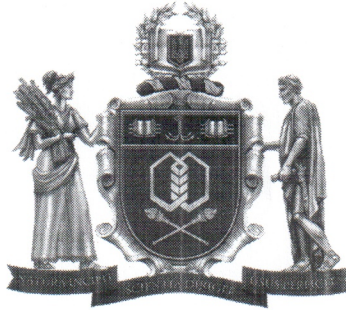


Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Кафедра холодильних установок і кондиціонування повітря



## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему: Дослідження систем акумуляції холоду та теплоти  
в промисловому холодопостачанні

Здобувача (ки) Захаров В.В.

2 курсу ХМ-771(а) групи

Керівник к.т.н., доц. Желіба Ю.О.

Консультанти: 

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри ХУіКП \_\_\_\_\_ М.Г. Хмельнюк

Одеса - 2023 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	Низькотемпературної техніки та інженерної механіки
Кафедра	Холодильних установок і кондиціонування повітря
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
Освітня програма	Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри д.т.н., проф. М.Г. Хмельнюк

«7» грудня 2023 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Захарову Віталію Валентиновичу

1. Тема роботи Дослідження систем акумуляції холоду та теплоти в промисловому холодопостачанні

Затверджена наказом ОНТУ від 31.10.2022 р. наказ № 784-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 10.12.2023 р.

3. Вихідні дані роботи

Графік теплового навантаження на холодильну установку впродовж доби, принципова схема молокопереробного заводу потужністю 200 тонн на зміну

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Знайти оптимальне значення ємності акумулятора холоду і потужності холодильної машини; знайти оптимальне значення ємності акумулятора теплої води та потужність теплообмінного обладнання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Принципова схема холодильної установки; мультимедійна презентація на 19 слайдах

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання видав
Економічна частина	Ураїва І.О.		
Н. Кошаров			

7. Дата видачі завдання 01.11.2022 р.

Керівник  Желіба Ю.О.

Завдання прийняв до виконання  Захаров В.В.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел, визначення структури роботи	28.08-10.09.23	
2	Розробка дослідницької частини роботи	11.09-02.10.23	
3	Розробка проектної частини роботи	03.10-12.10.23	
4	Розробка економічної частини	13.10-15.10.23	
5	Оформлення пояснювальної записки	16.10-29.10.23	
6	Розробка принципової схеми	30.10-08.11.23	
7	Підготовка мультимедійної презентації	09.11-18.11.23	
8	Рецензія, відгук, підготовка до захисту	19.11-02.12.23	

Здобувач-дипломник  Захаров В.В.

Керівник роботи  Желіба Ю.О.

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

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

Здобувач-дипломник Захаров Віталій Валентинович

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з: 82 сторінок друкованого тексту, 35 рисунків, 18 таблиць, 14 посилань на літературні джерела.

Робота присвячена визначенням критеріїв підбору оптимальної холодопродуктивності та ємності акумулятора холоду для холодильних установок молокозаводів, а також оптимальної ємності акумулятора теплої води та теплопродуктивності форконденсатора, призначеного для утилізації теплоти нагнітання компресорів. У якості критеріїв вибору ємності акумулятора холоду та холодопродуктивності холодильної установки використовувались добовий графік зміни вартості електроенергії та добовий графік зміни температури зовнішнього повітря. Для визначення оптимальної ємності акумулятора гарячої води проводилось обчислення вартості обладнання при різних температурах гарячої води в акумуляторі за умов, що кількість накопиченої теплової енергії в усіх варіантах однакова. За результатами вибору оптимальної комплектації розроблено проєкт аміачної холодильної установки.

**Ключові слова:** холодильна система, молокозавод, акумулятор без фазового переходу, акумуляція холоду, акумуляція теплоти, енергоресурсозбереження

## ABSTRACT

Qualification work consists of 82 pages of printed text, 18 tables, 35 figures, 14 references.

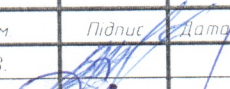
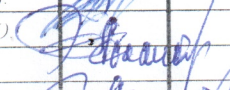
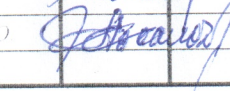
The main goal of the work is to determinate selection parameters for optimum cooling performance and cold accumulator capacity for refrigeration systems of dairy plants, as well as optimum capacity of hot water storage tank and desuperheater capacity. Daily schedule of outer air temperature, heat load, and electrical power cost are used as the criteria for cold accumulator capacity and refrigeration capacity determining. To determine the optimal capacity of the hot water accumulator, the cost of the equipment was calculated at different temperatures of hot water in the accumulator under the condition that the amount

of stored thermal energy is the same in all variants. Based on the results of choosing the optimal configuration, a project of an ammonia refrigeration plant was developed.

**Keywords:** refrigeration system, dairy plant, accumulator without phase change, cold accumulator, heat accumulator, energy saving

## ЗМІСТ

	сторінка
1 ВСТУП.....	7
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
3 ВИБІР СХЕМНОГО РІШЕННЯ.....	11
3.1 Огляд наявних гідравлічних схем без використання фазового переходу.....	11
4 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРА ХОЛОДУ.....	24
4.1 Вихідні дані та розрахункова методика.....	24
4.2 Варіант 1. Цілодобова робота при постійній холодопродуктивності.....	30
4.3 Варіант 2. Робота лише в періоди дії нічного тарифу.....	34
4.4 Варіант 3. Робота тільки в періоди дії нічного і напівнічного тарифу.....	38
4.5 Варіант 4а. Робота в періоди часу, коли температура повітря нижча за 0,5 добового ходу температури.....	41
4.6 Варіант 4б. Робота в періоди часу, коли температура повітря нижча за 0,7 добового ходу температури.....	47
4.7 Варіант 4в. Робота в періоди часу, коли температура повітря нижча за 0,8 добового ходу температури.....	49
4.8 Варіант без використання акумуляції холоду.....	53
4.9 Вибір оптимального варіанту комплектації холодильної установки з акумулятором холоду.....	56
5 ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТИ.....	58
5.1 Вихідні дані та розрахункова методика.....	58
6 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	65
6.1 Вибір компресорного обладнання.....	65
6.2 Вибір пластинчастих випарників.....	66
6.3 Вибір випарного конденсатора.....	67
6.4 Вибір насосного обладнання.....	68
6.5 Вибір циркуляційного ресивера .....	70
6.6 Розрахунок діаметрів аміачних трубопроводів .....	71
7 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	72
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	81

КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5										
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата						
Розроб.		Захаров В.В.								
Перевірив		Желба Ю.О.								
Реценз										
Н. Контр		Желба Ю.О.								
Затвердив										
Розрахунково-пояснювальна записка				<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: center;">Лист</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">Лист</td> <td style="width: 60%; text-align: center;">Листів</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">82</td> </tr> </table>	Лист	Лист	Листів	6	6	82
Лист	Лист	Листів								
6	6	82								
				ОНАХТ, зр. ХМ-761а						

## 1 ВСТУП

«Крижана» вода на підприємствах молокопереробної промисловості є найефективнішим і найбільш прийнятним холодоносієм як з точки зору санітарно-гігієнічних вимог, так і з точки зору ефективності технологічних процесів охолодження молока і молочних продуктів до потрібної температури.

На відміну від інших холодоносіїв, «крижана» вода має високе значення теплоємності за відносно низьких значень в'язкості та при високій теплопровідності. За рахунок цих фізичних властивостей води досягається високе значення продуктивності холодильної установки.

Вода замерзає при температурі 0 °С. З одного боку, необхідно намагатись охолодити воду до температури, що близька до точки замерзання, щоб отримати якомога більшу різницю температур, що дозволить охолоджувати молочні продукти до необхідної мінімальної температури. З іншого боку, густина льоду менше густини води, отже, вода після замерзання займає більший об'єм. Тому кожухотрубчасті та пластинчасті випарники при замерзанні води всередині можуть бути пошкодженими.

Більш того, утворення льоду на теплообмінній поверхні випарника знижує його коефіцієнт теплопередачі, тим самим погіршуючи теплообмін та знижуючи ефективність роботи апарата.

Саме тому для технологічних процесів з постійним або змінним тепловим навантаженням рекомендується використовувати обладнання, при експлуатації якого вода буде охолоджуватись до температури, близької до точки замерзання, і у той самий час в цьому обладнанні має бути передбачено достатньо вільного простору, щоб запобігти його руйнуванню у випадку утворення льоду.

У випадку змінного теплового навантаження на холодильну установку впродовж доби з яскраво вираженими максимумами та мінімумами, що

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

характерно для підприємств молокопереробної промисловості, акумулятори штучного холоду допомагають вирішити низку важливих завдань, серед яких наступні:

- підвищення надійності холодопостачання технологічного процесу;
- зменшення встановленої холодопродуктивності обладнання;
- зменшення витрат на електроенергію за рахунок використання трьохзонної тарифікації.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

У цій роботі предмет дослідження – холодильна система заводу з переробки молока, що має потужність 200 тонн на добу.

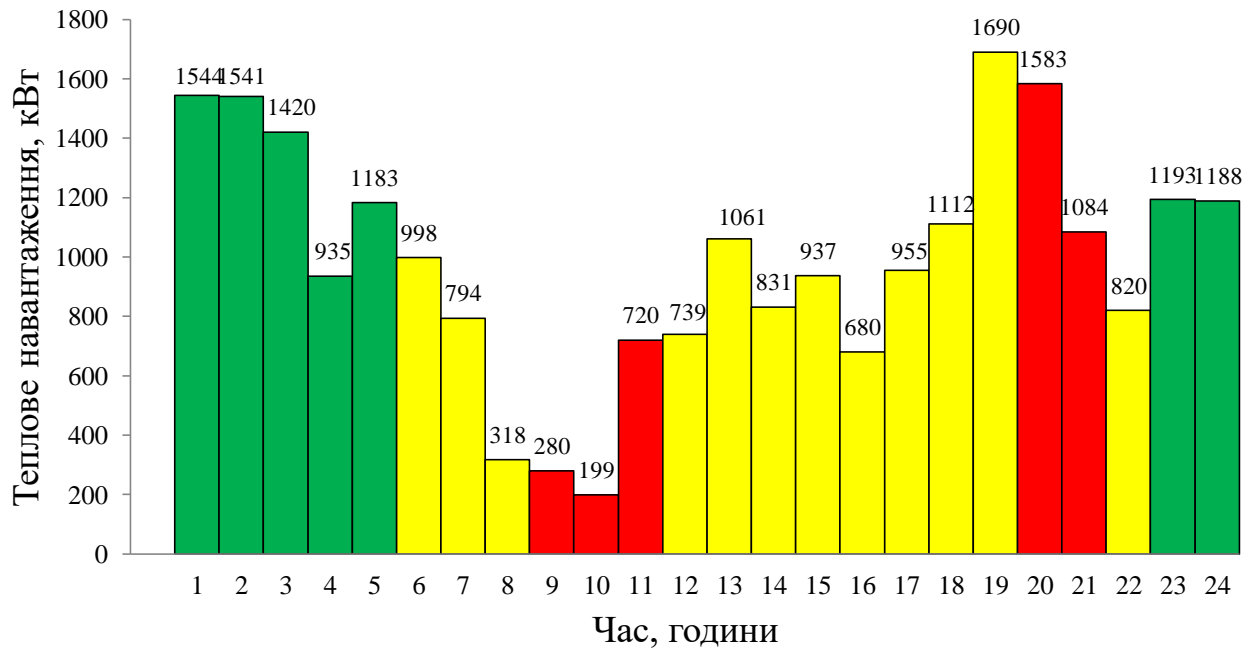


Рисунок 2.1. Добове теплове навантаження на холодильну систему (зелений – дія нічного тарифу, жовтий – денного, червоний - пікового)

У нічний час (з 23:00 до 6:00) діє пільговий тариф на електроенергію, вартість 1 кВт·год становить  $6,25 \cdot 0,4 = 2,5$  грн. У години пікового навантаження (з 8:00 до 11:00 та з 20:00 до 22:00) діє підвищений тариф на електроенергію, вартість 1 кВт·год становить  $6,25 \cdot 1,5 = 9,38$  грн. В інші періоди діє звичайний денний тариф 6,25 грн за 1 кВт·год. У графічній формі добові коливання вартості електроенергії представлені на рисунку 2.2.

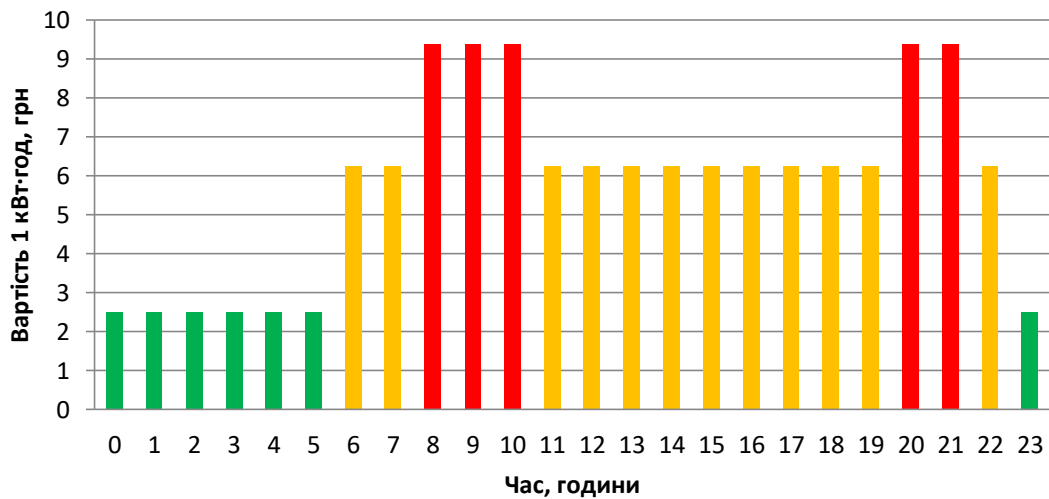


Рисунок 2.2. Графік зміни вартості електроенергії впродовж доби

З рисунку 2.1 видно, що одне з найбільших значень теплового навантаження на холодильну систему (1583 кВт) припадає на час дії пікового тарифу, отже, у цей період собівартість виробництва холоду максимальна. На початку ночі теплове навантаження досить низьке, при цьому через дію пільгового тарифу та низьке значення тиску конденсації собівартість виробництва холоду мінімальна. Отже, в таких умовах доцільно розглядати оснащення холодильної системи акумулятором холоду.

### 3 ВИБІР СХЕМНОГО РІШЕННЯ

#### 3.1 Огляд наявних схем без використання фазового переходу

В джерелах [7, 8] для систем з використанням акумулювання холоду без фазового переходу запропоновані такі схемні рішення контуру циркуляції холодоносія.

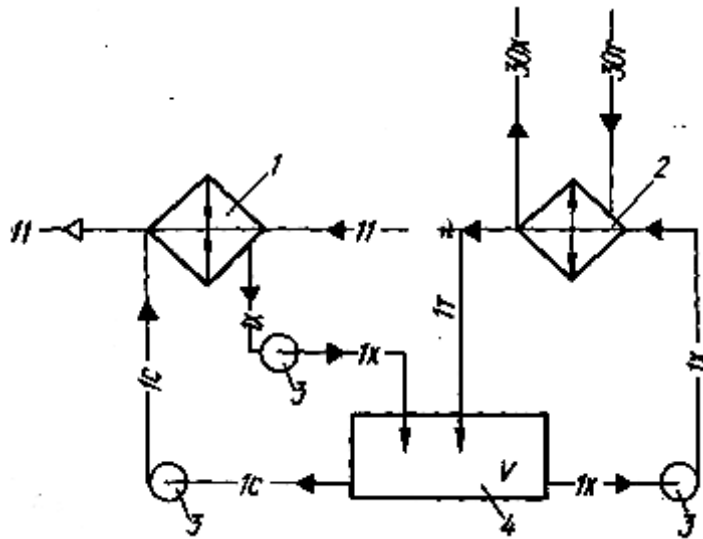


Рисунок 3.1. Схема паралельного подавання холодоносія

1 – випарник, 2 – споживач, 3 – насос, 4 – акумулятор.

Перевагами схеми з паралельним подаванням є:

- простота реалізації та управління;
- умови роботи холодильної установки майже не залежать від теплового навантаження на споживачів.

Недоліки схеми з паралельним подаванням:

- змішування потоків холодного і отепленого холодоносія, що викликає додаткові витрати енергії на виробництво холоду;
- подавання води з непостійною температурою до технологічних апаратів призводить до погіршення якості продукції;
- відсутність додаткових акумуляторів обумовлює збільшення часу заряджання.



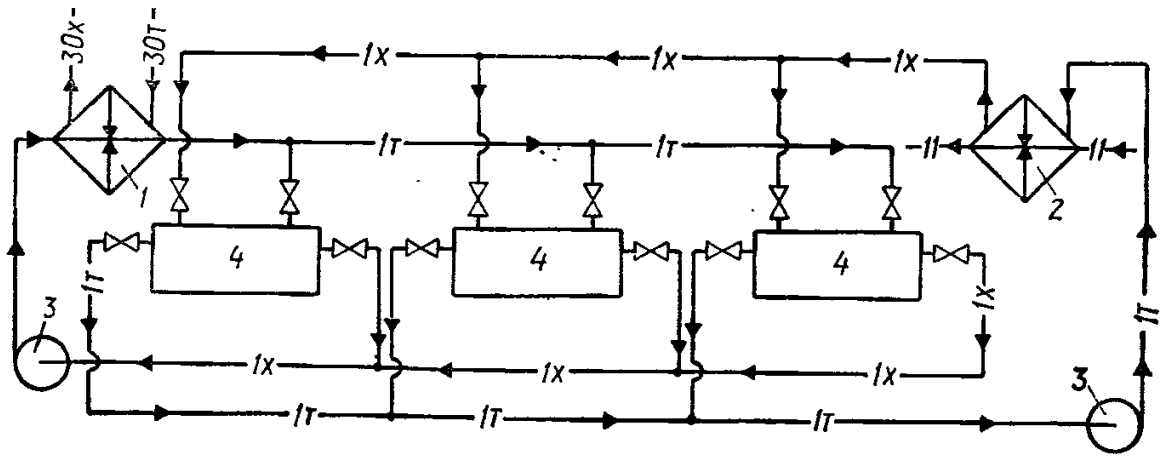


Рисунок 3.3. Схема незалежної циркуляції опаленого і охолодженого холодоносія

1 – споживач, 2 – випарник, 3 – насос, 4 – акумулятор.

Перевагами схеми з незалежною циркуляцією є:

- холодні та теплі потоки холодоносія не змішуються, отже, холодоносій надходить до технологічних апаратів з потрібною температурою;
- заряджання і розряджання акумуляторів відбувається по черзі;
- потрібна менша потужність холодильної установки у порівнянні з попередньою схемою.

Недоліком схеми з незалежною циркуляцією є те, що через збільшення кількості ємностей з'являється необхідність автоматизації системи перемикання акумуляторів.

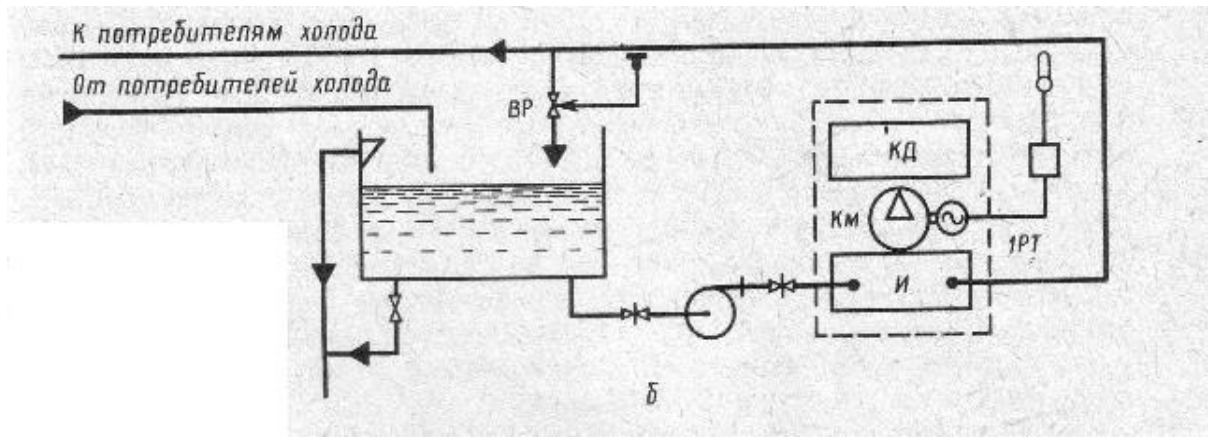


Рисунок 3.4. Схема циркуляції холодоносія з відкритим односекційним баком-акумулятором

Перевагою схеми з відкритим односекційним баком-акумулятором є зменшення кількості насосів.

Недоліки схеми з відкритим односекційним баком-акумулятором:

- у разі великої витрати холодоносія він не накопичується в баку-акумуляторі;
- змішування потоків холодного і теплого холодоносія.



Перевагами схеми з закритим двохсекційним баком-акумулятором є:

- холодні та теплі потоки холодоносія не змішуються, отже, навантаження на холодильну установку нижче, і холодоносії надходить до споживачів з постійною температурою;
- можливість накопичувати охолоджений холодоносії в періоди низького теплового навантаження від споживачів.

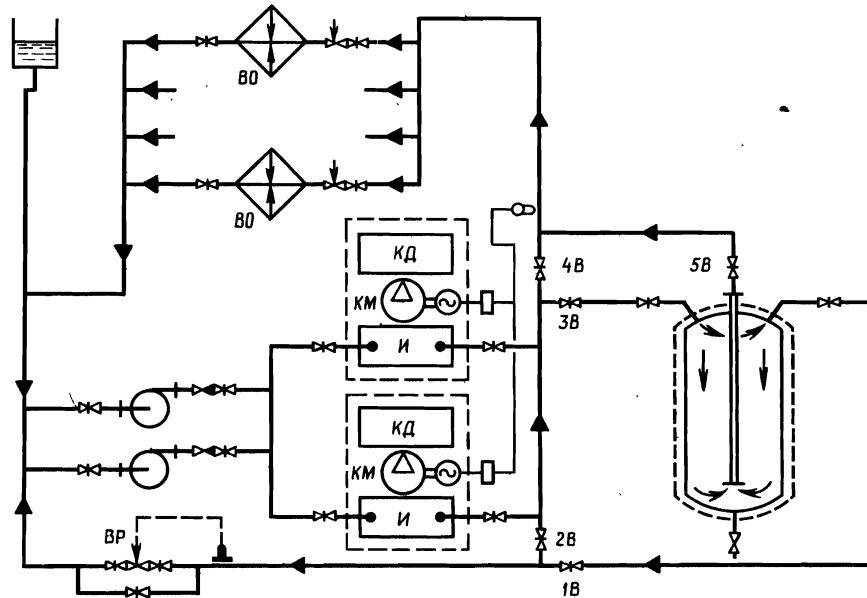


Рисунок 3.7. Закрита схема холодопостачання з баком-акумулятором

Перевага цієї схеми полягає у наявності лише однієї групи насосів та відсутності повітря в об'ємі циркуляційного контуру. Недолік – потрібна складна система автоматизації.

### 3.2 Огляд наявних схем з використанням фазового переходу

Акумулятори холоду з використанням фазового переходу "лід - вода" використовуються в холодильних системах різного призначення вже досить тривалий період часу. Одним з перших пристроїв такого типу були відкриті панельні випарники стандартної конструкції, на теплообмінній поверхні яких наморожувався шар льоду.

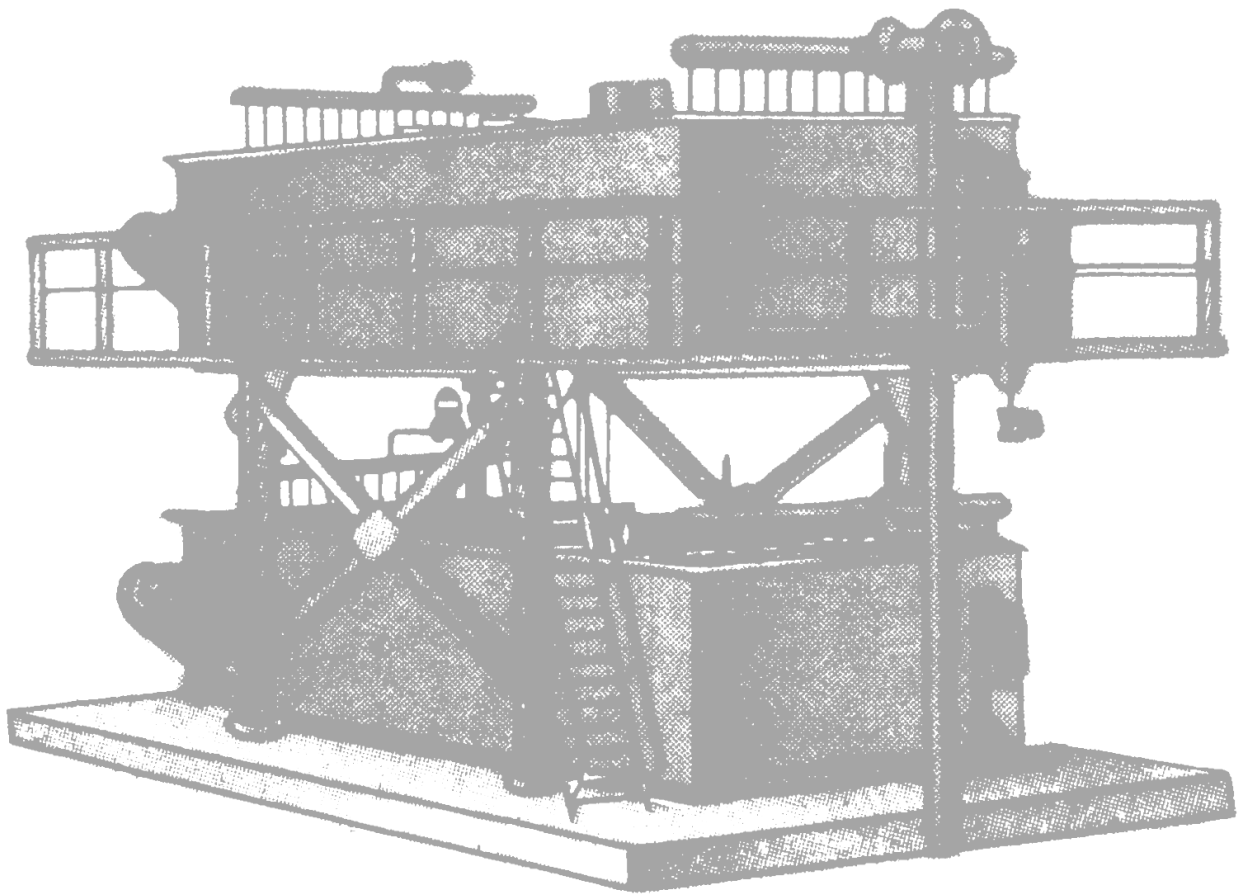


Рисунок 3.8. Двох'ярусний акумулятор 2АКХ

Акумулятори холоду виготовляються одноярусними (АКХ) та двоярусними (2АКХ). Акумулятори холоду автоматизовані. Система автоматики забезпечує їхню роботу в режимах зарядки - наморозування льоду та розрядки - відтаювання, а також у режимі випарника. Необхідний рівень води у баках підтримується за допомогою двосідельних клапанів, керованих датчиками рівня.

Для рівномірного танення наморозеного льоду отеплена вода від споживача подається безпосередньо до зони пропелерних мішалок у спеціальний пристрій. При зарядці - наморозуванні льоду баки наповнюються водою до затоплення випарних секцій. Рідкий аміак, що надходить через розподільні колектори у кожен секцію (Максимальний робочий тиск аміаку 1,2 МПа), кипить за рахунок теплоти, що відбирається у води. Вода охолоджується, і поверхні секцій наморозується лід. За цикл утворюється шар 3 см. При

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

досягненні заданої товщини льоду за сигналом датчика подача аміаку припиняється.

У період підвищеного теплового навантаження споживача відбувається розрядження акумулятора холоду. З технологічних апаратів в баки подається отеплена вода, яка охолоджується льодом, що тане. Крижана вода подається насосом до споживача, там вона знову отеплюється та повертається в баки.

У двоярусних акумуляторах холоду вода охолоджується до нижчої температури, ніж одноярусних. Вона переливається з верхнього бака в нижній та відводиться до технологічних апаратів із нижнього бака. Вода може зливатись з кожного бака в загальний трубопровід.

Акумулятори холоду типу АКХ поставляються повністю зібраному вигляді.

Серійно випускаються акумулятори холоду типу АКХ-І замість панельних випарників типу ІІІ. Їх можна використовувати і як акумулятора холоду, і як розсольний випарник.

Акумулятори холоду типу АКХ-І виконуються лише одноярусними, з меншою, ніж у АКХ, відстанню між панелями. Відповідно їх акумуляююча здатність менше. За цикл наморожується шар льоду завтовшки 2 см.

Робота акумуляторів, холоду типу АКХ-І автоматизована, вона не відрізняється від роботи панельних випарників типу ІІІ і принципово - від роботи акумуляторів холоду типу АКХ (відсутня лише автоматична підтримка середнього рівня води або розсолу, оскільки немає двосідельного клапана).

Для кращого охолодження розсіл або отеплена вода подається безпосередньо в зону пропелерних мішалок в спеціальний пристрій. Електродвигуни приводу мішалок змонтовані на баках апарату.

Однак цей тип акумуляторів має ряд серйозних недоліків:

- низька інтенсивність процесу танення льоду в умовах обтікання його поверхні потоком отепленої води не дозволяє знімати різкі вершини навантажень, характерні для підприємств переробки молока. Такі системи

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

більше підходять для установок із плавною зміною теплового навантаження, наприклад, систем кондиціонування повітря.

- малі відстані між панелями не дозволяють наморожувати велику кількість льоду, що знижує ємність акумулятора.

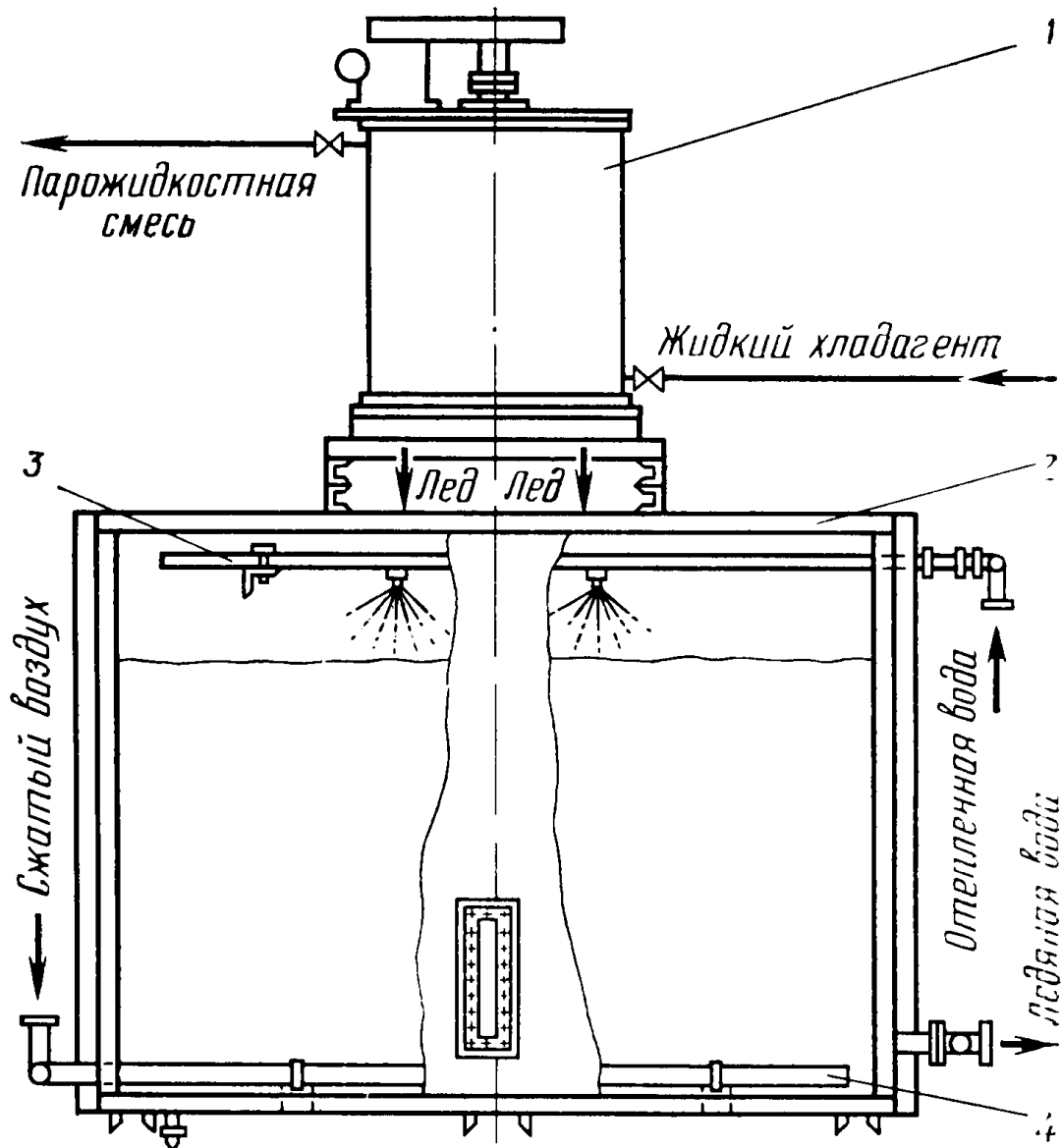


Рисунок 3.9. Загальний вигляд інтенсивного акумулятора холоду

1 – льодогенератор, 2 – бак-накопичувач, 3 – зрошувальний пристрій,

4 – барботажний пристрій

Принцип дії цього типу акумуляторів схожий на принцип дії сучасних акумуляторів.

Акумулятор складається з металевого бака-накопичувача прямокутної форми, льодогенератора лускатого льоду, зрошувального та барботажного пристроїв. Через барботажний пристрій подається стиснене повітря для перемішування водокрижаної суміші в баку.

Під час роботи акумулятора бак-накопичувач приблизно на 2/3 заповнюють водою і включають льодогенератор лускатого льоду. Наморожена в льодогенераторі на барабані-випарнику лід видаляється скребковими ножами і падає в бак. Для більш рівномірного розподілу льоду за обсягом бака під час роботи акумулятора включають барботажний пристрій.

Процес роботи акумулятора холоду ділився на два етапи: накопичення льоду та танення льоду.

Під час першого етапу воду наморожування льоду подавали з бака-накопичувача за допомогою насоса з кратністю циркуляції 1,5-2.

Під час другого етапу накопичений у баку лід охолоджував воду, що циркулює між баком-накопичувачем та теплообмінником.

Процес танення льоду здійснювався при вимкненому компресорі. При таненні лускатий лід охолоджував воду, що проходить через нього, до температури, близької до 0 °С. Отеплена вода, що надходить із теплообмінника, поверталася в бак-накопичувач через зрошувальний пристрій і рівномірно розпоршувалася по поверхні льоду через форсунки.

Після максимально можливого заповнення бака льодом починається процес танення. Охолоджена в баку-накопичувачі вода насосом подається до технологічних апаратів. Отеплена вода через зрошувальний пристрій розбризкується на поверхню льоду. Проходячи через шар льоду, що тоне, вона охолоджується до температури, близької до 0°С -1 °С).

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

До недоліків такої системи можна віднести необхідність витрати електроенергії на привід лез, що обертаються, необхідність їх заміни у зв'язку зі зносом.

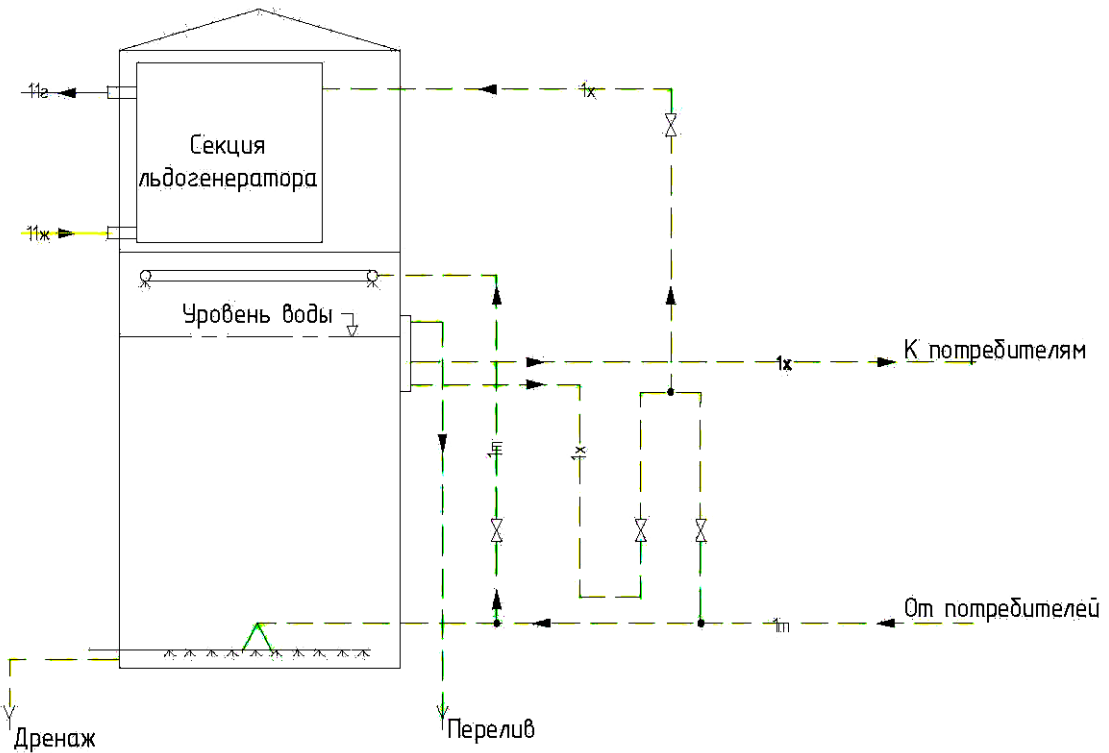


Рисунок 3.10. Система акумуляції холоду з використанням вертикального льдогенератора

У процесі заряджання вода насосами подається з резервуара в розподільчу систему, розміщену безпосередньо над випарною панеллю, де відбувається наморозування льоду. Вода стікає вниз із зовнішньої сторони панелі. У процесі її охолодження на поверхні панелі утворюється лід. У випарні панелі через встановлені проміжки часу на короткий період подається гаряча пара. При цьому крига втрачає зчеплення з поверхнею панелі і падає в ємність з «крижаною» водою, де і зберігається, плаваючи на її поверхні. Цей процес повторюється до того часу, поки рівень «крижаної» води всередині резервуара досягне заданої позначки. Після того, як лід накопичиться в достатній кількості, він готовий до процесу танення.

Тепла вода від технологічних апаратів подається до нижньої частини акумулятора. Піднімаючись через шар «крижаної» води в нижній частині бака, вона досягає шару льоду, який при контакті з нею починає танути. Далі "крижана" вода з температурою близькою до 0 °С надходить на технологічні апарати. «Крижана» вода з нижньої частини бака-акумулятора також використовується для отримання льоду.

Процеси заряджання акумулятора можуть протікати як спільно, так і незалежно один від одного.

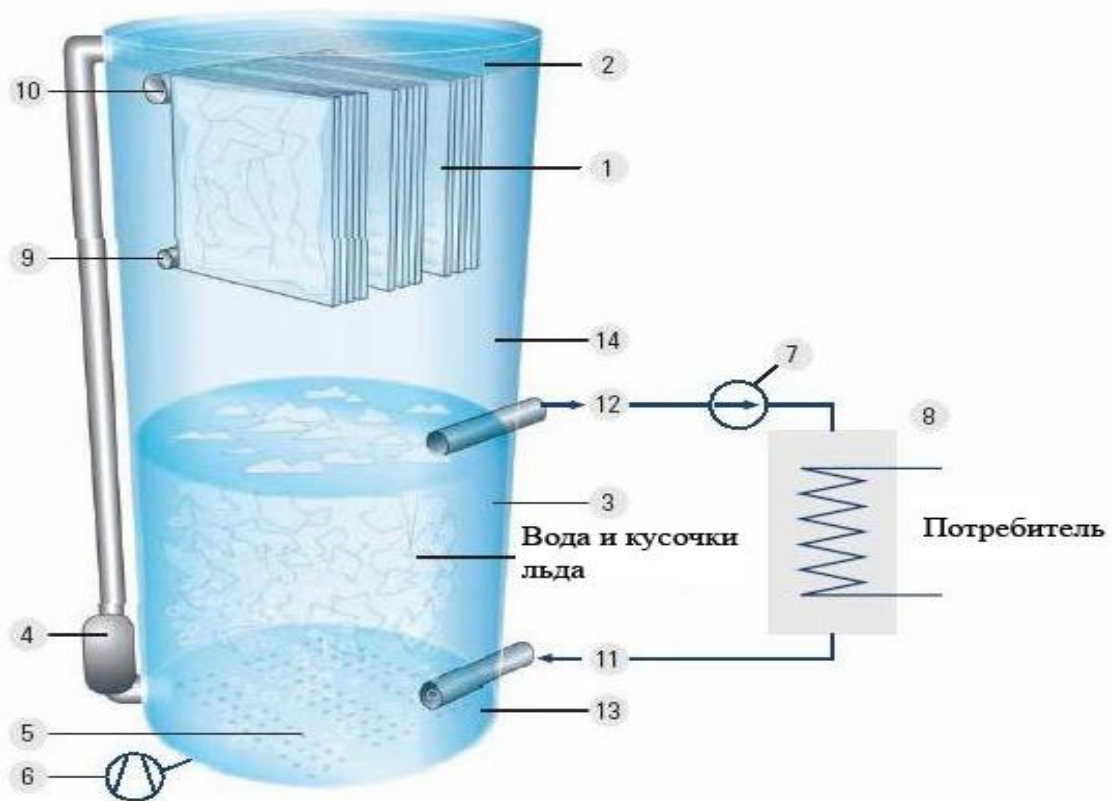


Рисунок 3.11. Улаштування акумулятора-льодогенератора фірми ВUCO

- 1 – секція льодогенератора;
- 2 – система розподілення води;
- 3 – ізольована ємність для накопичування «крижаної» води;
- 4 – циркуляційний насос;
- 5 – система розподілення повітря;
- 6 – повітряний компресор;

- 7 – насос «крижаної» води;
- 8 – технологічний апарат - споживач;
- 9 – вхід холодильного агента;
- 10 – вихід холодильного агента;
- 11 – вхід води;
- 12 – вихід води;
- 13 – дренаж;
- 14 – переливання.

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

## 4 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРА ХОЛОДУ

### 4.1 Вихідні дані та розрахункова методика

Для проведення оцінювального розрахунку витрати електричної енергії, що споживається холодильною установкою, потрібно приблизно визначити потужність основного електричного обладнання.

Задля спрощення прийнято, що:

- стискання пари холодильного агента (аміаку) відбувається в одну ступінь гвинтовим компресором, електрична потужність якого змінюється пропорційно тепловому навантаженню;
- перекачування «крижаної» води відбувається одним відцентровим насосом, витрата якого плавно регулюється в діапазоні від 10% до 100% за допомогою перетворювача частоти;
- температура «крижаної» води на вході споживачів становить 1 °С, на виході 7 °С.

Витрата енергії для кожної години визначається за методикою, що наведена нижче.

Параметри в точках циклу визначаються з діаграми стану робочої речовини за наступних вихідних умов:

- температура кипіння мінус 1 °С;
- температура конденсації – змінна, залежить від пори доби;
- перегрівання пари аміаку на всмоктуванні дорівнює переохолодженню рідини на вході регулюючого пристрою і складає 5 градусів.

Параметри точки всмоктування в компресор не змінюються, тому питомий об'єм можна прийняти постійним і таким, що дорівнює 0,32 м<sup>3</sup>/кг, ентальпію рівною 1463,1 кДж/кг. Далі інтерес являють лише точки 2 і 3, ентальпії яких слугують основою для обчислення холодопродуктивності установки та її

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

енергоспоживання.

Для міста Одеси використані кліматичні дані, які вільно надаються ASHRAE (Американська спільнота інженерів, що працюють в області опалення, вентиляції та штучного охолодження). В якості розрахункової температури зовнішнього повітря взяті середні погодинні температури в самий спекотний місяць року – серпень. Температура конденсації приймається на 10 градусів вищою за температуру повітря.

Таблиця 4.1. Параметри теоретичних циклів для температури кипіння мінус 1 °С

Час	$t_{\text{пов}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$h_2, \text{ кДж/кг}$	$h_3, \text{ кДж/кг}$
00:01-01:00	20.1	1660.3	316.0
01:01-02:00	19.3	1656.3	312.3
02:01-03:00	18.3	1651.3	307.6
03:01-04:00	17.1	1645.2	302.0
04:01-05:00	16.7	1643.2	300.1
05:01-06:00	17.3	1646.2	303.0
06:01-07:00	20.6	1662.8	318.4
07:01-08:00	23.7	1678.3	332.9
08:01-09:00	27.0	1694.7	348.5
09:01-10:00	29.8	1708.7	361.6
10:01-11:00	32.2	1720.6	373.1
11:01-12:00	34.0	1729.5	381.7
12:01-13:00	35.2	1735.4	387.4
13:01-14:00	35.7	1737.9	389.8

Час	$t_{пов}, ^\circ\text{C}$	$h_2, \text{кДж/кг}$	$h_3, \text{кДж/кг}$
14:01-15:00	36.3	1740.9	392.7
15:01-16:00	36.0	1739.4	391.2
16:01-17:00	34.5	1732.0	384.0
17:01-18:00	31.8	1718.6	371.1
18:01-19:00	28.7	1703.2	356.5
19:01-20:00	26.4	1691.8	345.6
20:01-21:00	24.7	1683.3	337.6
21:01-22:00	23.1	1675.3	330.1
22:01-23:00	21.8	1668.8	324.0
23:01-00:00	20.9	1664.3	319.8

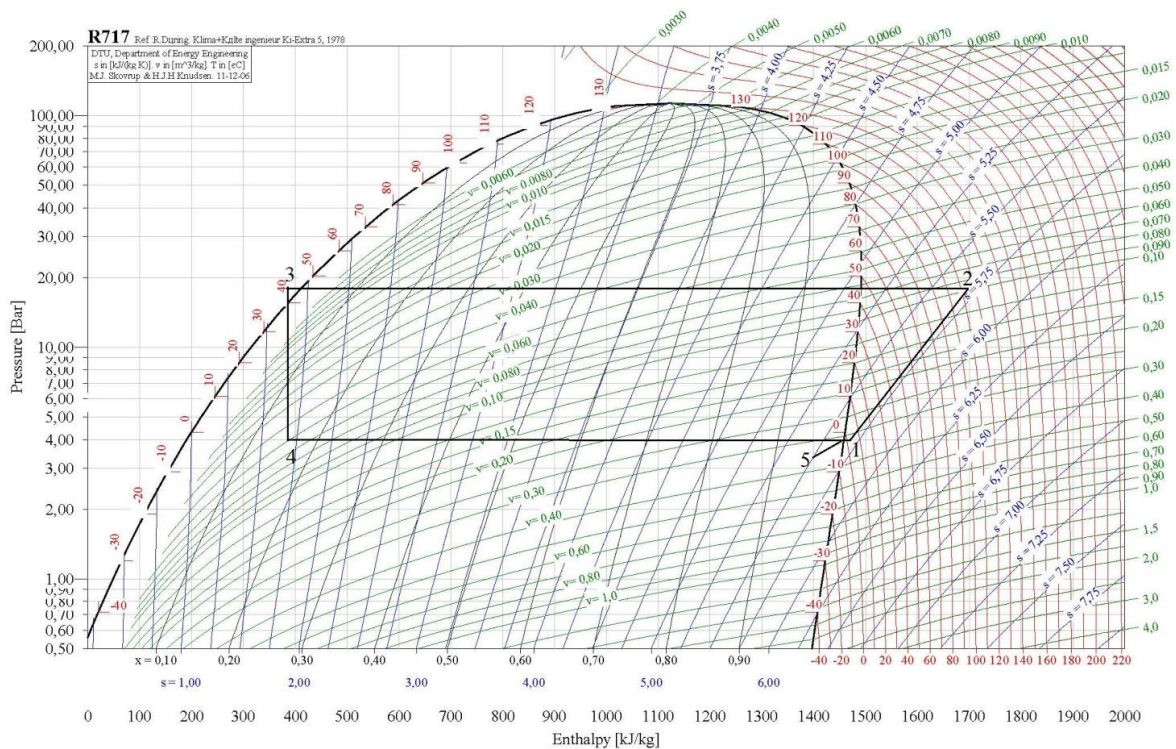


Рисунок 4.1. Теоретичний цикл холодильної машини

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11

Лист

26

Методика розрахунку наведена нижче.

1. Витрата холодильного агента

$$G_i^{\text{х.а.}} = \frac{Q_i}{h_5 - h_4}, \text{ кг/сек}$$

де  $Q_i$  – теплове навантаження на холодильну машину впродовж і-ої години.

2. Питома теоретична робота адіабатного стискання

$$l_T = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг}$$

3. Потужність адіабатного стискання

$$N_T = G_i^{\text{х.а.}} \cdot l_T, \text{ кВт}$$

4. Електрична потужність, споживана компресором

$$N_{\text{км}} = \frac{N_T}{\eta_i \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_e}, \text{ кВт}$$

де  $\eta_i$  - індикаторний ККД компресора (прийнятий рівним 0.8),

$\eta_{\text{мех}}$  – механічний ККД компресора (прийнятий рівним 0.85),

$\eta_e$  – ККД електродвигуна (прийнятий рівним 0.95).

5. Витрата «крижаної» води

$$G_i^{\text{води}} = \frac{Q_i}{C_p \cdot \Delta t \cdot \rho}, \text{ м}^3/\text{с}$$

де  $C_p$  – теплоємність води, 4.19 кДж/(кг·К),

$\Delta t$  – охолодження води у випарнику (прийнято рівним 6 °С),

$\rho$  – густина води, 1000 кг/м<sup>3</sup>.

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

6. Електрична потужність, що споживається насосом

$$N_H = \frac{G_i^{\text{води}} \cdot \Delta p \cdot 10^4}{102 \cdot \eta_n \cdot \eta_e}, \text{ кВт}$$

де  $\eta_e$  - ККД електродвигуна (прийнятий рівним 0.95),

$\eta_n$  - ККД насоса (прийнятий рівним 0.85),

$\Delta p$  – напір, що створюється насосом,  $\text{кг/см}^2$  (прийнятий рівним 4 бар),

$G_i^{\text{води}}$  - витрата «крижаної» води впродовж  $i$ -ої години,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Порівнянню підлягають наступні варіанти розподілення навантаження на холодильну установку за часом з використанням акумулятора холоду:

1. Цілодобова робота при постійній холодопродуктивності;
2. Робота лише в період дії нічного тарифу;
3. Робота тільки в періоди дії нічного і напівпікового тарифу;
4. Робота з прив'язкою до добового ходу температури зовнішнього повітря.

Останній варіант означає наступне. Спочатку визначаються максимальна і мінімальна добові температури повітря.

$$t_{\text{макс}} = 36,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{мін}} = 16,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Потім обчислюється різниця між цими температурами:

$$\Delta t = t_{\text{макс}} - t_{\text{мін}} = 36,3 - 16,7 = 19,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Далі розглядаються варіанти побудови системи, для якої температура зупинки холодильної машини дорівнюватиме  $t_{\text{мін}} + \Delta t \cdot k$ , де  $k = 0,5; 0,7; 0,8$ .

В усіх варіантах ємність акумулятора холоду визначається як сума різниць

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

теплового навантаження і холодопродуктивності, тобто сума нестач холодопродуктивності впродовж доби.

У всіх варіантах для циклічної роботи акумулятора впродовж доби потрібна первинна зарядка. Значення первинної зарядки підбирається таким чином, щоб значення заряду акумулятора (вимірюється у кВт•год холоду) у першу годину поточної доби дорівнювало заряду акумулятора у першу годину наступної доби.

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

## 4.2 Варіант 1. Цілодобова робота при постійній холодопродуктивності

У цьому варіанті холодопродуктивність холодильної машини дорівнює середньоарифметичному добовому тепловому навантаженню, яке обчислюється за формулою

$$Q_{\text{х.м}} = \frac{\sum_{i=1}^{24} Q_i}{24}$$

де  $Q_i$  – теплове навантаження на холодильну машину впродовж  $i$ -ої години доби.

Виходячи з графіку на рисунку 2.1, потужність холодильної машини має складати 991,4 кВт.

Графік роботи холодильної машини наведений на рисунку 4.2, графік роботи акумулятора холоду на рисунку 4.3.

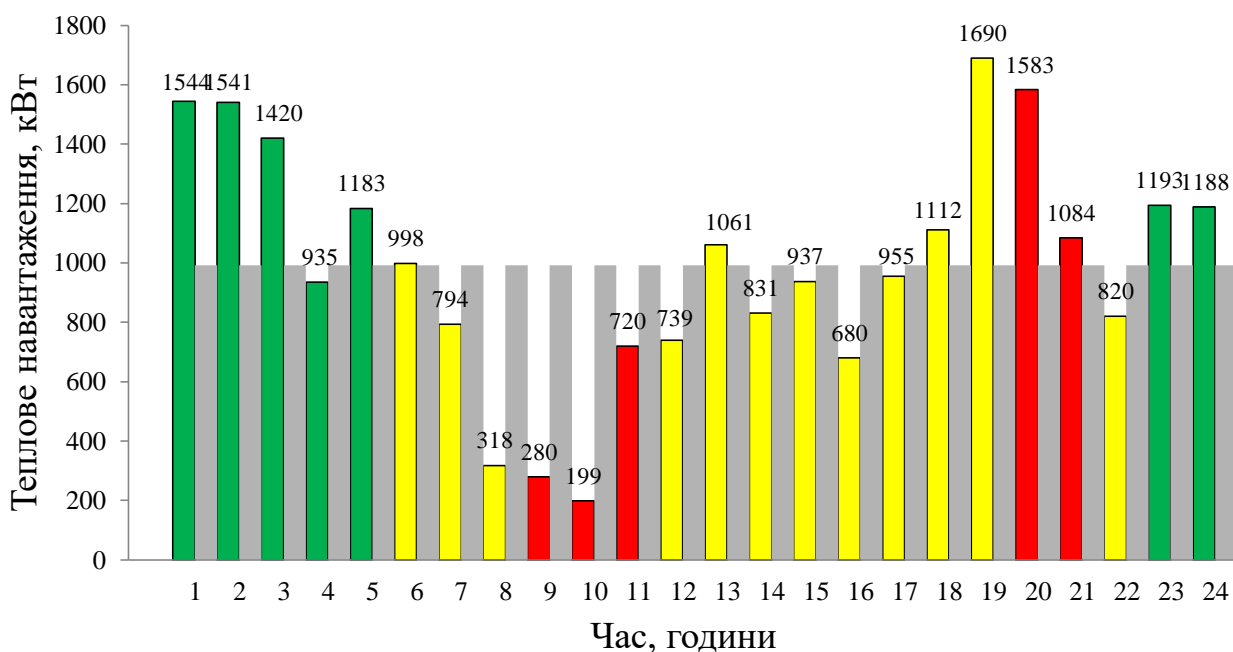


Рисунок 4.2. Графік роботи холодильної машини при постійній холодопродуктивності

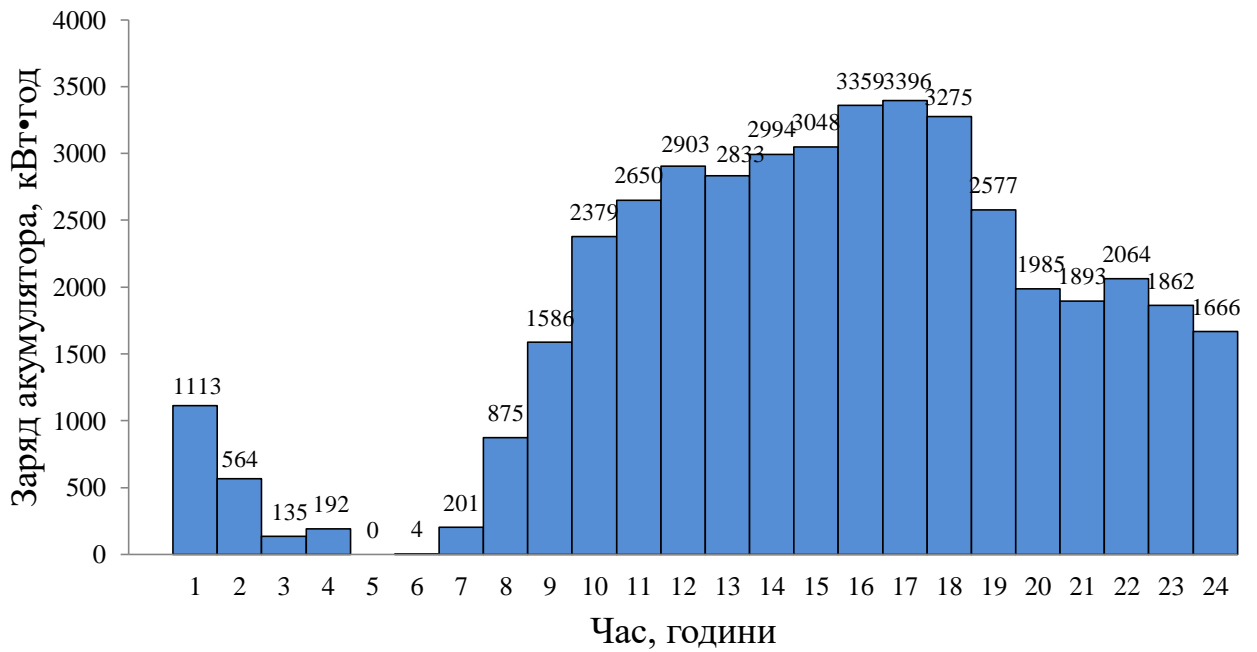


Рисунок 4.3. Графік роботи акумулятора холоду при постійній холодопродуктивності холодильної машини

Ємність акумулятора 3396 кВт·год, початкова зарядка акумулятора 1666 кВт·год.

Таблиця 4.2. Погодинні основні характеристики роботи установки в варіанті 1 (постійна холодопродуктивність)

Година	$Q_{\text{ХМ}}$ , кВт	$Q_{\text{ак}}$ , кВт·год	$N_{\text{км}}$ , кВт	$N_{\text{нас.перв}}$ , кВт	$N_{\text{нас.втор}}$ , кВт	$N_{\text{загальн}}$ , кВт	Витрати на електроенергію, грн
1	991.4	1113	264	19.15	29.8	313	782,07
2	991.4	564	258	19.15	29.8	307	766,47
3	991.4	135	249	19.15	27.4	297	741,40

Година	Q <sub>ХМ</sub> , кВт	Q <sub>ак</sub> , кВт•год	N <sub>км</sub> , кВт	N <sub>нас.перв</sub> , кВт	N <sub>нас.втор</sub> , кВт	N <sub>загальн</sub> , кВт	Витрати на електроенергію, грн
4	991.4	192	241	19.15	18.1	278	694,81
5	991.4	0.3	238	19.15	22.9	280	699,20
6	991.4	3.8	242	19.15	19.1	280	1752,99
7	991.4	201	268	19.15	15.3	302	1889,04
8	991.4	875	292	19.15	6.1	318	1984,60
9	991.4	1586	319	19.15	5.4	343	3221,80
10	991.4	2379	342	19.15	3.8	365	3425,68
11	991.4	2650	363	19.15	13.9	396	3711,13
12	991.4	2903	378	19.15	14.3	412	2572,03
13	991.4	2833	389	19.15	20.5	428	2676,05
14	991.4	2993	393	19.15	16.1	428	2676,05
15	991.4	3048	398	19.15	18.1	436	2722,39
16	991.4	3359	396	19.15	13.1	428	2674,45
17	991.4	3396	382	19.15	18.4	420	2625,37
18	991.4	3275	359	19.15	21.5	400	2498,37
19	991.4	2577	333	19.15	32.6	385	2405,05

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11			Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				32

Година	$Q_{\text{ХМ}}$ , кВт	$Q_{\text{ак}}$ , кВт•год	$N_{\text{км}}$ , кВт	$N_{\text{нас.перв}}$ , кВт	$N_{\text{нас.втор}}$ , кВт	$N_{\text{загальн}}$ , кВт	Витрати на електроенергію, грн
20	991.4	1985	314	19.15	30.6	364	3412,78
21	991.4	1893	300	19.15	20.9	340	3192,69
22	991.4	2064	287	19.15	15.8	322	2015,29
23	991.4	1863	277	19.15	23.0	319	798,39
24	991.4	1666	270	19.15	22.9	312	780,50
Сума							50718,60

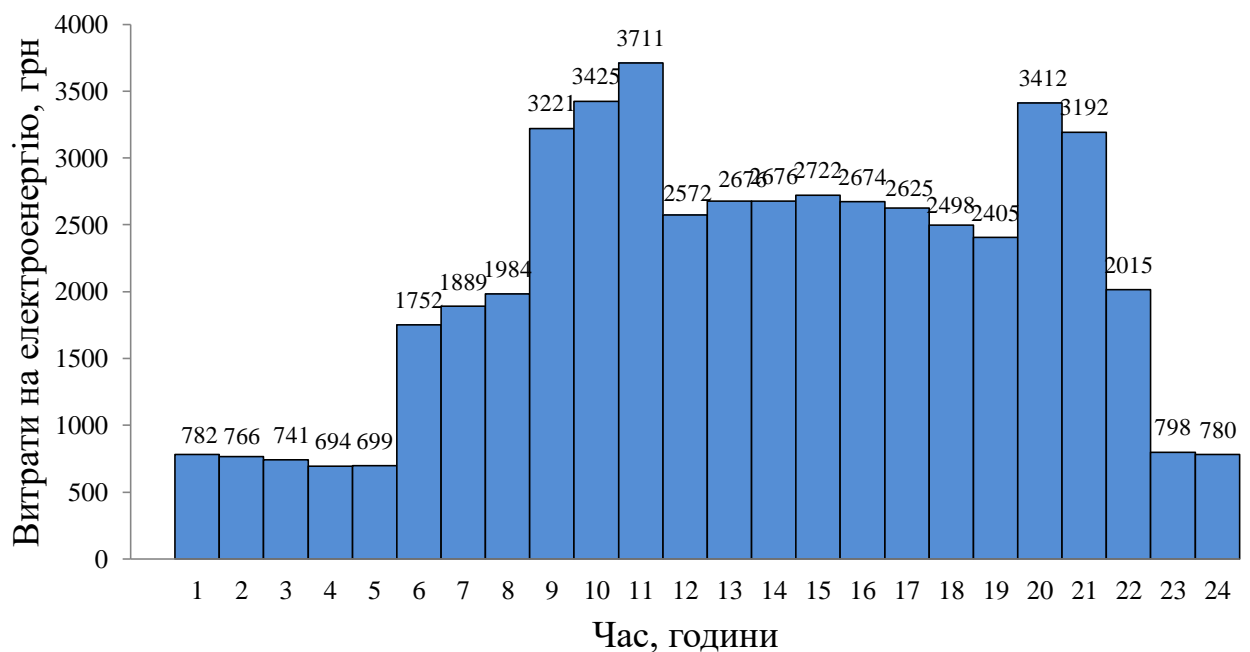


Рисунок 4.4. Графік добового коливання витрат на електроенергію при постійній холодопродуктивності холодильної машини

### 4.3 Варіант 2. Робота лише в періоди дії нічного тарифу

Холодильна установка накопичує холод впродовж ночі, коли діє пільговий нічний тариф на електроенергію. Тривалість цього періоду складає всього лише 7 годин на добу, впродовж яких потрібно не тільки забезпечити потреби виробництва у холоді, а і накопичити холод для холодопостачання впродовж решти доби. Холодопродуктивність холодильної установки дорівнюватиме

$$Q_{x.m} = \frac{\sum_{i=1}^{24} Q_i}{7}$$

де  $Q_i$  – теплове навантаження на холодильну машину впродовж  $i$ -ої години доби.

Виходячи з графіку на рисунку 2.1, потужність холодильної машини має складати 3400 кВт.

Графік роботи холодильної машини наведений на рисунку 4.5, графік роботи акумулятора холоду на рисунку 4.6.

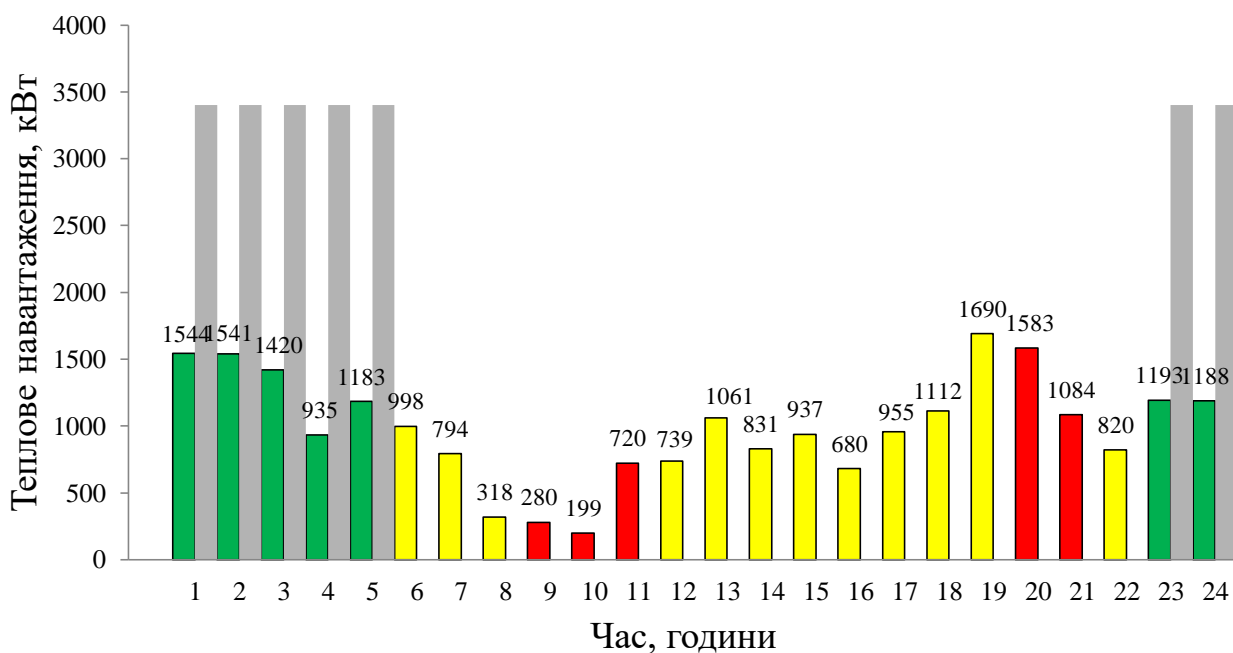


Рисунок 4.5. Графік роботи холодильної машини при роботі в період дії

пільгового тарифу

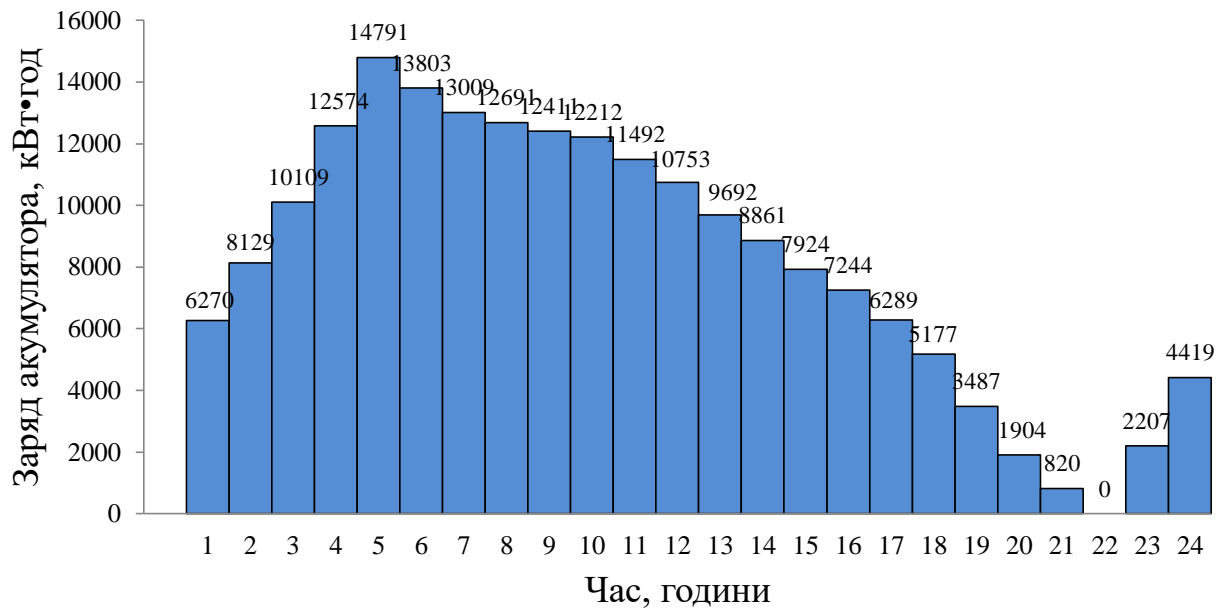


Рисунок 4.6. Графік роботи акумулятора холоду при роботі в період дії пільгового тарифу

Ємність акумулятора 14791 кВт\*год , початкова зарядка акумулятора 4726 кВт\*год.

Таблиця 4.3. Погодинні основні характеристики роботи установки в варіанті 2 (робота в період дії пільгового тарифу)

Година	$Q_{\text{хм}}$ , кВт	$Q_{\text{ак}}$ , кВт*год	$N_{\text{км}}$ , кВт	$N_{\text{нас.перв}}$ , кВт	$N_{\text{нас.втор}}$ , кВт	$N_{\text{загальн}}$ , кВт	Витрати на електроенергію, грн
1	3400	6270	905	65.7	29.8	1000.3	2500.96
2	3400	8129	884	65.7	29.7	979.1	2447.80
3	3400	10109	857	65.7	27.4	950.4	2376.03

Година	Q <sub>хм</sub> , кВт	Q <sub>ак</sub> , кВт•год	N <sub>км</sub> , кВт	N <sub>нас.перв</sub> , кВт	N <sub>нас.втор</sub> , кВт	N <sub>загальн</sub> , кВт	Витрати на електроенергію, грн
4	3400	12574	826	65.7	18	909.2	2273.14
5	3400	14791	815	65.7	22.8	903.6	2259.11
6	0	13803	0	0	19	19	119.29
7	0	13009	0	0	15.3	15.3	95.86
8	0	12691	0	0	6.1	6.1	38.39
9	0	12411	0	0	5.4	5.4	50.74
10	0	12212	0	0	3.8	3.8	36.06
11	0	11492	0	0	13.9	13.9	130.46
12	0	10753	0	0	14.2	14.2	89.22
13	0	9692	0	0	20.4	20.4	128.10
14	0	8861	0	0	16.0	16	100.33
15	0	7924	0	0	18.1	18.1	113.13
16	0	7244	0	0	13.1	13.1	82.10
17	0	6289	0	0	18.4	18.4	115.30
18	0	5177	0	0	21.4	21.4	134.26
19	0	3487	0	0	32.6	32.6	204.04

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Година	$Q_{\text{ХМ}}$ , кВт	$Q_{\text{ак}}$ , кВт•ГОД	$N_{\text{км}}$ , кВт	$N_{\text{нас.перв}}$ , кВт	$N_{\text{нас.втор}}$ , кВт	$N_{\text{загальн}}$ , кВт	Витрати на електроенергію, грн
20	0	1904	0	0	30.5	30.5	286.84
21	0	820	0	0	20.9	20.9	196.42
22	0	0	0	0	15.8	15.8	99.00
23	3400	2207	951	65.7	23.0	1039.2	2598.09
24	3400	4419	926	65.7	22.9	1014.9	2537.32
Сума							19012.0

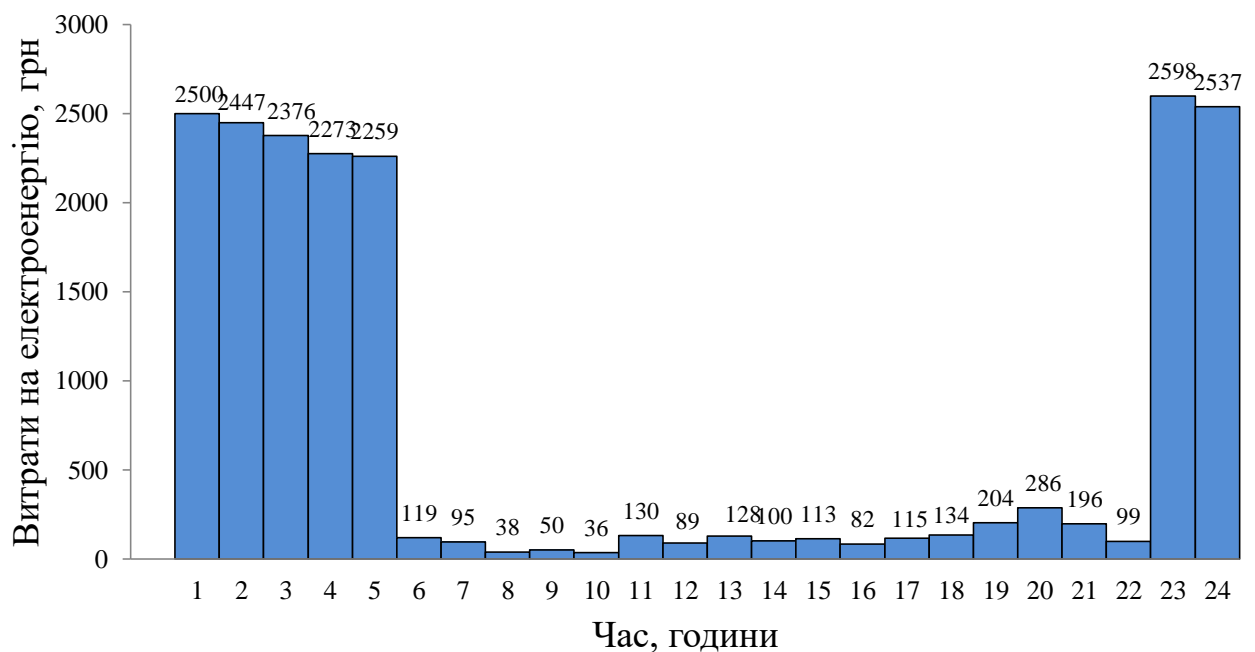


Рисунок 4.7. Графік добового коливання витрат на електроенергію при роботі в період дії пільгового тарифу

#### 4.4 Варіант 3. Робота тільки в періоди дії нічного і напівпікового тарифу

Холодильна установка накопичує холод впродовж періодів, коли діють нічний та напівпіковий тарифи на електроенергію. Сумарна тривалість цих періодів складає 19 годин на добу, тобто холодильна установка майже увесь час має забезпечувати потреби виробництва, накопичуючи холод в акумуляторі тільки за сприятливих умов (період дії пільгового тарифу, ранковий час з низькою температурою повітря).

Потужність холодильної машини має складати 1690 кВт, щоб забезпечити холодом підприємство у період найбільшого теплового навантаження, яке припадає на 19 годину.

Графік роботи холодильної машини наведений на рисунку 4.8, графік роботи акумулятора холоду на рисунку 4.9.

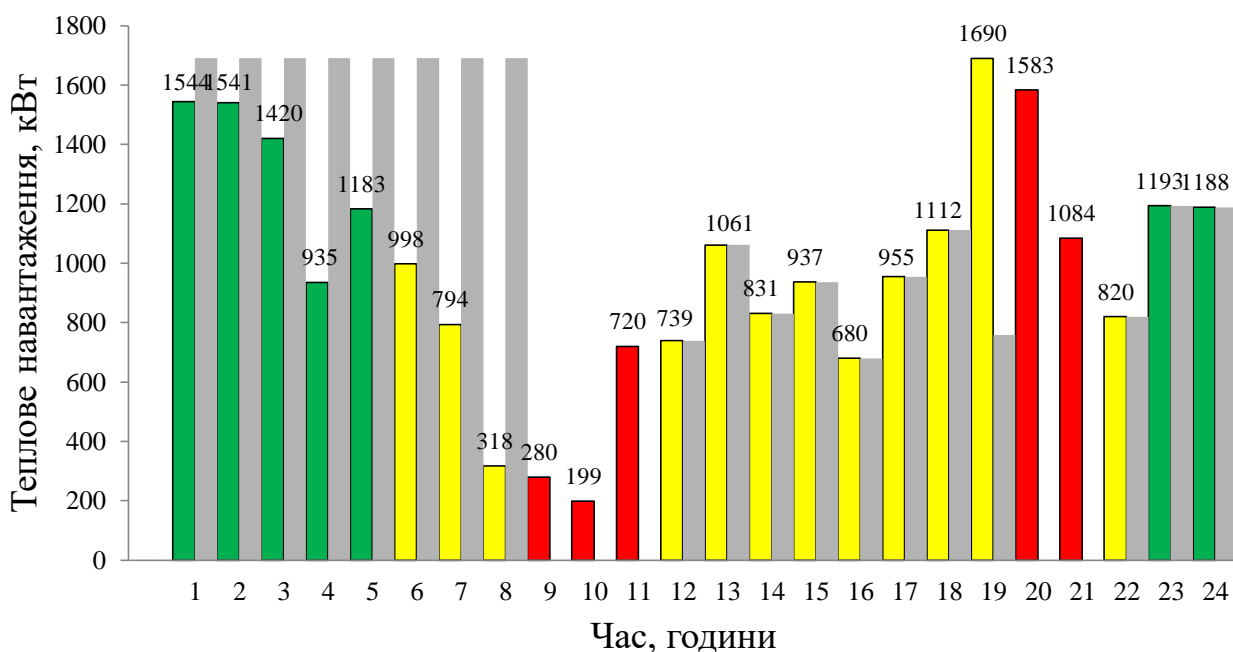


Рисунок 4.8. Графік роботи холодильної машини при роботі в період дії нічного і напівпікового тарифу

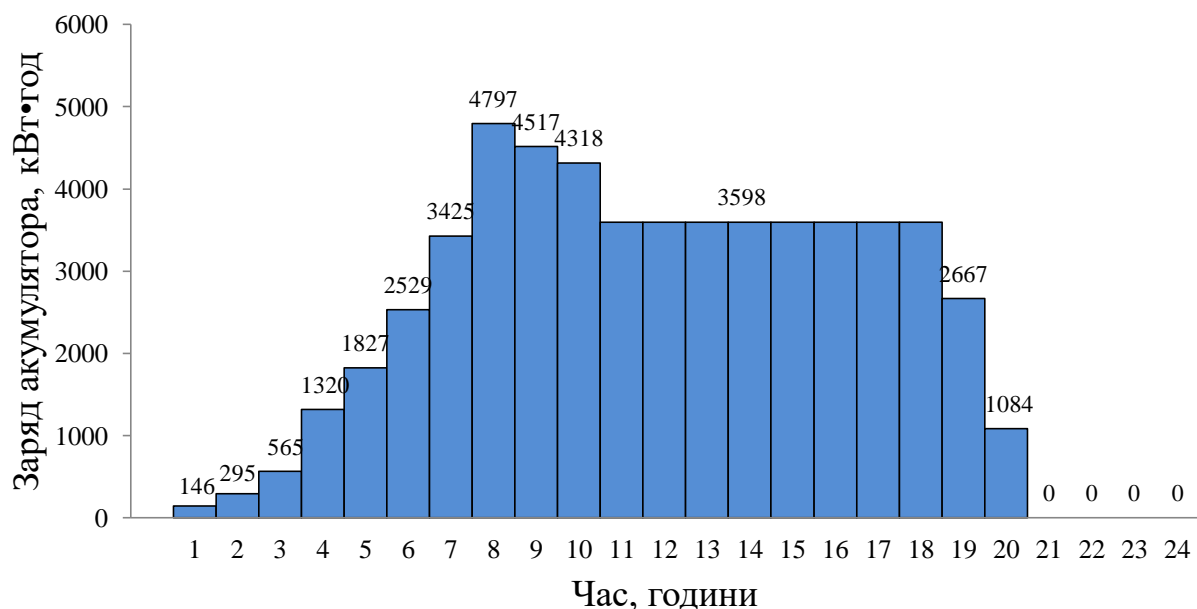


Рисунок 4.9. Графік роботи аккумулятора холоду при роботі в період дії нічного і напівпікового тарифу

Ємність аккумулятора 4797 кВт•год , початкова зарядка аккумулятора не потрібна.

Таблиця 4.4. Погодинні основні характеристики роботи установки в варіанті 3 (робота в період дії нічного і напівпікового тарифу)

Година	$Q_{\text{хм}}$ , кВт	$Q_{\text{ак}}$ , кВт•год	$N_{\text{км}}$ , кВт	$N_{\text{нас.перв}}$ , кВт	$N_{\text{нас.втор}}$ , кВт	$N_{\text{загальн}}$ , кВт	Витрати на електроенергію, грн
1	1690	146	450	32.6	29.8	512	1280.62
2	1690	295	439	32.6	29.7	502	1254.13
3	1690	565	426	32.6	27.4	486	1215.51
4	1690	1320	410	32.6	18	461	1152.59

5	1690	1827	405	32.6	22.8	461	1151.64
6	1690	2529	413	32.6	19	465	2904.18
7	1690	3425	456	32.6	15	504	3152.62
8	1690	4797	498	32.6	6.1	537	3356.01
9	0	4517	0	0	5.4	5.4	50.73
10	0	4318	0	0	3.8	3.8	36.05
11	0	3598	0	0	13.9	13.9	130.46
12	739	3598	282	14.2	14.2	310	1939.93
13	1061	3598	416	20.4	20.5	457	2854.92
14	831	3598	329	16	16	361	2259.32
15	937	3598	376	18.1	18.1	413	2579.21
16	680	3598	271	13.1	13.1	298	1860.19
17	955	3598	368	18.4	18.4	405	2533.21
18	1112	3598	403	21.4	21.4	446	2785.96
19	759	2667	255	14.6	32.6	302	1889.09
20	0	1084	0	0	30.5	30.5	286.83
21	0	0	0	0	20.9	20.9	196.41
22	820	0	238	15.8	15.8	269	1683.99

23	1193	0	334	23	23	380	949.02
24	1188	0	324	22.9	22.9	370	923.89
Сума							38426.61

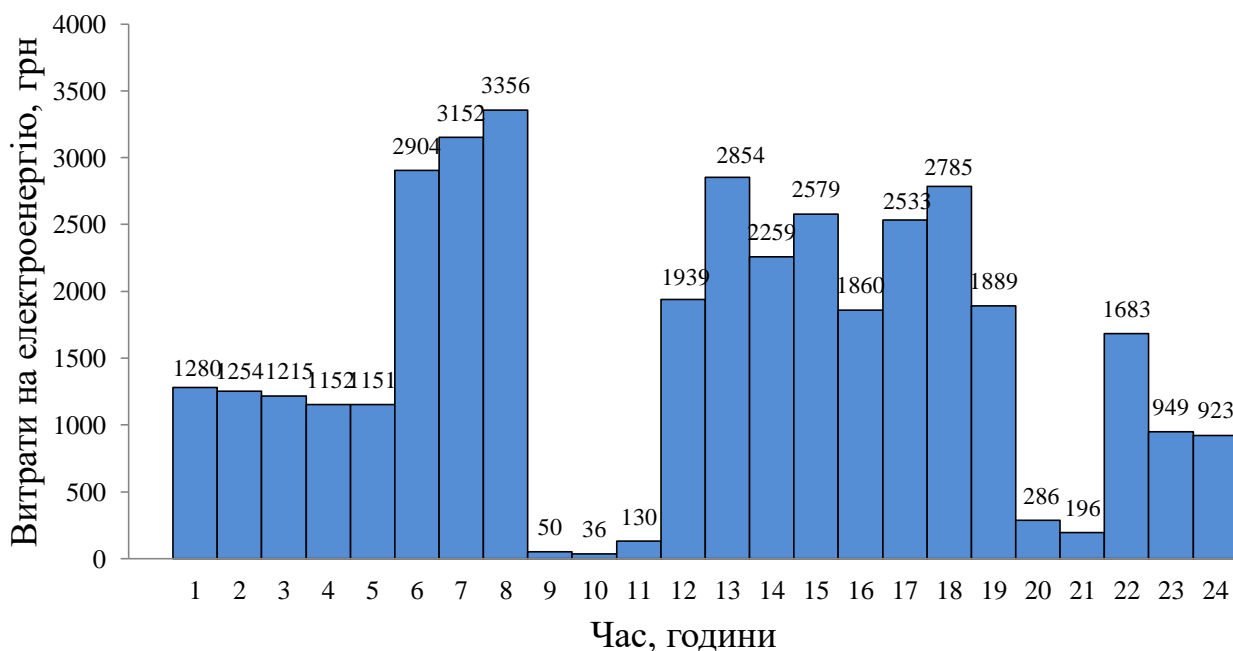


Рисунок 4.10. Графік добового коливання витрат на електроенергію при роботі в період дії нічного і напівпікового тарифу

#### 4.5 Варіант 4а. Робота в періоди часу, коли температура повітря нижча за 0,5 добового ходу температури

Холодильна установка накопичує холод впродовж періодів, коли температура зовнішнього повітря нижча за

$$16,7 + 19,6 \cdot 0,5 = 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Крім того, холодильна установка не працює у години дії пікового тарифу на електроенергію. Тривалість періоду роботи складає 11 годин, потужність

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

холодильної установки складає 2163 кВт.

Графік роботи холодильної машини наведений на рисунку 4.11, графік роботи акумулятора холоду на рисунку 4.12.

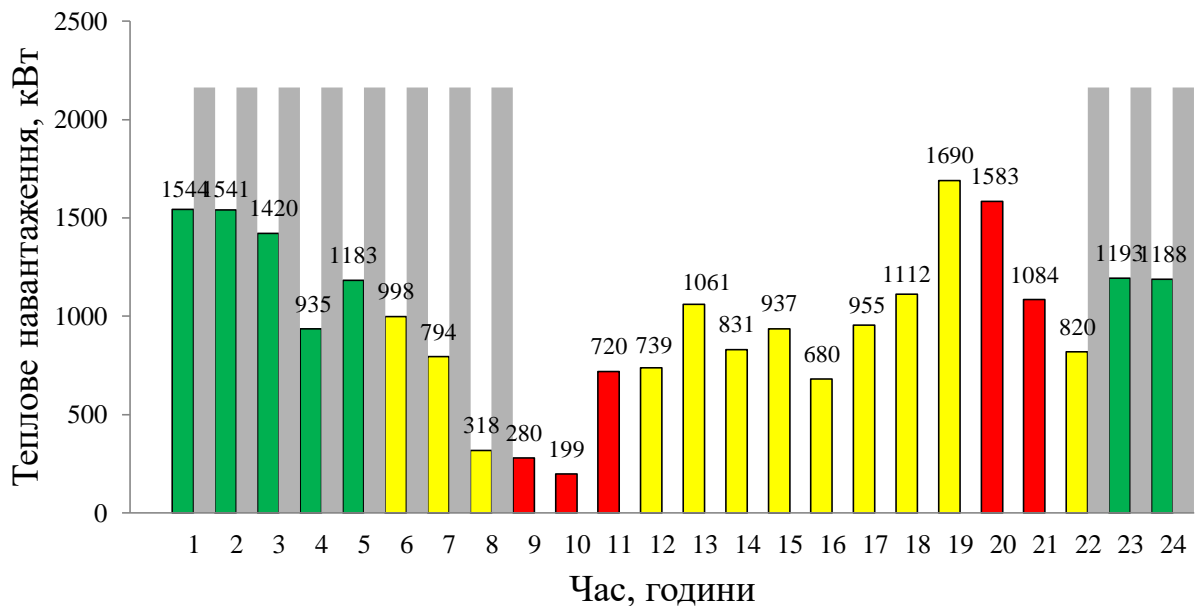


Рисунок 4.11. Графік роботи холодильної машини при роботі в період, коли температура повітря нижча за 0,5 добового ходу температури

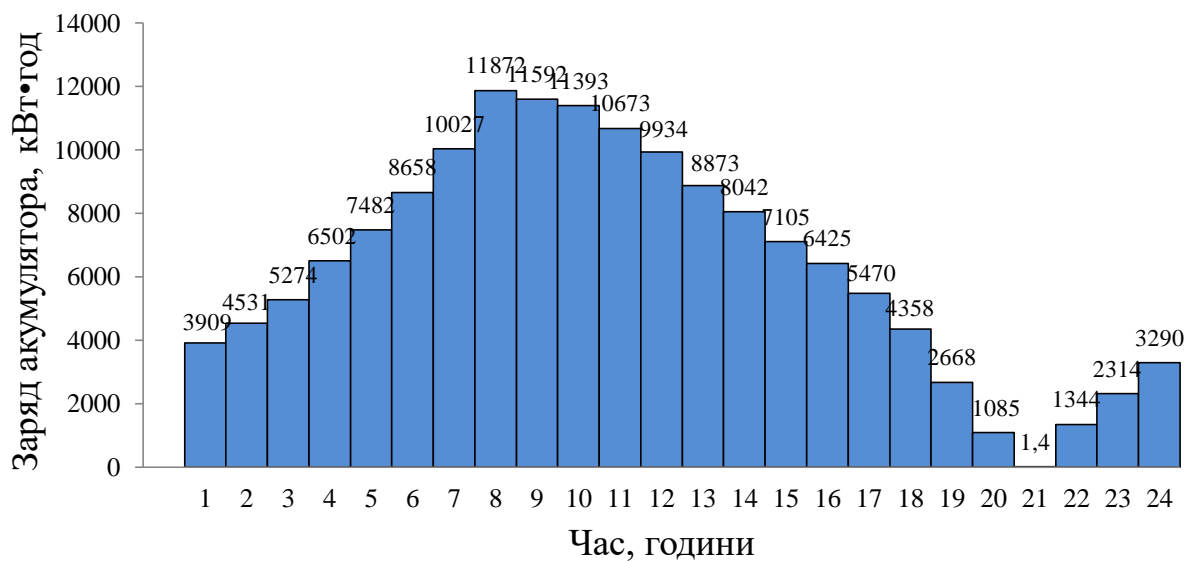


Рисунок 4.12. Графік роботи акумулятора холоду при роботі в період, коли температура повітря нижча за 0,5 добового ходу температури

Ємність акумулятора 11872 кВт•год , початкова зарядка акумулятора 3290 кВт•год.

Таблиця 4.5. Погодинні основні характеристики роботи установки в варіанті 4а (Робота в періоди часу, коли температура повітря нижча за 0,5 добового ходу температури)

Година	Q <sub>хм</sub> , кВт	Q <sub>ак</sub> , кВт•год	N <sub>км</sub> , кВт	N <sub>нас.перв</sub> , кВт	N <sub>нас.втор</sub> , кВт	N <sub>загальн</sub> , кВт	Витрати на електроенергію, грн
1	2164	3909	575	41.8	29.8	647	1618.89
2	2164	4531	562	41.8	29.7	634	1585
3	2164	5274	545	41.8	27.4	614	1537.2
4	2164	6502	525	41.8	18	585	1463.2
5	2164	7482	518	41.8	22.8	583	1458.62
6	2164	8658	528	41.8	19	589	3685.27
7	2164	10027	584	41.8	15.3	641	4009.95
8	2164	11872	637	41.8	6.1	685	4286.51
9	0	11592	0	0	5.4	5.4	50.73
10	0	11393	0	0	3.8	3.8	36.05
11	0	10673	0	0	13.9	13.9	130.46
12	0	9934	0	0	14.2	14.2	89.22

13	0	8873	0	0	20.4	20.4	128.09
14	0	8042	0	0	16	16	100.33
15	0	7105	0	0	18.1	18.1	113.12
16	0	6425	0	0	13.1	13.1	82.09
17	0	5470	0	0	18.4	18.4	115.3
18	0	4358	0	0	21.4	21.4	134.25
19	0	2668	0	0	32.6	32.6	204.04
20	0	1085	0	0	30.5	30.5	286.83
21	0	1.45	0	0	20.9	20.9	196.41
22	2164	1344	627	41.8	15.8	685	4281.82
23	2164	2314	604	41.8	23	669	1674.55
24	2164	3290	589	41.8	22.9	654	1635.78
Сума							28903.85

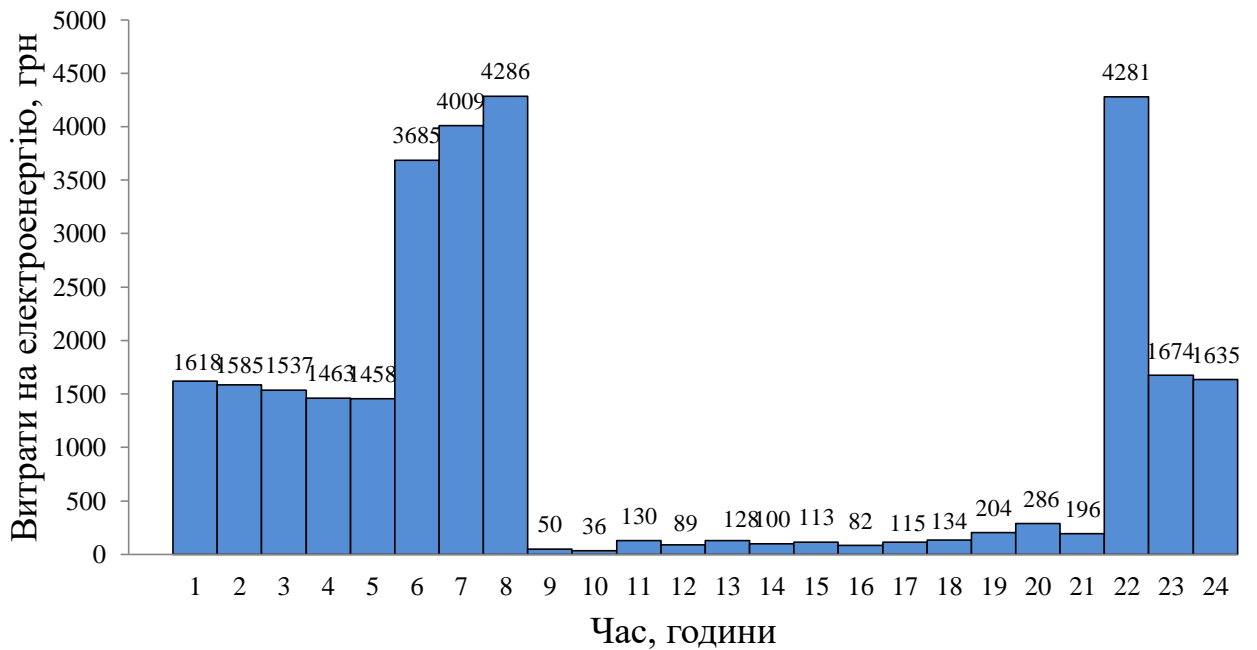


Рисунок 4.13. Графік добового коливання витрат на електроенергію при роботі в період, коли температура повітря нижча за 0,5 добового ходу температури

#### 4.6 Варіант 4б. Робота в періоди часу, коли температура повітря нижча за 0,7 добового ходу температури

Холодильна установка накопичує холод впродовж періодів, коли температура зовнішнього повітря нижча за

$$16,7 + 19,6 \cdot 0,7 = 30,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Крім того, холодильна установка не працює у години дії пікового тарифу на електроенергію. Тривалість періоду роботи 12 годин, потужність холодильної установки складає 1983 кВт.

Графік роботи холодильної машини наведений на рисунку 4.14, графік роботи акумулятора холоду на рисунку 4.15.

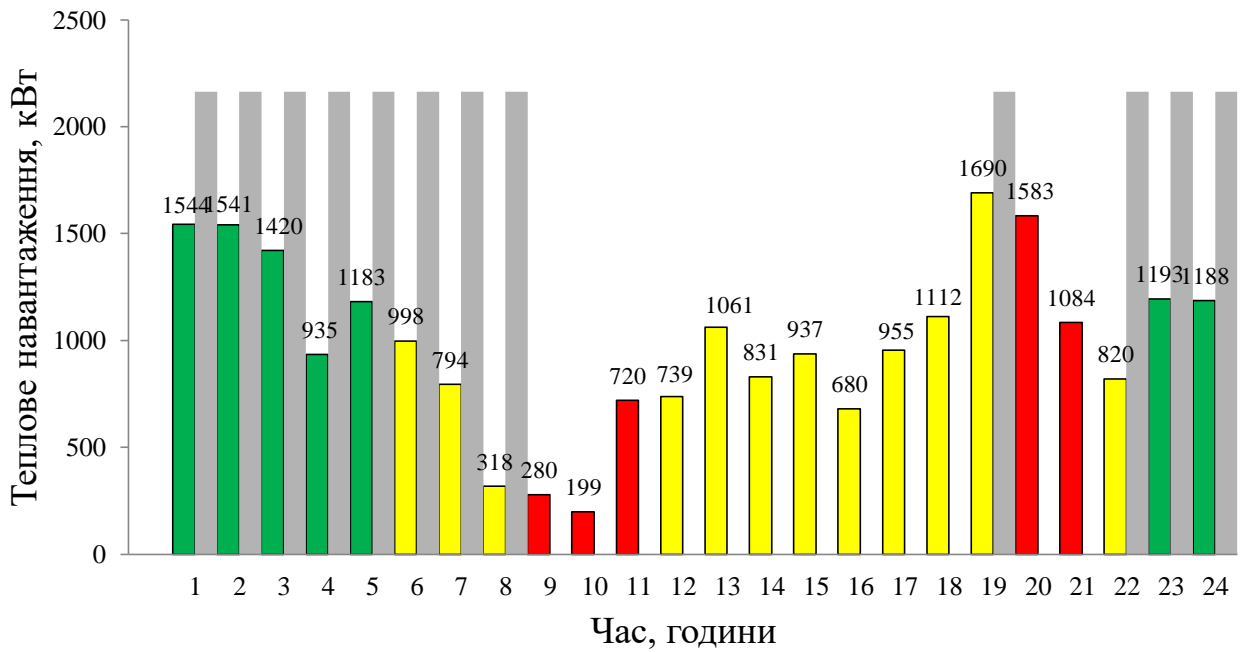


Рисунок 4.14. Графік роботи холодильної машини при роботі в період, коли температура повітря нижча за 0,7 добового ходу температури

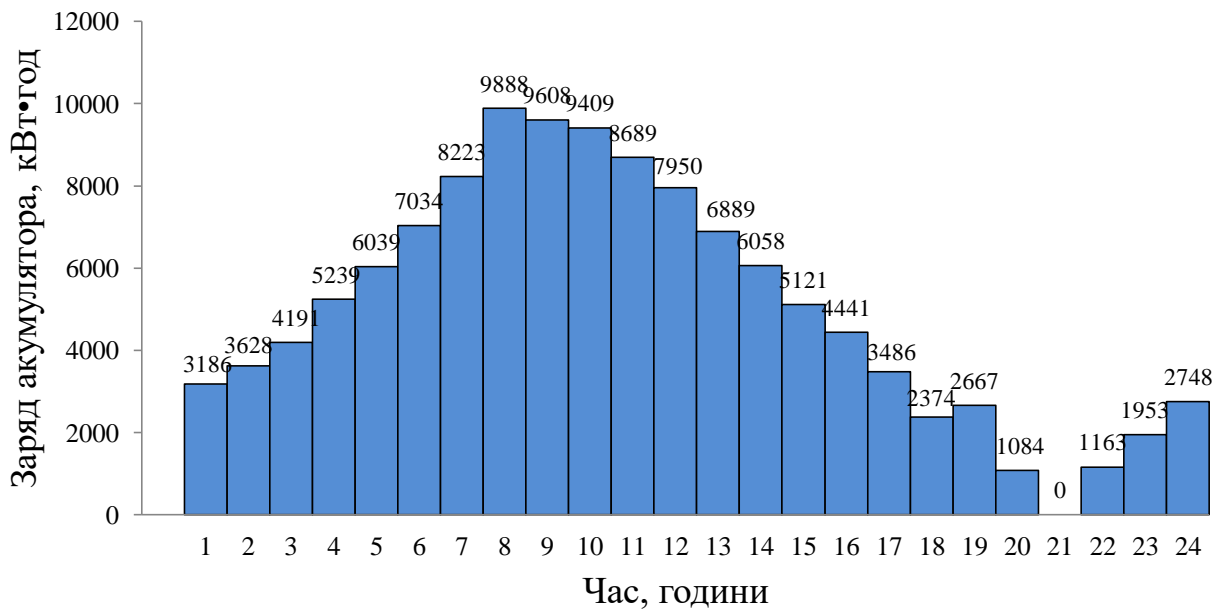


Рисунок 4.15. Графік роботи акумулятора холоду при роботі в період, коли температура повітря нижча за 0,7 добового ходу температури

Ємність акумулятора 9888 кВт•год , початкова зарядка акумулятора 2747 кВт•год.

Таблиця 4.6. Погодинні основні характеристики роботи установки в варіанті 4б (Робота в періоди часу, коли температура повітря нижча за 0,7 добового ходу температури)

Година	$Q_{\text{хм}}$ , кВт	$Q_{\text{ак}}$ , кВт•год	$N_{\text{км}}$ , кВт	$N_{\text{нас.перв}}$ , кВт	$N_{\text{нас.втор}}$ , кВт	$N_{\text{загальн}}$ , кВт	Витрати на електроенергію, грн
1	1983	3186	528	41.8	29.8	647	1489.72
2	1983	3628	515	41.8	29.7	634	1458.66
3	1983	4191	500	41.8	27.4	614	1414.37
4	1983	5239	481	41.8	18	585	1344.59
5	1983	6039	475	41.8	22.8	583	1341.40
6	1983	7034	485	41.8	19	589	3387.01
7	1983	8223	536	41.8	15	641	3682.58
8	1983	9888	585	41.8	6.1	685	3931.20
9	0	9608	0	0	5.4	5.4	50.74
10	0	9409	0	0	3.8	3.8	36.06
11	0	8689	0	0	13.9	13.9	130.46
12	0	7950	0	0	14.2	14.2	89.22
13	0	6889	0	0	20.4	20.4	128.10

14	0	6058	0	0	16	16	100.33
15	0	5121	0	0	18.1	18.1	113.13
16	0	4441	0	0	13.1	13.1	82.10
17	0	3486	0	0	18.4	18.4	115.30
18	0	2374	0	0	21.4	21.4	134.26
19	1983	2667	666	41.8	32.6	801	4606.50
20	0	1084	0	0	30.5	30.5	286.84
21	0	0	0	0	20.9	20.9	196.42
22	1983	1163	575	41.8	15.8	685	3931.97
23	1983	1953	554	41.8	23	669	1539.31
24	1983	2748	540	41.8	22.9	654	1503.77
						Сума	31094,04

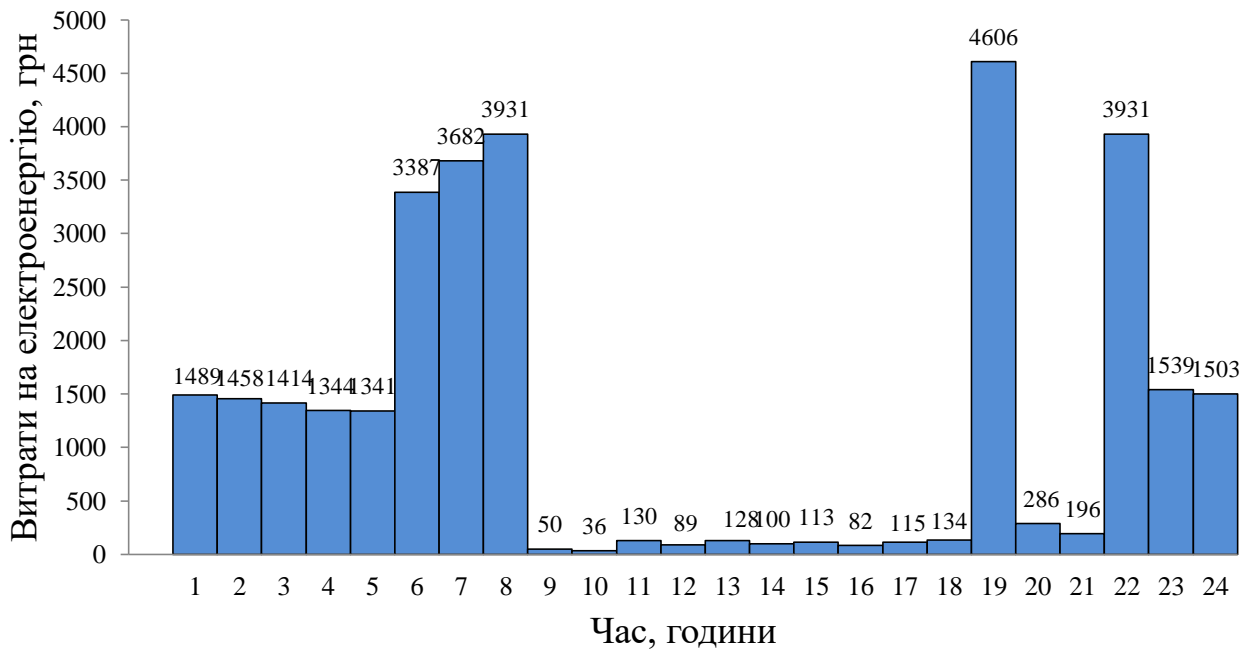


Рисунок 4.16. Графік добового коливання витрат на електроенергію при роботі в період, коли температура повітря нижча за 0,7 добового ходу температури

#### 4.7 Варіант 4в. Робота в періоди часу, коли температура повітря нижча за 0,8 добового ходу температури

Холодильна установка накопичує холод впродовж періодів, коли температура зовнішнього повітря нижча за

$$16,7 + 19,6 \cdot 0,8 = 32,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Крім того, холодильна установка не працює у години дії пікового тарифу на електроенергію. Тривалість періоду роботи 13 годин, потужність холодильної установки складає 2163 кВт.

Графік роботи холодильної машини наведений на рисунку 4.14, графік роботи акумулятора холоду на рисунку 4.15.

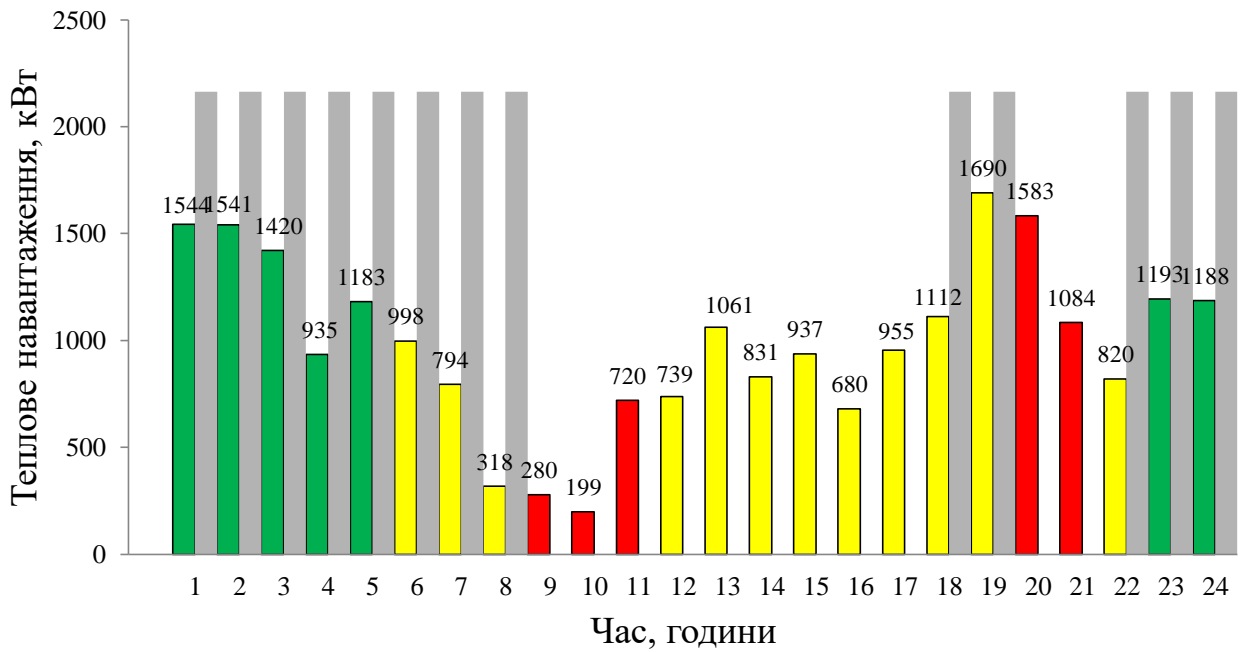


Рисунок 4.17. Графік роботи холодильної машини при роботі в період, коли температура повітря нижча за 0,8 добового ходу температури

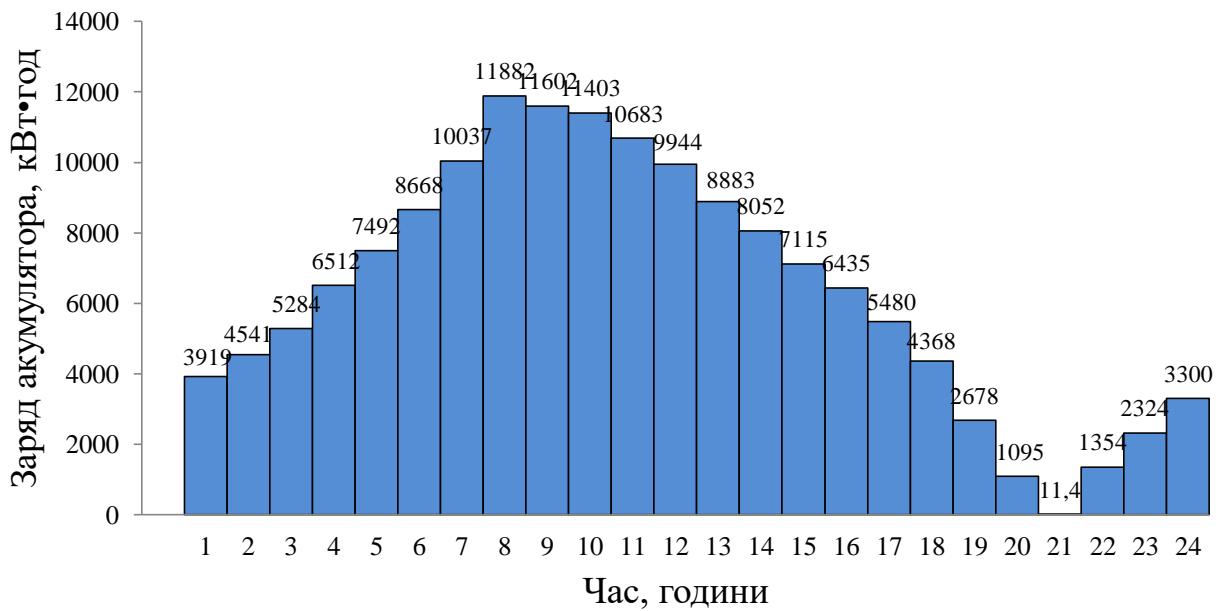


Рисунок 4.18. Графік роботи акумулятора холоду при роботі в період, коли температура повітря нижча за 0,8 добового ходу температури

Ємність акумулятора 14532 кВт•год , початкова зарядка акумулятора 3300 кВт•год.

Таблиця 4.7. Погодинні основні характеристики роботи установки в варіанті 4в (Робота в періоди часу, коли температура повітря нижча за 0,8 добового ходу температури)

Година	$Q_{\text{хм}}$ , кВт	$Q_{\text{ак}}$ , кВт•год	$N_{\text{км}}$ , кВт	$N_{\text{нас.перв}}$ , кВт	$N_{\text{нас.втор}}$ , кВт	$N_{\text{загальн}}$ , кВт	Витрати на електроенергію, грн
1	1830	2580	487	41.8	29.8	647	1380.54
2	1830	2869	476	41.8	29.7	634	1351.86
3	1830	3279	461	41.8	27.4	614	1310.53
4	1830	4174	444	41.8	18	585	1244.33
5	1830	4821	439	41.8	22.8	583	1242.32
6	1830	5663	447	41.8	19	589	3134.89
7	1830	6699	494	41.8	15.3	641	3405.84
8	1830	8211	539	41.8	6.1	685	3630.84
9	0	7931	0	0	5.4	5.4	50.74
10	0	7732	0	0	3.8	3.8	36.06
11	0	7012	0	0	13.9	13.9	130.46
12	0	6273	0	0	14.2	14.2	89.22
13	0	5212	0	0	20.4	20.4	128.10

14	0	4381	0	0	16	16	100.33
15	0	3444	0	0	18.1	18.1	113.13
16	0	2764	0	0	13.1	13.1	82.10
17	0	1809	0	0	18.4	18.4	115.30
18	1830	2527	663	41.8	21.4	847.1	4498.12
19	1830	2667	615	41.8	32.6	801.3	4266.83
20	0	1084	0	0	30.5	30.5	286.84
21	0	0	0	0	20.9	20.9	196.42
22	1830	1010	531	41.8	15.8	685	3636.24
23	1830	1647	512	41.8	23	669	1424.99
24	1830	2289	499	41.8	22.9	654	1392.17
Сума							33248.19

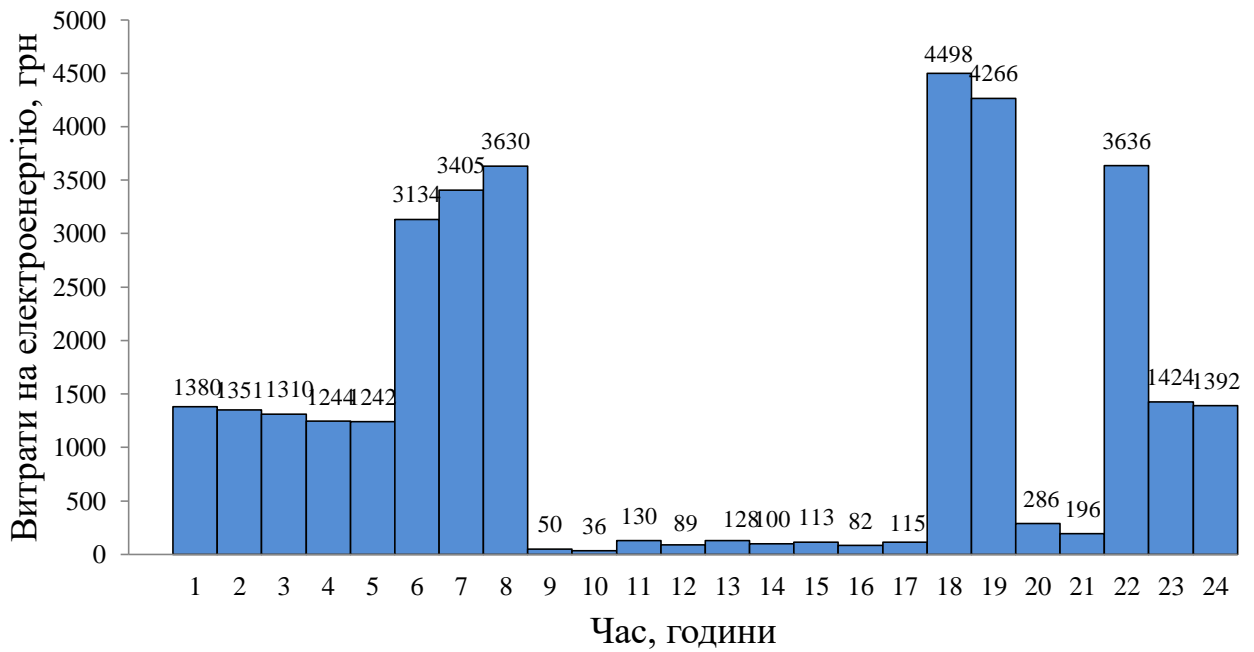


Рисунок 4.19. Графік добового коливання витрат на електроенергію при роботі в період, коли температура повітря нижча за 0,7 добового ходу температури

#### 4.8 Варіант без використання акумуляції холоду

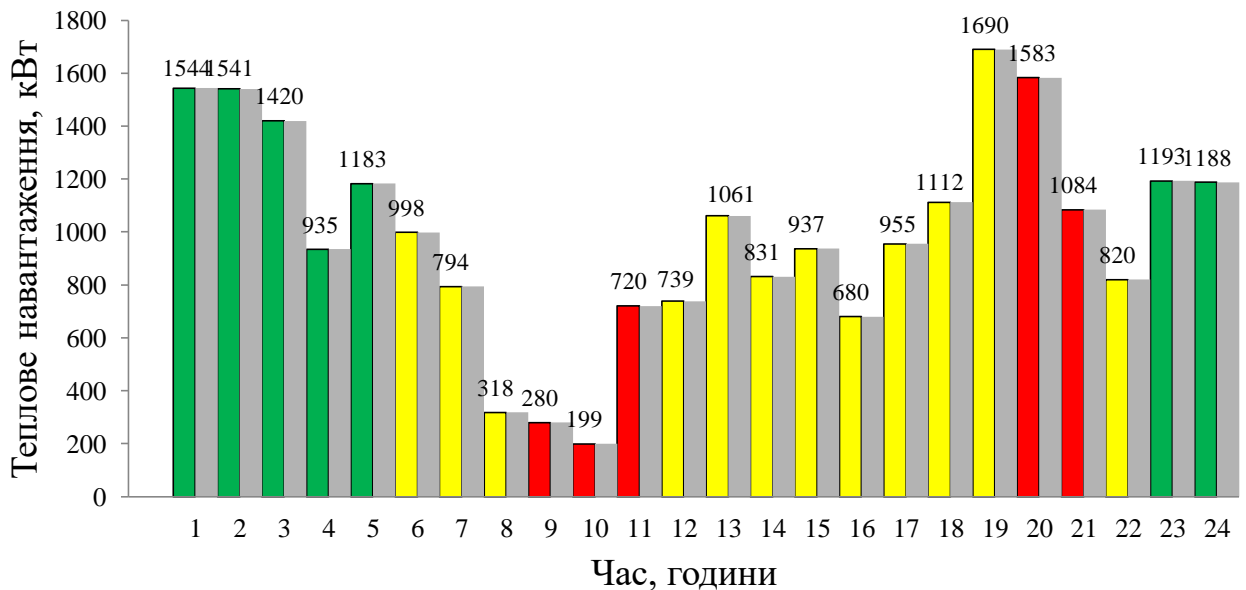


Рисунок 4.20. Графік роботи холодильної машини при роботі без використання акумуляції холоду

Таблиця 4.8. Погодинні основні характеристики роботи установки в варіанті 4а (Робота без використання акумуляції холоду)

Година	$Q_{\text{хм}}$ , кВт	$N_{\text{км}}$ , кВт	$N_{\text{нас}}$ , кВт	Витрати на електроенергію, грн
1	1544	410	29.8	1101.86
2	1541	400	29.7	1075.69
3	1420	358	27.4	963.70
4	935	227	18	612.69
5	1183	283	22.8	766.15
6	998	241	19	1628.09
7	794	214	15.3	1436.13
8	318	93.7	6.1	624.26
9	280	90.0	5.4	895.59
10	199	68.6	3.8	680.38
11	720	263	13.9	2600.44
12	739	281	14.2	1850.71
13	1061	415	20.4	2726.82
14	831	329	16	2158.99

15	937	376	18.1	2466.08
16	680	271	13.1	1778.09
17	955	368	18.4	2417.91
18	1112	402	21.4	2651.70
19	1690	567	32.6	3751.97
20	1583	501	30.5	4991.28
21	1084	328	20.9	3276.13
22	820	237	15.8	1584.98
23	1193	333	23	891.40
24	1188	323	22.9	866.52
Сума				43797.66

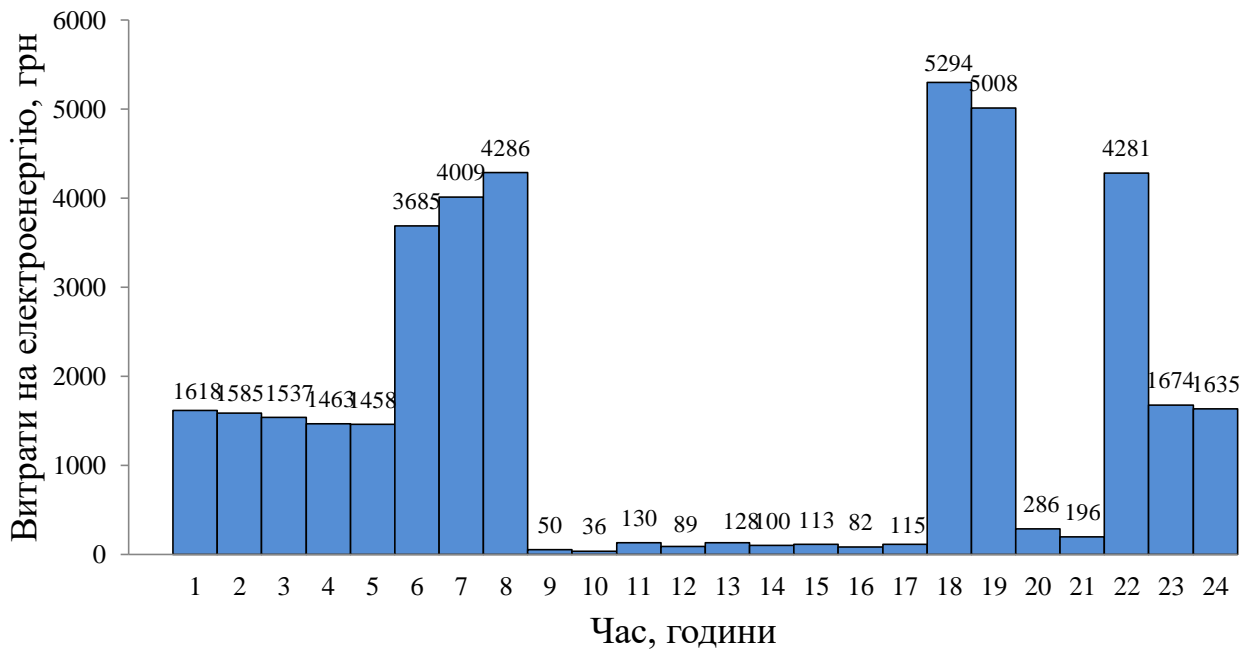


Рисунок 4.21. Графік добового коливання витрат на електроенергію без використання акумуляції

#### 4.9 Вибір оптимального варіанту комплектації холодильної установки з акумулятором холоду

Оптимальна комплектація визначається за ємністю акумулятора холоду, потужністю холодильної установки та добовим витратам на закупівлю електроенергії.

Таблиця 4.9. Базові характеристики варіантів комплектації холодильної установки

Варіант	1	2	3	4а	4б	4в	0
Холодопродуктивність, кВт	991,4	3400	1690	2163	1983	1830	1690
Ємність акумулятора, кВт•год	3396	14791	4797	11872	9888	8211	0
Добові витрати на електроенергію, грн	50718	19012	38426	28903	31094	33248	43798

Перший варіант має найменшу холодопродуктивність і ємність акумулятора, але найвищі витрати на електроенергію.

Другий варіант має найбільшу холодопродуктивність та ємність акумулятора, але найменші витрати на електроенергію.

Третій варіант має холодопродуктивність достатню для роботи без акумулятора, помірну ємність акумулятора і досить високі витрати на електроенергію.

Варіанти 4а, 4б, 4в мають високе значення холодопродуктивності та велику ємність акумуляторів.

Виходячи з цього, оптимальним буде варіант 3, який дає можливість працювати без акумуляції, в той самий час за рахунок відносно невеликого за об'ємом акумулятора холоду заощаджувати кошти на закупівлю електроенергії за рахунок простоювання у години з піковим тарифом.

## 5 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТИ

### 5.1 Вихідні дані та розрахункова методика

Гаряча вода на молокопереробному підприємстві потрібна для санітарної обробки ємностей між циклами їх роботи.

Для підприємства продуктивністю 200 тонн молока на добу потреба у гарячій воді температурою 90 °С складає 80 тонн на добу. Нагріти воду до такої температури у форконденсаторі холодильної установки неможливо, отже, у форконденсаторі передбачається первинний нагрів води, після чого нагріта вода потрапляє у баки-накопичувачі, з яких направляється на газовий водонагрівач, де досягає необхідної температури.

Температура надходження гарячої пари аміаку до форконденсатора у разі використання гвинтових компресорів знаходиться у межах +80 °С. Кінцева температура аміаку на виході з форконденсатора приймається рівною +50 °С (на п'ять градусів вища за максимальну температуру конденсації).

Кількість теплоти, що може бути знята з гарячої пари, обчислюється за формулою

$$Q_{\text{фк}} = h_2 - h_{2a}$$

де  $h_{2a}$  – ентальпія гарячої пари аміаку на виході з форконденсатора, кДж/кг.

Процес охолодження пари аміаку у форконденсаторі показаний на рисунку 5.1.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

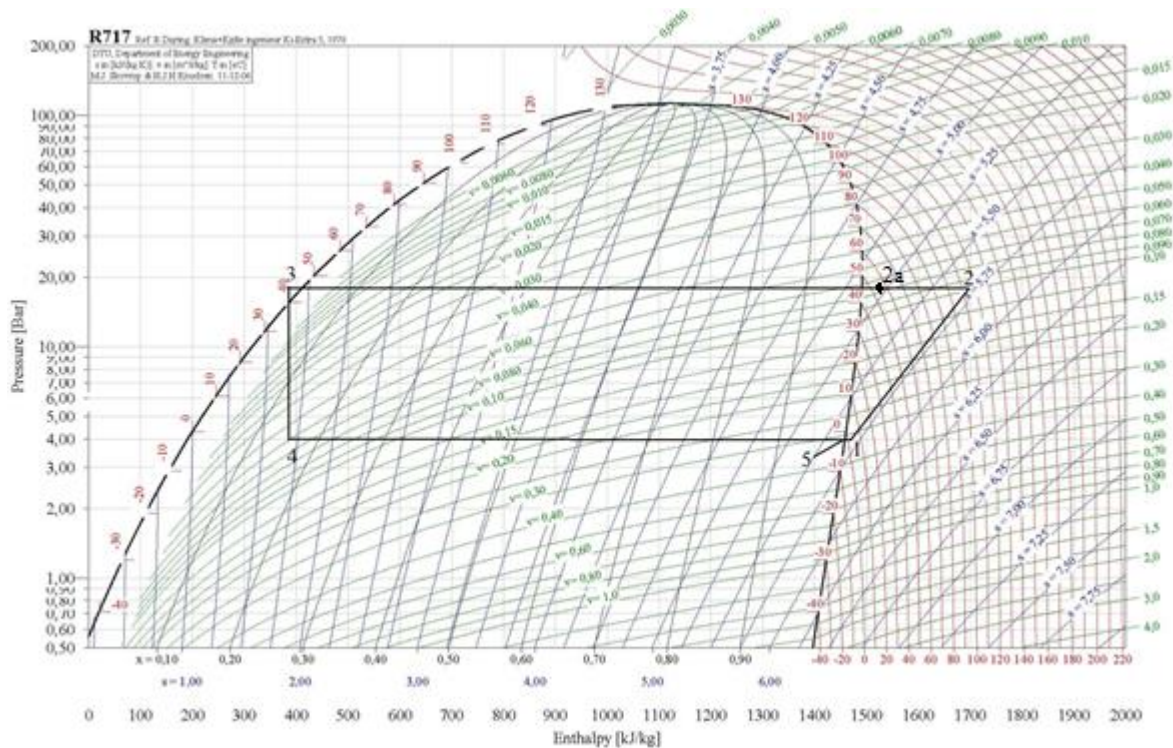


Рисунок 5.1. Процес охолодження пари аміаку у фторконденсаторі

Враховуючи обраний оптимальний варіант комплектації холодильної машини з потужністю 1690 кВт і ємністю акумулятора 4797 кВт·год холоду, кількість теплоти, що може бути утилізована у фторконденсаторі, визначається з погодинного графіку роботи холодильної установки.

Таблиця 5.1. Параметри теоретичних циклів для температури кипіння мінус 1 °С

Час	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	$G_{\text{ха}}, \text{кг/с}$	$h_2, \text{кДж/кг}$	$h_{2a}, \text{кДж/кг}$	$Q_{\text{фкд}}, \text{кВт}$
00:01-01:00	20.1	1,42	1660.3	1567	132.5
01:01-02:00	19.3	1,42	1656.3	1563.7	131.5
02:01-03:00	18.3	1,42	1651.3	1565	122.5
03:01-04:00	17.1	1,42	1645.2	1565.8	112,7
04:01-05:00	16.7	1,42	1643.2	1566.3	109.2
05:01-06:00	17.3	1,42	1646.2	1565.3	114.9

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5

Лист

59

Час	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	$G_{\text{ха}}, \text{кг/с}$	$h_2, \text{кДж/кг}$	$h_{2a}, \text{кДж/кг}$	$Q_{\text{фкд}}, \text{кВт}$
06:01-07:00	20.6	1,42	1662.8	1560.2	145.7
07:01-08:00	23.7	1,42	1678.3	1555.9	173,8
08:01-09:00	27.0	0	1694.7	1549.9	0
09:01-10:00	29.8	0	1708.7	1543.9	0
10:01-11:00	32.2	0	1720.6	1541	0
11:01-12:00	34.0	0,62	1729.5	1536.4	119.7
12:01-13:00	35.2	0,89	1735.4	1533.5	179.7
13:01-14:00	35.7	0,7	1737.9	1531.8	144.3
14:01-15:00	36.3	0,79	1740.9	1531	165.8
15:01 -16:00	36.0	0,57	1739.4	1532.5	117.9
16:01-17:00	34.5	0,8	1732.0	1535.7	157
17:01-18:00	31.8	0,93	1718.6	1538.2	167.8
18:01-19:00	28.7	0,64	1703.2	1547	100
19:01-20:00	26.4	0	1691.8	1523.4	0
20:01-21:00	24.7	0	1683.3	1555.6	0
21:01-22:00	23.1	1	1675.3	1557.4	117.9
22:01-23:00	21.8	1	1668.8	1558.4	110.4
23:01-00:00	20.9	0,99	1664.3	1560.6	102.7
Сумарно					2526

Ємність акумулятора гарячої води визначається за формулою

$$G_{\text{ак.гор}} = \frac{Q_{\text{ак}} \cdot 3,6}{(t_{\text{ак}} - t_{\text{вх}}) \cdot 4,19}, \text{ м}^3$$

де  $t_{\text{вх}}$  - температура води на вході до підігрівача, приймається постійною і рівною  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{ак}}$  – кінцева температура води на виході з форконденсатора (і на вході в акумулятор). Її значення змінюється від 75 до 55 градусів.

$Q_{\text{ак}}$  – заряд акумулятора у кВт·год теплоти.

Таблиця 5.2. Ємність теплового акумулятора у залежності від температури гарячої води

$t_{\text{ак}}, \text{ }^\circ\text{C}$	55	60	65	70	75
$G_{\text{ак.гор}}, \text{ м}^3$	62	54,3	48,2	43,4	39,5

Від температури води, яку передбачається накопичувати в акумуляторі, залежить площа поверхні теплообмінного апарату і об'єм акумулятору, при чому ці величини зворотно пропорційні. Чим ближче кінцева температура води до температури нагнітання компресорів, тим більша площа теплообмінної поверхні потрібна, але в той самий час потрібний менший об'єм баків-акумуляторів.

Форконденсатор працює у змінному режимі, коли витрата холодоагента і температура конденсації змінюються. Це впливає на результати підбору апарата. Для перевірки, який з критеріїв – температура конденсації або витрата холодильного агента – є визначальним під час вибору форконденсатора, зроблений підбір апарата в програмі Alfa Laval CAS v. 5.88. За основу взятий напівзварний апарат моделі M10BW. Результати підбору зведені до таблиці 5.3.

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

Таблиця 5.3. Результати підбору форконденсатора для різних робочих режимів

Час	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{конд}}, ^\circ\text{C}$	$G_{\text{ха}}, \text{кг/с}$	$P_{\text{конд}}, \text{бар абс.}$	$S_{\text{пов}}, \text{м}^2$
00:01-01:00	20.1	30.1	1,42	11.4	6.72
01:01-02:00	19.3	29.3	1,42	8.5	6.72
02:01-03:00	18.3	28.3	1,42	10.6	6.24
03:01-04:00	17.1	27.1	1,42	10.5	6.24
04:01-05:00	16.7	26.7	1,42	10.4	6.24
05:01-06:00	17.3	27.3	1,42	10.5	6.24
06:01-07:00	20.6	30.6	1,42	11.6	6.72
07:01-08:00	23.7	33.7	1,42	12.7	6.72
08:01-09:00	27.0	37	0	13.9	-
09:01-10:00	29.8	39.8	0	15	-
10:01-11:00	32.2	42.2	0	16.1	-
11:01-12:00	34.0	44	0,62	16.8	3.84
12:01-13:00	35.2	45.2	0,89	17.4	5.28
13:01-14:00	35.7	45.7	0,7	17.6	3.84
14:01-15:00	36.3	46.3	0,79	17.9	4.32
15:01 -16:00	36.0	46	0,57	17.7	3.36
16:01-17:00	34.5	44.5	0,8	17.1	4.8
17:01-18:00	31.8	41.8	0,93	15.9	5.28
18:01-19:00	28.7	38.7	0,64	14.6	3.84
19:01-20:00	26.4	36.4	0	13.7	-
20:01-21:00	24.7	34.7	0	13.1	-

Час	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{конд}}, ^\circ\text{C}$	$G_{\text{ха}}, \text{кг/с}$	$P_{\text{конд}}, \text{бар абс.}$	$S_{\text{пов}}, \text{м}^2$
21:01-22:00	23.1	33.1	1	12.5	5.28
22:01-23:00	21.8	31.8	1	12.1	5.28
23:01-00:00	20.9	30.9	0,99	11.7	4.8

З результатів підбору видно, що найбільша потрібна площа припадає на період з максимальною витратою і максимальним тиском конденсації (період з 7 по 8 годину). Отже, для підбору форконденсатора для різних варіантів кінцевої температури води слід використовувати витрату холодоагента 1,42 кг/с і тиск конденсації 12,7 бар абсолютних.

В тій самій програмі проведено підбір форконденсатора для різних значень температури води на виході.

Таблиця 5.4. Результати підбору форконденсатора для різних температур води на виході

$t_{\text{ак}}, ^\circ\text{C}$	55	60	65	70	75
$S_{\text{фкд}}, \text{м}^2$	3.84	3.84	5.28	5.28	6.72
Вартість апарата, грн	667 665	667 665	1 109 186	1 109 186	1 166 684

Вартість апарата зростає разом зі значенням температури води. Водночас зменшується вартість баків-акумуляторів. Якщо прийняти, що вартість 1 м<sup>3</sup> ізолюваної ємності становить 2500 грн, капітальні витрати на основне обладнання у п'яти варіантах становитимуть значення, наведені у таблиці 5.5.

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

Таблиця 5.5. Сумарна вартість основного обладнання системи утилізації теплоти нагнітання компресорів

$t_{ак}, ^\circ\text{C}$	55	60	65	70	75
Вартість баків-акумуляторів, грн	162 500	137 500	125 000	112 500	100 000
Вартість форконденсатора, грн	667 665	667 665	1 109 186	1 109 186	1 166 684
Сумарна вартість основного обладнання, грн	830 165	805 165	1 234 186	1 221 686	1 266 684

Мінімальну вартість має варіант з температурою теплої води 60 °С.

При вартості газу 18,5 грн за 1 м<sup>3</sup> і нагріванні 54,3 м<sup>3</sup> води від +20 °С до +60 °С добові витрати на нагрівання за допомогою газу складають

$$\frac{54300 \cdot (60 - 20) \cdot 18,5}{7600} = 5287,10 \text{ грн}$$

Термін окупності системи утилізації теплоти нагнітання становить

$$\frac{805165}{5287,10} = 153 \text{ дні}$$

Тобто рішення з утилізацією теплоти повертає інвестиції менше ніж за півроку.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

## 6 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

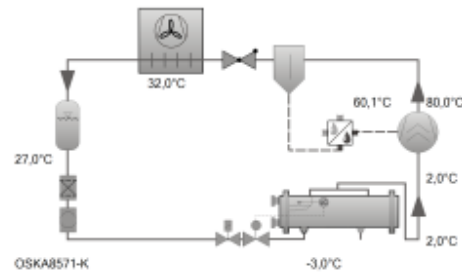
### 6.1 Вибір компресорного обладнання

Розрахункова температура кипіння  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура конденсації  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Переохолодження і перегрівання пари становить  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У варіанті комплектації №3 встановлюються чотири гвинтові компресори Bitzer холодопродуктивністю  $425\text{ кВт}$  кожний. В програмі Bitzer Software v.6.15.1 вибраний компресор OSKA8591-K.

#### Selection: Open Screw Compressors OS

##### Input Values

Cooling capacity	425 kW
Refrigerant	R717
Reference temperature	Dew point temp.
Evaporating SST	$-3,00\text{ }^{\circ}\text{C}$
Condensing SDT	$32,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
Liq. subc. (in condenser)	5,00 K
Suct. gas superheat	5,00 K
Operating mode	Standard
Speed	2900 /min
Useful superheat	100%
Additional cooling	Automatic
Max. discharge gas temp.	$80,0\text{ }^{\circ}\text{C}$



##### Result

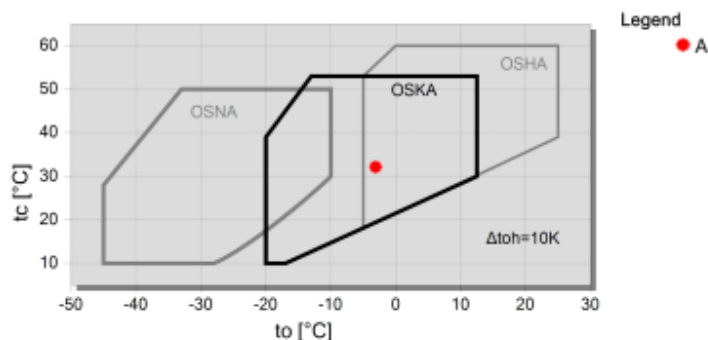
Compressor	OSKA8571-K	OSKA8581-K
Capacity steps	100%	100%
Cooling capacity	371 kW	430 kW
Cooling capacity *	364 kW	421 kW
Evaporator capacity	371 kW	430 kW
Shaft power	71,0 kW	82,1 kW
Condenser capacity	420 kW	487 kW
COP/EER	5,23	5,24
COP/EER *	5,12	5,13
Mass flow LP	1169 kg/h	1354 kg/h
Mass flow HP	1169 kg/h	1354 kg/h
Operating mode	Standard	Standard
Liquid temp.	$27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
Oil volume flow	2,28 m <sup>3</sup> /h	3,23 m <sup>3</sup> /h
Cooling method	External	External
Oil cooler outlet	$60,1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$63,8\text{ }^{\circ}\text{C}$
Oil cooler load	22,1 kW	25,4 kW
Recommended driving motor	90,0 kW	110,0 kW
Discharge gas temp. w/o cooling	$106,2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$106,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Additional cooling/ Limitations (see Limits)!

Starting point for motor selection see T. Data/ Notes

\*According to EN12900 (5K suction gas superheat, 0K liquid subcooling)

#### Application Limits Standard OSKA8571, OSKA8581



Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5

Лист

65



### 6.3 Вибір випарного конденсатора

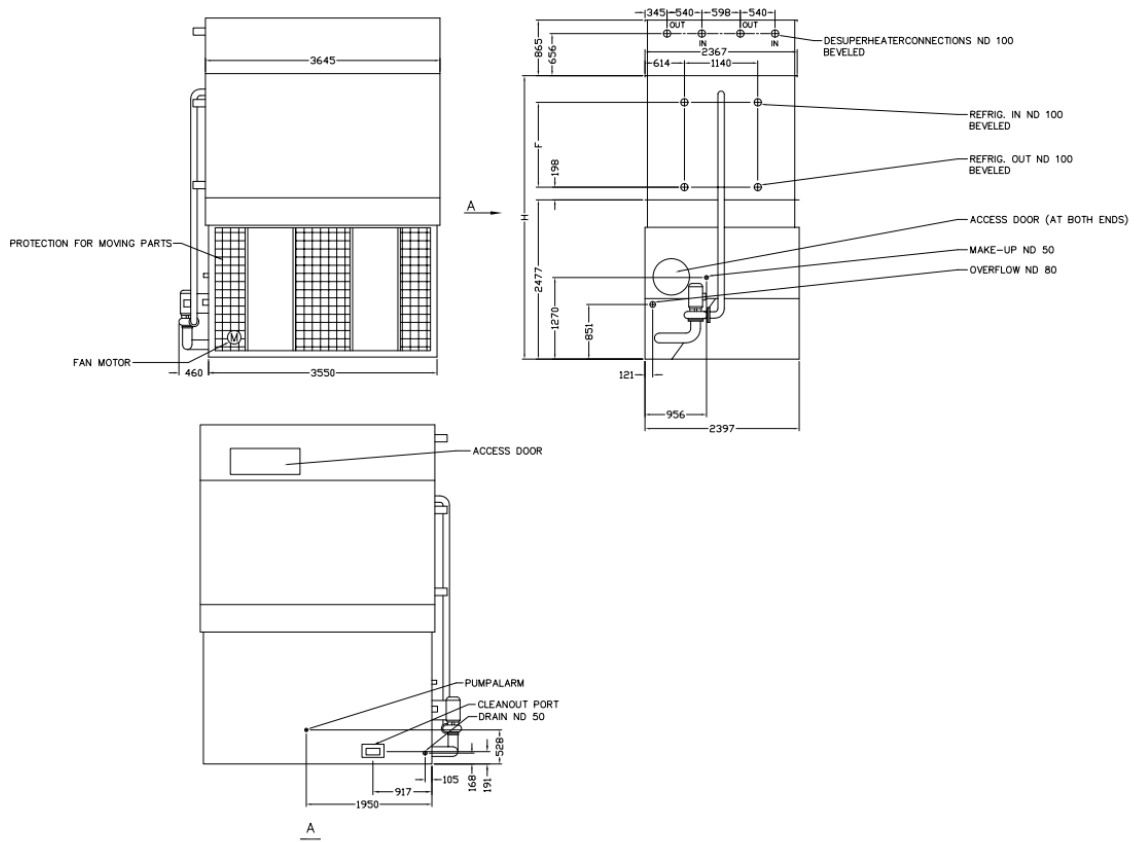
Максимальна температура конденсації становить +32 °С у літній час.  
Температура за вологим термометром, за даними кліматології [10] становить +19 °С. Потрібна потужність конденсаторів для варіанта №3 складає 1920 кВт, тобто по 960 кВт на апарат. Підбір апарату зроблений за методикою, наведеною у [6].

Корегуючий коефіцієнт з таблиці 2 – 1,34

Поправка на перегрів з таблиці 3 – 0,92

Розрахункова потужність конденсатора  $960 \cdot 1,34 \cdot 0,92 = 1183$  кВт.

З таблиці 1 базової продуктивності модель конденсатора – VXC S298.



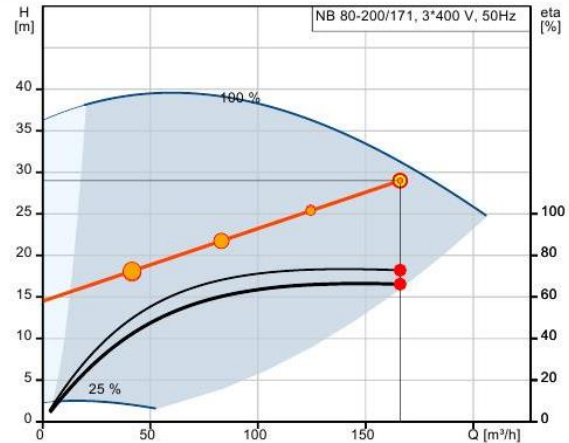
					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

#### 6.4 Вибір насосного обладнання

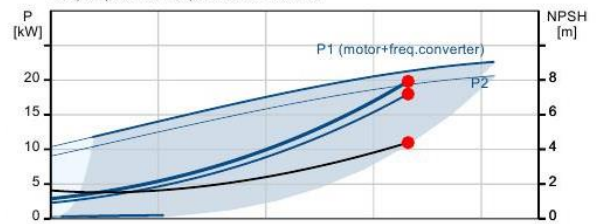
Пластинчасті випарники живляться за гравітаційною схемою, отже насоси підбираються тільки для контуру циркуляції холодоносія. Насоси первинного і вторинного контурів оснащені перетворювачами частоти, і тому можуть змінювати робочі характеристики в широкому діапазоні. Отже для первинного і вторинного контурів, з метою уніфікації обладнання, обрані насоси однакових марок. Розрахунковий напір 29 метрів водяного стовпа, витрата 162 м<sup>3</sup>/годину. Підбір обладнання виконано за допомогою Інтернет-ресурсу «Grundfos Product Center». Обрано марку Grundfos NB 80-200/171. Для кожного контуру передбачено встановлення основного і резервного насосів.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

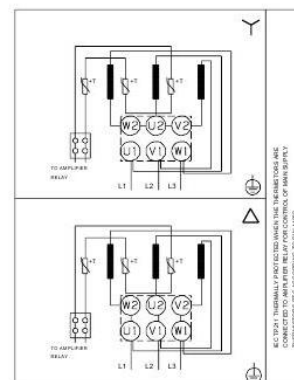
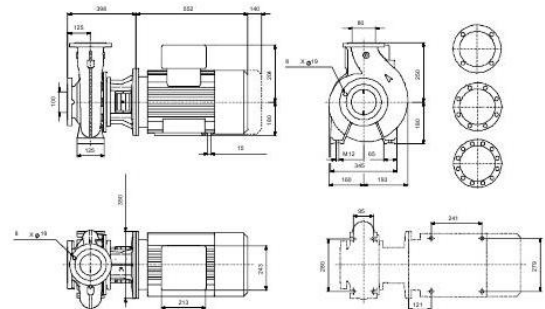
Description	Value
<b>General information:</b>	
Product name:	NB 80-200/171 AAF2AESBAQEQW1
Product No:	On request
EAN number:	On request
<b>Technical:</b>	
Pump speed on which pump data are based:	2878 rpm
Actual calculated flow:	166 m <sup>3</sup> /h
Resulting head of the pump:	29 m
Actual impeller diameter:	171 mm
Nominal impeller diameter:	200
Shaft seal arrangement:	Single
Shaft diameter:	32 mm
Code for shaft seal:	BAQE
Curve tolerance:	ISO9906:2012 3B
Pump version:	A
Bearing design:	Standard
<b>Materials:</b>	
Pump housing:	Cast iron
Pump housing:	EN-GJL-250
Pump housing:	ASTM class 35
Wear ring:	Brass
Impeller:	Cast iron
Impeller:	EN-GJL-200
Impeller:	ASTM class 30
Internal pump house coating:	CED
Material code:	A
Code for rubber:	E
Shaft:	Stainless steel
Shaft:	EN 1.4301
Shaft:	AISI 304
<b>Installation:</b>	
t max amb:	60 °C
Maximum operating pressure:	16 bar
Pipe connection standard:	EN 1092-2
Size of inlet connection:	DN 100
Size of outlet connection:	DN 80
Pressure rating for connection:	PN 16
Bearing lubrication:	Grease
Pump housing with feet:	Yes
Support block (Yes/No):	N
Connect code:	F2
<b>Liquid:</b>	
Pumped liquid:	Вода
Liquid temperature range:	0 .. 120 °C
Selected liquid temperature:	1 °C
Density:	999.9 kg/m <sup>3</sup>
Kinematic viscosity:	1.73 mm <sup>2</sup> /s
<b>Electrical data:</b>	
Motor type:	180MB
IE Efficiency class:	IE3
Rated power - P2:	22 kW
Mains frequency:	50 Hz
Rated voltage:	3 x 380-415D/660-690Y V
Rated current:	39.5/22.8 A
Starting current:	830 %
Cos phi - power factor:	0.90-0.90
Rated speed:	2950 rpm



Q = 166 m<sup>3</sup>/h H = 29 m  
 n = 98 % (48.6Hz) / 2878 rpm Pumped liquid = Вода  
 Density = 999.9 kg/m<sup>3</sup> Eta pump = 72.9 %  
 Liquid temperature during operation = 1 °C  
 Eta pump+motor+freq.converter = 66.2 %



P1 (motor+freq.converter) = 19.82 kW  
 P2 = 18 kW  
 NPSH = 4.39 m



Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

## 6.5 Вибір циркуляційного ресивера

Для розрахунку використана програма Surge-Drum PC2. Конфігурація апарата – два входи по краям і вихід по центру. Робочий рівень рідини - 250 мм. В результаті підбору обраний варіант з діаметром обичайки 1400 мм і відстанню між вхідними патрубками 3000 мм.

Refrigerant: R717  
Evaporating temperature T2: -1.0 C  
Refrigerating capacity, Q2: 1690.0 kW  
Temperature before exp.valve: 32.0 C Gas flow only  
Flow rate to compressor: 0.766 kg/s 0.247 m<sup>3</sup>/s  
Flow side A: 0.334 kg/s 0.108 m<sup>3</sup>/s  
Flow side B: 0.432 kg/s 0.139 m<sup>3</sup>/s  
Flash gas flow: 0.098 kg/s 0.031 m<sup>3</sup>/s  
Shell, internal diameter: 1400.0 mm  
Total length of shell: 3000.0 mm  
Active length of shell: 2500.0 mm  
L-shell/D: 2.5 L-active/h 1.3  
Note ! Your separator is probably too short  
(An alternative inlet/outlet arrangement may be necessary)  
Minimum operating level: 250.0 mm 25.0 % of D  
Accumulated liquid charge: 0.0 dm<sup>3</sup>  
Total liquid charge: 843.3 dm<sup>3</sup>  
Liquid level: 250.0 mm 25.0 % of D  
Horizontal gas velocity: 0.230 m/s Allowed 0.660 m/s  
Residence time: 4.5 s  
Minimum separated droplet: 0.082 mm Wfall 0.185 m/s

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

## 6.6 Вибір діаметрів аміачних трубопроводів

Діаметри аміачних трубопроводів розраховані у програмі CoolSelector 2 v.5.3.3.

Розрахункові розміри:

Трубопровід подачі рідини до випарників – Ду80;

Трубопровід подачі рідини до випарника – Ду50;

Парорідинний трубопровід від випарника – Ду100;

Трубопровід всмоктування сухої пари з циркуляційного ресивера – Ду125;

Трубопровід всмоктування пари до компресора – Ду100;

Трубопровід нагнітання компресора – Ду65;

Трубопровід нагнітальний загальний – Ду80;

Трубопровід повернення конденсату до лінійного ресивера – Ду50.

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		71

## 7 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### Загальна характеристика об'єкта

Завод з переробки молока призначений для підготовки молочної сировини перед продажем у роздрібній торговій мережі. Продуктивність заводу становить 200 тонн молока на добу.

В рамках цієї роботи розроблений комплекс технічних рішень для створення компактної аміачної холодильної системи та схеми циркуляції і накопичення проміжного холодоносія та гарячої води. Все обладнання знаходиться в межах будівлі компресорного цеху АХС і промислового майданчика, що розташований у безпосередній близькості до компресорного цеху.

### Розрахунок капітальних витрат

Капітальні вкладення в систему охолодження:

$$K = K_x + K_c - L, \quad (1)$$

де  $K_x$  - капітальні вкладення в холодильну систему;

$K_c$  - супутні капіталовкладення;

$L$  - ліквідаційна вартість (капіталовкладення, що вивільнились).

При будівництві нового об'єкта вивільнені та супутні капіталовкладення не враховуються.

Капітальні вкладення в систему холодопостачання обчислюються як

$$K_x = K_{об} + K_B + K_{сп} + K_{ком}, \quad (2)$$

де  $K_{об}$  - капітальні вкладення в обладнання;

$K_B$  - капітальні вкладення в будівлі;

$K_{сп}$  - капітальні вкладення в споруди;

$K_{ком}$  - капітальні вкладення в комунікації.

Вартість споруд і комунікацій не враховується. Капітальні вкладення в

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

обладнання розраховуються як сумарна вартість обладнання та витрати на транспортування (10%) і роботи з запуску та налаштування (15%).

Капітальна вартість будівель визначається як

$$K_B = F \cdot h \cdot C_v, \quad (3)$$

де  $F$  – виробнича площа

$h$  – висота приміщення

$C_v$  – середня вартість 1 м<sup>3</sup> будівлі за укрупненими показниками допоміжних приміщень (компресорний цех) - 12000 грн/м<sup>3</sup>.

Тоді капітальні вкладення в споруду холодильника становитимуть

$$K_B = 6 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 12000 = 5184000 \text{ грн}$$

Таблиця 7.1. Вартість обладнання холодильної системи

Найменування обладнання	Од. вим.	Кіль-ть	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
Компресор гвинтовий Bitzer KA8591-K	Шт.	4	999,600	3,998,400
Пластинчастий теплообмінник M10BW 26,9 м <sup>2</sup>	Шт.	2	855,932	1,711,864
Бак-акумулятор 100 м <sup>3</sup>	Шт.	7	183,200	1,282,400
Циркуляційний ресивер	Шт.	1	124,200	124,200
Випарний конденсатор VXC S298	Шт.	2	1,812,530	3,625,060
Насос циркуляційний водяний Grundfos NB 80-200/171	Шт.	4	276,000	1,104,000
Загальна вартість обладнання	11,845,924			
Транспортні витрати (10%)	1,184,592			

Найменування обладнання	Од. вим.	Кіль-ть	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
Витрати на монтаж і запуск в роботу (15%)			1,776,889	
Витрати на будівельні роботи (10% від капітальних вкладень в будівлі)			1,184,592	
Витрати на проектні роботи (20% від вартості обладнання і будівельних робіт)			2,606,103	
Сумарні капітальні вкладення			18,598,101	

### Розрахунок експлуатаційних витрат і собівартості виробництва холоду

Витрати на експлуатацію холодильної системи складаються з наступних статей:

- витрати на матеріали (масло, аміак);
- витрати на електроенергію;
- відрахування в фонд заробітної плати;
- витрати на амортизацію обладнання і будівлі;
- витрати на поточний ремонт обладнання;
- інші витрати.

#### Витрати на матеріали

Витрати на матеріали визначаються за формулою

$$C_m = \sum_{j=1}^n G_{mi} \cdot C_{mi}, \quad (4)$$

де  $G_{mi}$  - витрата і-го матеріалу при експлуатації системи;

$C_{mi}$  - ціна і-го матеріалу.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

При експлуатації аміачної холодильної системи витрачається аміак, вода і масло. Вартість 1 кг масла ХА-30 200 грн., 1 кг аміаку - 35 грн. Річна витрата масла на агрегат складає 100 кг на рік, витрата аміаку - 100 кг на рік. Вартість води 40 грн/м<sup>3</sup>, добова потреба випарного конденсатора 59 м<sup>3</sup>. Річна витрата матеріалів складатиме

$$C_M = 200 \cdot 100 \cdot 4 + 100 \cdot 35 + 59 \cdot 40 \cdot 365 = 944,900 \text{ грн}$$

### Витрати на електроенергію

Річні витрати на електроенергію розраховані під час вибору варіанту комплектації і становлять:

$$C_e = 8\,415\,294 \text{ грн}$$

### Витрати на заробітну платню

Розмір річного фонду заробітної плати визначається за формулою

$$C_M = \sum_{j=1}^q P_i \cdot T_i \cdot \Phi \cdot (1 + a_d + a_c), \quad (5)$$

де  $q$  – кількість кваліфікацій

$P_i$  – кількість робітників  $i$ -го розряду;

$T_i \cdot \Phi$  – годинна ставка робітника  $i$ -го розряду, фонд робочого часу.

Прийнята рівною 11000 грн. (місячна ставка машиніста і слюсаря V розряду);

$a_d$  – коефіцієнт врахування додаткової зарплатні (0,05);

$a_c$  - нарахування на соціальне страхування і інші податки (0,22).

Кількість машиністів і слюсарів для невеликої автоматизованої аміачної холодильної установки приймається рівним 6 (один змінний машиніст, два машиніста у зміну, режим роботи – доба через добу, два слюсаря). Фонд заробітної плати складатиме:

$$C_M = (6 \cdot 11000 + 2 \cdot 11000) \cdot (1 + 0,05 + 0,22) \cdot 12 = 1\,341\,120 \text{ грн}$$

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		75

Таблиця 7.2. Витрати за статтею заробітної плати

Найменування посади	Кількість осіб	Заробітна плата, грн.	Річний фонд заробітної плати, грн.
Машиніст, V разряд	6	11000	1,005,840
Слюсар, V разряд	2	11000	335,280
Фонд заробітної плати (з урахуванням відрахувань)	1 341 120		

### Витрати на амортизацію

Амортизаційні витрати розраховуються за формулою

$$C_a = H_{об} \cdot K_{об} + H_c \cdot K_c, \quad (6)$$

де  $H_{об}$ ,  $H_c$  – норма відрахувань на амортизацію для обладнання і будівлі.

Прийняті рівними 15% і 5%;

$K_{об}$ ,  $K_c$  – вартість будівлі та обладнання.

$$C_a = 11,845,924 \cdot 0,15 + 5,184,000 \cdot 0,05 = 2,036,089 \text{ грн}$$

### Витрати на поточний ремонт

Витрати на поточний ремонт обчислюються за формулою

$$C_p = H_{об} \cdot 0,05 + H_c \cdot 0,02 \quad (7)$$

І складуть

$$C_a = 11,845,924 \cdot 0,05 + 5,184,000 \cdot 0,02 = 695,976 \text{ грн}$$

### Цехові витрати

Цехові витрати складаються з витрат на поточний ремонт, амортизацію, матеріали, електроенергію, заробітну платню та інших витрат. Результати

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

обчислень зведені у таблицю.

Таблиця 7.3. Цехові витрати

Стаття витрат	Сума, грн
Витрати на матеріали	944,900
Витрати на електроенергію	8,415,294
Витрати на заробітну платню	1,341,120
Витрати на амортизацію	2,036,088
Витрати на поточний ремонт	695,976
Експлуатаційні витрати	13,433,378
Інші цехові витрати (20% від експлуатаційних витрат)	2,686,676
Усього	16,120,055

### Розрахунок собівартості одиниці холоду

Собівартість одиниці холоду визначається за формулою

$$C_0 = \frac{C}{Q}, \quad (8)$$

де  $C$  – річні експлуатаційні витрати, грн

$Q$  – річна холодопродуктивність холодильної установки, МДж

Річна холодопродуктивність холодильної установки визначається з графіка теплового навантаження і складає  $23795 \cdot 3.6 \cdot 365 = 31,266,630$  МДж.

Звідки собівартість 1 МДж холоду становить

$$C_0 = \frac{16,120,055}{31,266,630} = 0,51 \text{ грн/тис. кДж}$$

### Розрахунок економічного ефекту

Об'єм споживання молока і ціна на нього майже незмінна впродовж року.

Довжина розрахункового періоду обрана 10 років. Економічний ефект за розрахунковий період, для якого характерна стабільність техніко-економічних

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		77



$\gamma$  – коефіцієнт врахування втрати продукту. Для молока прийнятий рівним 0.01;

$V$  – річний товарообіг;

$k_n$  – коефіцієнт зменшення прибутку в залежності від податку на прибуток. Прийнятий рівним 0.7.

$$\begin{aligned} \Pi &= (32 \cdot 365 \cdot 100\,000 \cdot (1 - 0,01) - (30 \cdot 365 \cdot 100\,000 + 16,120,055)) \cdot 0,7 \\ &= 31,639,961 \text{ грн} \end{aligned}$$

Економічна ефективність (рентабельність) капітальних вкладень дорівнюватиме

$$E = \frac{\sum \Pi}{K}, \quad (13)$$

де  $\sum \Pi$  - сумарний прибуток

$K$  – капітальні вкладення

$$E = \frac{31,639,961}{16,120,055} = 1,96$$

Термін окупності

$$T = \frac{K}{\sum \Pi} \quad (14)$$

$$T = \frac{16,120,055}{31,639,961} = 0,51 \text{ року}$$

Вважається, що створення холодильного об'єкта економічно доцільно, якщо  $E > 0,15$  і  $T < 6,5$ . В даному випадку  $1,96 > 0,15$  і  $0,51 < 6,5$ . Отже, створення молокопереробного заводу з акумуляторами холоду має сенс з економічної точки зору.

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		79

Таблиця 7.4. Техніко-економічні показники проекту

№ п/п	Показник	Значення
1	Добова продуктивність, т	200
2	Холодопродуктивність, кВт	1690
3	Кількість компресорів, шт	4
4	Встановлена електрична потужність, кВт	500
5	Кількість обслуговуючого персоналу, осіб	8
6	Собівартість 1 тис. кДж холоду, грн.	0,51
7	Капітальні вкладення, тис. грн	18,598
8	Експлуатаційні витрати, тис. грн	16,120
9	Річний прибуток, тис. грн	31,639
10	Термін окупності капітальних вкладень, років	0,51
11	Рентабельність, %	196
12	Економічний ефект за розрахунковий період, тис. грн	7,061,180

Висновок: термін окупності холодильного об'єкта складає 0,51 роки, рентабельність складає 1,96. Дані показники знаходяться у допустимих межах, отже слід вважати проект будівництва молокозаводу таким, що має доцільність.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Fisher J.M. Barriers to Energy Conservation in Industrial Refrigeration, HVAC Engineering, February 2006, p. 36-42.
2. Mohammed A.Q. et al. Principles of Energy Efficient Ammonia Refrigeration Systems, ASHRAE paper DE-13-019, Volume 119, part 2, 2013.
3. Roth P. Energy saving on the high-pressure side of a refrigerating plant, Guntner publication, 2007.
4. Stamm R.H. Energy conservation for industrial refrigeration, HVAC Engineering, February 2002, p. 44-49.
5. Baltimore Bulletin D117/3-7 D. VXC evaporative condensers. Selection guide and technical data
6. Baltimore Bulletin D115/3-2. Evaporative condenser engineering manual
7. Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. Л.: Агропромиздат, 1988.
8. Чумак И.Г., Чепурненко В.П. и др. Холодильные установки. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1991. – 495 с.: ил.
9. Рекомендации по проектированию установок мясной и молочной промышленности ВНИКТИхолодпром, 1987.
10. 2018 ASHRAE Handbook. Refrigeration. SI edition.
11. Danfoss Industrial Refrigeration Ammonia and CO2 Applications, 2020.
12. Arnemann M. Energy Efficiency of Refrigeration Systems International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 16-19, 2012
13. Amidpour M., Manesh M.H.K. Cogeneration and polygeneration systems, Academic Press, 2021, 384 p.
14. Кузнецов М.П., Мельник О.А. Комплексне використання відновлюваних джерел енергії. Курс лекцій: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра спец. 141 "Електроенергетика,

					КРМ.ХУКП.1.784-03.3.5	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		81

електротехніка та електромеханіка" за освіт. програмою  
"Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії" — Київ : КПІ ім. І.  
Сікорського, 2022. — 304 с. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48635>)

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82