параметрів роботи льодогенератора наведено в таблиці 2.1-2.2

Непрямі вимірювання, отримані на основі даних прямих вимірів шляхом обчислення за відомими математичними рівняннями.

На підставі прямих вимірювань формується термодинамічний цикл холодильної машини (рис.2.5) і визначаються параметри у вузлових точках циклу [19]. Табл. 2.3-2.4

Вихідні дані для розрахунку:

Тиск кипіння: $p_0 = p_{вс} + 1$.

Тиск конденсації $p_к = p_{нг} + 1$.

Характеристики компресора:

Теоретична об'ємна продуктивність компресора $V_h$=56,25м$^3$/h.

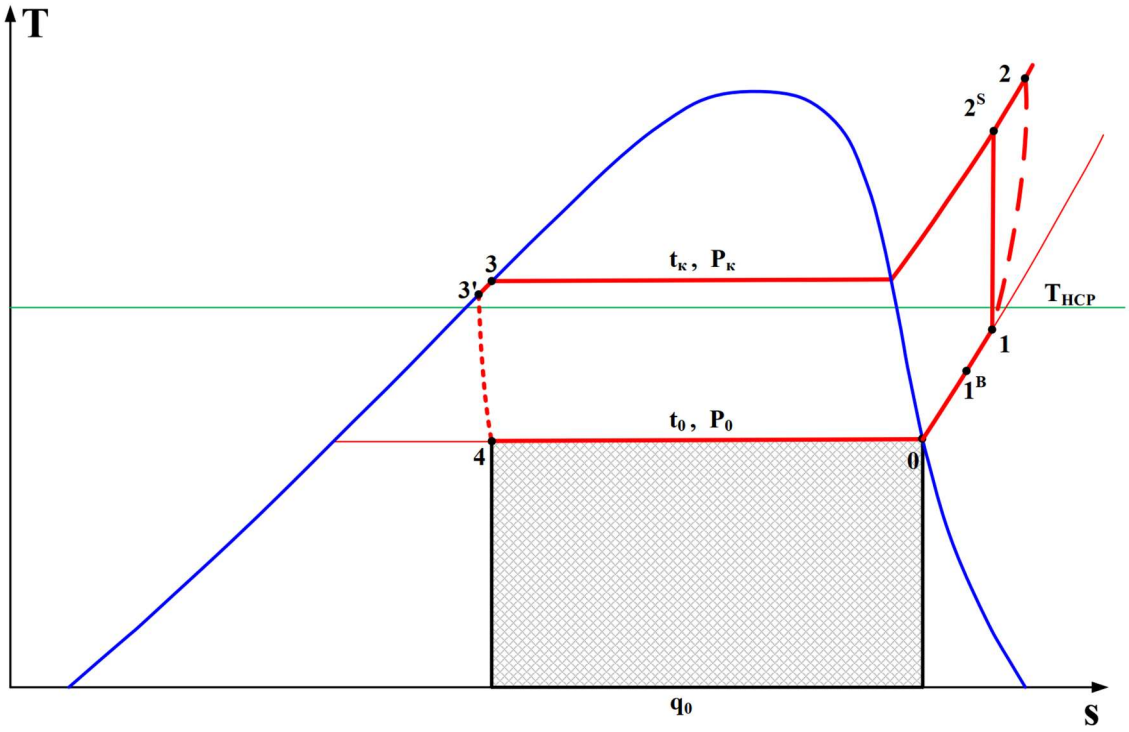



Рисунок 2.5– Термодинамічний цикл холодильної машини за результатами експерименту

Визначення характеристик циклу.

Питома масова холодопродуктивність(нетто)

$$q_0^{нет} = h_0 - h_4, \text{ кДж/кг} \quad (2.1)$$

Питома масова холодопродуктивність(брутто)

$$q_0^{брут} = h_1 - h_{3'}, \text{ кДж/кг} \quad (2.2)$$

Питома об'ємна холодопродуктивність.

$$q_v = \frac{q_0^{брут}}{v_1}, \text{ кДж/м} \quad (2.3)$$

Питома адіабатна робота стиснення.

$$w_a = h_{2s} - h_1 \text{ , кДж/кг} \quad (2.4)$$

Питома дійсна робота стиснення.

$$w_o = h_2 - h_1 \text{ , кДж/кг} \quad (2.4)$$

Тепловий баланс градирні:

$$M_{пов} \cdot c_{пов} \cdot \left(t_{пов}^{вих} - t_{пов}^{вх}\right) = M_w \cdot c_w \cdot \left(t_w^{вих} - t_w^{вх}\right) \quad (2.5)$$

Тепловий баланс конденсатора:

$$M_w \cdot c_w \cdot \left(t_w^{вих} - t_w^{вх}\right) = M_a \cdot \left(h_2 - h_{3'}\right) \quad (2.6)$$

Масова витрата холодоагенту:

$$M_a = \frac{M_{пов} \cdot c_{пов} \cdot \left(t_{пов}^{вих} - t_{пов}^{вх}\right)}{\left(h_2 - h_{3'}\right)}, \quad (2.7)$$

Масова витрата повітря:

$$M_{пов} = V_{пов} \cdot \rho_{пов}, \quad (2.8)$$

де

$V_{пов} = 16,76$ – об’ємна витрата повітря ($м^3/с$)

$\rho_{пов}$ – густина повітря ($кг/м^3$), згідно до температури навколишнього середовища.

Теплове навантаження на конденсатор:

$$Q_{кд} = M_a \cdot \left(h_2 - h_3\right) \tag{2.9}$$

Холодопродуктивність компресора «брутто»:

$$Q_0 = M_a \cdot \left(h_1 - h_{3'}\right), \tag{2.10}$$

Сумарна потужність двигунів компресора вентилятора градирні та насосів:

$$\begin{aligned}\sum N_{дв} = U_A \cdot \left(I_A^K + I_A^в + I_A^н + I_A^{н1}\right) + U_B\left(I_B^в + I_B^K + I_B^н + I_B^{н1}\right) + \\ + U \cdot \left(I_C^K + I_C^в + I_C^{н1} + I_C^н\right)\end{aligned} \tag{2.11}$$

де: $U$ – напруга в мережі; $I_A^K, I_B^K, I_C^K$ – сила струму трифазного електродвигуна компресора; $I_A^в, I_B^в, I_C^в$ – сила струму трифазного електродвигуна вентилятора градирні, $I_A^н, I_B^н, I_C^н$ – сила струму насоса градирні, $I_A^{н1}, I_B^{н1}, I_C^{н1}$ – сила струму насоса води для льоду.

Коефіцієнт перетворення дійсного льодогенератора:

$$COP_д = \frac{Q_0}{\sum N_{дв}} \tag{2.12}$$

Адіабатний коефіцієнт перетворення:

$$COP_a = \frac{q_0^{нет}}{w_a} \tag{2.13}$$

Коефіцієнт перетворення циклу Карно:

$$COP_K = \frac{T_0}{T_к - T_0} \tag{2.14}$$

Ступень термодинамічної досконалості холодильного циклу:

$$\eta_{стд} = \frac{COP_д}{COP_a} \tag{2.14}$$

Результати розрахунку льодогенератора за різної температури навколишнього середовища $t_{н.ср} = 30℃$, $t_{н.ср} = 34℃$, представлені в таблиці 2.3-2.6

**Таблиця 2.3** – Параметри у вузлових точках циклу при температурі навколишнього середовища $t_{\text{н.ср}} = 34℃$

| Параметри | Одиниці виміру | Точки | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | $1^{B}$ | 1 | 2 | $2^{s}$ | 3 | $3^{/}$ | 4 |
| Тиск, р | бар | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 3,5 |
| Температура, t | ℃ | -15,85 | -7,9 | 9,2 | 63,88 | 68 | 34,25 | 32 | -18,2 |
| Ентальпія, $h$ | кДж/кг | 357,47 | 365,6 | 380,2 | 414,9 | 419,6 | 250,7 | 247,1 | 247,1 |
| Об `єм, $v$ | $м^3$/кг | 0,0055 | 0,0058 | 0,063 | 0,014 | | | | |

**Таблиця 2.4** – Параметри у вузлових точках циклу при температурі навколишнього середовища $t_{\text{н.ср}} = 30℃$

| Параметри | Одиниці виміру | Точки | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | $1^{B}$ | 1 | 2 | $2^{s}$ | 3 | $3^{/}$ | 4 |
| Тиск, р | бар | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 4,1 |
| Температура, t | ℃ | -11,42 | -7,2 | 4,4 | 55 | 54,22 | 34,25 | 31 | -11,8 |
| Ентальпія, $h$ | кДж/кг | 359 | 363,8 | 374,5 | 404,8 | 404,0 | 250,8 | 245,5 | 245,5 |
| Об `єм, $v$ | $м^3$/кг | 0,0055 | 0,0058 | 0,063 | 0,014 | | | | |

**Таблиця 2.1**– Карта вимірювань параметрів роботи льодогенератора в режими промислової експлуатації

| Час роботи машини | Заміри по робочий речовини | | | | | | | Заміри по воді КД | | Заміри по вент. градирні | | | | | | | | Струм компресора | | | Заміри по воді в генераторі льоду | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | тиск | | температура | | | | | температура | | температура | | Струм | | | | | | | | | Струм | | |
| | | | | | | | | | | | | вентилятора | | | насоса | | | | | | | | |
| | Всмоктування в км | Нагнітання з км | Вхід в КМ | Вихід з КМ | Вихід з випарника | Вихід з КД | Після ТРВ | Вхід в КД | Вихід з КД | Вхід повітря | Вихід повітря | Фаза А | Фаза В | Фаза С | Фаза А | Фаза В | Фаза С | Фаза А | Фаза В | Фаза С | Фаза А | Фаза В | Фаза С |
| $\tau$ | $p_{вс}$ | $P_н$ | $t_1$ | $t_2$ | $t_0$ | $t_3$ | $t_4$ | $t_w^{вх}$ | $t_w^{вих}$ | $t_{пов}^{вх}$ | $t_{пов}^{вих}$ | $I_A^в$ | $I_B^в$ | $I_C^в$ | $I_A^н$ | $I_B^н$ | $I_C^н$ | $I_A^К$ | $I_B^К$ | $I_C^К$ | $I_A^{н1}$ | $I_B^{н1}$ | $I_C^{н1}$ |
| с | атм. | атм. | $^0$C | $^0$C | $^0$C | $^0$C | $^0$C | $^0$C | $^0$C | $^0$C | $^0$C | А | А | А | А | А | А | А | А | А | А | А | А |
| **0** | 2,5 | 15,0 | -0,5 | 45,0 | -7,5 | 30,0 | -16,3 | 28,8 | 28,3 | 30 | 31,5 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **100** | 3,5 | 15,5 | 5,3 | 52,0 | -1,2 | 32,0 | -9,8 | 28,8 | 29,3 | 30 | 31,5 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **200** | 3,5 | 15,5 | 10,0 | 56,0 | 1 | 32,0 | -9,8 | 28,9 | 29,7 | 30 | 31,5 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **300** | 3,3 | 15,2 | 12,5 | 59,0 | 1,4 | 32,0 | -10,6 | 28,7 | 30 | 30 | 31,6 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **400** | 3,2 | 15,2 | 14,4 | 61,0 | 1,6 | 32,0 | -11,3 | 28,8 | 30 | 30 | 31,6 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **500** | 3,1 | 15,2 | 15,2 | 62,0 | 1,4 | 32,0 | -11,9 | 28,8 | 30 | 30 | 31,6 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **600** | 3,0 | 15,2 | 15,3 | 62,0 | -0,1 | 32,0 | -12,7 | 28,8 | 30 | 30 | 31,6 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **700** | 3,0 | 15,2 | 14,6 | 63,0 | -3 | 32,0 | -12,7 | 28,8 | 30 | 30 | 31,6 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **800** | 2,9 | 15,0 | 13,9 | 62,0 | -5,2 | 31,0 | -13,4 | 28,8 | 30 | 30 | 31,6 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **900** | 2,7 | 15,0 | 11,6 | 60,0 | -6,3 | 31,0 | -14,9 | 28,8 | 30 | 30 | 31,6 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **1000** | 2,5 | 14,9 | 8,2 | 58,0 | -6,9 | 31,0 | -16,4 | 28,8 | 30 | 30 | 31,6 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **1100** | 3,1 | 14,8 | 4,4 | 55,0 | -7,2 | 31,0 | -19,8 | 28,9 | 29,9 | 30 | 31,6 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 17,1 | 18,3 | 18,4 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **Дата:1.07.23** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**Таблиця 2.2**– Карта вимірювань параметрів роботи льодогенератора в режими промислової експлуатації

| Час роботи машини | Заміри по робочий речовини | | | | | | | Заміри по воді КД | | Заміри по вент. градирні | | | | | | | Струм компресора | | | Заміри по воді в генераторі льоду | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | тиск | | температура | | | | | темпера-тура | | темпера-тура | | Струм | | | | | | | | Струм | | |
| | | | | | | | | | | | | вентилятора | | | насоса | | | | | | | |
| | Всмоктування в км | Нагнітання з км | Вхід в КМ | Вихід з КМ | Вихід з випарника | Вихід з КД | Після ТРВ | Вхід в КД | Вихід з КД | Вхід повітря | Вихід повітря | Фаза А | Фаза В | Фаза С | Фаза А | Фаза В | Фаза С | Фаза А | Фаза В | Фаза С | Фаза А | Фаза В | Фаза С |
| $\tau$ | $p_{вс}$ | $P_н$ | $t_1$ | $t_2$ | $t_0$ | $t_3$ | $t_4$ | $t_w^{вх}$ | $t_w^{вих}$ | $t_{пов}^{вх}$ | $t_{пов}^{вих}$ | $I_A^в$ | $I_B^в$ | $I_C^в$ | $I_A^н$ | $I_B^н$ | $I_C^н$ | $I_A^К$ | $I_B^К$ | $I_C^К$ | $I_A^{н1}$ | $I_B^{н1}$ | $I_C^{н1}$ |
| **с** | **атм.** | **атм.** | **$^0$C** | **$^0$C** | **$^0$C** | **$^0$C** | **$^0$C** | **$^0$C** | **$^0$C** | **$^0$C** | **$^0$C** | **А** | **А** | **А** | **А** | **А** | **А** | **А** | **А** | **А** | **А** | **А** | **А** |
| **0** | 4 | 16,0 | 2.6 | 43,0 | -8,7 | 37.3 | -16,3 | 33 | 37.31 | 34 | 35 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **100** | 4.2 | 16.0 | 11.7 | 51,0 | -2.0 | 37.3 | -9,8 | 35 | 37.31 | 34 | 35 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **200** | 4.3 | 16.0 | 13.6 | 53,0 | 1.4 | 37.3 | -9,8 | 35 | 37.31 | 34 | 35,5 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **300** | 4.1 | 15,9 | 14.7 | 54,0 | 2.3 | 37 | -10,6 | 35 | 37.0 | 34 | 35,5 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **400** | 4.1 | 16.0 | 15.5 | 55,0 | 2.3 | 37.3 | -11,3 | 35 | 37.31 | 34 | 35,5 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **500** | 4.0 | 16.0 | 15,9 | 56,0 | 2.5 | 37.3 | -11,9 | 35 | 37.31 | 34 | 35 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **600** | 4.0 | 16.0 | 16.0 | 57,0 | 2.4 | 37.3 | -12,7 | 35 | 37.31 | 34 | 35,5 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **700** | 3,9 | 15,9 | 16.1 | 57,0 | 1.9 | 37.0 | -12,7 | 34 | 37.0 | 34 | 35 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **800** | 3.9 | 15,9 | 15.6 | 58,0 | 1.0 | 37.0 | -13,4 | 34 | 37.0 | 34 | 35 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **900** | 3.8 | 15,5 | 14.5 | 57,0 | -2.0 | 36.1 | -14,9 | 34 | 36.1 | 34 | 35 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **1000** | 3.6 | 15.3 | 13.0 | 57,0 | -5.0 | 35.6 | -16,4 | 33 | 35.6 | 34 | 33 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **1100** | 3.5 | 15.1 | 11.4 | 56,0 | -7,2 | 35.1 | -19,8 | 33 | 35.6 | 34 | 33 | 1,0 | 1,0 | 1,04 | 3,07 | 3,03 | 3,06 | 19,6 | 18,6 | 19,3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 |
| **Дата:16.08.23** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**Таблиця 2.5** – Результати розрахунку льодогенератора за різної температури навколишнього середовища

| **Параметри та характеристики термодинамічного циклу** | **Температура навколишнього середовища, ℃** | |
|---|---|---|
| | **30** | **34** |
| $q_0^{нет}, кДж/кг,$ | 130,48 | 110,35 |
| $q_0^{брут}, кДж/кг$ | 129,01 | 118,57 |
| $q_v, кДж/м^3$ | 2071 | 1735 |
| $w_a, кДж/кг$ | 30,36 | 34,79 |
| $w_д, кДж/кг$ | 29,51 | 39,45 |
| $\rho_{пов}, кг/м^3$ | 1,165 | 1,165 |
| $M_a, кг/с$ | 0,185 | 0,173 |
| $\sum N_{дв}, кВт$ | 17,187 | 18,009 |
| $Q_0, кВт$ | 23,86 | 22,38 |
| $Q_{кд}, кВт$ | 29,32 | 29,205 |
| $COP_д$ | 1,38 | 1,242 |
| $COP_a$ | 4,29 | 3,17 |
| $COP_K$ | 5,135 | 5,135 |
| $\eta_{стд}$ | 0,32 | 0,39 |

За результатами обробки експерементальних даних встановлено, що РТО не бере участі в організації регенерації тепла. Посилаючись на положення викладені в п.1.2 розділу 1, проведемо аналіз використання РТО в одноступиневій холодильній машині, що працює на R404A

## 2.3 Аналіз роботи РТО як елемента експериментальної установки

З погляду побудови циклу холодильної машини з РТО необхідним є визначення параметрів у точках 1 та 3* (рис. 2.6)

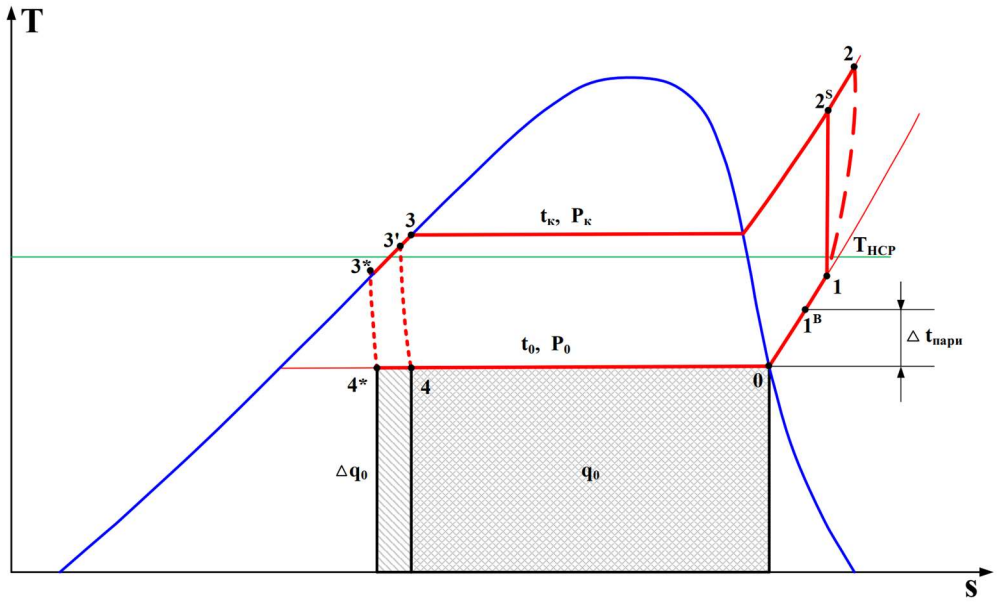



**Рисунок 2.6**– Термодинамічний цикл холодильної машини за наявністю РТО

Температуру в точці 1 (вихід пари з РТО) можна визначити двома способами:

за температурою недорекуперації на теплому кінці РТО – $\Delta t_{\text{ндр}}$ (рис.1.4)

$$t_1 = t_з - \Delta t_{ндр}, \tag{2.14}$$

де величина $\Delta t_{ндр}$ задається самостійно і зазвичай становить 5…20°С;

Ентальпія у точці 4 визначається з теплового балансу РТО:

$$h_3 - h_4 = h_1 - h_6. \tag{2.16}$$

На першому етапі аналізу використовуємо реальні дані випробувань льдогеніратора з урахуванням перегріву на всмоктуванні визначаємо необхідне переохолодження рідини в РТО (точка 3*) (рис.2.6, табл.2.6)

**Таблиця 2.6** – Параметри у вузлових точках циклуза реальним даним випробувань з урахуванням необхідного переохолодження в РТО

| Параметри | 0 | $1^B$ | $2^S$ | 3' | 3* | 4* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P, бар | 4,1 | 4,1 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 4,1 |
| t℃ | -11,42 | -7,2 | 43,687 | 31 | 28,52 | 11,56 |
| h,кДж/кг | 359,89 | 363,82 | 391,35 | 245,52 | 241,59 | 241,59 |
| v, $м^3$/кг | 0,0479 | 0,0491 | | | | |
| SкДж/кгК | 1,6137 | 1,6286 | 1,6286 | 1,1576 | 1,1416 | |

Для подальшого аналізу задаємося можливими перегрівами пари в РТО від температури $t_0$ до температури $t_в$ .

**Таблиця 2.7** – Параметри у вузлових точках циклу при перегріванні пари В РТО $\Delta t_{\text{пари}} = 9{,}22℃$

| Параметри | 0 | $1^B$ | $2^S$ | 3' | 3* | 4* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P, бар | 4,1 | 4,1 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 4,1 |
| t℃ | -11,42 | -2,2 | 48,19 | 31 | 25,52 | |
| h,кДж/кг | 359,89 | 368,45 | 396,84 | 245,52 | 236,96 | 236,96 |
| v, $м^3$/кг | | 0,0505 | | | | |
| SкДж/кгК | 1,6137 | 1,6458 | 1,6458 | 1,1546 | 1,1262 | |

**Таблиця 2.8** – Параметри у вузлових точках циклу при перегріванні пари на всмоктуванні $\Delta t_{\text{пари}} = 14{,}22℃$

| Параметри | 0 | 1 | $2^S$ | 3' | 3* | 4* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P, бар | 4,1 | 4,1 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 4,1 |
| t℃ | -11,42 | 2,8 | 52,794 | 31 | 22,489 | -11,888 |
| h,кДж/кг | 359,89 | 373,06 | 402,31 | 245,52 | 232,35 | 232,35 |
| v, $м^3$/кг | | 0,05186 | | | | |
| SкДж/кгК | 1,6137 | 1,6627 | 1,6627 | 1,1546 | 1,107 | 1,1259 |

**Таблиця 2.9** — Параметри у вузлових точках циклу при перегріванні пари на всмоктуванні $\Delta t_{\text{пари}} = 15{,}82℃$

| Параметри | 0 | 1 | $2^S$ | 3' | 3* | 4* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P, бар | 4,1 | 4,1 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 4,1 |
| t℃ | -11,42 | 4,4 | 54,272 | 31 | 21,58 | -11,42 |
| h,кДж/кг | 359,89 | 374,53 | 404,04 | 245,52 | 230,88 | 230,88 |
| v, $м^3$/кг | | 0,0522 | | | | |
| SкДж/кгК | 1,6137 | 1,668 | 1,668 | 1,1546 | 1,1262 | |

Для перевірки працездатності РТО на холодоагенті R404a задаємося температурою кипіння у випарнику $t_0 = -20℃$, а тиск конденсації залишаємо з урахуванням експериментальних даних.

**Таблиця 2.10** – Параметри у вузлових точках циклу без урахування РТО при температурі кипіння холодоагенту у випарникуt$_0$ = −20℃

| Параметри | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| P, бар | 3,02 | | 15,8 | 15,8 | 3,02 |
| t℃ | -20 | -20 | 34,275 | 31 | -11,844 |
| h,кДж/кг | 326,64 | | 353,45 | 245,52 | 245,52 |
| v, м$^3$/кг | 0,05458 | | 0,0095 | | |
| SкДж/кгК | 1,5059 | | 1,5059 | 1,1546 | |

**Таблиця 2.11** – Параметри у вузлових точках при перегріванні пари в РТО $\Delta t_{\text{пари}} = 7$℃ та температурі кипіння у випарнику $t_0 = -20$℃

| Параметри | 0 | 1 | 2s | 3 | 3' | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P, бар | 3,03 | 3,02 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 3,02 |
| t℃ | -20 | -13 | 47,258 | 31 | 7,73 | 11,56 |
| h,кДж/кг | 326,64 | 361,31 | 395,72 | 245,52 | 210,85 | 210,85 |
| v, м3/кг | 0,05458 | 0,0666 | | | | |
| SкДж/кгК | 1,5059 | 1,6423 | 1,6423 | 1,1546 | 1,0361 | |

**Таблиця 2.12** – Параметри у вузлових точках при перегріванні пари в РТО $\Delta t_{\text{пари}} = 16$℃ та температурі кипіння у випарнику $t_0 = -20$℃

| Параметри | 0 | 1 | 2s | 3 | 3' | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P, бар | 3,03 | 3,03 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 3,03 |
| t℃ | -20 | -4 | 55,623 | 31 | 2,0064 | |
| h,кДж/кг | 326,64 | 369,32 | 405,61 | 245,52 | 202,84 | 202,84 |
| v, м3/кг | 0,05458 | 0,07017 | | | | |
| SкДж/кгК | 1,5059 | 1,6728 | 1,6728 | 1,1546 | 1,0073 | |

**Таблиця 2.12** – Параметри у вузлових точках при перегріванні пари в РТО $\Delta t_{\text{пари}} = 25℃$ та температурі кипіння у випарнику $t_0 = -20℃$

| Параметри | 0 | 1 | 2s | 3 | 3' | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P, бар | 3,03 | 3,03 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 3,03 |
| t℃ | -20 | 5 | 64,008 | 31 | 22,489 | |
| h,кДж/кг | 326,64 | 377,31 | 415,24 | 245,52 | 194,85 | 194,85 |
| v, м3/кг | 0,05458 | 0,07297 | | | | |
| SкДж/кгК | 1,5059 | 1,7017 | 1,7017 | 1,1546 | 1,107 | 1,1259 |

**Таблиця 2.12** – Параметри у вузлових точках при перегріванні пари в РТО $\Delta t_{\text{пари}} = 34℃$ та температурі кипіння у випарнику $t_0 = -20℃$

| Параметри | 0 | 1 | 2s | 3 | 3' | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P, бар | 3,03 | 3,03 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 3,03 |
| t℃ | -20 | 14 | 72,655 | 31 | -9,783 | |
| h,кДж/кг | 326,64 | 385,37 | 424,97 | 245,52 | 186,79 | 186,79 |
| v, м3/кг | 0,05458 | 0,07595 | | | | |
| SкДж/кгК | 1,5059 | 1,7302 | 1,7302 | 1,1546 | 0,94767 | |

Розрахунок характеристик РТО проведено з використанням класичних рівнянь (рів.2.1-2.16).

Результати розрахунку представлені у графічній формі (рис.2.7-2.11).

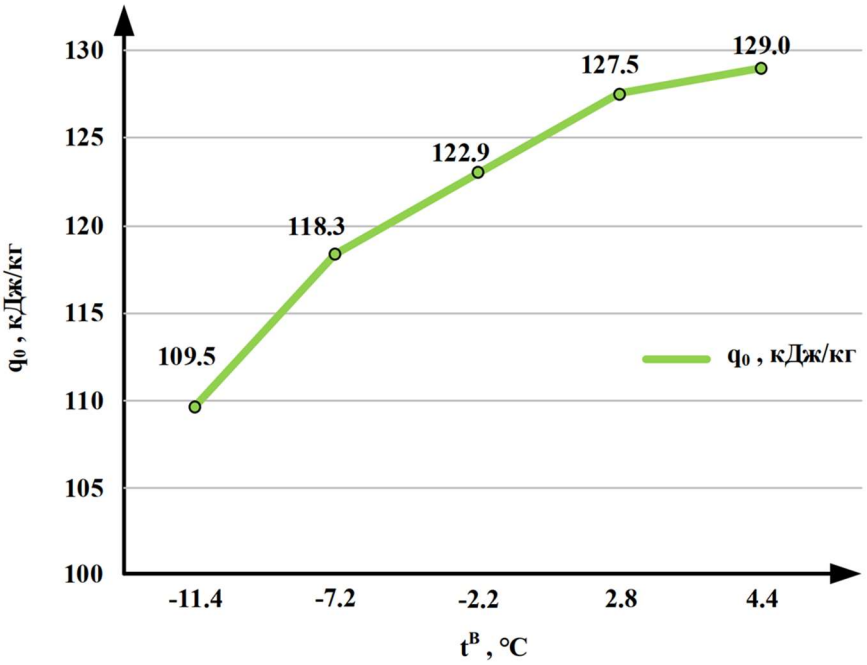



**Рисунок 2.7**– Залежність питомої холодопродуктивності циклу холодильної машини від температури на виході з РТО за реальним тиском кипіння та конденсації

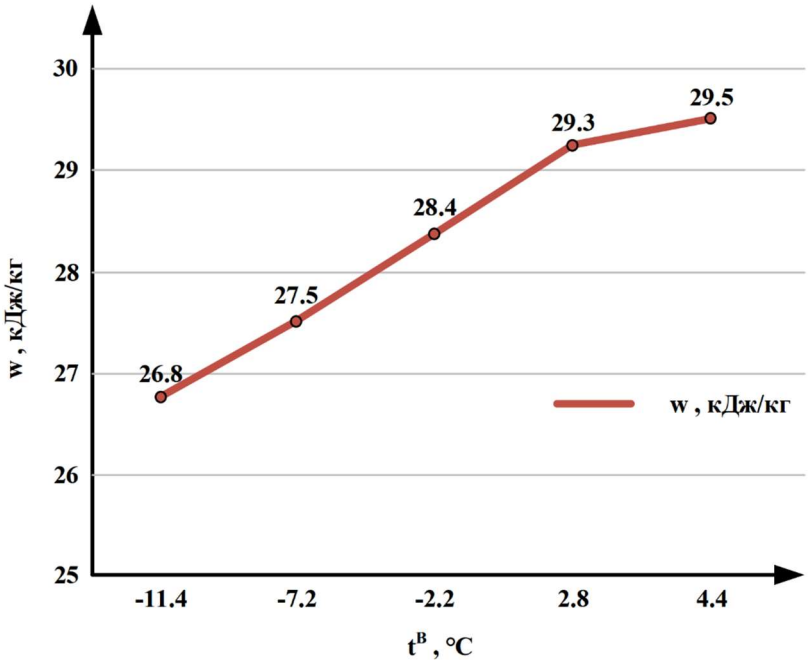



**Рисунок 2.8**– Залежність питомої адіабатної роботи стиснення холодильної машини від температури на виході з РТО за реальним тиском кипіння та конденсації

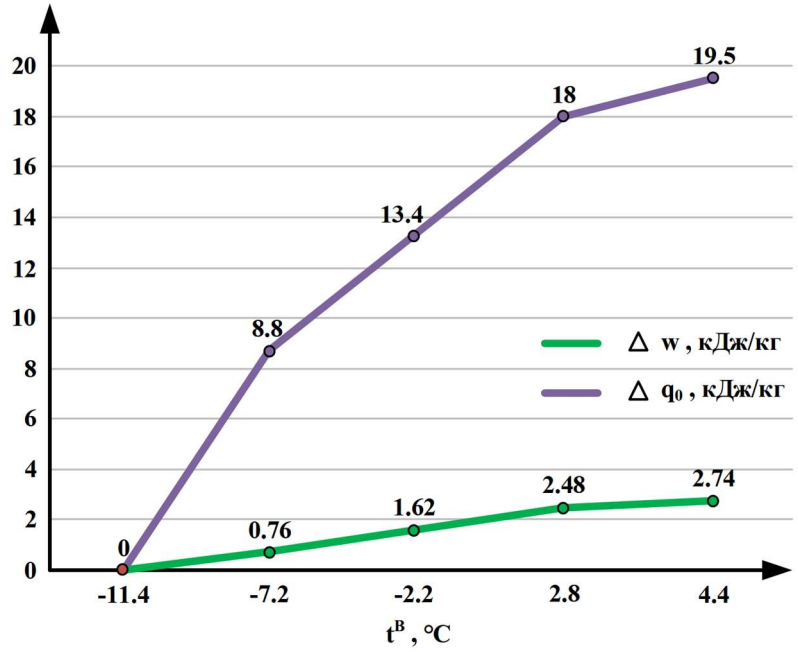



**Рисунок 2.9**– Залежність приросту питомої холодопродуктивності та приросту роботи від температури пари на виході з РТО за реальним тиском кипіння та конденсації

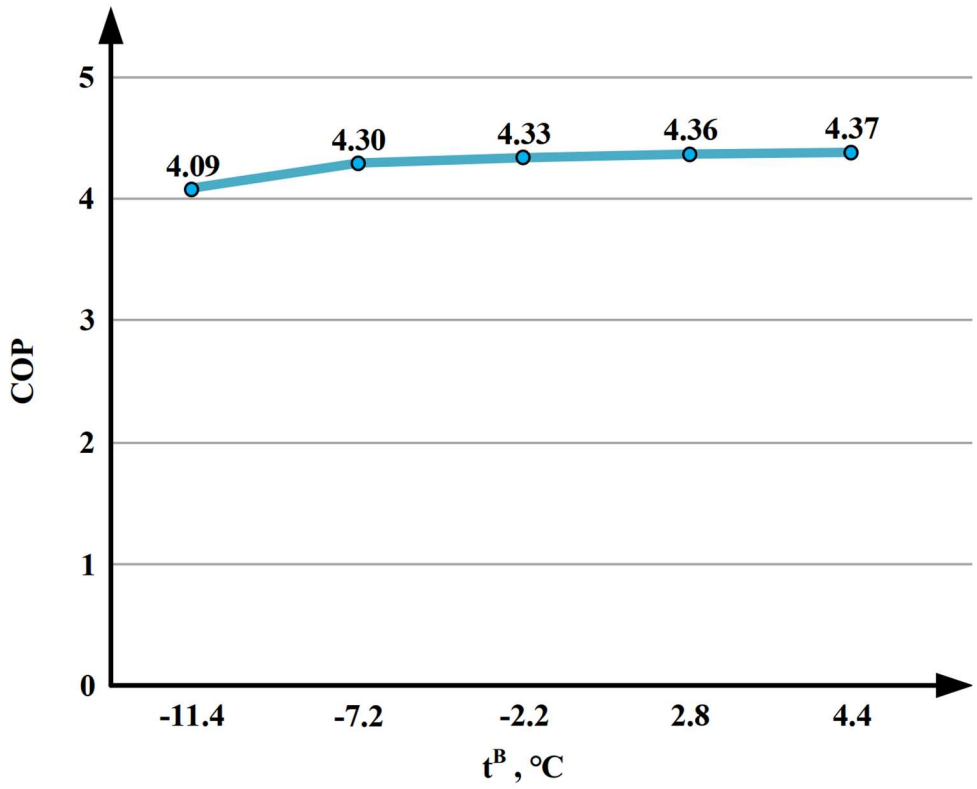



**Рисунок 2.10**– Залежність адіабатного коефіцієнта перетворення від температури пари на виході з РТО за реальним тиском кипіння та конденсації

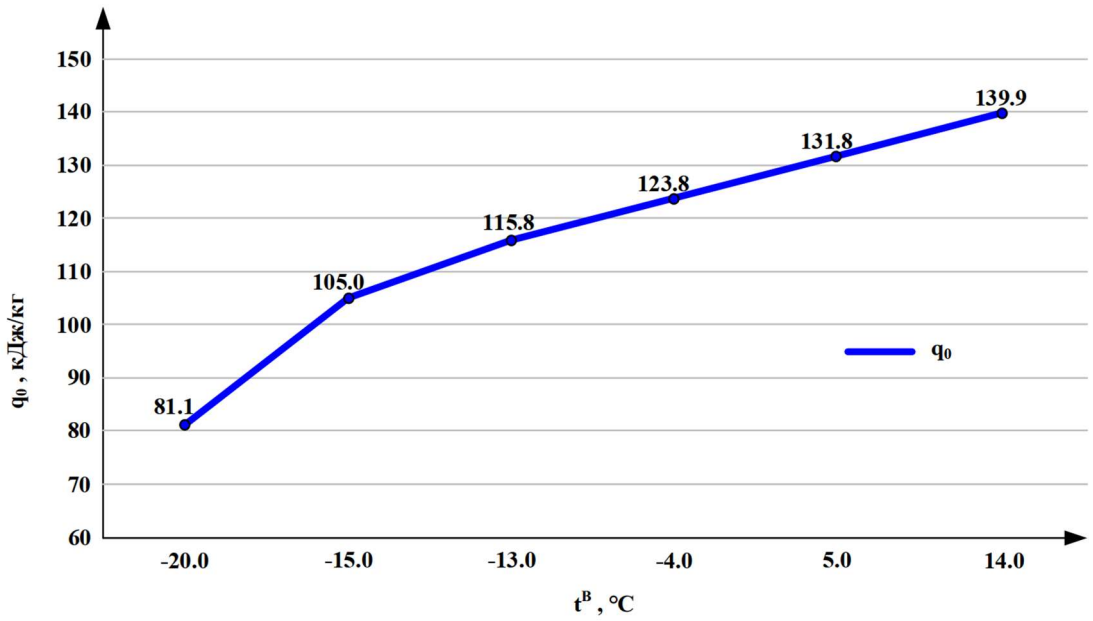



**Рисунок 2.11**– Залежність питомої холодопродуктивності холодильної машинри від температури на виході з РТО за реальним тиском конденсації, при притемпературі кипіння $t_0 = -20°C$

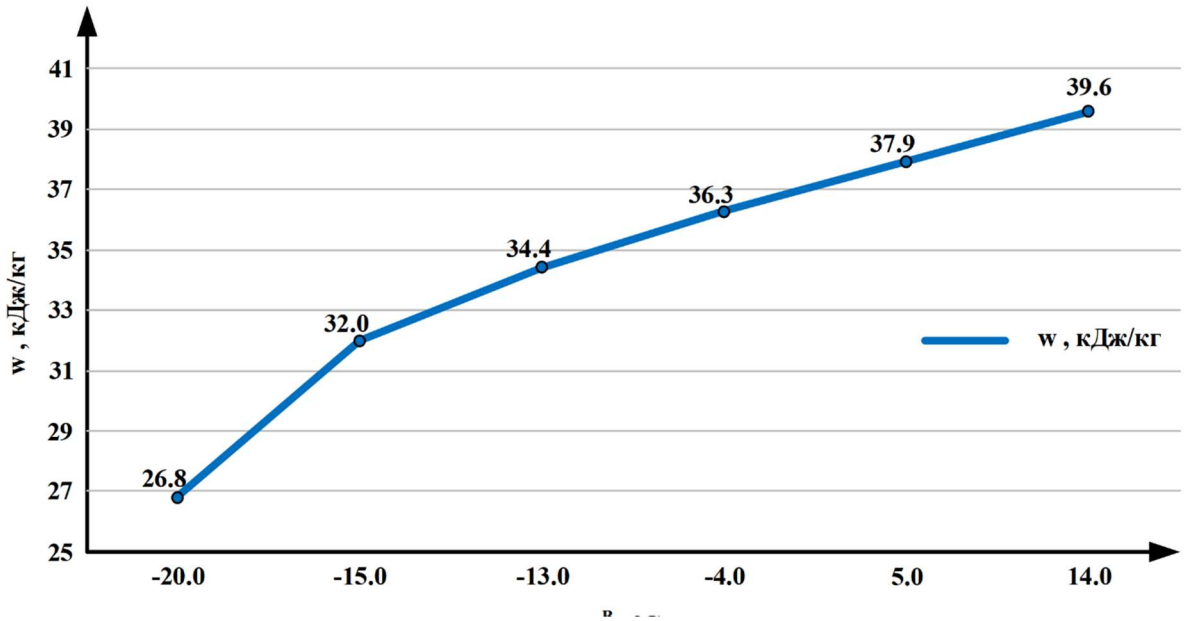



**Рисунок 2.12**– Залежність питомої адіабатної роботи стиснення холодильної машини від температури на виході з РТО за реальним тиском конденсації, при притемпературі кипіння $t_0 = -20°C$

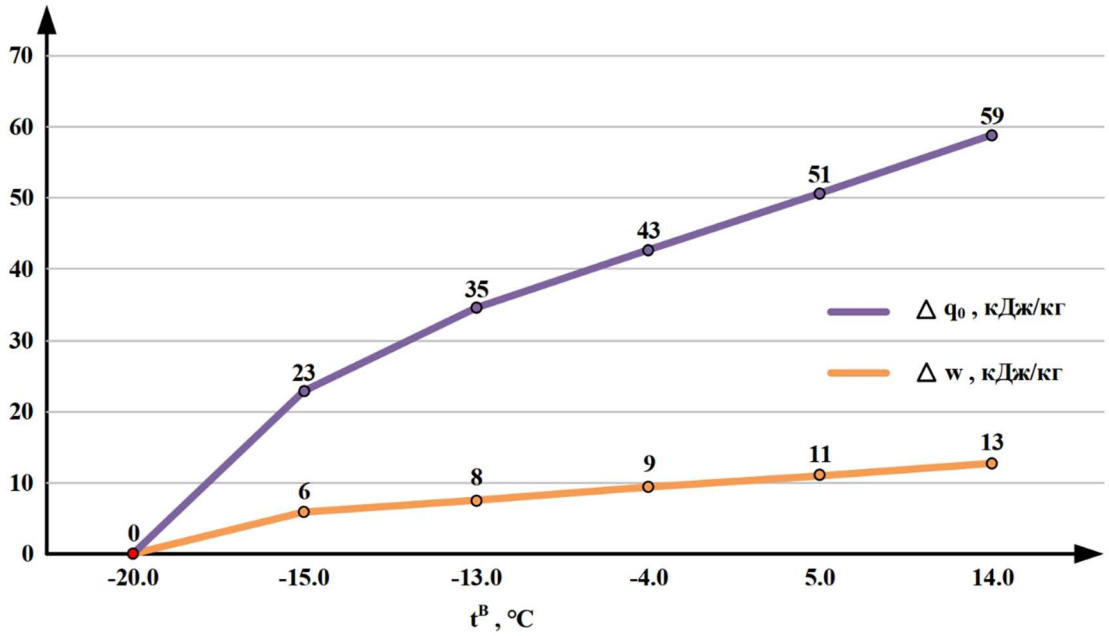



**Рисунок 2.13**– Залежність приросту питомої холодопродуктивності та приросту роботи від температури пари на виході з РТО за реальним тиском конденсації, при притемпературі кипіння $t_0 = -20℃$

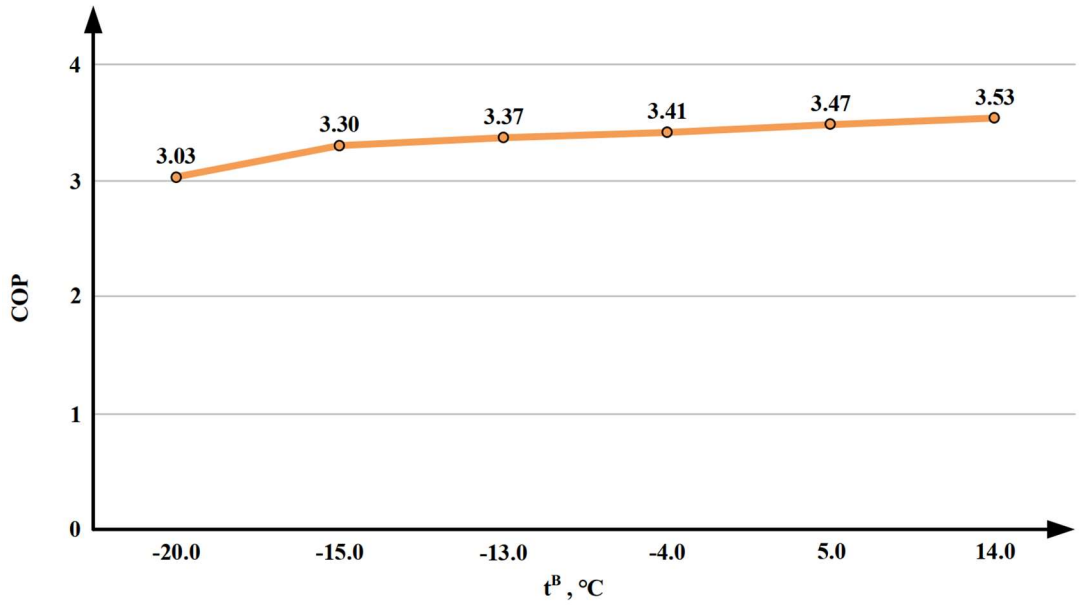



**Рисунок 2.14**– Залежність адіабатного коефіцієнта перетворення від температури пари на виході з РТО за реальним тиском конденсації, при температурі кипіння $t_0 = -20℃$

Результаті розрахунку показали, що РТО доцільно використовувати для R404A за температурми нижче $t_0 = -15℃$.

### 2.4 Аналіз результатів випробувань

Характеристики процесу виробництва льоду за результатами експерименту представлено у графічній формі на рис. 2.15-2.16

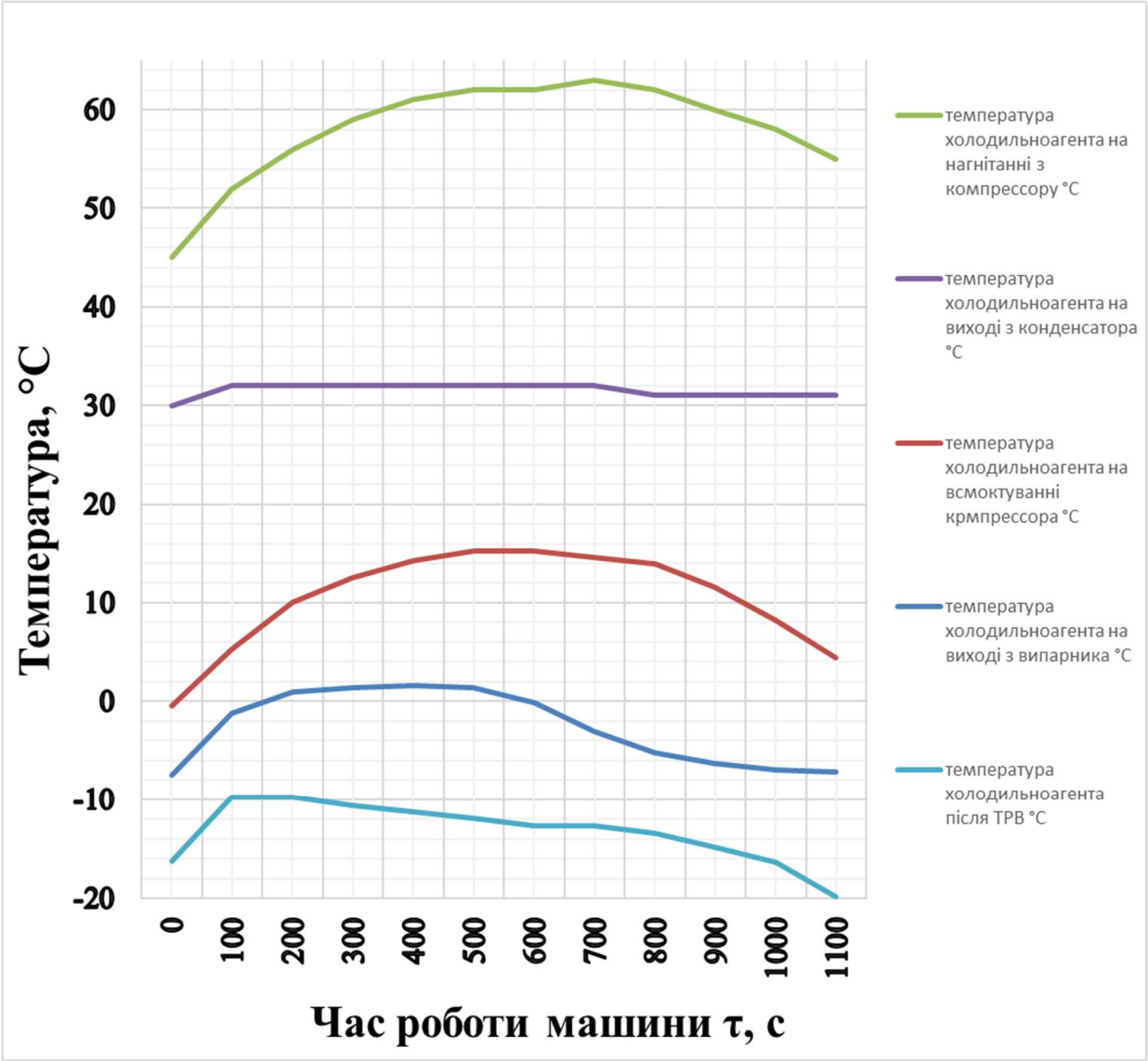



Рисунок 2.15– Характеристики процесу виробництва льоду за результатами експерименту при температурі навколишнього середовища $t_{н.ср} = 30℃$

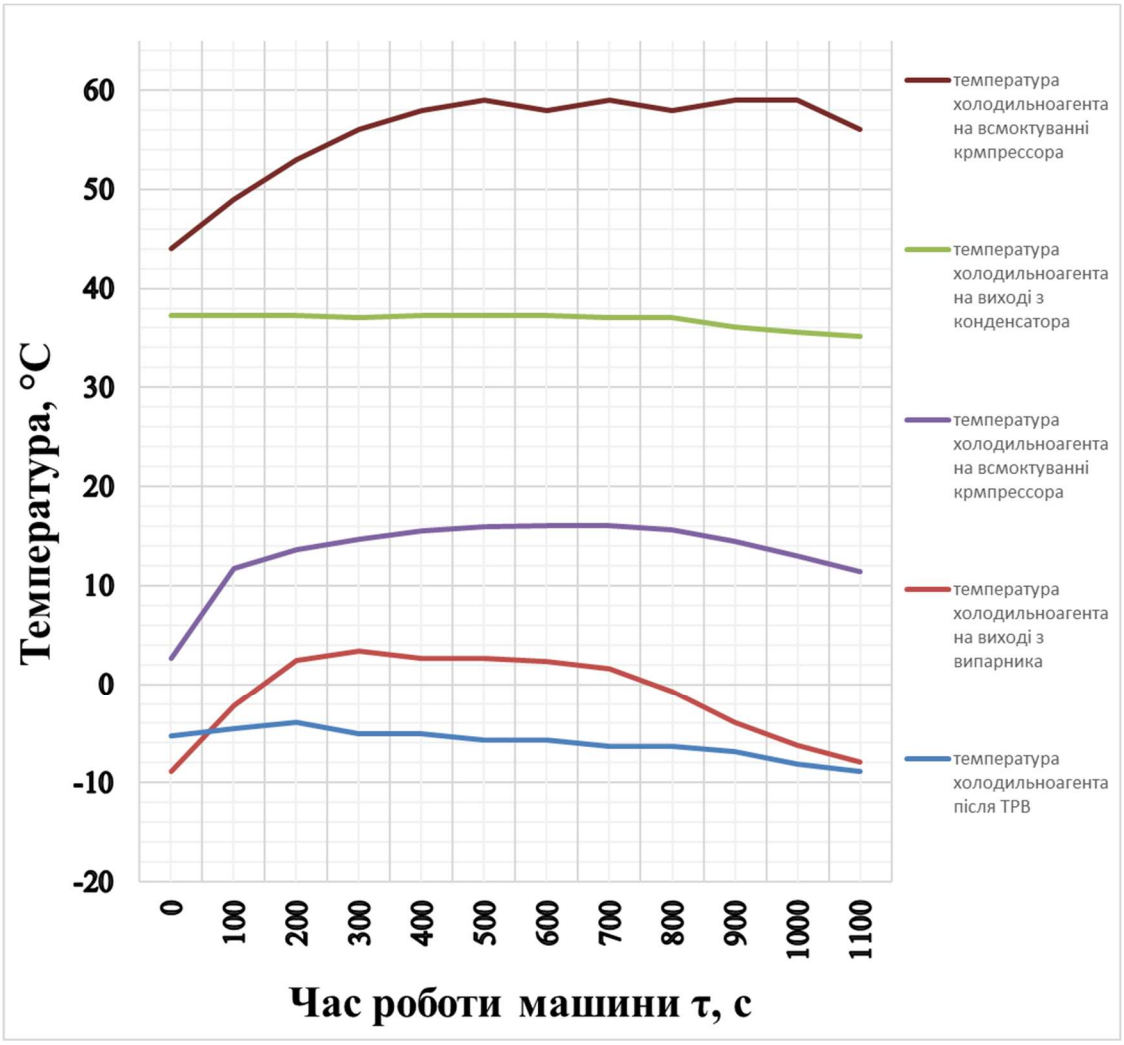



Рисунок 2.16– Характеристики процесу виробництва льоду за результатами експерименту при температурі навколишнього середовища $t_{\text{н.ср}} = 34℃$

Експеримент показав, що загальний час процесу льодоутворення становить 1100 с. Загальний час розподіллено на 2 періоди 0-600с та 600-1100с. Початок відліку часу визначається температурним режимом після попереднього циклу (точка 0, рис.2.6). У перший період часу спостерігається вихід машини на робочий режим: температура у випарнику залишається постійною, після ТРВ також постійна температура, тиск конденсації залишається постійним, температура нагнітання і всмоктування підвищуються. У цей час процес льодоутворення відсутній. Другий період починається тоді, коли температура на виході з випарника досягає 0°С. З наростанням шару льоду збільшується термічний опір у випарнику, теплообмін між водою і холодильним агентом зменшується, тиск і температура кипіння зменшуються, але при цьому збільшується температурний напір між кипячим холодоагентом і водою і відбувається наморожування льоду. У холодильній машині знижується температура після ТРВ, знижується температура на всмоктуванні компресору, на нагнітанні з компресора, а тиск конденсації не змінюється.

Процес наморожування закінчується досягнення тимчасового інтервалу 1100с. Аналіз накопичення льоду показав, що встановлений інтервал часу наморожування не задовольняє якості льоду.

Для отримання якісного продукту (кубиків льоду) необхідно переглянути параметри машини.

Аналіз термодинамічного циклу машини показав: немає впливу регенерації тепла на енергетичну ефективність циклу.

У процесі експерименту виявлено, що продуктивність льодогенератора не відповідає продуктивності, заявленої в паспорті агрегату.

# ВИСНОВКИ

1. Огляд літератури показав, що дослідницькі роботи у галузі акумуляції холоду за допомогою природних акумуляційних матеріалів (водного льоду) повинні розширюватися в область малих промислових та комерційних установок на принципах енергозбереження.
2. Розглядання льодогенераторів за схемними рішеннями окремих блоків дозволяє оцінити якісний і кількісний склад елементів для подальшого удосконалення процесу льодоутворення конкретної форми готового продукту та математичного моделювання процесу акумуляції водного льоду.
3. Вимагає впровадження термодинамічного аналізу льодогенератор як енергоперетворювальної системи для визначення незворотностей вже на етапі проектування промислових акумуляторів холоду.

# ОХОРОНА ПРАЦІ

Властивості суміші R-404A

Холодоагент R-404A – це безбарвний газ, «зеотропна» суміш, що містить HFO холодоагенти. R-404A є потрійною сумішшю, що складається з R-125, R-143a і R-134a (52/44/4 масових відсотків) відповідно.

Холодоагент R-404A володіє нульовим потенціалом руйнування озонового шару, що є позитивною характеристикою даного холодоагенту, а його потенціал глобального потепління (GWP) становить 3922 (GWP вуглекислого газу дорівнює 1).

Класифікація безпеки: A1.

Критична температура: $72^0$C.

Критичний тиск: 37,8 бар.

Нормальна температура кипіння (при 1,013 бар): $-46,3^0$C.

Теплота пароутворення при температурі кипіння 86 кДж/кг.

Холодоагент R-404A негорючий, невибухонебезпечний. Його безпека класифікується як A1, група L1, що означає, що він має низьку токсичність і негорючий.

R-404A не можна змішувати з повітрям для проведення випробувань під тиском на предмет виявлення витоків. Зберігати в сухих складських приміщеннях, що забезпечують захист від сонячних променів, подалі від відкритого вогню і електронагрівальних приладів, при температурі не вище 52° С.

Категорії виробництв по вибухопожежної небезпеки

Класифікація виробництва за ступенем вибухової, вибухопожежної та пожежної небезпеки відповідно до ОНТП 24-86.

Згідно з нормами технологічного проектування з вибухопожежної та пожежної небезпеки, приміщення і будівлі розділяють на категорії А, Б, В, Г і Д.

Визначають категорії шляхом послідовної перевірки відповідності приміщення вимогам, що пред'являються до кожної групи:

Машинні та апаратні відділення фреонових холодильних установок відносяться до категорії Д.

Техніка безпеки на холодильниках передбачає наступні вимоги: приміщення холодильників повинні бути забезпечені засобами пожежогасіння, всі ізольовані трубопроводи в місцях проходу через стіни і перекриття повинні мати вставки з вогнетривкого ізоляційного матеріалу, в машинному відділенні повинні бути спеціальні місця для зберігання в закритому вигляді обтиральних матеріалів (забороняється зберігання бензину, гасу та інших легкозаймистих речовин), будівельні, монтажні і ремонтні роботи із застосуванням відкритого полум'я і електрозварювання в холодильних камерах і машинних відділеннях повинні здійснюватися при наявності письмового допуску і при дотриманні протипожежних заходів.

Об'ємно-планувальні рішення

Об'ємно-планувальні рішення по розміщенню проектованої установки: всі частини холодильної установки, що містять фреон розташовують в машинному відділенні, висотою не менше 3,5 м. Машинне відділення розташовується на першому поверсі холодильника. Двері машинного відділення виходять назовні будівлі. Мінімальні розміри проходів для хладонових компресорів з об'ємною подачею менш 0.0017м3 / с складають: головний прохід від електро-щитка до виступаючих частин машин - 1.2м, між виступаючими частинами машини 1м.

Методи визначення місць витоків холодильного агента

Не щільності в хладонових холодильних установках виконують за допомогою розчину мильної емульсії, полімерних індикаторів, галоїдних ламп і витокошукачів. Перспективним способом є додавання до хладону фарбувальних індикаторів, що утворюють в місцях нещільностей стійкі колірні плями.

При контролі за допомогою розчину мильної емульсії нещільності виявляють по бульбашках, що виникають в місцях витоку. Чутливість розчину

мильної емульсії невисока, контроль герметичності систем холодоагенту трудомісткий, з розчином складно працювати при мінусовій температурі навколишнього середовища. Полімерні індикатори - водні розчини природних і синтетичних полімерів з додаванням поверхнево-активних речовин, регуляторів водневого показника середовища, антифризів і барвників. Індикатори мають високу чутливість і використовуються в інтервалах температур навколишнього повітря +5 ÷ + 30 ° С ( «склад-1»). У місцях витоків полімерний склад, нанесений на контрольовану поверхню фарборозпилювачем, утворює скупчення бульбашок або «кокони» піни, які стійко зберігаються не менше 24 год.

Принцип дії галоїдних ламп заснований на властивості сполук, що містять галоїди (фтор і хлор), змінювати колір полум'я пальника в присутності нагрітої до 600 - 700 ° С міді. Галоїдні витокошукачів (типу ВАГТІ-3, ГТВ-6, БГТІ-5) мають більш високу чутливість, ніж галоїдні лампи.

Принцип дії витокошукачів заснований на властивості розпеченої платини збільшувати іонну емісію зі своєї поверхні в присутності газів, що містять галоїди. При визначенні місць витоку фреону галоїдними лампами і витокошукачами приміщення машинного відділення попередньо вентилюють, під час перевірки в приміщенні не повинно бути сильних припливів повітря.

Контрольно-вимірювальні прилади

На всмоктуючої і нагнітальної стороні кожного компресора повинні бути встановлені, фреонові мановакуумметри і манометри зі шкалою тисків і температур.

На кожному компресорі повинен бути встановлений манометр або мановакуумметри для вимірювання тиску оливи.

Манометри і мановакуумметри повинні бути не нижче 2,5 за ГОСТом 8625-65

Манометри і мановакуумметри повинні перевірятися і пломбуватись в установленому порядку не рідше одного разу на рік, а також після кожного ремонту. Крім того, не рідше одного разу в 6 місяців підприємством повинна

проводитися додаткова перевірка робочих манометрів контрольним із записом результатів в журнал контрольних перевірок.

При відсутності контрольного манометра дозволяється додаткову перевірку проводити перевіреним робочим манометром.

Манометри повинні бути встановлені так, щоб їх показання були чітко видні обслуговуючому персоналу; циферблат повинен бути розташований у вертикальній площині або з нахилом вперед до 30 °.

Манометри і мановакуумметри, встановлені на висоті вище 3,5 м від рівня площадки для обслуговування, повинні бути діаметром не менше 200 мм.

Не допускається застосовувати манометри і мановакуумметри у випадках, коли відсутня пломба або клеймо, прострочений термін повірки, а також з розбитим склом або іншими ушкодженнями, що можуть відбитися на правильності їх показань.

Запірні вентилі повинні встановлюватися: на кожній всмоктуючої і нагнітальної лініях компресора; на кожному вхідному і вихідному патрубках забірників рідкого фреону (ресивера, кожухотрубного випарника).

Забірники рідкого фреону (ресивер) повинні забезпечуватися покажчиками рівня рідини.

Арматура повинна бути доступна для зручного і безпечного обслуговування і ремонту.

Фреонова установка повинна бути забезпечена реле тиску, яке зупиняє компресор в разі підвищення надлишкового тиску нагнітання. Це реле має бути приєднано до запірного нагнітального вентиля компресора по ходу фреону. На кожному компресорі має бути встановлено реле контролю змащення, яке зупиняє компресор в разі зниження тиску в системі змащення до нижнього допустимого рівня.

Компресори з охолоджувальною водяною сорочкою повинні забезпечуватися автоматичним приладом (реле витрати, реле тиску та ін.), який зупиняє компресор в разі припинення надходження води в охолоджувальну

сорочку.

Так як компресори з'єднані паралельно, то вони повинні бути забезпечені автоматичними пристроями, (зворотний клапан, реле рівня і ін.), Що запобігають перехід оливи з одного компресора в інший (інші).

Правила безпеки при обслуговуванні

Планові огляди і ревізії установки повинні проводитися відповідно до затвердженого графіка, складеного з урахуванням рекомендацій заводу-виготовлювача і експлуатаційних умов кожної установки.

Огляд і попереджувальний ремонт системи заземлення повинні проводитися відповідно до вимог "Правил технічної експлуатації та безпечного обслуговування електроустановок промислових підприємств".

Закривати нагнітальний вентиль компресора дозволяється тільки після усунення можливості його автоматичного пуску.

Вимірювання лінійного мертвого простору компресора виробляється тільки при ручному провертанні вала.

Забороняється експлуатувати запірну арматуру з пошкодженими маховичками, що утрудняють відкриття і закриття посудин, апаратів і балонів.

Щоб уникнути заклинювання вентилів, які не мають зворотного ущільнення сальника при виведеному маховику, забороняється тримати їх у відкритому вщерть положенні. Якщо за умовами експлуатації запірний вентиль необхідно відкривати на максимальний прохід, то його спочатку слід відкрити повністю, а потім повернути назад, приблизно на 1/8 обороту маховика.

Манометри і мановакуумметри повинні перевірятися і пломбуватись в установленому порядку не рідше одного разу на рік, а також після кожного ремонту. Крім того, не рідше одного разу в 6 місяців підприємством повинна проводитися додаткова перевірка робочих манометрів контрольним із записом результатів в журнал контрольних перевірок.

При відсутності контрольного манометра допускається додаткову перевірку проводити перевіреним робочим манометром.

Користування несправними автоматичними приладами забороняється. Перевірка приладів автоматичного захисту повинна проводитися не рідше одного разу на рік зі складанням акта.

Знімати огородження з працюючого обладнання забороняється.

Забороняється одночасно закривати вхідний і вихідний вентилі на апаратах, заповнених фреоном більш ніж на 80% обсягу.

Витік фреону слід усувати негайно при її виявленні. У разі значного витоку фреону слід негайно зупинити компресор, включити вентиляцію або відкрити вікна і двері, і усунути витік.

Підтягування болтів у фланцевих з'єднаннях, а також повну або часткову заміну сальникової набивки запірної арматури дозволяється проводити тільки після зниження тиску фреону в пошкодженій ділянці до атмосферного і відключення цієї ділянки від решти системи.

При огляді внутрішніх частин фреонових компресорів і апаратів дозволяється для цілей освітлення користуватися тільки переносними лампами напругою не вище 36 в або електричними кишеньковими і акумуляторними ліхтарями. Користуватися для освітлення відкритим полум'ям забороняється.

При додаванні фреону в установку слід керуватися вказівками, що відносяться до заповнення установки.

У разі заповнення балонів фреоном з установки дозволяється використовувати лише балони з не простроченим терміном перевірки. Норма заповнення на 1 л ємності не повинна перевищувати 1,1 кг фреону.

Електробезпека

Класифікація приміщення за ступенем небезпеки ураження

електричним струмом

Згідно з Правилами улаштування електроустановок, всі електричні

установки діляться на дві групи в залежності від напруги: до 1000 В і понад 1000 В. На підприємствах холодильної промисловості, а також в харчовій промисловості і в торгівлі знаходяться в експлуатації установки тільки першої

групи.

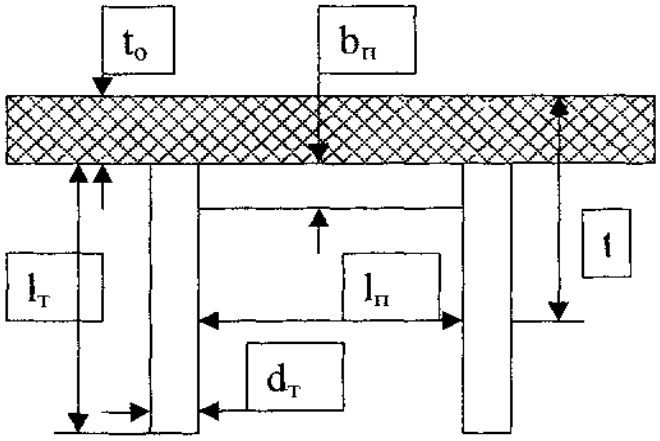
Виробничі приміщення всіх видів в залежності від ступеня небезпеки ураження електричним струмом поділяються на три категорії.

Машинні та апаратні зали фреонових холодильних установок відносяться до приміщень з підвищеною небезпекою.

Небезпечні приміщення - сирі, з відносною вологістю повітря, близькою до 85%, наявністю хімічно активного середовища і двох і більше ознак, що характеризують приміщення з повищенною небезпекою.

Розрахунок заземлюючого пристрою

Захисному заземленню та зануленню підлягають металеві струмопровідні частини електрообладнання, які через несправність ізоляції можуть опинитися під напругою. На нашому підприємстві до них відносяться: корпус компресорів, відцентрових аміачних насосів і вентиляторів.




Початкові дані:

Напруга - 380 В, тому опір нового заземлюючого контуру має бути [R] ≤4 Ом;

Умова розрахунку:

Грунт - глина, для якої питомий опір $\rho = 30$ Ом·м.[1]

Розрахунок:

Заземлювач виконан з труби (труба $d_m = 0,03$ м и довжиною $l_m = 2$ м., діаметр и довжина одиночного стрижня).

Труби між собою з'єднані сталевою смугою шириною $b_n = 0,04$ м. Труби забиті так, щоб верхній край був нижче рівня землі на глибину $H_0 = 0,5$м

$t_0 = 0,5$ м на цій же глибині розміщена смуга.

Опір одного стрижня заземлювача:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l_m}\left(\ln\frac{2l_m}{d_m} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l_m}{4t - l_m}\right)$$

$$R = \frac{45}{2 \cdot 3,14 \cdot 2}\left(\ln\frac{2 \cdot 2}{0,03} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \cdot 1,5 + 2}{4 \cdot 1,5 - 2}\right) = 18,746 \text{ Ом}$$

1) Середній питомий опір грунту: $\rho = \rho_\phi \cdot \psi = 30 \cdot 1,5 = 45$ Ом/м

$\rho$ - питомий опір грунту;

$\psi$ - кліматичний коефіцієнт, який враховує сезонні коливання опору грунту

2) $d_m$ - зовнішній діаметр труби;

3) t - глибина центру труби;

$$t = 0,5l_m + t_0$$

$$t = 0,5 \cdot 2 + 0,5 = 1,5 \text{ м}$$

Приймаємо відстань між стрижнями заземлювачів, довжину одиночної смуги $l_n = 2 \cdot l_n = 4$ м;

Кількість вертикальних заземлювачів:

$$n = \frac{R}{[R]} = \frac{18,8}{4} = 4,7 \text{ шт}$$

Округлимо отримане значення до найближчого стандартного значення 2, 4, 6, 20

Приймаємо n = 6 шт.

Опір системи вертикальних заземлювачів:

$$R_в = \frac{R}{n \cdot \eta_в}, \text{ где}$$

ηв = 0,77 – коефіцієнт використання вертикальних систем заземлення; [5]

$$R_в = \frac{18,8}{6 \cdot 0,77} = 4.06 \text{ Ом}$$

Довжина горизонтального заземлювача:

$$L = l_n(n-1)$$

$$L = 4(6-1) = 20 \text{ м}$$

Опір горизонтального заземлювача:

$$R_г = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \eta_г} \ln \frac{2L^2}{b_п \cdot t_0}$$

$$R_г = \frac{45}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 0,84} \ln \frac{2 \cdot 20^2}{0,04 \cdot 0,5} = 4,514 \text{ Ом}$$

Опір групових заземлювачів:

$$R_{гр} = \frac{R_в \cdot R_г}{R_в + R_г}$$

$$R_{гр} = \frac{4.06 \cdot 4,514}{3,68 + 4,514} = 2,137 \text{ Ом}$$

Що менше допустимого [R] = 4 Ом.[1]

Висновок

Заземлення контуру складається з шести труб довжиною 2 м забитих на відстані один від одного 4 м, на глибину від верхнього рівня землі на 0,5 м, і у верхній частині мають з'єднання смугою шириною 0,04 м.

Пожежна профілактика

Протипожежні вимоги

Всі будівлі і конструкції по вогнестійкості поділяються на 8 ступенів (СНиП 2.01.02-85). Конструкція будівлі повинна бути 2 ступеня вогнестійкості з негорючих матеріалів - під впливом вогню або високої температури не займаються, не тліють і не обвуглюються.

До вогнетривких матеріалів відносяться всі природні неорганічні матеріали, що застосовуються в будівництві, метали, а також гіпсові або гіпсоволокнисті плити при вмісті органічної маси до 8% (по масі).

Для захисту будівель і споруд від розповсюдження пожежі на весь об'єкт передбачають протипожежні перешкоди. До таких перешкод належать

протипожежні стіни, перегородки, перекриття, зони, тамбури-шлюзи і ін.

До всіх будівель і споруд повинен бути забезпечений вільний доступ.

Засоби пожежної автоматичної сигналізації

Надійний пожежний зв'язок і сигналізація грають важливу роль в своєчасному виявленні пожеж і виклику пожежних підрозділів до місця пожежі.

За призначенням пожежі зв'язок поділяється на три види: зв'язок сповіщення, призначена для виклику пожежних частин (команд) на пожежу; диспетчерська, призначена для повсякденного керівництва та управління пожежною охороною; зв'язок на пожежі, призначена для керівництва пожежними підрозділами під час гасіння пожеж.

Приймальні станції, отримуючи сигнал з сповіщувачів, перетворюють їх в звукові і світлові сигнали, а в деяких випадках автоматично включають обладнання пожежогасіння.

На підприємствах і установах знайшли застосування прийомні станції ТОЛ-10/100 (тривожна, оптична, променева), які працюють з тепловими сповіщувачами типу АТИМ-3, АТП-ЗМ, ПОСТ-1 і ДТЛ і від ручних кнопкових сповіщувачів типу ПКІЛ-9.

Крім зазначеної станції, застосовується і ряд інших, зокрема: сигналізаційна димова пожежна установка СДПУ-1, сигналізаційна теплова пожежна установка СТПУ-1 і сігналізаційна комплексна пожежна установка СКПУ-1.

Системи автоматичного пожежогасіння (первинні засоби пожежогасіння, пожежний інвентар)

Для автоматичного гасіння пожежі розпорошеної водою використовуються спрінкерні і дренчерні установки. Вони діють в залежності від температури повітря в приміщенні.

Вогнегасні засоби

Речовини і матеріали, за допомогою яких припиняється горіння, називаються вогнгасними засобами. За своїм агрегатним станом ці кошти

бувають: рідкі, піноподібні, пароподібні, тверді.

Припинення горіння досягається шляхом зниження температури в осередку горіння, створенням таких умов, коли швидкість тепловіддавання перевищить швидкість тепловиділення. В основі принципу припинення горіння полягає ізоляція палаючого матеріалу від доступу кисню повітря. Вода і водні розчини - найбільш поширені і ефективні засоби боротьби з пожежами.

Піна застосовується при гасінні палаючих нафтопродуктів. За своїм складом або способу отримання розрізняють хімічну і повітряно-механічну піну.

Хімічну піну одержують в піноутворювальній апаратурі з піногенераторних порошків. Гасіння засноване на тому, що на поверхні піна розтікається щільним шаром і ізолює палаючі нефтопродукти від повітря.

Протипожежне озброєння та інвентар

При гасінні пожеж піною широко застосовують генератори високократної піни ГВП та хімічні вогнегасники ОХП-10.

Генератори ГВП мають кілька типорозмірів: ГВП-200, ГВП-600,

ГВП-2000. Відрізняються вони один від одного геометричними розмірами і продуктивністю (від 200 до 2000 л / с). Повітряно-механічна піна
виходить при змішуванні в генераторі води, піноутворювача і повітря. Використовуються піноутворювачі марок ПО-1, ПО-1Д, ПО-6.

Вогнегасник ОХП-10 хімічний, пінний (модель 10). Забороняється застосовувати цей тип вогнегасників при гасінні палаючих електроустановок, що знаходяться під напругою, так як утворюється піна електропроводна. Час роботи вогнегасника 60-65 с, тому необхідно приводити його в дію безпосередньо у вогнища пожежі і струмінь піни направляти в палаючий предмет.

Вуглекислотні вогнегасники застосовують при гасінні пожеж: в електроустановках, що знаходяться під напругою до 1000 В.

Порошкові вогнегасники застосовують при гасінні загоряння на мотоциклах, легкових і вантажних автомашинах.

Порошкові вогнегасники є комплектуючої одиницею пожежних щитів. У

комплект пожежних щитів входить наступне протипожежне обладнання: лом, багор, відро пожежне (конусне), сокира з діелектричною рукояткою (до 1000 вольт), лопата

Встановлюється пожежний щит в місцях, які можуть гарантувати швидкий доступ до протипожежного обладнання в разі загоряння. Пожежні щити є відкритим стендом і як правило встановлюються на територіях, що охороняються, складах і т.ін.

Розрахунок пожежної водойми

Розрахунок недоторканного запасу води в резервуарі виходить з можливості кількості одночасних пожеж, розрахункової продуктивності їх і витрата води в період пожежі:

Обсяг пожежного резервуара:

$$V = \frac{k \cdot q \cdot n \cdot \tau}{1000} \cdot 3600,$$

де

$\tau$ - розрахункова тривалість пожежі, для будівель категорії Д $\tau = 3$ ч.;

$q$ - питоме водоспоживання $q = 20\,\text{м}^3/\text{с}$;

$k$ - коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання $k = 1$;

$n$ - кількість людей.

$$V = \frac{1 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 3}{1000} \cdot 3600 = 216\ \text{м}^3$$

Розрахунок виробничого освітлення

При освітленні виробничих приміщень використовують природне освітлення, що створюється світлом неба (прямим і відбитим), штучне, здійснюване електричними лампами, і поєднане, при якому в світлий час доби недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Для загального штучного освітлення компресорного цеху приймаємо лампи накалювання, так як значення напруги можуть знижуватися до 90% номінальної напруги.

Вибір загальної, верхньої системи освітлення по гігієнічним параметрам дає рівномірний розподіл світла.

Для ламп накалювання приймаємо найбільш поширені світильники прямого світла УПМ-15.

Відношення відстані між лампами і висоти до робочого місця приймаємо

$L_k / H_p = 1,5$, тогда $L_k = H_p \times 2 = 3,2 \times 1,5 = 4,8$ м

кількість світильників

$$N = (A \times B) / L_k^{\,2} = (6 \times 6) / 4,8^2 = 1,56 \text{ шт;}$$

Приймаємо кількість світильників N = 2 шт. Розраховуємо світловий потік від однієї лампи.

$$\Phi_л = (E_н \times \kappa \times z \times S) / (N \times \eta)$$

де

$E_н$ - нормована мінімальна освітленість, лк; приймаємо

$E_н$=150лк;

S - площа освітлюваного приміщення, м$^2$; S=36 м$^2$;

z - коефіцієнт мінімальної освітленості, z=1,15;

N - кількість світильників, шт; N=2 шт;

$\eta$ - коефіцієнт використання світлового потоку ламп, залежить від висоти підвісу світильників, показника приміщення і, відбиття від стін і стелі, $\eta$ =0,42 [5];

Визначаємо показник приміщення і

$$i = (A \times B) / H_p (A + B)$$

де А и В - два характерних розміра приміщення.

$i = 6 \times 6 / 3,2(6+6) = 0,937$

$$\Phi_л = (150 \times 1,15 \times 1,3 \times 36) / (2 \times 0,42) = 9100 \text{ лм}$$

Приймаємо 1 лампу накалювання, марки НГ-53 з світловим потоком 8000 лм., І потужністю 500Вт. потужність

Розрахунок системи вентиляції

Пускові пристрої аварійної вентиляції розміщують як всередині вентильованих приміщень (біля виходів), так і поза ними, на зовнішній стіні будівлі. Пристрої для пуску аварійної вентиляції, розміщені зовні, блокують з пристосуваннями для відключення живлення силового електрообладнання холодильної установки.

Машинне відділення повинно бути забезпечено опаленням і вентиляцією відповідно до вимог «Санітарних норм проектування промислових підприємств (СН 245-63). Припливна і витяжна (вона ж аварійна) вентиляція повинна бути примусовою з кратністю циркуляції не менше 3.

Припливні і витяжні повітроводи рекомендується розміщувати на протилежних стінах машинного залу.

Розрахунок системи вентиляції виробляємо по кратності вентиляції по галузевим нормам.

Приплив к = 3

Витяжка к = 4

Аварійна к = 6

Продуктивність вентиляції:

$$L = V_{к.ц.} \cdot к = 216 \cdot 3 = 648 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$L = V_{к.ц.} \cdot к = 216 \cdot 4 = 864 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$L = V_{к.ц.} \cdot к = 216 \cdot 6 = 1296$$

Потужність електродвигуна:

$$N_{эл.дв.} = \frac{k \cdot L \cdot H \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot \eta_{ввент}} = \frac{1,2 \cdot 648 \cdot 250 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,85} = 0,06 \text{ кВт}$$

$$N_{эл.дв.} = \frac{k \cdot L \cdot H \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot \eta_{вент}} = \frac{1,2 \cdot 864 \cdot 250 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,85} = 0,08 \text{ кВт}$$

$$N_{эл.дв.} = \frac{k \cdot L \cdot H \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot \eta_{вент}} = \frac{1,2 \cdot 1296 \cdot 250 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,85} = 0,127 \text{ кВт}$$

Підібрані вентилятори

| Вид вентиляції | Марка вентилятора | $N_{эл}$ | n |
|---|---|---|---|
| Припливна | Vent160L | 0,127кВт | 1400об/хв |
| Витяжна | Vent160L | 0,160 кВт | 1400об/хв. |
| Аварійна | Vent160L | 0,237 кВт | 1400об/хв |

Долікарська допомога

Симптоми отруєння при вдиханні повітря з високими концентраціями фреонів або продуктів їх розкладу проявляються через 30 - 60 хв. З'являється головний біль, слабкість, почастішання пульсу і дихання, можуть спостерігатися нудота і блювота. При попаданні рідких фреонів на шкіру і в очі можливо обмороження шкіри і пошкодження очей. Обслуговуючий персонал холодильної установки повинен вміти надавати першу допомогу постраждалим при отруєнні і ураженні холодоагентом.

При задусі, викликаной нестачею кисню в приміщенні, заповненому газоподібним фреоном, необхідно негайно вивести потерпілого на свіже повітря. Рекомендується пити (міцний солодкий чай, каву, лимонад), вдихання кисню протягом 30-45 хвилин. У разі припинення дихання слід робити штучне дихання до приходу лікаря. При попаданні фреону в очі їх промивають струменем води кімнатної температури під невеликим тиском і закапують в очі стерильне вазелінове масло, після чого необхідно негайно звернутися до лікаря.

При наявності явищ подразнення слизової оболонки, рекомендується полоскання носа і глотки 2% -ним розчином соди або водою.

При попаданні фреону в очі необхідно провести рясне промивання очей струменем чистої води. Потім слід до приходу лікаря надіти темні захисні окуляри. Не забинтовувати очі, не накладати на них пов'язок. При попаданні фреону на шкіру можна очікувати відмороження. Слід занурити уражену кінцівку в теплу воду (35-45 ° С) на 5-10 хвилин або зробити загальну ванну в разі ураження великій поверхні тіла. Осушити шкіру після ванни не

розтиранням, а прикладаючи рушник, який добре вбирає воду. Після цього слід на пошкоджену ділянку накласти мазеву пов'язку або змастити пошкоджену поверхню маззю. При відсутності мазі можна використовувати несолоне вершкове або соняшникову олію. У разі появи бульбашок ні в якому разі їх не розкривати, а накласти мазеву пов'язку прямо на бульбашки.

Засоби для першої долікарської допомоги

1. Нашатирний спирт (для дихання).

2. Валеріанові краплі.

3. Двовуглекисла сода (для промивання очей і порожнини горла).

4. Мазь Вишневського або пеніцилінова мазь (для змащування пошкодженої поверхні шкіри).

5. Темні захисні окуляри.

6. Стерильний матеріал (серветки, вата, бинти).

7. Дерев'яні лопатки (для взяття і накладення мазі).

8. У спеціально відведеному місці слід мати балон з медичним киснем і обладнанням до нього.

Висновки: для забезпечення безпечних умов праці, на підприємстві передбачено низку заходів. Перш за все, виконані основні вимоги щодо електробезпеки. Зроблено розрахунок заземлюючих елементів, що в майбутньому захищає від ураження електричним струмом від приладів, що працюють під напругою. Для нормального самопочуття працівників машинного цеху передбачена система мікроклімату, яка забезпечує приплив свіжого повітря протягом робочої зміни. Нормальна освітленість з наявністю свіжого повітря в робочому приміщенні дозволяє комфортно відчувати робочому персоналу під час робочої зміни, що позитивно позначається на роботі в цілому.

# ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ

**Розрахунок вартості науково-дослідницької магістерської роботи**

**Формування стрічкового графіку виконання роботи**

Плани підготовки магістерської роботи формують з використанням різних моделей, один з яких стрічковий графік.

Стрічковий графік – графічна модель з переліком робіт, що виконуються,

з зазначенням часу початку робіт, часу завершення робіт і тривалості всієї роботи. Формування стрічкових графіків вимагає розрахунків трудомісткості і тривалості кожної роботи і кількості виконавців. Для цих розрахунків потрібні нормативи трудомісткості виконання робіт, диференційованих за такими ознаками, як ступінь новизни, складності, формат креслень.

Перевагами стрічкового графіка є простота, наочність, можливість відображення змісту і багатьох організаційно-економічних характеристик робіт

**Таблиця 9** – Дані для створення стрічкового графіка

| Стадія № | Назва стадії | Трудомісткість робіт (посада виконавців) | Тривалість, доба |
|---|---|---|---|
| 1 | Розробка та затвердження технічного завдання | здобувач/ доцент | 0/2 |
| 2 | Вивчення технічного завдання | здобувач/ доцент | 5/0 |
| 3 | Огляд і вивчення літератури | здобувач /доцент | 14/14 |
| 4 | Розробка математичної моделі об'єкта | здобувач /доцент | 10/0 |
| 5 | Вибір методу дослідження | здобувач /доцент | 0/2 |
| 6 | Адаптація методів дослідження до практичного застосування | здобувач /доцент | 2/0 |
| 7 | Теплові і конструктивні розрахунки елементів об'єкта | здобувач /доцент | 35/0 |
| 8 | Розробка креслень і графічних моделей | здобувач /доцент | 5/0 |
| 9 | Аналіз результатів досліджень | здобувач /доцент | 2/2 |
| 10 | Корекція моделей і алгоритмів, що використовуються | здобувач /доцент | 0/7 |
| 11 | Оформлення пояснювальної записки | здобувач /доцент | 2/0 |
| 12 | Обговорення та затвердження результатів роботи | здобувач /доцент | 2/2 |
| 13 | Підготовка матеріалів роботи до захисту | здобувач/доцент | 2/0 |
| Разом: | | | 77/29 |

Загальний термін роботи 3 місяці, з 11 вересня по 10 грудня 2023 року з урахуванням вихідних днів. Кількість робочих календарних днів за цей період склало 65 (5-ти денний робочий тиждень )

На підставі даних таблиці 13 складемо календарний графік виконання робіт, що відображає тривалість кожного виду робіт у вигляді відрізків часу, які розташовуються відповідно до послідовності виконання робіт (рис. 10).

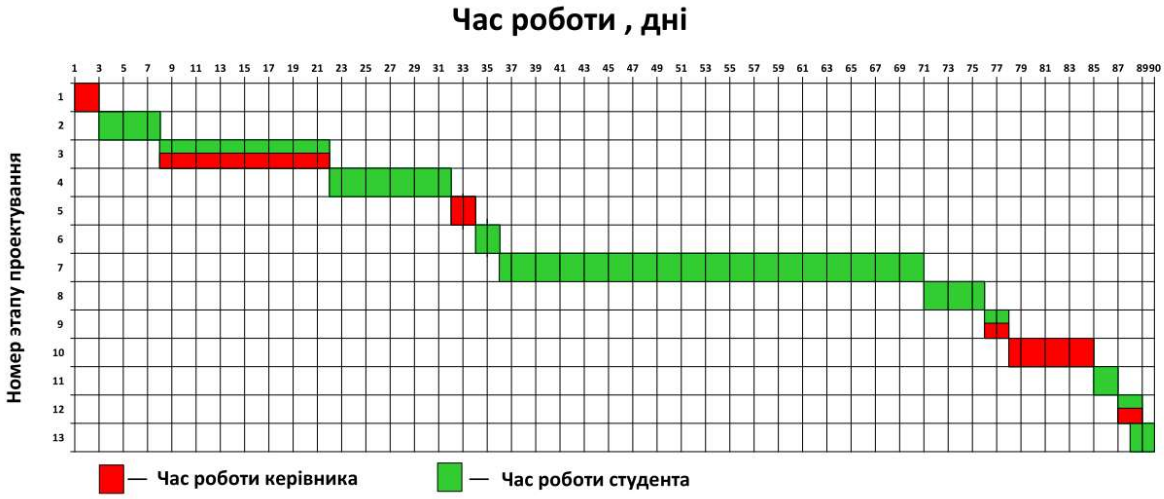



**Рисунок 13** – Стрічковий графік виконання роботи

**Розрахунок вартості досліджень і розробок**

Кошторис витрат на НДР являє собою вартісну оцінку використовуваних у процесі виконання магістерської роботи матеріалів, енергії, основних фондів, трудових ресурсів, а також інших витрат на її створення та захист.

Витрати, що утворюють кошторис, групують відповідно до їх економічного змісту за такими елементами*:*

- матеріальні витрати;
- вартість робочої сили;
- амортизація основних засобів;
- інші витрати.

Матеріальні витрати

**Таблиця 10** – Список матеріальних витрат

| Назва | Одиниці | Кількість | Ціна за одиницю, гривень. | Сума, гривень. |
|---|---|---|---|---|
| Канцелярські товари | Шт. | 10 | 150 | 1500 |
| USB флеш-пам'ять | Шт. | 1 | 450 | 450 |
| Чорнило для лазерного принтера | Шт. | 1 | 450 | 450 |
| Разом | | | | 2400 |

Витрати на електроенергію включають до статті матеріальних

$$B_{ел} = N \cdot c_{ел} \cdot \tau_{в} \quad (1)$$

Де $N$ – енергоспоживання обладнання кВт/год;

$c_{ел}$ – вартість 1 кВт/год, гривень;

$\tau_{в}$ – час використання обладнання під час робіт, год.

Для роботи використовували персональний комп'ютер потужністю 350 Вт і принтер потужністю 10 Вт. У ПІВМ є час: 50 днів, 8 годин на добу,

принтера- 6 хвилин.

Вартість 1кВт електроенергії становить – 2,64 гр/кВт.

Вартість електроенергії становить:

$$B_{ел} = 0,35 \cdot 2,64 \cdot 50 \cdot 8 + 0,01 \cdot 2,64 \cdot 0,1 = 369,6\,\text{гр.} \quad (2)$$

Загалом матеріальні витрати дорівнюють:

$$\sum B = B_{м} + B_{ел} = 2400 + 369,6 = 2769,6\,\text{гр.} \quad (3)$$

Витрати на заробітну плату включають заробітну плату керівника (доцента), і стипендію здобувача.

Заробітна плата нараховується, виходячи із ставки розробника і часу, що витрачається на виконання роботи.

Доцент має ставку 12800 гривень, здобувач має ставку 2500 гривень.

Виходячи з витрат часу на розроблення (керівник - 29 днів, здобувач - 77 днів), зарплата дорівнює:

$З_{кер} = \frac{12800}{22} \cdot 29 = 16872,72$ гр – зарплата керівника;

$З_{ст} = \frac{2500}{22} \cdot 77 = 8750$ гр – зарплата здобувача.

Витрати на заробітну плату:

$\sum З = З_{кер} + З_{ст} = 16872,72 + 8750 = 25622,72$ гр.

Додаткова зарплата становить 15% від основної суми:

$З_{дод} = \sum З \cdot 0,15 = 25622,72 \cdot 0,15 = 3843,408$ гр.

Фонд оплати праці:

$Ф_{зп} = З_{дод} + \sum З = 20774,95 + 3116,24 = 23891,191$ гр.

Загальні прямі витрати

$\sum В_{пр} = Ф_{зп} + \sum В = 23891,191 + 2769,6 = 26660$ гр

**Таблиця 11** – Необхідні витрати

| Назва витратних позицій | Сума, гривень. | Відсоток |
|---|---|---|
| Матеріальні витрати, $\sum В$ | 2769,6 | 5 |
| Витрати на заробітну плату, $Ф_{зп}$ | 23891,191 | 95 |
| Загальна вартість, $\sum В_{пр}$ | 26660 | |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ


1. CAyaz, H.; Chinnasamy, V.; Yong, J.; Cho, H. Review of Technologies and Recent Advances in Low-Temperature Sorption Thermal Storage Systems. Energies 2021, 14, 6052. https://doi.org/10.3390/ en14196052 Academic
2. Reif-Acherman, Simón. (2012). The early ice making systems in the nineteenth century. International Journal of Refrigeration. 35. 1224–1252. 10.1016/j.ijrefrig.2012.03.003
3. . Erek, A., and M.A. Ezan. 2007. Experimental and numerical study oncharging processes of an ice-on-coil thermal energy storage system. International Journal of Energy Research 31(2):158–76.
4. Zhao, Jingde & Ngai, Liu & Kang, Y.M.. (2008). Optimization of ice making period for ice storage system with flake ice maker. Energy and Buildings. 40. 1623-1627. 10.1016/j.enbuild.2008.01.008.
5. Driemeier, Carlos & Zilles, R.. (2010). An ice machine adapted into an autonomous photovoltaic system without batteries using a variable-speed drive. Progress in Photovoltaics - PROG PHOTOVOLTAICS. 18. 10.1002/pip.960.
6. Koller, T., K. Spindler, and H. M€ uller-Steinhagen. 2012. Experimental and theoretical investigations of solidification and melting of icefor the design and operation of an ice store. International Journal of Refrigeration 35(5):1253–65.
7. Murgham, Haithem, David H. Myszka, Vijay Bahel, Raj Rajendran, Kurt Knapke, Suresh Shivashankar and Kyaw Wynn. “Simulation Model of an Automatic Commercial Ice Machine.” (2016).
8. Shittu, Rasheed & Titiladunayo, Isaac. (2018). Experimental Investigation of the Performance and Energy Consumption of an Automated Ice-cube Making Machine. 3. 1-12. 10.9734/JERR/2018/45239.
9. Osore, Olufemi & Ramonu, Olayinka. (2021). THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN ICED BLOCK MAKING MACHINE

10. Cao, Wensheng & Beggs, Clive & Mujtaba, Iqbal. (2015). Theoretical approach of freeze seawater desalination on flake ice maker utilizing LNG cold energy. Desalination. 355. 10.1016/j.desal.2014.09.034.
11. Zhan Liu & Haihui Tan (2019) Thermal performance of ice-making machine with a multi-channel evaporator, International Journal of Green Energy, 16:7, 520-529, DOI: 10.1080/15435075.2019.1597368.
12. Zhan Liu, Jia Yan, Penghui Gao & Haihui Tan (2019) Experimental study on temperature distribution in an ice-making machine multichannel evaporator, Science and Technology for the Built Environment, 25:1, 69-82, DOI: 10.1080/23744731.2018.1499382.
13. Zhili Sun, Xiaobao Chen, Yongan Yang, Yufeng Gao, Tong Ren, Yi′an Wang, Hailing Fu, Jieling Zhang, Sicong Hou, Feng Jiao, Di Liang, Jintao Li, Theoretical analysis and experimental study on the performance of ice buckets in a flake ice maker, Case Studies in Thermal Engineering, Volume 39, 2022, 102449, ISSN 2214-157X, https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102449
14. A. Mota-Babiloni, J. Haro-Ortuno, J. Navarro-Esbrí, et al., Experimental drop-in replacement of R404A for warm countries using the low GWP mixtures R454Cand R455A [J], Int. J. Refrig. 91 (2018) 136–145.
15. P. Saengsikhiao, J. Taweekun, K. Maliwan, et al., Investigation and analysis of R463A as an alternative refrigerant to R404A with lower global warming potential [J], Energies 13 (6) (2020) 1514.
16. A. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbrí, B. Peris, et al., Experimental evaluation of R448A as R404A lower-GWP alternative in refrigeration systems [J], EnergyConvers. Manag. 105 (2015) 756–762.
17. Bell I., Groll E., König H. Experimental Analysis of the Effects of Particulate Fouling on Heat Exchanger Heat Transfer and Air-Side Pressure Drop for a Hybrid Dry Cooler // Heat Transfer Engineering. 2011., No. 3-4 Vol. 32. P. 264-271. DOI: 10.1080/01457632.2010.495618.