

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



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему: Дослідження та удосконалення систем акумуляції
штучного холоду для молокопереробних підприємств

Здобувача (ки) Кейзі І.С.

2 курсу ХМ-161МН(а) групи

Керівник к.т.н., доц. Желіба Ю.О.

Консультанти: _____

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 01.06.2023р. протокол № 10

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

«17» березня 2023 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кейзі Івану Сергійовичу

1. Тема роботи Дослідження та удосконалення систем акумуляції штучного холоду для молокопереробних підприємств

Затверджена наказом ОНТУ від 29.09.2021 р. наказ № 793-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 01.06.2023 р.

3. Вихідні дані роботи

Перелік технологічного обладнання і добовий графік його роботи; графік теплових навантажень на кожну одиницю технологічного обладнання; 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 шляхи заощадження електроенергії за рахунок використання сучасного обладнання і системи автоматизації

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

Принципова схема холодильної установки; мультимедійна презентація на 21 слайді

Анотація

Кваліфікаційна робота складається з: 105 сторінок друкованого тексту, 35 рисунків, 23 таблиць, 20 посилань на літературні джерела.

Робота присвячена пошуку способів підвищення енергетичної ефективності холодильних систем молокозаводів, які використовують акумуляцію холоду. За результатами пошуку в проєкті впроваджена одноконтурна замкнута система циркуляції холодоносія з баком-акумулятором, для регулювання подавання холодоносія до споживачів використані автоматичні балансувальні клапани АВ-QM. Пошук оптимального співвідношення «ємність акумулятора / холодопродуктивність установки» виконана за приведеними затратами впродовж семи років експлуатації і з врахуванням витрат електроенергії на живлення насосів у різних гідравлічних режимах роботи системи. За результатами обчислень розроблено проєкт аміачної холодильної установки.

Ключові слова: молокозавод, холодильна система, акумулятор без фазового переходу, акумуляція холоду, оптимізація схемного рішення, енергоресурсозбереження, проміжний холодоносіє

ABSTRACT

Qualification work consists of 105 pages of printed text, 23 tables, 35 figures, 20 references.

The main goal of the work is to find ways to increase the energy efficiency of refrigeration systems of dairy plants using cold accumulation. According to the results of the research, a single-circuit closed coolant circulation system with an accumulator tank was implemented in the project, and automatic balancing valves AV-QM were used to regulate the coolant supply to consumers. The search for the optimal ratio "battery capacity/cooling capacity" was carried out based on the indicated costs during seven years of operation and taking into account the electricity costs for powering the pumps in different hydraulic modes

of the system. According to the results of the calculations, the project of the ammonia refrigeration plant was developed.

Keywords: dairy plant, refrigeration system, cold accumulation, accumulator without phase change, scheme optimizing, energy saving, intermediate coolant

ЗМІСТ

	сторінка
1 ВСТУП.....	7
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
3 ВИБІР ГІДРАВЛІЧНОЇ СХЕМИ І ПРИНЦИПУ КЕРУВАННЯ.....	12
3.1 Огляд наявних гідравлічних схем.....	12
3.2 Розробка схемного рішення контуру циркуляції холодоносія.....	15
3.3 Використання поворотних заслінок ZWICK з регулюючою насадкою TRI-SHARK.....	19
3.4 Використання балансувальних клапанів АВ-QM.....	20
3.5 Частотне регулювання насосів.....	23
3.6 Розрахункова модель гідравлічної схеми.....	26
4 ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОБРАНОЇ СХЕМИ.....	37
4.1 Розрахунок блоку споживачів холоду.....	37
4.2 Розрахунок блоку генерації і зберігання холоду	42
5 ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРА ХОЛОДУ.....	47
5.1 Методика визначення оптимального значення ємності акумулятора	47
5.2 Результати розрахунку варіантів комплектації холодильної системи.....	61
5.3 Вибір оптимального варіанту комплектації холодильної системи.....	84
5.4 Визначення економічної доцільності встановлення байпасної лінії пластинчастих випарників.....	85
6 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	88
6.1 Вибір компресорного обладнання.....	88
6.2 Вибір пластинчастих випарників.....	89
6.3 Вибір випарного конденсатора.....	90
6.4 Вибір насосного обладнання.....	91
6.5 Вибір циркуляційного ресивера	93
6.6 Розрахунок діаметрів аміачних трубопроводів	94
7 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	95
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	104

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунково- пояснювальна записка	Лім.	Лист	Листів	
Розроб.	Кейзі І.С.							6	105
Перевірив	Желіба Ю.О.								
Реценз.									
Н. Контр.	Желіба Ю.О.						ОНАХТ, гр. ХМ-161МН(а)		
Затвердив									

1 ВСТУП

В будь-якій холодильній установці теплове навантаження не є сталою величиною. Воно залежить від кліматичних умов, пори року, змінюється впродовж доби під дією сонячного випромінювання і температури повітря.

Та головний вплив на величину теплового навантаження має характер охолоджуваного середовища. Якщо холодильна установка обслуговує низькотемпературне сховище, теплоприплив буде значно підвищуватись при завантаженні отепленого вантажу, під час зберігання – залежатиме від кліматичних умов. Ще більш складною є ситуація для тих холодильних установок, які обслуговують виробництва. Теплове навантаження майже повністю залежить від особливостей технологічного процесу.

Прикладом саме такого виробництва є молокозавод. Через визначену технологіями і можливостями господарств послідовність приймання та обробки молока теплове навантаження на холодильну систему коливається від досить великих, але нетривалих пікових значень до періодів повного простою.

Такі умови роботи наводять на думку про доцільність використання акумуляції холоду.

Сучасний рівень розвитку техніки дозволяє використовувати допоміжне обладнання з розширеною функціональністю, яка може позитивно позначитись на енергетичній ефективності холодильної системи. У цій роботі наведені два способи знизити енергоємність процесу транспортування холодоносія за рахунок використання сучасних приладів для регулювання витрати.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Предметом дослідження є холодильна система молокопереробного заводу потужністю 100 тонн цільного молока і 300 тонн збираного молока на добу.

Номенклатура технологічного обладнання підприємства, що під'єднане до холодильної системи, налічує наступні машини та агрегати:

1. Пластинчастий охолоджувач молока ООЛ-20 продуктивністю 25 тонн/годину – 4 шт (один для охолодження цільного молока, три для охолодження збираного молока);
2. Пастеризатор ОКЛ 10 – 2 шт;
3. Охолоджувач вершків ООЛ-10 – 1 шт;
4. Танк зберігання вершків 1-ОСВ-4 – 1 шт;
5. Маслоутворювач АДМ – 1 шт;
6. Пластинчастий охолоджувач масла ООЛ-5 – 1 шт;
7. Пастеризаційно-охолоджувальна установка ОКЛ-25 – 2 шт.

Графік роботи і значення теплових навантажень зведені в таблицю. Сумарне навантаження розраховане з урахуванням 12% втрат холоду при виробництві та транспортуванні.

Таблиця 2.1. Погодинне навантаження на холодильну систему

Час	ООЛ-20	ОКЛ 10	ООЛ-10	1-ОСВ-4	АДМ	ООЛ-5	ОКЛ-25	Сумане, кВт
0-1	34,72						323,89	401,64
1-2	34,72						323,89	401,64
2-3							323,89	362,76
3-4							323,89	362,76
4-5							323,89	362,76
5-6							323,89	362,76
6-7	154,44							172,98

Час	ООЛ-20	ОКЛ 10	ООЛ-10	1-ОСВ-4	АДМ	ООЛ-5	ОКЛ-25	Сумане, кВт
7-8	154,44	161,94	37,19	1,03				397,16
8-9	343,61	161,94	74,39	2,06		69,63		729,83
9-10	343,61	161,94	74,39	3,08	46,51	79,58		794,21
10-11	343,61	161,94	74,39	4,11	46,51	79,58	323,89	794,21
11-12	223,89	161,94	74,39	3,08	46,51	79,58	323,89	1022,88
12-13	258,61	161,94	37,19	3,08	46,51	79,58	323,89	1020,11
13-14	138,89	161,94		2,06	46,51	79,58	323,89	843,21
14-15	104,17	161,94		1,03	46,51	79,58	323,89	803,17
15-16	69,44	161,94		1,03	46,51	49,74	323,89	730,86
16-17	69,44	161,94		1,03	23,26		323,89	649,11
17-18	34,72						323,89	401,64
18-19	69,44						323,89	440,53
19-20	69,44						323,89	440,53
20-21	69,44						323,89	440,53
21-22	69,44						323,89	440,53
22-23								0
23-0								0

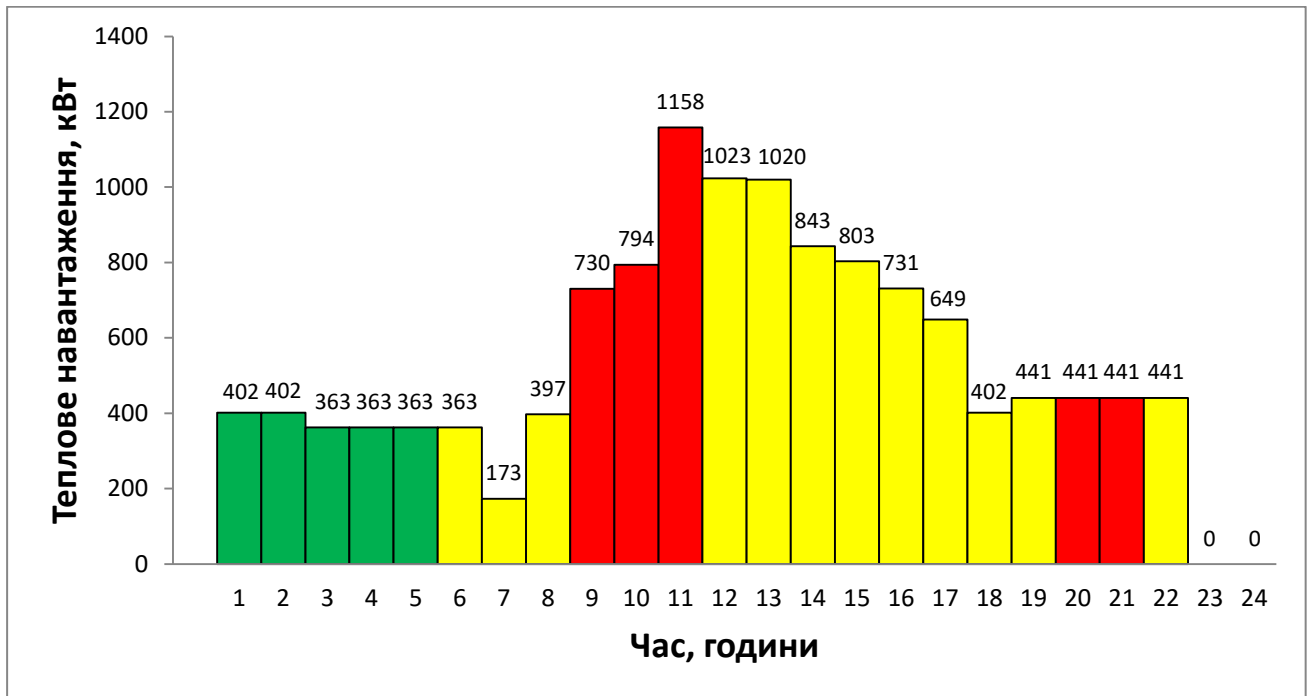


Рисунок 2.1. Зміна теплового навантаження на холодильну систему впродовж доби (зелений колір – зона дії нічного тарифу, червоний - пікового)

Трьохзонна тарифікація електроенергії передбачає пільговий тариф у нічний час (з 23:00 до 6:00 вартість електроенергії $6,25 \cdot 0,4 = 2,5$ грн/кВт·год) та підвищений тариф у години пікового споживання (з 8:00 до 11:00 та з 20:00 до 22:00 вартість електроенергії $6,25 \cdot 1,5 = 9,38$ грн/кВт·год). В інші години діє звичайний тариф 6,25 грн/кВт·год.

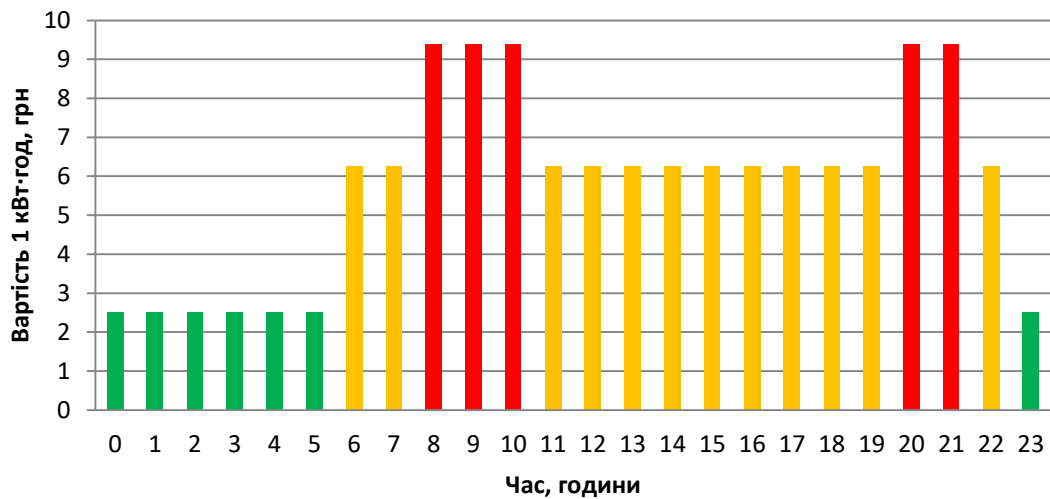


Рисунок 2.2. Графік добової зміни вартості електроенергії

Як видно на рисунку 2.1, пікове навантаження на холодильну систему (1158 кВт) припадає на час дії підвищеного тарифу, де собівартість одиниці холоду буде максимальною. В нічний час теплове навантаження на холодильну систему або відсутнє зовсім (період санітарної обробки обладнання), або дуже низьке, що створює сприятливі умови для акумулювання холоду.

інший бак. Ці процеси відбуваються без перемикання арматури, за рахунок зміни співвідношень витрат первинних і вторинних насосів. Регулювання температури холодоносія на подаванні до споживачів відбувається за рахунок змішування холодного і теплого потоків.

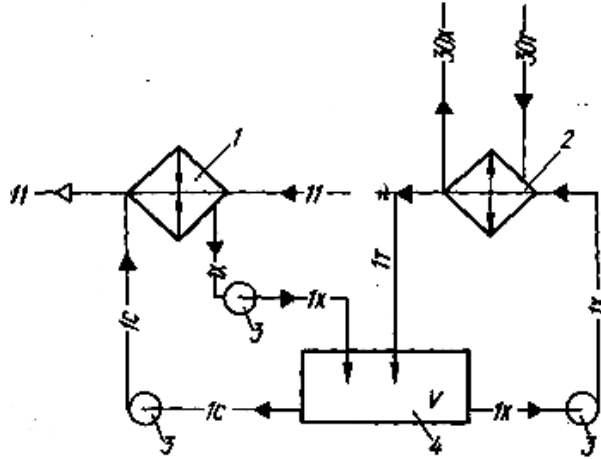


Рисунок 3.2. Схема акумулятора холоду з паралельним подаванням холодоносія

1 - випарник; 2 –теплообмінний апарат; 3 - насос; 4 - акумулятор;
 1х - холодний холодоносій; 1т –отеплений холодоносій; 30х – холодний продукт; 30т - теплий продукт; 11-аміак.

Умови роботи холодильної установки мало залежать від теплового навантаження.

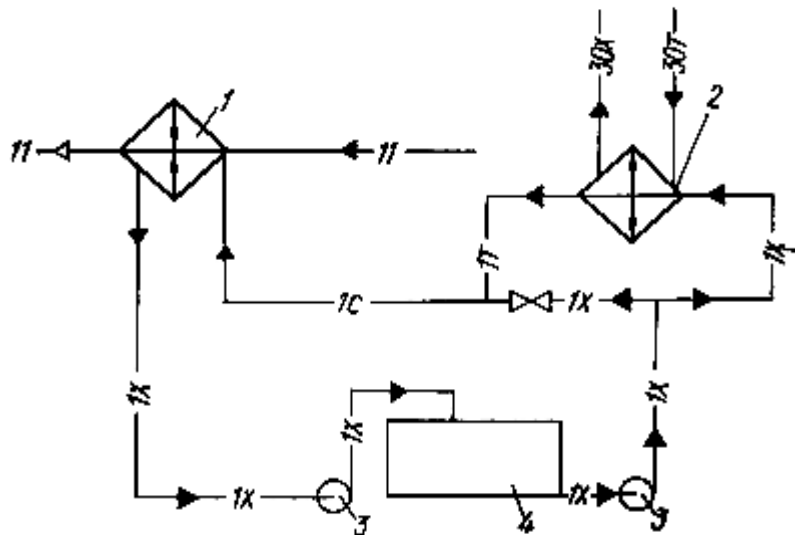


Рисунок 3.3. Схема акумулятора холоду з послідовним подаванням холодоносія

1 - випарник; 2 – теплообмінний апарат; 3 - насос; 4 - акумулятор;
 1х - холодний холодоносій; 1т – отеплений холодоносій; 30х–холодоносій після змішування; 1с – холодний продукт; 30т - теплий продукт; 11-аміак.

Вагомим недоліком послідовного і паралельного подавання холодоносія є змішування холодного і теплого потоків перед споживачем. Це підвищує температуру холодоносія на вході до приладів охолодження, що спричиняє порушення режиму роботи теплообмінників.

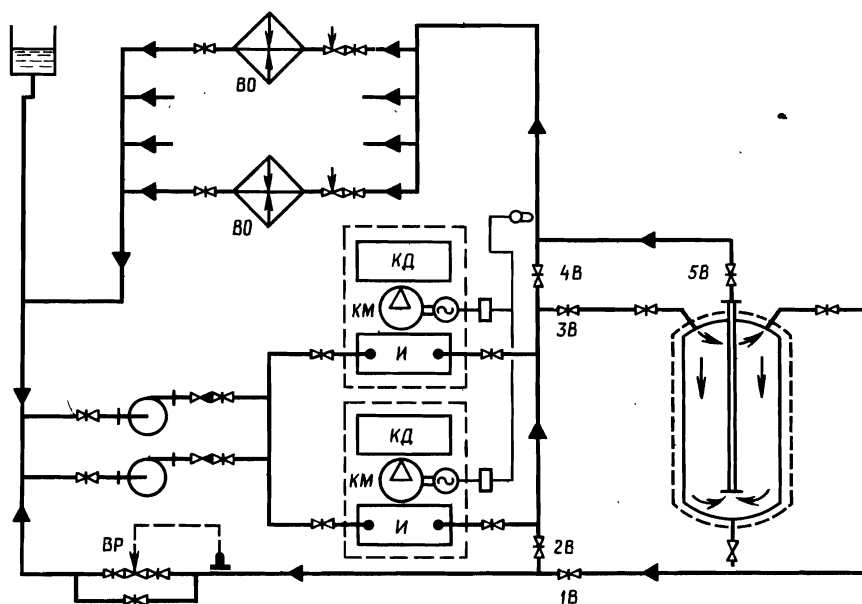


Рисунок 3.4. Закрита схема холодопостачання з баком-акумулятором

Остання схема є найбільш доцільною з точки зору енергетики через наявність лише однієї групи циркуляційних насосів. Складність автоматичного керування, завдяки широкій розповсюженості програмованих логічних контролерів, вже не відіграє роль блокуючого чинника для використання подібних схем.

3.2 Розробка схемного рішення контуру циркуляції холодоносія

За основу для схемного рішення взята замкнута система з баком-акумулятором. Бак-акумулятор замінений на батарею баків, з'єднаних послідовно. Змінено обв'язку баків, додані дві регулюючі заслінки ZWICK TRI-SHARK (позиції В і D), за допомогою яких відбувається розподіл потоків між споживачами холоду і батареєю баків-акумуляторів. В схемі також є дві двохпозиційні заслінки (поз. А і С), перша перемикає байпас пластинчастих випарників, друга відкрита в процесі розрядки або зарядки акумулятора.

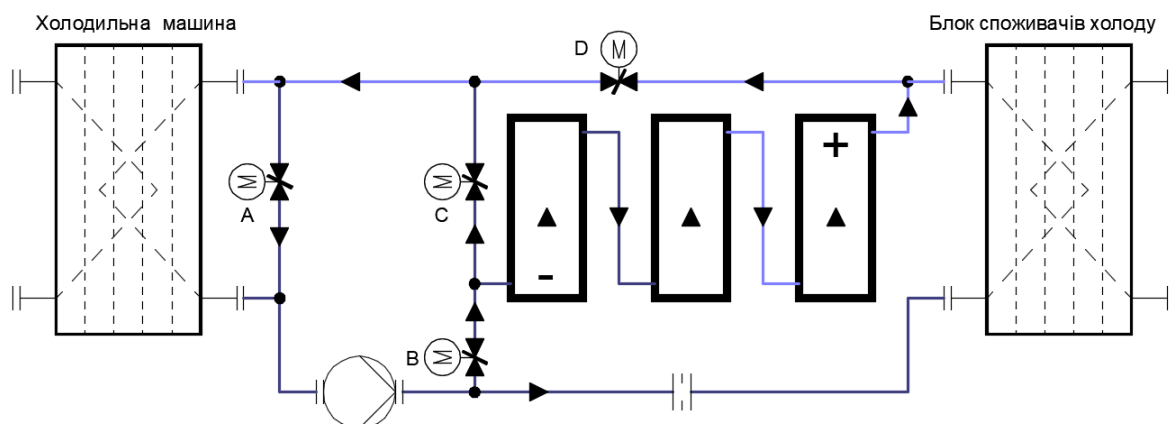


Рисунок 3.5. Принципова гідравлічна схема

Схема працює в шести режимах. Перемикання між режимами відбувається при встановленні відповідних положень двохпозиційних заслінок А і С та регулюючих заслінок В і D.

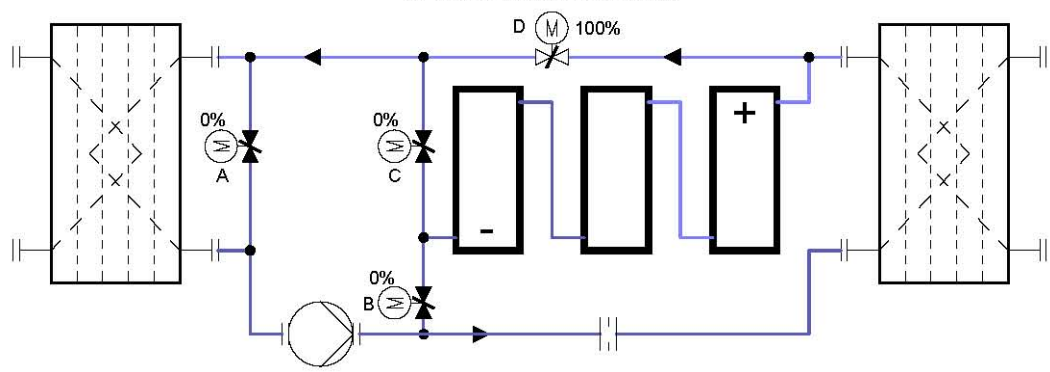


Рисунок 3.6. Режим 1 - робота без використання акумулятора

Заслінки В і С повністю закриті, що унеможливилює протікання холодоносія через акумулятор. Холодоносій циркулює між споживачами і випарником холодильної машини.

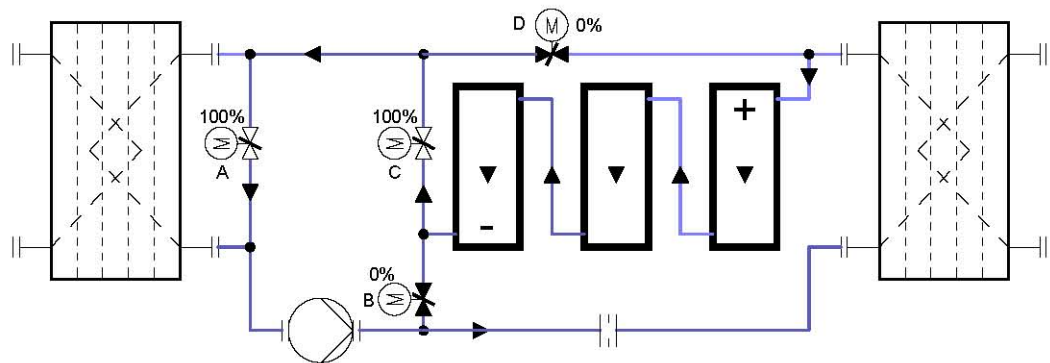


Рисунок 3.7. Режим 2 - робота тільки за рахунок акумулятора

Заслінки А і С повністю відкриті, заслінки В і D повністю закриті. Насос забирає охолоджений холодоносій з акумулятора. Відкриття байпасної заслінки А дозволяє знизити загальний гідравлічний опір системи (втрати тиску у пластинчастому випарнику становлять до 10 м водного стовпа), отже, зменшити споживання електричної енергії.

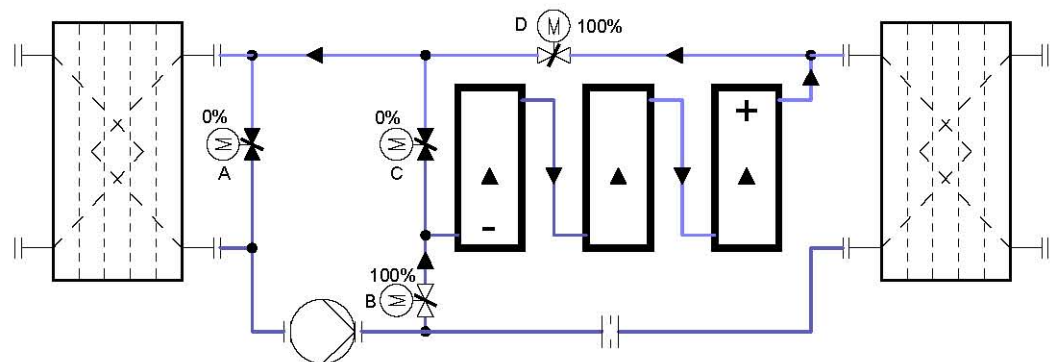


Рисунок 3.8. Режим 3 - зарядка акумулятора

Заслінка В відкрита повністю, заслінка С закрита. Режим має місце коли всі споживачі холоду зупинені, балансувальні клапани АВ-QМ закриті за допомогою модулюючих приводів. Холодоносій циркулює через випарники холодильної установки до насоса, далі потрапляє до акумулятора, витискає накопичений раніше отеплений холодоносій до випарника.

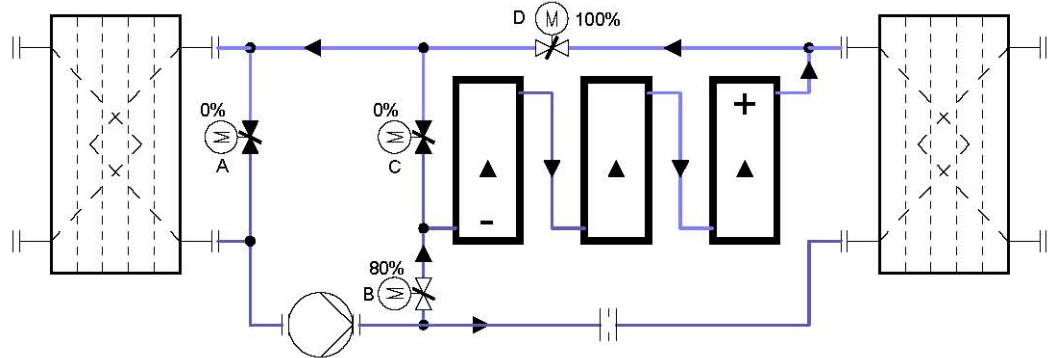


Рисунок 3.9. Режим 4 – зарядка акумулятора і охолодження

Заслінка В відкрита майже повністю, таким чином, щоб витрата холодоносія через акумулятор (визначається за перепадом тиску на заслінці та ступенем відкриття останньої) відрізнялась від витрати холодоносія через споживачів холоду (визначається за позиціями модулюючих електроприводів балансувальних клапанів АВ-QВ) на величину, що відповідає різниці між холодопродуктивністю холодильної установки і поточною потребою у охолодженні. Таким чином холодильна машина працює на заряджання акумулятора і в той самий час охолоджує споживачів.

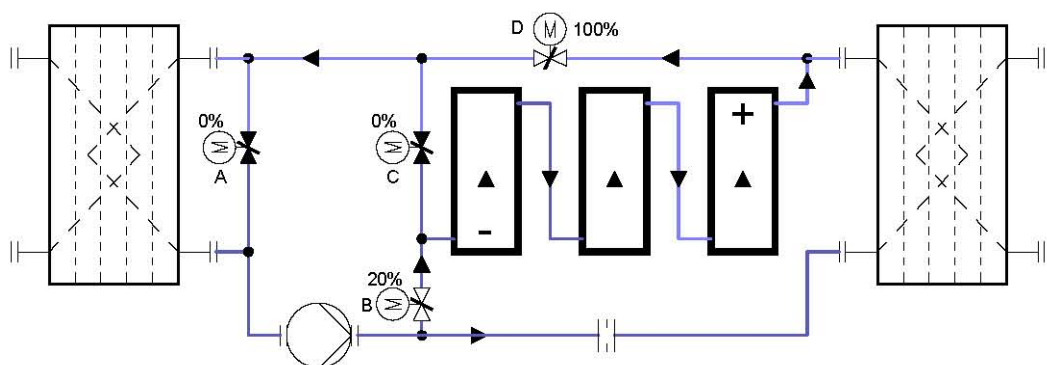


Рисунок 3.10. Режим 5 – охолодження і зарядка акумулятора

Заслінка В відкрита частково, таким чином, щоб витрата холодоносія через акумулятор (визначається за перепадом тиску на заслінці та ступенем відкриття останньої) відрізнялась від витрати холодоносія через споживачів холоду (визначається за позиціями модулюючих електроприводів балансувальних клапанів АВ-QВ) на величину, що відповідає різниці між холодопродуктивністю холодильної установки і поточною потребою у охолодженні. Таким чином, холодильна машина одночасно покриває всі потреби споживачів і заряджає акумулятор.

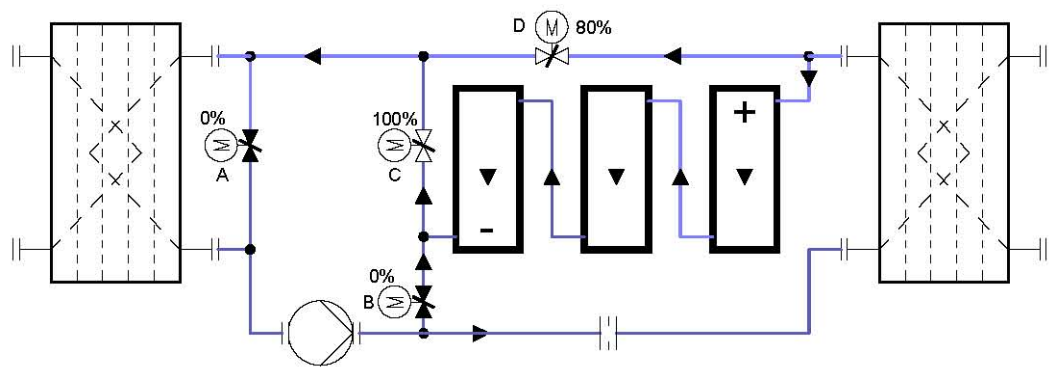


Рисунок 3.11. Режим 6 – охолодження і розрядка акумулятора

Заслінка В закрита повністю, заслінка С відкрита повністю, заслінка D відкрита таким чином, щоб частина потоку теплого холодоносія, що повертається від споживачів, потрапляла до акумулятора, витискаючи з нього запас охолодженого холодоносія на вхід до випарників холодильної машини. Цей режим дозволяє покрити нестачу холодопродуктивності холодильної машини у пікові періоди за рахунок підмішування охолодженого холодоносія з акумулятора у теплий потік холодоносія.

Регулювання витрати холодоносія відбувається за допомогою поворотних заслінок ZWICK з регулюючою насадкою TRI-SHARK і балансувальних клапанів АВ-QМ з модулюючими електроприводами. Принципи керування цим обладнанням і його роль у енергозбереженні описані далі.

3.3 Використання поворотних заслінок ZWICK з регулюючою насадкою TRI-SHARK

Традиційні поворотні заслінки погано підходять в якості регулюючих органів через дуже різку зміну пропускної спроможності на початку відкриття. Профільована вставка TRI-SHARK, що може бути встановлена на поворотні заслінки виробництва компанії ZWICK, забезпечує рівновідсоткову зміну пропускної спроможності заслінки.

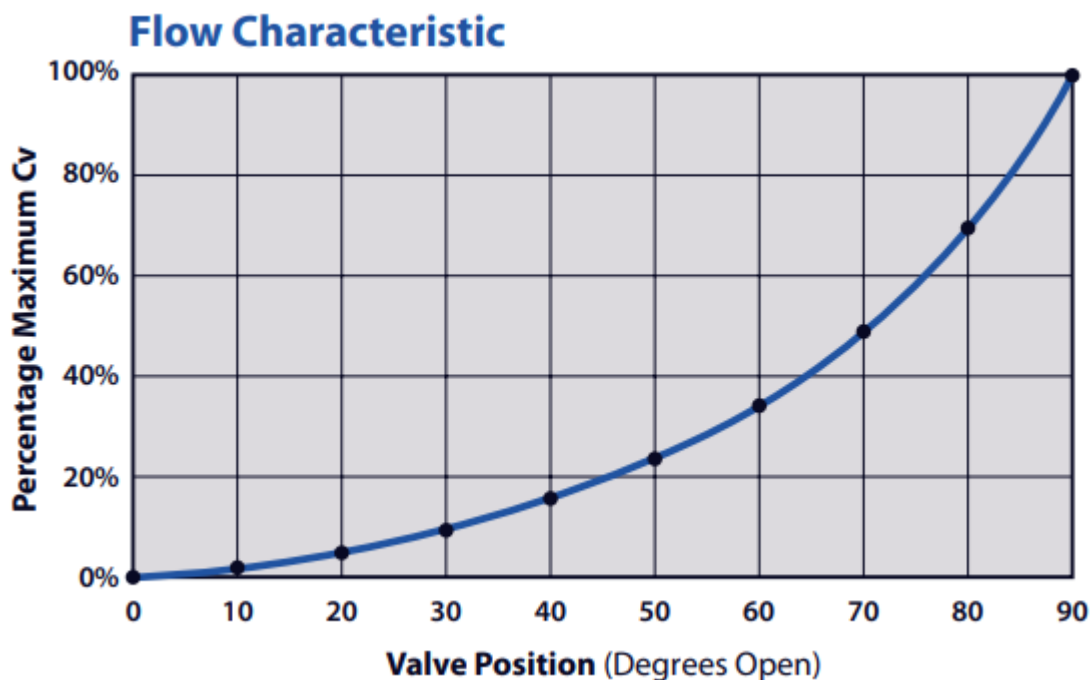


Рисунок 3.12. Залежність K_v заслінки ZWICK, обладнаної профільованою вставкою TRI-SHARK від кута повороту диску

Залежність, за допомогою якої можна розрахувати K_v в залежності від положення регулюючого органу при рівновідсотковій характеристиці арматури, наведена у [1]:

$$K_v = K_{vS} \cdot R^{\frac{x}{T}-1} \quad (3.1)$$

де для поворотних заслінок

K_v – пропускна спроможність заслінки при заданому куті повороту, м³/год;

K_{vS} - пропускна спроможність повністю відкритої заслінки (кут повороту 90°, значення наведено у технічних характеристиках), м³/год;

R –діапазон регулювання. Значення має вигляд 100:1, 75:1 та наведено у технічних характеристиках заслінки;

x – значення поточного кута повороту заслінки, градусів;

T – максимальний кут повороту заслінки, дорівнює 90 градусам.

Падіння тиску на арматурі ΔP (бар) пов'язане з витратою рідини через арматуру G (м³/год) і пропускною спроможністю арматури K_v наступною залежністю [1]:

$$\Delta P = \left(\frac{G}{K_v}\right)^2 \quad (3.2)$$

Знаючи втрату тиску на арматурі, можна знайти витрату рідини через арматуру:

$$G = \sqrt{\Delta P} \cdot K_v \quad (3.3)$$

Якщо об'єднати формули (3.2) і (3.3), можна отримати вираз для розрахунку витрати рідини через поворотну заслінку при відомій втраті тиску на заслінці та куті повороту диску:

$$G = \sqrt{\Delta P} \cdot K_{vs} \cdot R^{\frac{x}{90}-1} \quad (3.4)$$

З виразу (3.4) шляхом алгебраїчних перетворень можна знайти залежність, яка дозволить визначити положення диску заслінки для забезпечення заданої витрати рідини крізь заслінку G (м³/год) при заданій втраті тиску ΔP (бар) на ній.

$$x = 90 + 90 \cdot \frac{\ln \frac{G}{\sqrt{\Delta P} \cdot K_{vs}}}{\ln R} \quad (3.5)$$

Вирази (3.4) і (3.5) придатні для використання у системі автоматичного керування для визначення положення регулюючого органу і фактичної витрати холодоносія крізь заслінку.

3.4 Використання балансувальних клапанів АВ-QM

Автоматичний комбінований балансувальний клапан АВ-QM використовується у розгалужених гідравлічних схемах з перемінним режимом роботи для підтримання заданої витрати рідини незалежно від коливань тиску в

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

системі, який відбувається при зупинці та запуску споживачів.

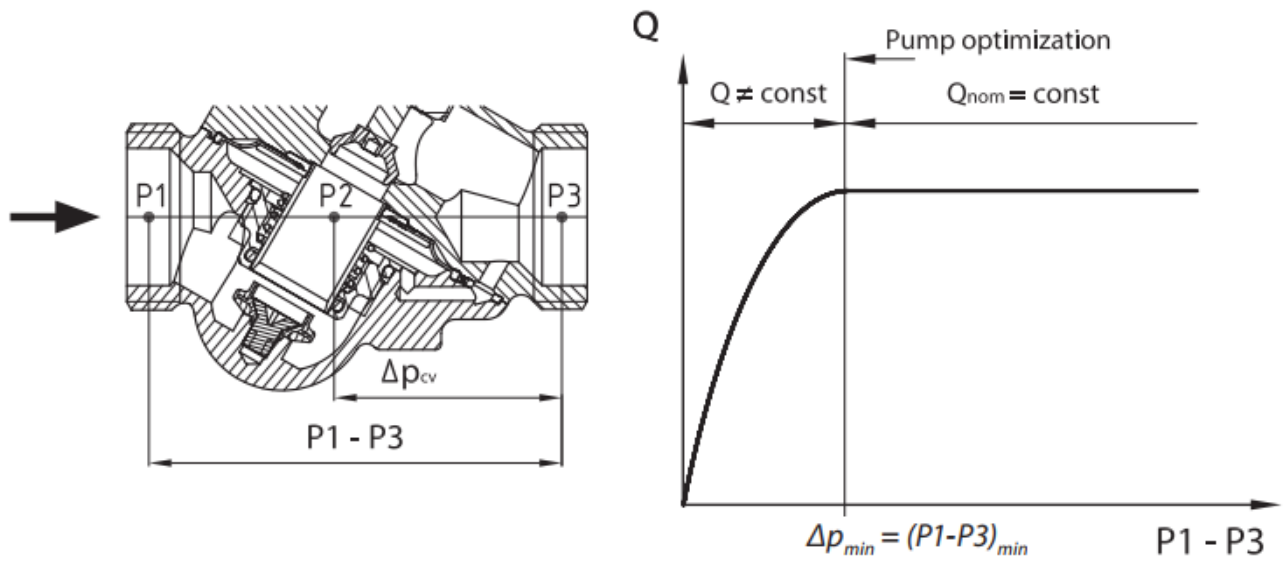


Рисунок 3.13. Внутрішня будова і витратно-напірний графік клапана АВ-QM

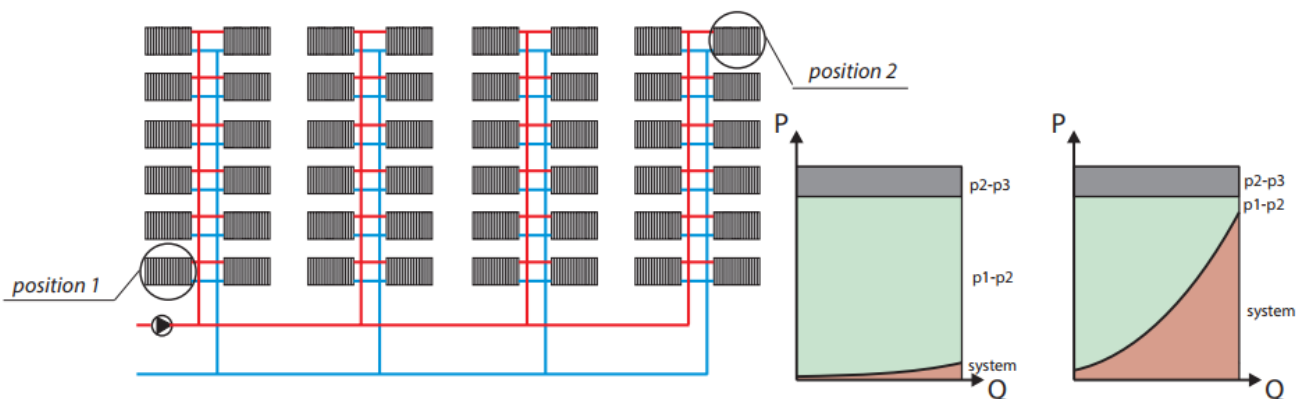


Рисунок 3.14. Робота клапана АВ-QM в різних точках розгалуженої гідравлічної мережі

Як відомо, втрата тиску у місцевому опорі знаходиться у прямій залежності від швидкості руху середовища, отже, від його витрати. АВ-QM обмежує різницю тисків до дюзи (P_2) і після неї (P_3) шляхом зміни живого перетину каналу, що з'єднує вхідну камеру дюзи і вхідний патрубок клапана. Як видно з рисунку, якщо клапан розташований близько до насоса, основні втрати

тиску припадають на регулятор, що розташований на вході в камеру дюзи. Якщо клапан розташований у дальній точці, майже всі втрати тиску припадають на гідравлічний опір самої системи, і тільки незначна частка компенсується регулятором.

Отже підбирати насос для системи слід за такими критеріями:

- Розрахункова витрата дорівнює сумі налаштувань клапанів АВ-QM, які встановлені на споживачах, що працюють в період найвищого теплового навантаження;
- Напір насосу повинен компенсувати втрати тиску будь-якого зі споживачів при будь-якій можливій розрахунковій витраті холодоносія плюс компенсувати мінімальний перепад тиску на клапані (становить від 16 до 60 кПа в залежності від діаметра клапану, точне значення вказане у технічних характеристиках).

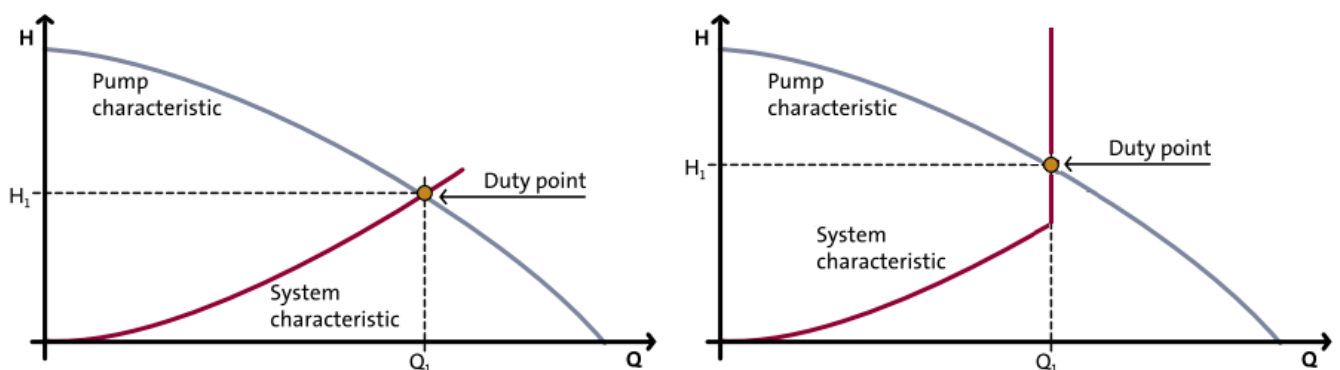


Рисунок 3.15. Напір-витратна характеристика системи без клапана АВ-QM (ліворуч) і при використанні клапана АВ-QM (праворуч)

Як видно на рисунку праворуч, при досягненні заданої витрати Q_1 підвищення напору насосу не впливає на витрату середовища. Ця особливість характеристики системи з клапаном АВ-QM відкриває можливість для зменшення витрати електроенергії на перекачування середовища шляхом підтримання на вході до клапанів АВ-QM тиску, що відповідає втратам тиску в

найбільш віддаленій точці системи при заданій на клапані витраті плюс внутрішні втрати на клапані плюс деякий запас.

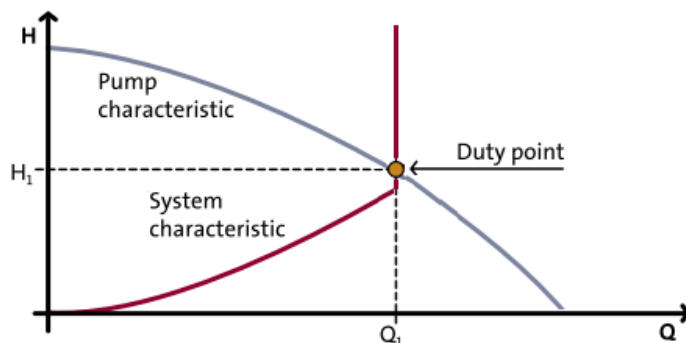


Рисунок 3.16. Нова робоча точка насоса

Якщо встановити на клапан АВ-QM модулюючий електропривід АМЕ 435 QM, що дозволяє змінювати налаштування витрати клапана, можна керувати температурою холодоносія на виході зі споживача, подаючи стільки холодоносія, скільки необхідно для зняття теплового навантаження.

3.5 Частотне регулювання насосів

Система вторинного холодоносія, оснащена засувками ZWICK з регулюючими насадками TRI-SHARK і балансувальними клапанами АВ-QM з модулюючими електроприводами, має всі можливості для регулювання значення витрати у відповідності до потреб в охолодженні або акумуляції холоду.

Для вимірювання фактичної витрати рідини через споживачів можна використовувати різницю показників датчиків тиску, встановлених до і після вимірювальної діафрагми, що встановлена на загальному трубопроводі подавання холодоносія. Вимірювання фактичної витрати холодоносія через акумулятор можна за допомогою вимірювання різниці тисків до і після регулюючої заслінки ZWICK на подаванні холодоносія до акумулятора. В якості датчиків тиску можна використовувати MBS 33 виробництва компанії Danfoss.

					KPM.XYiKP.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Модель 060G1226 має верхню межу вимірювання 6 бар (600 кПа) і похибку вимірювання 0,3% (1,8 кПа), що є достатнім для якісної оцінки витрати.

Алгоритм пошуку оптимального значення напору насосу (такого, що покриває тільки всі гідравлічні опори для всіх споживачів) наступний:

1. За допомогою модулюючих приводів всі балансувальні клапани АВ-QM налаштовуються на потрібні витрати холодоносія.
2. Частота обертання насосу піднімається до 100%. Запам'ятовується різниця показників датчиків тиску до і після вимірювальної діафрагми на загальному трубопроводі холодоносія, що живить споживачів.
3. Частота обертання насосу знижується на 5%.
4. Робиться пауза у п'ять секунд для того, щоб завершилися перехідні процеси в системі трубопроводів.
5. Якщо є потреба у заряджанні/розряджанні акумулятора холоду, потрібна витрата холодоносія встановлюється шляхом зміни положення регулюючих заслінок на акумуляторі холоду. Методику розрахунку
6. Нова різниця показників датчиків тиску порівнюється з попередньою. Якщо значення різниці тисків однакові (витрата попри падіння тиску нагнітання насоса залишається незмінною), перейти до пункту 3. Якщо нова різниця тисків менше попередньої, попередню частоту обертання насоса можна вважати такою, що забезпечує мінімально необхідний напір.

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

Розрахунковий діаметр отвору вимірювальної діафрагми розраховується за методикою, наведеною в [6].

$$d = 10 \cdot \sqrt[4]{\frac{Q^2}{\Delta P}} \quad (3.6)$$

де

Q – витрата води, куб.м./годину;

ΔP – перепад тиску на діафрагмі, метрів водного стовпа.

Криві напірно-витратної характеристики відцентрового насоса і споживаної потужності можуть бути з достатньою точністю описані рівнянням параболи.

$$H = a + b \cdot Q + c \cdot Q^2 \quad (3.7)$$

При зміні частоти обертання робочого колеса (n) основні параметри насосу - напір (H), витрата (Q) і споживана потужність (P) - можуть бути розраховані за наступними залежностями [19].

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3.8)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (3.9)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (3.10)$$

Звідки можна отримати формули для обчислення частоти обертання, необхідної для досягнення заданих параметрів роботи насоса.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

3.6 Розрахункова модель гідравлічної схеми

Для спрощення гідравлічних розрахунків всі трубопроводи замінені еквівалентними за втратою тиску місцевими опорами, обчисленими для швидкості 1 м/с.

Традиційно розрахунок втрат тиску в трубі виконується за наступними формулами:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (3.11)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k}{D} + \frac{64}{Re} \right)^{0,25} \quad (3.12)$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda \cdot l}{D} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (3.13)$$

В той час як формула для обчислення втрати тиску у місцевому опорі виглядає так:

$$\Delta P_{\text{місц}} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (3.14)$$

Звідси формула для еквівалентного місцевого опорю 1 метра труби при заданій швидкості руху середовища:

$$\xi = \frac{0,11 \cdot \left(\frac{k}{D} + \frac{64}{\frac{V \cdot D}{\nu}} \right)^{0,25}}{D} \quad (3.15)$$

Формула для обчислення коефіцієнту місцевого опорю за відомою швидкістю і втратами тиску:

$$\xi = \frac{\Delta P_{\text{місц}} \cdot 2}{\rho \cdot V^2} \quad (3.16)$$

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Похибку розрахунку методом еквівалентного місцевого опору можна оцінити наступним чином. Нехай існує трубопровід, що складається з трьох ділянок.

Ділянка 1:

12 метрів труби Ду80;

3 відводи 90° Ду80 ($\xi = 1$);

1 перехід Ду125хДу80 ($\xi = 0,2$);

Ділянка 2:

20 метрів труби Ду125;

2 поворотні заслінки Ду125 ($\xi = 0,6$);

1 відвід 90° Ду125 ($\xi = 1$);

1 фільтр Ду125 ($\xi = 2,5$);

1 перехід Ду200хДу125 ($\xi = 0,2$);

Ділянка 3:

58 метрів труби Ду200;

8 відводів Ду200 ($\xi = 1$).

Загальні втрати тиску на трьох ділянках при витраті 60 м³/годину, розраховані за формулами (3.11) – (3.14), складають 40237 Па. За формулою (3.16) еквівалентний коефіцієнт місцевого опору, приведений до внутрішнього

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

діаметру третьої ділянки (труба Ду200) дорівнює 315,946897. В таблиці 3.1 наведені результати обчислення втрат тиску вручну по ділянкам і за формулою (3.14) з використанням еквівалентного коефіцієнту місцевого опору.

Таблиця 3.1. Результати порівняння методів розрахунку

Витрата, м ³ /год	2	5	10	15	20	30	40	50	60
Ручний	60,3	334	1246	2709	4718	10362	18166	28124	40237
Еквівалентний	44,7	279	1117	2514	4470	10059	17883	27942	40237
Різниця, %	-25,7	-16,5	-10,3	-7,2	-5,2	-2,9	-1,6	-0,7	0
Різниця, Па	15,5	55,3	128	195	248	303	282	182	0
Швидкість, м/с	0,02	0,04	0,08	0,13	0,17	0,25	0,34	0,42	0,51

Витрата, м ³ /год	70	80	90	100	110	120	130	140
Ручний	54501	70917	89484	110200	133067	158084	185251	214567
Еквівалентний	54767	71533	90533	111770	135242	160949	188891	219069
Різниця, %	0,5	0,9	1,1	1,4	1,6	1,8	2	2,1
Різниця, Па	265	615	1049	1570	2174	2864	3640	4502
Швидкість, м/с	0,59	0,67	0,76	0,84	0,93	1,01	1,1	1,18

Розрахунок показує значне абсолютне і відносне відхилення вище витрати, для якої розрахований еквівалентний коефіцієнт місцевого опору.

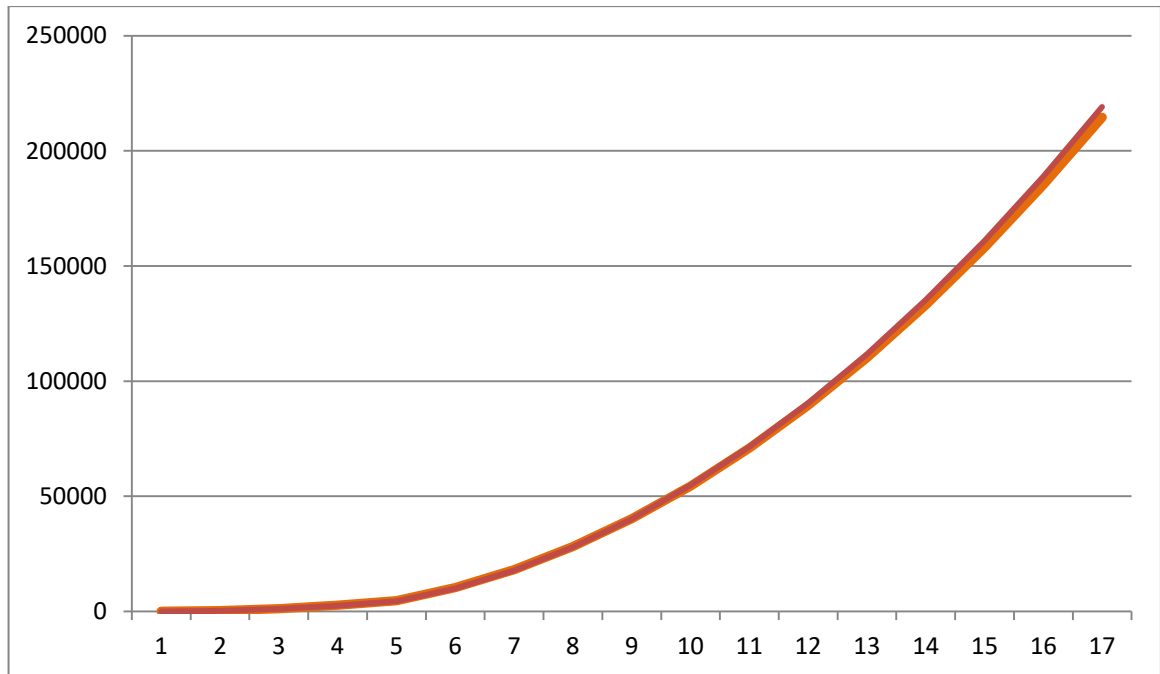


Рисунок 3.17. Відхилення значення втрат тиску при розрахунку традиційним методом і методом еквівалентних місцевих опорів

Якщо розрахувати цей коефіцієнт для витрати $120 \text{ м}^3/\text{год}$, тобто для швидкості $1,01 \text{ м/с}$ замість $0,51 \text{ м/с}$ у трубі Ду200, його значення дорівнюватиме $310,323439$. Нові розрахункові значення витрати тиску наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Результати розрахунку з уточненим коефіцієнтом

Витрата, $\text{м}^3/\text{год}$	2	5	10	15	20	30	40	50	60
Ручний	60,3	334	1246	2709	4718	10362	18166	28124	40237
Еквівалентний	43,9	274	1098	2470	4391	9880	17564	27445	39521

Різниця, %	-27,1	-18	-11,9	-8,8	-6,9	-4,7	-3,3	-2,4	-1,8
Різниця, Па	16,3	60,2	148	239	327	482	600	679	716
Швидкість, м/с	0,02	0,04	0,08	0,13	0,17	0,25	0,34	0,42	0,51

Витрата, м ³ /год	70	80	90	10	110	120	130	140
Ручний	54501	70917	89484	110200	133067	158084	185251	214567
Еквівалентний	53792	70259	88922	109780	132834	158084	185529	215170
Різниця, %	-1,3	-0,9	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,15	0,28
Різниця, Па	709	657	561	419	232	0	279	603
Швидкість, м/с	0,59	0,67	0,76	0,84	0,93	1,01	1,1	1,18

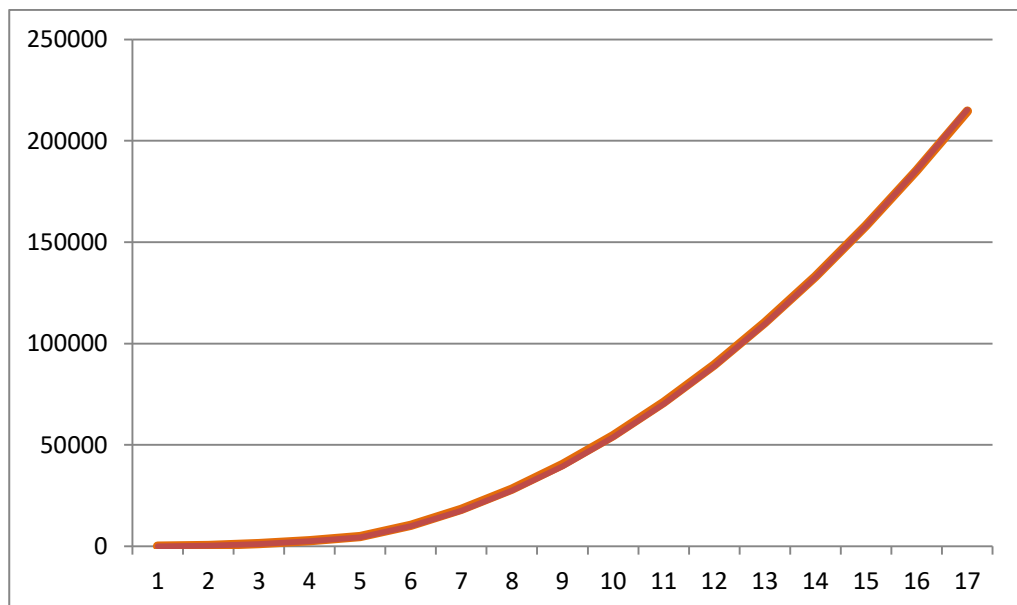


Рисунок 3.18. Результати корекції еквівалентного коефіцієнту місцевого опору

Другий варіант еквівалентного коефіцієнту місцевого опору дає меншу похибку розрахунків у практично значущому діапазоні швидкостей (0,5 – 1,1 м/с) і має у 2,7 рази менше сумарне відхилення від ручного розрахунку: 6727 проти 18088 Па. Отже еквівалентний коефіцієнт місцевого опору варто визначати для швидкості 1 м/с.

Значення еквівалентного коефіцієнту місцевого опору для 1 метру труб різного діаметру, визначені для руху швидкості середовища 1 м/с, наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Еквівалентні коефіцієнти місцевого опору трубопроводів

Умовний діаметр, мм	Внутрішній діаметр, мм	$\xi_{\text{екв}}$
15	0,0173	2.077
20	0.0223	1.512
25	0.0285	1.113
32	0.0372	0.798
40	0.0431	0.664
50	0.0531	0.511
65	0.0689	0.369
80	0.0817	0.298
100	0.1063	0.215
125	0.1317	0.164

Умовний діаметр, мм	Внутрішній діаметр, мм	$\xi_{\text{ЕКВ}}$
150	0.1593	0.129
200	0.2049	0.095
250	0.257	0.071
300	0.3079	0.057
350	0.3356	0.051

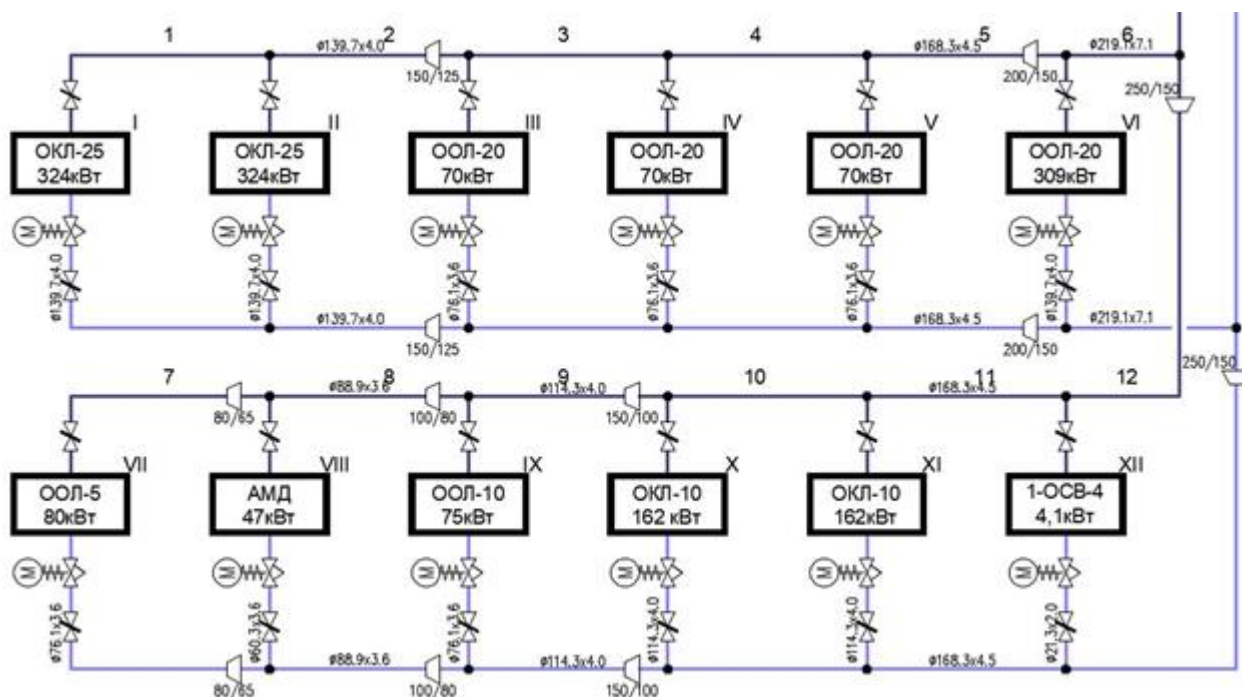


Рисунок 3.19. Гідравлічна схема блоку споживачів штучного холоду

Кожний технологічний апарат оснащений автоматичним балансувальним клапаном АВ-QM з модулюючим електроприводом і двома відсічними поворотними заслінками без приводів. Загалом блок споживачів холоду складається з дванадцяти апаратів, які розподілені по двом гілкам трубопроводів. Під'єднання апаратів до трубопроводів – паралельне, через

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11

Лист

32

наявність АВ-QB немає потреби у трьохтрубній схемі з'єднання і статичних балансувальних клапанах.

Певну складність являє собою обчислення оптимальної робочої точки насосу для кожної години графіку навантажень. При використанні балансувальних клапанів АВ-QM гідравлічний опір системи має ступеневу залежність від витрати тільки доти, доки витрата не досягне суми налаштувань балансувальних клапанів. Далі підвищення напору не призводить до збільшення витрати, отже, у цій точці максимальної витрати характеристика системи перетворюється на вертикальну лінію, паралельну осі напору.

Завданням розрахунку є визначення частоти обертання двигуна, при якій крива напір-витратної характеристики насосу перетинає характеристику системи у точці, де ця характеристика переходить у вертикальну пряму. Це і буде оптимальною точкою роботи насосу.

Обчислення оптимальної частоти насосу виконується за наступною методикою.

За допомогою звичайного гідравлічного розрахунку знаходиться повний опір системи циркуляції холодоносію при значенні витрати, що задана технологічними потребами в охолодженні та акумуляції холоду.

Витрата у віртуальній робочій точці знаходиться з рівняння

$$0.5 \cdot \xi \cdot \rho \cdot Q^2 = a + b \cdot Q + c \cdot Q^2 \quad (3.17)$$

і обчислюється за такою формулою:

$$Q = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot (c - 0.5 \cdot \xi \cdot \rho)}}{2 \cdot (c - 0.5 \cdot \xi \cdot \rho)} \quad (3.18)$$

Але значення еквівалентного коефіцієнту ξ знайдено за формулою (3.16), в

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

яку підставляється швидкість руху середовища у трубопроводі та втрати тиску у паскалях. В той час як рівняння (3.7) встановлює залежність напору насосу у метрах водного стовпа від витрати у кубічних метрах на годину. Тобто для коректного вирішення рівняння (3.18) потрібно перерахувати значення еквівалентного коефіцієнту місцевого опору ξ таким чином, щоб при підставлянні у формулу (3.14) значення витрати у кубічних метрах на годину розрахункові втрати тиску мали розмірність у метрах водяного стовпа. Значення поправного коефіцієнту знайдене шляхом алгебраїчних перетворень, і формула для перерахунку значення ξ має наступний вигляд:

$$\xi_{\text{м.в.ст.}} = \xi \cdot \frac{4^2 \cdot 0,101972 \cdot 10^{-3}}{d^4 \cdot (\pi \cdot 3600)^2} \approx \frac{\xi \cdot 1,27554614 \cdot 10^{-11}}{d^4} \quad (3.19)$$

де d – внутрішній діаметр труби, для якого за формулою (3.16) розрахований еквівалентний коефіцієнт місцевого опору ξ .

Далі значення витрати у віртуальній робочій точці Q підставляється в рівняння кривої напір-витратної характеристики насоса і рівняння споживаної потужності (3.7), і отримується значення напору віртуальної робочої точки та споживаної електричної потужності у віртуальній точці.

Коли відоме значення витрати у точці оптимальної роботи (сума налаштувань балансувальних клапанів АВ-QM), частота обертання насоса, необхідна для досягнення цієї витрати при оптимальному напорі, знаходиться за формулою:

$$n_{\text{опт}} = n_{\text{вирт}} \cdot \frac{Q_{\text{опт}}}{Q_{\text{вирт}}} \quad (3.20)$$

Знаючи частоту для досягнення оптимальної робочої точки і параметри віртуальної робочої точки, обчислюються всі необхідні параметри насоса в оптимальній робочій точці, зокрема фактичне енергоспоживання.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Формули, за якими проводяться ці обчислення, є результатом перетворень формул (3.9, 3.10):

$$H_{\text{опт}} = H_{\text{вiрт}} \cdot \left(\frac{n_{\text{опт}}}{n_{\text{вiрт}}} \right)^2 \quad (3.21)$$

$$P_{\text{опт}} = P_{\text{вiрт}} \cdot \left(\frac{n_{\text{опт}}}{n_{\text{вiрт}}} \right)^3 \quad (3.22)$$

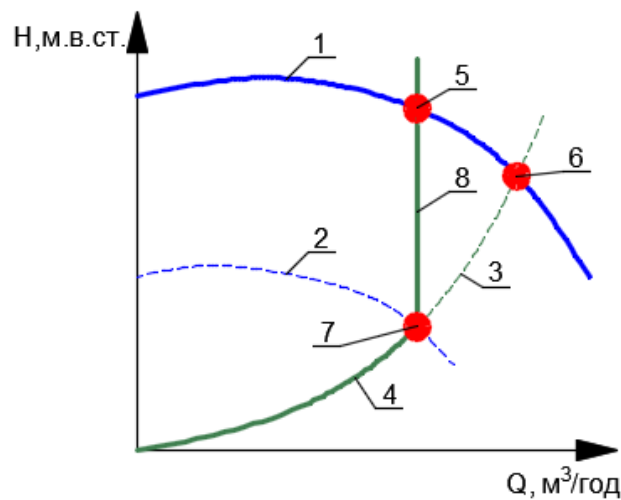


Рисунок 3.20. Графічна схема розрахунку оптимальної частоти обертання насосу

Традиційно робоча точка гідравлічної системи (6) знаходиться на перетині кривої напір-витратної характеристики насосу (1) і кривої характеристики системи (4). При зміні частоти обертання валу насоса витрата насоса пропорційна співвідношенню старої і нової частот, напір пропорційний квадрату відношення частот. В результаті застосування формул (3,9) і (3,10) до кривої напір-витратної характеристики насоса (1) отримується нова крива (2).

Традиційно характеристика системи має вигляд квадратичної параболи (3,4), але при встановленні автоматичних балансувальних клапанів АВ-QM, які обмежують витрату в системі до заданої величини, квадратична залежність

зберігається тільки до точки (7), де витрата відповідає сумарному налаштуванню клапанів АВ-QM (ділянка 4), далі крива перетворюється на вертикальну пряму (ділянка 8), тобто витрата в системі припиняє залежати від напору насосу. Через цю особливість немає сенсу підтримувати високий напір насосу, отже, за допомогою зменшення частоти обертання можна масштабувати криву напірно-витратної характеристики насосу таким чином, щоб вона проходила через точку (7).

Частота обертання визначається за допомогою так званої «віртуальної» робочої точки системи (6). Це точка, в якій крива напір-витратної характеристики системи перетинала б криву напір-витратної характеристики насоса за умов відсутності балансувальних клапанів АВ-QM (ділянка 3).

Знаючи параметри «віртуальної» робочої точки і витрату в точці (5), яка є сумою налаштувань всіх клапанів АВ-QM, можна знайти частоту обертання насосу, при якій крива напір-витратної характеристики проходить через оптимальну робочу точку системи (7).

Збільшувати напір насосу вище на значення у точці (7) немає сенсу через те, що це не призведе до збільшення витрати холодоносія, тільки до збільшення витрати електроенергії.

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

4 ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОБРАНОЇ СХЕМИ

4.1 Розрахунок блоку споживачів холоду

Гідравлічна схема блоку споживачів штучного холоду наведена на рисунку 3.17. Для кожного апарата і кожної ділянки трубопроводів за наведеною у розділі 3.6 методикою знайдені еквівалентні коефіцієнти гідравлічного опору. Значення коефіцієнтів місцевого опору стандартних деталей трубопроводів прийняті згідно з [4], для поворотних заслінок – взято з фірмового каталогу.

$$\xi_1 = 16 \cdot 0,164 + 8 \cdot 1 = 10,624$$

$$\xi_2 = 14 \cdot 0,164 + 2 \cdot 1 + 1 + 0,2 + 2 = 7,496$$

$$\xi_3 = 30 \cdot 0,129 + 2 \cdot 1 + 2 = 7,87$$

$$\xi_4 = 25 \cdot 0,129 + 4 \cdot 1 + 1 + 0,2 + 2 = 10,425$$

$$\xi_5 = 40 \cdot 0,129 + 2 \cdot 1 + 1 + 0,2 + 2 = 10,36$$

$$\xi_6 = 35 \cdot 0,095 + 2 \cdot 1 + 1 + 0,2 + 2 = 8,525$$

$$\xi_7 = 30 \cdot 0,369 + 4 \cdot 1 = 15,07$$

$$\xi_8 = 35 \cdot 0,369 + 2 \cdot 1 + 1 + 0,2 + 2 = 16,27$$

$$\xi_9 = 20 \cdot 0,215 + 1 + 0,2 + 2 = 7,5$$

$$\xi_{10} = 40 \cdot 0,129 + 2 \cdot 1 + 2 = 9,16$$

$$\xi_{11} = 30 \cdot 0,129 + 2 \cdot 1 + 2 = 7,87$$

$$\xi_{12} = 60 \cdot 0,129 + 2 \cdot 1 + 2 = 11,74$$

$$\xi_{I,II} = \frac{45000 \cdot 2}{1000 \cdot 1} + 2 + 0,25 + 4 \cdot 1 = 94,5$$

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

$$\xi_{III,IV,V} = \frac{50000 \cdot 2}{1000 \cdot 1} + 2 \cdot 3,3 + 6 \cdot 1 = 112,6$$

$$\xi_{VI} = \frac{50000 \cdot 2}{1000 \cdot 1} + 2 \cdot 0,25 + 6 \cdot 1 = 106,5$$

$$\xi_{VII} = \frac{38000 \cdot 2}{1000 \cdot 1} + 2 \cdot 3,3 + 6 \cdot 1 = 88,6$$

$$\xi_{VIII} = \frac{58000 \cdot 2}{1000 \cdot 1} + 2 \cdot 3,3 + 6 \cdot 1 = 128,6$$

$$\xi_{IX} = \frac{24000 \cdot 2}{1000 \cdot 1} + 2 \cdot 3,3 + 6 \cdot 1 = 60,6$$

$$\xi_{X,XI} = \frac{34000 \cdot 2}{1000 \cdot 1} + 2 \cdot 0,61 + 4 \cdot 1 = 73,22$$

$$\xi_{XII} = \frac{30000 \cdot 2}{1000 \cdot 1} + 2 \cdot 16 + 8 \cdot 1 = 100$$

Витрата холодоносія через технологічні апарати при максимальному тепловому навантаженні обчислювалась за формулою:

$$G = \frac{Q}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta t}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.1)$$

де

Q – теплове навантаження, кВт;

C_p – масова теплоємність холодоносія, кДж/кг·°С;

ρ – густина холодоносія, кг/м³;

Δt – різниця температур холодоносія на вході до технологічного апарату і на виході з нього. Прийнята рівною 6 °С.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$G_I = G_{II} = \frac{324}{4,19 \cdot 1000 \cdot 6} = 0,013 \text{ м}^3/\text{с} \quad G_{III} = G_{IV} = G_V = \frac{70}{4,19 \cdot 1000 \cdot 6} = 0,0028 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G_{VI} = \frac{309}{4,19 \cdot 1000 \cdot 6} = 0,012 \text{ м}^3/\text{с} \quad G_{VII} = \frac{80}{4,19 \cdot 1000 \cdot 6} = 0,0031 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G_{VIII} = \frac{47}{4,19 \cdot 1000 \cdot 6} = 0,0019 \text{ м}^3/\text{с} \quad G_{IX} = \frac{75}{4,19 \cdot 1000 \cdot 6} = 0,003 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G_X = G_{XI} = \frac{162}{4,19 \cdot 1000 \cdot 6} = 0,0064 \text{ м}^3/\text{с} \quad G_{XII} = \frac{4,1}{4,19 \cdot 1000 \cdot 6} = 0,00016 \text{ м}^3/\text{с}$$

Через те, що витрата холодоносія по ходу колекторів постійно змінюється в залежності від послідовності роботи технологічного обладнання, для кожної ділянки колектора записується власне рівняння витрати:

$$G_1 = G_I \quad G_2 = G_I + G_{II} \quad G_3 = G_I + G_{II} + G_{III} \quad G_4 = G_I + G_{II} + G_{III} + G_{IV}$$

$$G_5 = G_I + G_{II} + G_{III} + G_{IV} + G_V \quad G_6 = G_I + G_{II} + G_{III} + G_{IV} + G_V + G_{VI}$$

$$G_7 = G_{VII} \quad G_8 = G_{VII} + G_{VIII} \quad G_9 = G_{VII} + G_{VIII} + G_{IX}$$

$$G_{10} = G_{VII} + G_{VIII} + G_{IX} + G_X \quad G_{11} = G_{VII} + G_{VIII} + G_{IX} + G_X + G_{XI}$$

$$G_{12} = G_{VII} + G_{VIII} + G_{IX} + G_X + G_{XI} + G_{XII}$$

Втрати тиску для кожного окремого споживача, враховуючи всі втрати тиску в колекторі при змінній витраті, розраховуються у 22 варіантах, серед яких вибирається найбільше значення, до якого додається 60 кПа робочих втрат тиску на балансувальному клапані АВ-QM.

$$\Delta P_I = 1000 \cdot \left(\xi_{I,II} \cdot \frac{v_I^2}{2} + \xi_1 \cdot \frac{v_1^2}{2} + \xi_2 \cdot \frac{v_2^2}{2} + \xi_3 \cdot \frac{v_3^2}{2} + \xi_4 \cdot \frac{v_4^2}{2} + \xi_5 \cdot \frac{v_5^2}{2} + \xi_6 \cdot \frac{v_6^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_{II} = 1000 \cdot \left(\xi_{I,II} \cdot \frac{v_{II}^2}{2} + \xi_2 \cdot \frac{v_2^2}{2} + \xi_3 \cdot \frac{v_3^2}{2} + \xi_4 \cdot \frac{v_4^2}{2} + \xi_5 \cdot \frac{v_5^2}{2} + \xi_6 \cdot \frac{v_6^2}{2} \right)$$

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

$$\Delta P_{III} = 1000 \cdot \left(\xi_{III,IV,V} \cdot \frac{v_{III}^2}{2} + \xi_3 \cdot \frac{v_3^2}{2} + \xi_4 \cdot \frac{v_4^2}{2} + \xi_5 \cdot \frac{v_5^2}{2} + \xi_6 \cdot \frac{v_6^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_{IV} = 1000 \cdot \left(\xi_{III,IV,V} \cdot \frac{v_{IV}^2}{2} + \xi_4 \cdot \frac{v_4^2}{2} + \xi_5 \cdot \frac{v_5^2}{2} + \xi_6 \cdot \frac{v_6^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_V = 1000 \cdot \left(\xi_{III,IV,V} \cdot \frac{v_V^2}{2} + \xi_5 \cdot \frac{v_5^2}{2} + \xi_6 \cdot \frac{v_6^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_{VI} = 1000 \cdot \left(\xi_{VI} \cdot \frac{v_{VI}^2}{2} + \xi_6 \cdot \frac{v_6^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_{VII} = 1000 \cdot \left(\xi_{VII} \cdot \frac{v_{VII}^2}{2} + \xi_7 \cdot \frac{v_7^2}{2} + \xi_8 \cdot \frac{v_8^2}{2} + \xi_9 \cdot \frac{v_9^2}{2} + \xi_{10} \cdot \frac{v_{10}^2}{2} + \xi_{11} \cdot \frac{v_{11}^2}{2} + \xi_{12} \cdot \frac{v_{12}^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_{VIII} = 1000 \cdot \left(\xi_{VIII} \cdot \frac{v_{VIII}^2}{2} + \xi_8 \cdot \frac{v_8^2}{2} + \xi_9 \cdot \frac{v_9^2}{2} + \xi_{10} \cdot \frac{v_{10}^2}{2} + \xi_{11} \cdot \frac{v_{11}^2}{2} + \xi_{12} \cdot \frac{v_{12}^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_{IX} = 1000 \cdot \left(\xi_{IX} \cdot \frac{v_{IX}^2}{2} + \xi_9 \cdot \frac{v_9^2}{2} + \xi_{10} \cdot \frac{v_{10}^2}{2} + \xi_{11} \cdot \frac{v_{11}^2}{2} + \xi_{12} \cdot \frac{v_{12}^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_X = 1000 \cdot \left(\xi_{X,XI} \cdot \frac{v_X^2}{2} + \xi_{10} \cdot \frac{v_{10}^2}{2} + \xi_{11} \cdot \frac{v_{11}^2}{2} + \xi_{12} \cdot \frac{v_{12}^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_{XI} = 1000 \cdot \left(\xi_{X,XI} \cdot \frac{v_{XI}^2}{2} + \xi_{11} \cdot \frac{v_{11}^2}{2} + \xi_{12} \cdot \frac{v_{12}^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_{XII} = 1000 \cdot \left(\xi_{XII} \cdot \frac{v_{XII}^2}{2} + \xi_{12} \cdot \frac{v_{12}^2}{2} \right)$$

Послідовність роботи споживачів зведена у таблицю. Кожний стовпчик відповідає одному споживачу, рядок відповідає годині доби, для якої проводиться розрахунок. У якості значення в чарунках вказана ступінь завантаженості обладнання у відсотках.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 4.1. Погодинна ступінь завантаження технологічного обладнання

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	100	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0
3	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	50	0	0	50	100	0	25
9	0	0	0	0	50	100	87,5	0	100	100	0	50
10	0	0	0	0	50	100	100	100	100	0	0	75
11	100	0	0	0	50	100	100	100	100	100	0	100
12	100	0	0	0	100	50	100	100	100	100	0	75
13	100	0	50	0	100	50	100	100	50	0	100	50
14	0	100	100	0	100	0	100	100	0	0	100	50
15	0	100	100	0	50	0	100	100	0	0	100	25
16	0	100	100	0	0	0	62,5	100	0	0	100	25

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
17	100	0	100	0	0	0	0	50	0	0	100	25
18	100	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0

В результаті розрахунку знайдено максимальне значення втрат тиску, яке становить 64116 Па і припадає на період з 8:00 по 9:00. До цього значення додається 60000 Па для компенсації втрат тиску на балансувальному клапані АВ-QM, отже, максимальні втрати тиску блоку споживачів холодоносія становить 124116 Па.

4.2 Розрахунок блоку генерації і зберігання холоду

В цей блок входить холодильна машина, акумулятор холоду, насос і трубопроводи обв'язки.

Максимальна витрата холодоносія відповідає максимальному тепловому навантаженню на технологічне устаткування, тому що перевищення цього значення означатиме, що холодильна машина має встановлену потужність вищу за пікову потребу в охолодженні, що є економічно недоцільним.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Витрата холодоносія через технологічні апарати при максимальному тепловому навантаженні обчислювалась за формулою (4.1):

$$G = \frac{1158}{4,19 \cdot 1000 \cdot 6} = 0,046 \text{ м}^3/\text{с}$$

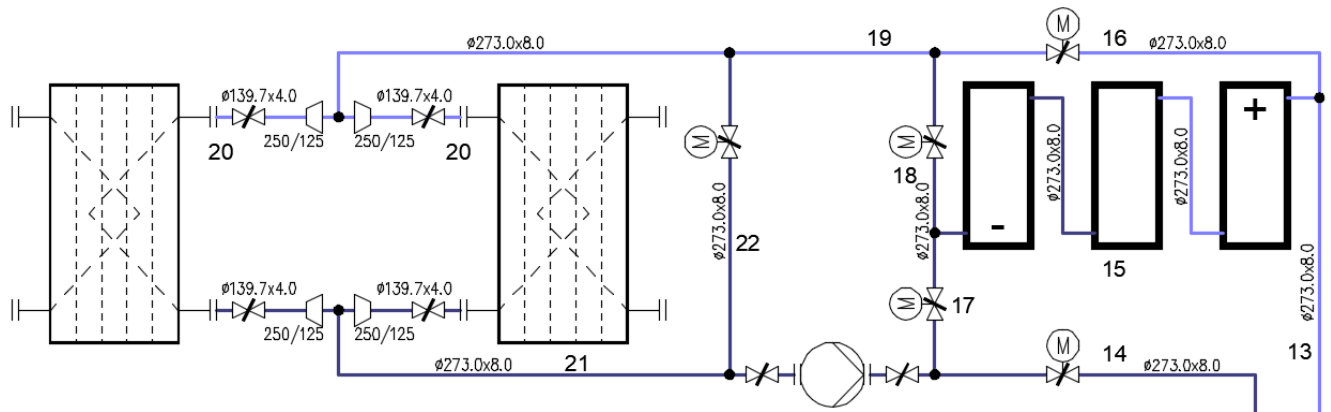


Рисунок 4.1. Гідравлічний контур «холодильна машина - акумулятор»

Для кожної ділянки трубопроводів знайдені еквівалентні коефіцієнти гідравлічного опору. Значення коефіцієнтів місцевого опору стандартних деталей трубопроводів прийняті згідно з [4], для поворотних заслінок – взято з фірмових каталогів.

$$\xi_{13} = 60 \cdot 0,257 + 2 \cdot 1 + 2 = 19,42$$

$$\xi_{14} = 60 \cdot 0,257 + 6 \cdot 1 + 1 = 22,42$$

$$\xi_{15} = (4,7 + 10) \cdot 0,257 + 14 \cdot 1 + 1 = 24,77$$

$$\xi_{16} = 60 \cdot 0,257 + 6 \cdot 1 + 0,2 = 21,62$$

$$\xi_{17} = 60 \cdot 0,257 + 6 \cdot 1 + 1 = 22,42$$

$$\xi_{18} = 20 \cdot 0,257 + 2 \cdot 1 + 1 = 8,14$$

$$\xi_{19} = 30 \cdot 0,257 + 8 \cdot 1 = 15,71$$

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

$$\xi_{20} = 2 \cdot 0,164 + 8 \cdot 1 + 2 \cdot 0,25 + 1 + 0,2 + \frac{95000 \cdot 2}{1000 \cdot 1} = 200,028$$

Сумарні гідравлічні втрати у контурі «холодильна машина - акумулятор» матимуть місце у режимі максимального теплового навантаження на технологічні апарати.

Так як всі трубопроводи мають однаковий умовний діаметр 250 мм, швидкість руху холодоносія буде однакою для всіх ділянок, крім ділянки 20, де вона вдвічі менша через паралельне підключення пластинчастих теплообмінників.

$$v = \frac{4 \cdot 0,046}{\pi \cdot 0,2049^2} = 1,4 \text{ м/с}$$

$$\Delta P = 1000 \cdot \left(\begin{array}{l} \xi_{13} \cdot \frac{v^2}{2} + \xi_{14} \cdot \frac{v^2}{2} + \xi_{15} \cdot \frac{v^2}{2} + \xi_{18} \cdot \frac{v^2}{2} + \\ \xi_{19} \cdot \frac{v^2}{2} + \xi_{20} \cdot \frac{(0,5 \cdot v)^2}{2} + \xi_{21} \cdot \frac{v^2}{2} \end{array} \right)$$

В результаті розрахунку отримана цифра 154952 Па. Враховуючи втрати тиску блоку споживачів холодоносія 124116 Па, сумарні максимальні втрати тиску в контурі циркуляції холодоносія становлять 279068 Па, або 28,5 метри водного стовпа. Отже, циркуляційний насос потрібно підбирати на витрату $0,046 \cdot 3600 = 165,6 \text{ м}^3/\text{годину}$ і напір 28,5 метри.

За допомогою Інтернет-ресурсу «Grundfos Product Center» виконано підбір основного і резервного насосів холодоносія з частотним перетворювачем. Обрано марку Grundfos NB 80-200/171, характеристики якої наведені на рисунку 4.2.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

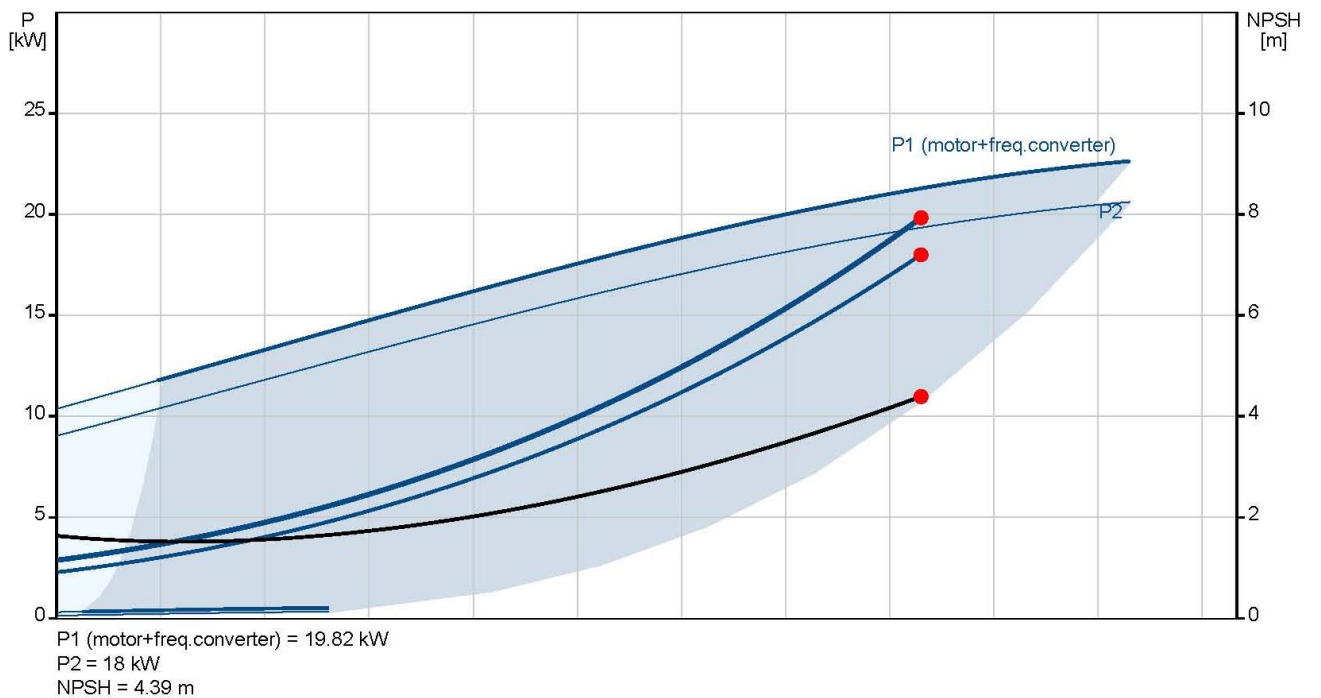
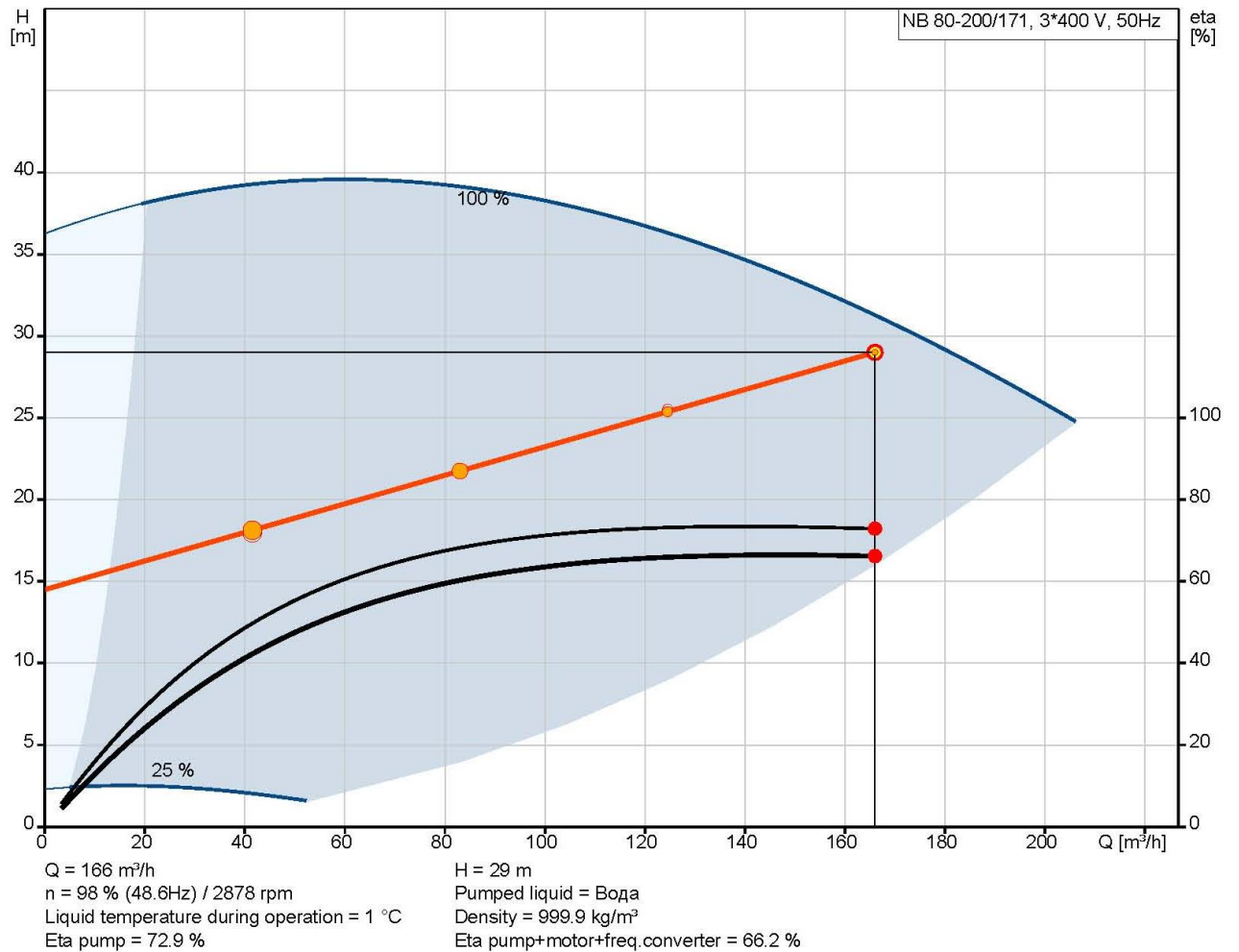


Рисунок 4.2. Криві характеристик насоса Grundfos NB 80-200/171

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11

Лист

45

Коефіцієнти для рівняння (3.7), що описують залежність напору і споживаної потужності насоса від витрати, знайдені за допомогою зняття параметрів робочих точок на кривій насосу для широкого діапазону витрат (від 20 м³/год до 200 м³/год). Параметри точок для апроксимації наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Параметри робочих точок на кривих насосу NB 80-200/171

Q, м ³ /год	20,79	26,52	34,56	44,19	55,52	65,36	77,03	91,74	104,5
H, м.в.ст.	38,31	38,7	39,13	39,48	39,68	39,68	39,46	38,87	38,1
P, кВт	11,88	12,3	12,89	13,6	14,43	15,14	15,98	17	17,85
Q, м ³ /год	119	129,3	139,9	151,2	162,3	174,6	184,2	192,8	201,9
H, м.в.ст.	36,94	35,95	34,79	33,4	31,91	30,1	28,58	27,16	25,59
P, кВт	18,77	19,39	19,98	20,58	21,11	21,64	22	22,28	22,53

Апроксимація виконувалась за допомогою програми TableCurve 2D v5.01.

Таблиця 4.3. Коефіцієнти для рівняння (3.7)

Коефіцієнт	a	b	c
H, м.в.ст.	37,180969	0,080289392	-0,0006885
P, кВт	9,9469984	0,089650984	-0,00013192

5 ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРА ХОЛОДУ

5.1 Методика визначення оптимального значення ємності акумулятора

Оптимальною ємністю акумулятора штучного холоду вважається така місткість баків зберігання холодоносія, яка дозволяє:

1. Використовувати холодильну машину якомога меншої холодопродуктивності;
2. Накопичувати холод у найбільш сприятливі періоди роботи (нічний і ранковий) у кількості, достатній для безперервного холодопостачання споживачам.

Нижньою межею потужності холодильної установки є середньоарифметичне теплове навантаження за добу, яке складає 530,9 кВт.

Розглянуті наступні варіанти співвідношення «холодопродуктивність/ємність акумулятора» для різних значень холодопродуктивності:

1. 530 кВт, 3000 кВт·год;
2. 650 кВт, 3000 кВт·год;
3. 700 кВт, 4000 кВт·год;
4. 750 кВт, 5000 кВт·год;
5. 800 кВт, 4000 кВт·год;
6. 850 кВт, 4000 кВт·год;
7. 900 кВт, 3000 кВт·год;
8. 950 кВт, 5000 кВт·год;
9. 1000 кВт, 5000 кВт·год.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Для кожного варіанту режими роботи гідравлічної схеми обирались вручну, виходячи з наступних принципів:

- Акумулявання холоду здійснювати за найбільш сприятливих умов (ніч, період дії пільгового тарифу на електроенергію);
- Розрядку акумулятора здійснювати у час з найменш сприятливими умовами для виробництва холоду (періоди дії пікового тарифу, денний час).

Витрата холодоносія залежить від режиму роботи гідравлічної схеми і визначається наступним чином.

Режим 1 (робота без використання акумулятора) – холодильна машина повністю забезпечує потребу технологічних апаратів у холоді, отже витрата відповідає поточному тепловому навантаженню на технологічне обладнання.

Режим 2 (робота тільки за рахунок акумулятора) – холодильна машина не працює, для компенсації тільки теплового навантаження від технологічного обладнання використовується тільки заряд акумулятора, отже витрата відповідає поточному тепловому навантаженню на технологічне обладнання.

Режим 3 (зарядка акумулятора) – витрат холоду на забезпечення роботи технологічного обладнання немає, відбувається тільки акумулявання холодоносія, отже витрата відповідає поточній холодопродуктивності холодильної машини.

Режим 4 (зарядка акумулятора і охолодження) – холодопродуктивність холодильної машини значно перевищує поточні витрати на забезпечення роботи технологічного обладнання, основна частина охолодженого холодоносія спрямовується до акумулятора, витискаючи на вхід випарника отеплений холодоносій, отже витрата відповідає поточній холодопродуктивності холодильної машини.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Режим 5 (охлаждения і зарядка акумулятора) - холодопродуктивність холодильної машини дещо перевищує поточні витрати на забезпечення роботи технологічного обладнання, надлишок охолодженого холодоносія накопичується в акумуляторі, витискаючи на вхід випарника отеплений холодоносій, отже витрата відповідає поточній холодопродуктивності холодильної машини.

Режим 6 (охлаждения і розрядка акумулятора) – холодопродуктивності холодильної машини не вистачає для покриття пікового навантаження, тому частина холодоносія береться з акумулятора і подається на вхід до випарника холодильної машини, отже витрата відповідає поточному тепловому навантаженню на технологічне обладнання.

За підсумком:

- У режимах 1, 2 і 6 витрата холодоносія через насосну станцію відповідає тепловому навантаженню на технологічне обладнання;
- У режимах 3, 4 і 5 витрата холодоносія через насосну станцію відповідає холодопродуктивності холодильної машини.

Погодинні режими роботи гідравлічної схеми, обрані для кожного варіанту виходячи з двох вищенаведених принципів, зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1. Режими роботи гідравлічної схеми

Година	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9
1	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Година	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	4	6	4	4	4	4	4	1	1
9	6	6	2	2	2	2	2	2	2
10	6	6	2	2	2	2	2	2	2
11	6	6	2	2	2	2	2	2	2
12	6	6	6	6	6	6	6	6	6
13	6	6	6	6	6	6	6	6	6
14	6	6	6	6	6	6	6	6	6
15	6	6	6	6	1	1	1	6	6
16	6	1	6	6	1	6	1	6	6
17	6	5	5	1	1	5	1	6	6
18	4	5	5	5	5	5	5	5	5
19	4	6	5	5	5	5	5	5	5
20	4	6	5	5	5	5	5	5	5

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11

Лист

50

Година	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9
21	4	6	2	2	2	2	2	2	2
22	4	6	2	2	2	2	2	2	2
23	3	3	3	3	3	0	0	0	0
24	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Для кожного режиму роботи гідравлічної схеми знайдений свій еквівалентний коефіцієнт місцевого опору за формулою (3.16), який, в свою чергу, складається з еквівалентного коефіцієнту місцевого опору блоку споживачів і блоку «холодильна машина – акумулятор холоду». Результати розрахунку цих коефіцієнтів для отримання результату у метрах водяного стовпа наведені у таблицях 5.2 і 5.3.

Таблиця 5.2. Еквівалентні коефіцієнти місцевого опору для режимів роботи гідравлічної схеми

Режим	1	2	3	4	5	6
ξ	107,5	65,5	116,4	107,5	107,5	107,5

Таблиця 5.3. Зміна віртуального еквівалентного коефіцієнту місцевого опору блоку споживачів холоду впродовж доби

Час	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ξ	1536	1536	1848	1694	1694	1694	1565	574	352

Час	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ξ	660	200	226	250	343	378	441	608	1545
Час	19	20	21	22					
ξ	1302	1198	1198	1198					

Сумарний еквівалентний коефіцієнт місцевого опору знаходиться шляхом додавання значень з таблиць 5.2 і 5.3 у таблицю 5.1. В результаті отримується таблиця 5.4, що містить еквівалентні коефіцієнти місцевого опору, які у подальшому використовуються у розрахунку віртуальної робочої точки системи.

Таблиця 5.4. Еквівалентні коефіцієнти місцевого опору за варіантами холодопродуктивності та часом

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5
2	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5	1643,5
3	1955,5	1955,5	1955,5	1955,5	1955,5	1955,5	1955,5	1955,5	1955,5
4	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5
5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5
6	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5
7	1672,5	1672,5	1672,5	1672,5	1672,5	1672,5	1672,5	1672,5	1672,5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	681,5	681,5	681,5	681,5	681,5	681,5	681,5	681,5	681,5
9	459,5	459,5	417,5	417,5	417,5	417,5	417,5	417,5	417,5
10	767,5	767,5	725,5	725,5	725,5	725,5	725,5	725,5	725,5
11	307,5	307,5	265,5	265,5	265,5	265,5	265,5	265,5	265,5
12	333,5	333,5	333,5	333,5	333,5	333,5	333,5	333,5	333,5
13	357,5	357,5	357,5	357,5	357,5	357,5	357,5	357,5	357,5
14	450,5	450,5	450,5	450,5	450,5	450,5	450,5	450,5	450,5
15	485,5	485,5	485,5	485,5	485,5	485,5	485,5	485,5	485,5
16	548,5	548,5	548,5	548,5	548,5	548,5	548,5	548,5	548,5
17	715,5	715,5	715,5	715,5	715,5	715,5	715,5	715,5	715,5
18	1652,5	1652,5	1652,5	1652,5	1652,5	1652,5	1652,5	1652,5	1652,5
19	1409,5	1409,5	1409,5	1409,5	1409,5	1409,5	1409,5	1409,5	1409,5
20	1305,5	1305,5	1305,5	1305,5	1305,5	1305,5	1305,5	1305,5	1305,5
21	1305,5	1305,5	1263,5	1263,5	1263,5	1263,5	1263,5	1263,5	1263,5
22	1305,5	1305,5	1263,5	1263,5	1263,5	1263,5	1263,5	1263,5	1263,5
23	116,4	116,4	116,4	116,4	116,4	0	0	0	0
24	116,4	116,4	116,4	116,4	116,4	116,4	116,4	116,4	116,4

Всі еквівалентні місцеві опори приведені до внутрішнього діаметру труби Ду250, тобто до значення 0,257 м.

Споживання електричної енергії насосом знаходиться наступним чином.

1. За формулою (3.18) обчислюється витрата у віртуальній робочій точці системи. В якості ξ використовується еквівалентний коефіцієнт місцевого опору з таблиці 5.4, помножений на значення переводного коефіцієнту, знайденого за формулою (3.19).
2. За формулою (3.7) обчислюються напір і споживана потужність у віртуальній робочій точці з двома різними наборами коефіцієнтів, для опису кривої «напір - витрата» і кривої «споживана потужність - витрата». Значення коефіцієнтів знаходиться в таблиці 4.3.
3. Знаючи фактичну витрату в гідравлічній схемі, яка встановлюється за налаштуваннями регулюючих заслінок і автоматичних балансувальних клапанів АВ-QM (витрата в оптимальній робочій точці), за допомогою формули (3.20) визначається необхідна частота обертання насоса.

Щоб більш точно оцінити витрати на закупівлю електроенергії у кожному варіанті, слід розрахувати погодинне споживання електроенергії холодильною установкою в залежності від температурних умов навколишнього середовища.

Температура конденсації аміаку у випарному конденсаторі визначається як температура за вологим термометром плюс 12 градусів. Температура за вологим термометром обчислюється за наступними залежностями [7].

Парціальний тиск насиченої пари води над поверхнею води визначається за рівнянням

$$P_{\text{н.п.}} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot t_{\text{сух}}}{237,3 + t_{\text{сух}}}}, \text{ Па (5.1)}$$

де $t_{\text{сух}}$ – температура повітря за сухим термометром, °С.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Вологовміст кілограму повітря визначається за рівнянням

$$d = \frac{623}{\frac{P_6}{\varphi \cdot P_{н.п.}} - 1}, \text{ кг/кг} (5.2)$$

де

P_6 – барометричний тиск атмосферного повітря, Па;

φ – відносна вологість повітря, значення від 0 до 1.

Ентальпія вологого повітря визначається за рівнянням

$$h = 1,005 \cdot t_{\text{сух}} + (2,5 + 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{сух}}) \cdot d, \text{ кДж/кг} (5.3)$$

Через неможливість аналітично вирішити рівняння, що виникає при об'єднанні рівнянь (5.1), (5.2) і (5.3), залежність температури точки роси описана апроксимаційною залежністю від значення ентальпії:

$$t_{\text{вол}} = \frac{-5,8123227 + 0,52874192 \cdot h + 0,011089622 \cdot h^2}{1 + 0,026107546 \cdot h + 0,00016844816 \cdot h^2 - 6,7596636 \cdot 10^{-8} \cdot h^3} (5.4)$$

Таблиця даних для обчислення коефіцієнтів формули (5.4) отримана шляхом ручного розрахунку температури за вологим термометром для різних значень ентальпії вологого повітря з кроком 0,5 кДж/кг. Значення коефіцієнтів рівняння розраховані за допомогою програми TableCurve 2D v5.01.

Кліматичні дані м. Одеса, для якого відбувається розрахунок холодильної системи, а також результати розрахунку температури за вологим термометром наведені у таблиці 5.5.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Таблиця 5.5. Кліматичні дані для м. Одеса

Година	Літо			Осінь			Зима			Весна		
	t	φ	t _{вол}	t	φ	t _{вол}	t	φ	t _{вол}	t	φ	t _{вол}
1	20,4	70,6	16,9	12,4	82,1	22,8	12,0	83,5	22,5	1,3	91,7	12,9
2	20,0	72,2	16,8	12,2	83,1	22,7	11,8	84,4	22,4	1,1	92,2	12,7
3	19,3	74,8	16,5	11,8	84,5	22,4	11,4	85,8	22,2	1,0	93,2	12,7
4	19,0	76,6	16,3	11,5	85,6	22,2	11,2	86,5	22,1	0,9	93,3	12,6
5	18,6	77,1	16,1	11,1	86,6	21,9	10,8	87,3	21,7	0,8	93,6	12,6
6	18,2	78,2	15,9	11,0	86,8	21,9	10,8	87,4	21,8	0,6	94,0	12,4
7	18,3	79,2	16,0	10,8	87,1	21,8	10,6	87,7	21,6	0,7	94,1	12,5
8	20,0	74,6	17,0	10,9	87,8	21,9	10,6	88,4	21,7	0,7	93,7	12,5
9	22,2	64,8	17,7	12,0	85,7	22,7	11,7	86,7	22,5	1,1	93,4	12,8
10	23,8	57,6	18,1	13,3	81,6	23,6	12,9	83,0	23,3	2,0	91,1	13,6
11	25,1	52,4	18,3	14,5	76,3	24,1	14,0	77,8	23,9	2,9	87,8	14,3
12	26,1	47,8	18,4	15,2	72,2	24,4	14,8	73,5	24,1	3,7	83,3	14,7
13	27,0	44,8	18,6	15,9	68,5	24,6	15,4	69,6	24,3	4,2	81,2	15,0
14	27,4	42,7	18,5	16,2	67,1	24,7	15,8	68,3	24,4	4,6	79,3	15,2
15	27,6	41,7	18,5	16,6	65,1	24,8	16,1	66,4	24,5	4,7	78,5	15,3

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		56

Година	Літо			Осінь			Зима			Весна		
16	27,7	41,7	18,6	16,7	64,7	24,8	16,2	66,0	24,6	4,5	79,8	15,2
17	27,7	41,3	18,5	16,4	66,1	24,8	16,0	67,1	24,5	3,9	81,2	14,8
18	27,5	42,0	18,5	16,0	67,5	24,5	15,5	68,5	24,3	3,3	84,4	14,4
19	26,8	44,2	18,4	15,3	70,6	24,3	14,9	71,5	24,0	2,7	86,9	14,0
20	26,1	46,7	18,3	14,4	73,5	23,8	14,0	74,8	23,5	2,4	88,4	13,8
21	24,7	51,9	17,9	13,6	76,5	23,4	13,2	77,6	23,1	2,1	89,4	13,5
22	23,0	57,9	17,4	13,0	77,5	22,9	12,6	78,7	22,6	1,9	90,0	13,4
23	21,9	64,0	17,3	12,7	80,5	22,9	12,3	81,6	22,7	1,8	90,2	13,3
24	21,2	66,4	17,1	12,4	81,5	22,7	12,0	82,6	22,5	1,7	90,5	13,2

Для кожної години і кожної пори року визначена питома витрата електроенергії для виробництва холоду.

Розрахунок холодильного циклу виконаний за наступною методикою.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11							Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								57

Визначається теоретична індикаторна потужність стискання, кВт

$$N_i = \frac{l}{\eta_i}, \text{ кВт} \quad (5.8)$$

де η_i – індикаторний ККД. Для крупних компресорів приймається рівним 0,8 [8].

Визначається дійсна потужність стискання

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_{\text{мех}}}, \text{ кВт} \quad (5.9)$$

де $\eta_{\text{мех}}$ – механічний ККД. Залежить від співвідношення P_k/P_0 [8].

8) Визначення електричної потужності двигуна компресора, кВт

$$N_{\text{ел}} = \frac{N_e}{\eta_{\text{ел}}}, \text{ кВт} \quad (5.10)$$

де $\eta_{\text{ел}}$ – ККД електродвигуна, приймається рівною 0,9 для потужних двигунів [8].

Результати зведені у таблицю 5.6 і однакові для всіх варіантів співвідношення холодопродуктивність/ємність акумулятора.

Таблиця 5.6. Питома енергоємність виробництва 1 кВт холоду в залежності від кліматичних умов, кВт/кВт

Година	Літо	Осінь	Зима	Весна	Година	Літо	Осінь	Зима	Весна
1	0,210	0,165	0,098	0,163	13	0,223	0,178	0,112	0,176
2	0,209	0,165	0,097	0,163	14	0,222	0,179	0,113	0,177
3	0,207	0,163	0,097	0,161	15	0,222	0,180	0,114	0,178

Година	Літо	Осінь	Зима	Весна	Година	Літо	Осінь	Зима	Весна
4	0,206	0,162	0,096	0,160	16	0,222	0,180	0,113	0,178
5	0,204	0,159	0,096	0,158	17	0,222	0,179	0,110	0,178
6	0,202	0,159	0,095	0,158	18	0,222	0,178	0,108	0,176
7	0,203	0,158	0,095	0,157	19	0,221	0,176	0,105	0,174
8	0,211	0,159	0,095	0,158	20	0,220	0,172	0,103	0,171
9	0,216	0,165	0,097	0,164	21	0,218	0,170	0,102	0,168
10	0,219	0,171	0,102	0,169	22	0,214	0,166	0,101	0,164
11	0,221	0,175	0,107	0,173	23	0,213	0,166	0,100	0,164
12	0,221	0,177	0,110	0,175	24	0,211	0,165	0,100	0,163

Оптимальним співвідношенням холодопродуктивності і ємності акумулятора вважатимемо таке, що має найменші приведені витрати впродовж семи років експлуатації. Приведені витрати обчислюються за формулою

$$V_{\text{прив}} = E + 0,16 \cdot K \quad (5.11)$$

де

E – експлуатаційні витрати за рік, грн.

K – капітальні витрати, грн. Для порівняння варіантів враховується лише вартість компресорів, випарників і ємностей акумулятора холоду.

5.2 Результати розрахунку варіантів комплектації холодильної системи

Слід зазначити, що для коректної циклічної роботи потрібний деякий стартовий заряд акумулятора холоду, тому графіки заряду акумулятора візуально перевищують криву роботи холодильної машини.

На добових діаграмах роботи холодильної системи лівий стовпчик - заряд акумулятора (кВт·год), правий стовпчик – теплове навантаження на технологічне обладнання (кВт), лінія – холодопродуктивність холодильної машини (кВт).

Варіант 1 – холодопродуктивність 530 кВт, ємність акумулятора 3000 кВт·год

Обладнання: два гвинтових компресори Bitzer OSKA8551-K холодопродуктивністю 265 кВт вартістю 2,199,500 грн кожний, випарний конденсатор VXC 185 для зняття теплоти конденсації 605 кВт вартістю 1,099,485 грн, два пластинчастих випарника Alfa Laval M10 18,2 м² вартістю 652,214 грн кожний, акумулятор об'ємом 430 м³ оціночною вартістю 688,000 грн. Сумарна вартість теплообмінного і компресорного обладнання 7,490,912 грн.

Таблиця 5.7. Варіант 1 – 530 кВт, 3000 кВт·год

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
					Літо	Осінь	Зима	Весна
0-1	2,5	531	56,6 (1699)	61,6	290	230	141	228
1-2	2,5	531	60,9 (1828)	61,6	288	230	140	227

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
2-3	2,5	531	66,5 (1996)	66,5	288	230	142	227
3-4	2,5	531	72,1 (2164)	64,1	286	227	140	225
4-5	2,5	531	77,7 (2332)	64,1	283	224	139	222
5-6	2,5	531	83,3 (2500)	64,1	281	224	138	222
6-7	6,25	531	95,2 (2858)	62,1	704	553	343	549
7-8	6,25	531	99,7 (2992)	43,6	710	538	326	534
8-9	9,38	531	93,1 (2794)	52,9	1108	853	515	846
9-10	9,38	531	84,3 (2531)	68,0	1152	914	571	905
10-11	9,38	531	63,4 (1904)	75,6	1194	966	626	957
11-12	6,25	531	47,1 (1413)	68,0	779	633	410	626
12-13	6,25	531	30,8 (924)	69,1	787	639	419	632
13-14	6,25	531	20,4 (612)	60,8	769	626	407	620
14-15	6,25	531	11,3 (340)	59,2	766	626	406	620
15-16	6,25	531	4,6 (140)	55,9	762	622	400	615
16-17	6,25	531	0,7 (22)	54,2	758	617	387	611
17-18	6,25	531	5,0 (151)	61,8	764	618	385	612
18-19	6,25	531	8 (241)	57,7	756	607	372	601
19-20	6,25	531	11 (331)	55,9	752	594	365	588

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
20-21	9,38	531	14 (421)	55,9	1117	877	540	868
21-22	9,38	531	17 (511)	55,9	1097	859	536	850
22-23	6,25	531	34 (1042)	29,2	711	555	337	549
23-24	2,5	528	52,3 (1570)	29,1	281	219	133	217

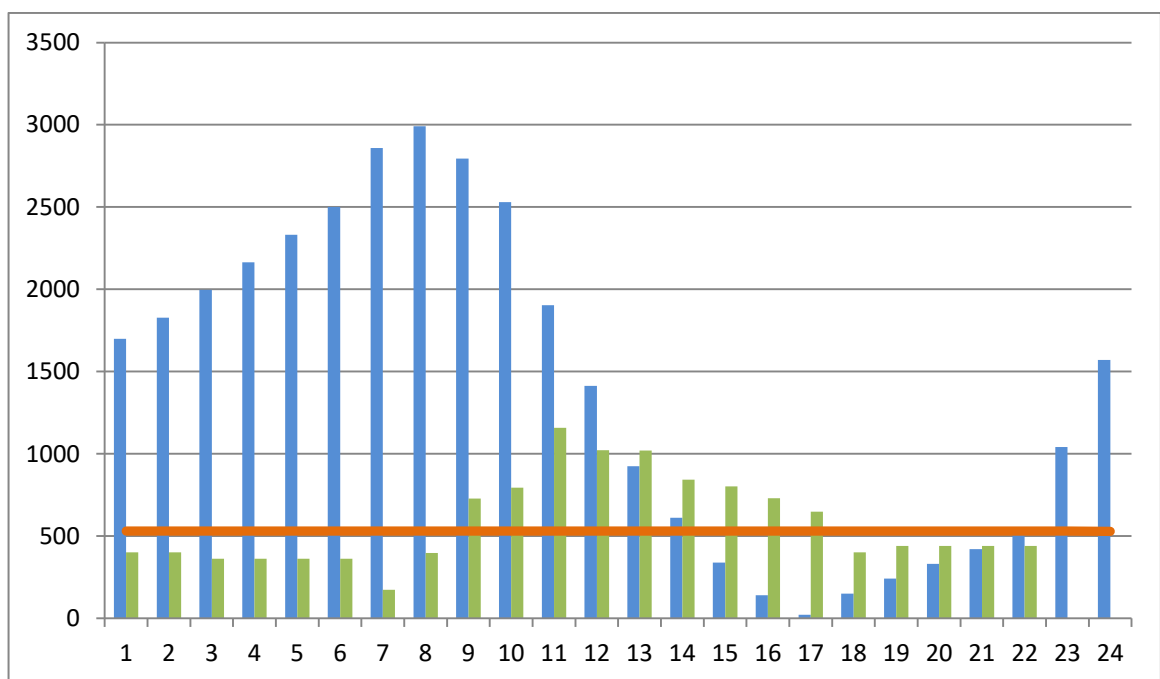


Рисунок 5.2. Добова діаграма роботи холодильної машини і акумулятора холоду для варіанта 1

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії – 4,710,011 грн.

Приведені витрати – 5,908,557 грн.

Варіант 2 – холодопродуктивність 650 кВт, ємність акумулятора 3000 кВт·год

Обладнання: два гвинтових компресори Bitzer OSKA8571-K холодопродуктивністю 370 кВт вартістю 3,071,000 грн кожний, випарний конденсатор VXC 250 для зняття теплоти конденсації 845 кВт вартістю 1,485,268 грн, два пластинчастих випарника Alfa Laval M10 21,6 м² вартістю 713,800 грн кожний, акумулятор об'ємом 430 м³ оціночною вартістю 688,000 грн. Сумарна вартість теплообмінного і компресорного обладнання 9,742,869 грн.

Таблиця 5.8. Варіант 2 – 650 кВт, 3000 кВт·год

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
					Літо	Осінь	Зима	Весна
0-1	2,5	650	38,73 (1162)	75,4	361	289	179	286
1-2	2,5	650	47 (1410)	75,4	360	288	178	285
2-3	2,5	650	56,57 (1697)	81,4	361	290	182	286
3-4	2,5	650	66,13 (1984)	78,5	357	285	179	283
4-5	2,5	650	75,70 (2271)	78,5	354	281	178	279
5-6	2,5	650	85,27 (2558)	78,5	351	281	176	280
6-7	6,25	600	99,50 (2985)	70,1	804	634	397	630
7-8	6,25	600	106,27 (3188)	49,3	806	611	372	607
8-9	9,38	300	91,97 (2759)	52,9	639	495	304	491
9-10	9,38	300	75,50 (2265)	68,0	678	544	350	539

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
10-11	9,38	300	46,90 (1407)	75,6	715	587	395	582
11-12	6,25	600	32,83 (985)	68,0	875	709	457	702
12-13	6,25	600	18,83 (565)	69,1	883	715	467	708
13-14	6,25	600	10,73 (322)	60,8	865	703	456	696
14-15	6,25	600	3,97 (119)	59,2	862	704	455	696
15-16	6,25	650	1,27 (38)	55,9	928	756	484	747
16-17	6,25	650	1,30 (39)	54,3	923	751	469	743
17-18	6,25	650	9,57 (287)	75,6	952	774	488	766
18-19	6,25	500	11,53 (346)	54,3	710	569	348	563
19-20	6,25	400	10,17 (305)	46,4	562	444	271	439
20-21	9,38	300	5,47 (164)	46,4	631	496	305	491
21-22	9,38	300	0,77 (23)	46,4	620	486	303	481
22-23	6,25	300	10,77 (323)	16,5	400	312	189	309
23-24	2,5	591	30,47 (914)	32,5	314	246	150	243

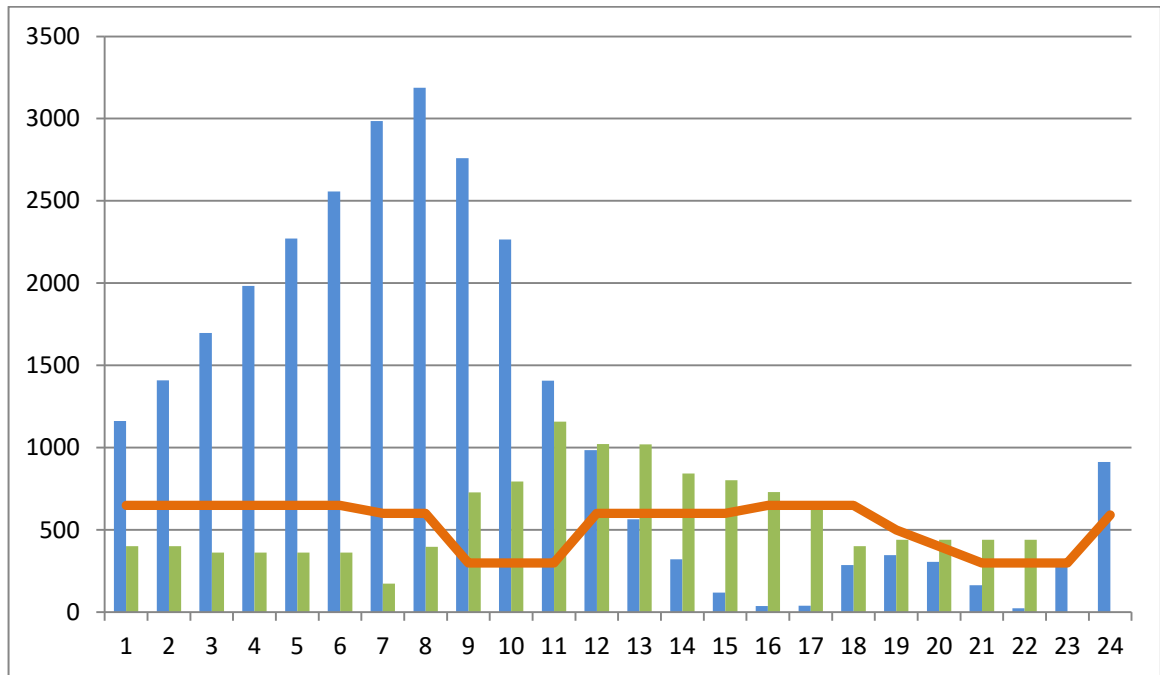


Рисунок 5.3. Добова діаграма роботи холодильної машини і акумулятора холоду для варіанта 2

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії – 4,343,152 грн.

Приведені витрати – 5,902,011 грн.

Варіант 3 – холодопродуктивність 700 кВт, ємність акумулятора 4000 кВт·год

Обладнання: два гвинтових компресори Bitzer OSKA8571-K холодопродуктивністю 370 кВт вартістю 3,071,000 грн кожний, випарний конденсатор VXC 185 для зняття теплоти конденсації 605 кВт вартістю 1,099,485 грн, два пластинчастих випарника Alfa Laval M10 23 м² вартістю 740,194 грн кожний, акумулятор об'ємом 720 м³ оціночною вартістю 1,152,000 грн. Сумарна вартість теплообмінного і компресорного обладнання 10,259,656 грн.

Таблиця 5.9. Варіант 3 – 700 кВт, 4000 кВт·год

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
					Літо	Осінь	Зима	Весна
0-1	2,5	700	30,0 (1198)	81,2	393	314	196	311
1-2	2,5	700	37,4 (1496)	81,2	391	314	195	311
2-3	2,5	700	45,8 (1833)	87,7	393	316	200	313
3-4	2,5	700	54,3 (2170)	84,5	388	311	197	309
4-5	2,5	700	62,7 (2507)	84,5	385	307	196	305
5-6	2,5	700	71,1 (2844)	84,5	382	307	194	305
6-7	6,25	700	84,3 (3371)	81,8	955	757	480	752
7-8	6,25	700	91,9 (3674)	57,5	947	720	441	715
8-9	9,38	0	73,6 (2945)	51,4	29	29	29	29
9-10	9,38	0	53,8 (2151)	66,7	59	59	59	59
10-11	9,38	0	24,8 (993)	73,1	86	86	86	86
11-12	6,25	700	16,8 (671)	68,0	1013	820	526	811
12-13	6,25	700	8,8 (351)	69,1	1023	827	537	818
13-14	6,25	700	5,2 (208)	60,8	1004	815	527	807
14-15	6,25	700	2,6 (105)	59,2	1000	816	526	808
15-16	6,25	700	1,9 (74)	55,9	997	812	519	803

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
16-17	6,25	700	3,1 (125)	58,5	998	812	509	804
17-18	6,25	700	10,6 (423)	81,4	1034	842	535	833
18-19	6,25	700	17,1 (682)	76,0	1020	823	514	815
19-20	6,25	700	23,5 (941)	73,6	1012	804	502	796
20-21	9,38	0	12,5 (500)	45,8	18	18	18	18
21-22	9,38	0	1,5 (59)	45,8	18	18	18	18
22-23	6,25	141	5,0 (200)	7,8	188	146	88	145
23-24	2,5	700	22,5 (900)	38,5	373	292	178	289

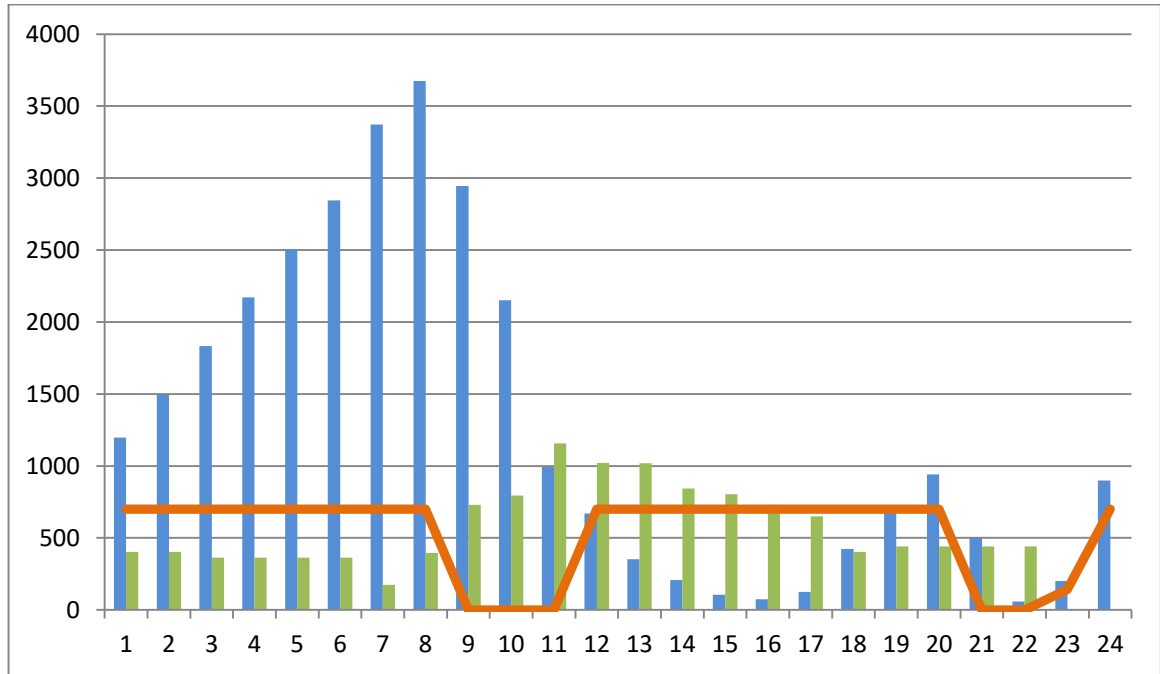


Рисунок 5.4. Добова діаграма роботи холодильної машини і акумулятора холоду для варіанта 3

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії – 4,029,430 грн.

Приведені витрати – 5,670,975 грн.

Варіант 4 – холодопродуктивність 750 кВт, ємність акумулятора 4000 кВт·год

Обладнання: два гвинтових компресори Bitzer OSKA8581-K холодопродуктивністю 427 кВт вартістю 3,544,100 грн кожний, випарний конденсатор VXC S288 для зняття теплоти конденсації 975 кВт вартістю 1,709,850 грн, два пластинчастих випарника Alfa Laval M10 25,4 м² вартістю 784,142 грн кожний, акумулятор об'ємом 720 м³ оціночною вартістю 1,152,000 грн. Сумарна вартість теплообмінного і компресорного обладнання 11,518,335 грн.

Таблиця 5.10. Варіант 4 – 750 кВт, 4000 кВт·год

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
					Літо	Осінь	Зима	Весна
0-1	2,5	750	31,2 (1248)	87,0	425	341	214	337
1-2	2,5	750	39,9 (1596)	87,0	423	340	213	337
2-3	2,5	750	49,6 (1983)	93,9	426	344	220	340
3-4	2,5	750	59,3 (2370)	90,6	421	338	215	335
4-5	2,5	750	68,9 (2757)	90,6	417	333	214	331
5-6	2,5	750	78,6 (3144)	90,6	414	333	212	331

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
6-7	6,25	750	93,0 (3721)	87,7	1034	821	524	816
7-8	6,25	750	101,9 (4074)	61,6	1019	776	477	770
8-9	9,38	0	83,6 (3345)	51,4	29	29	29	29
9-10	9,38	0	63,8 (2551)	66,7	59	59	59	59
10-11	9,38	0	34,8 (1393)	73,1	86	86	86	86
11-12	6,25	650	25,5 (1021)	68,0	944	764	492	757
12-13	6,25	650	16,3 (651)	69,1	953	771	502	763
13-14	6,25	650	11,5 (458)	60,8	934	759	492	751
14-15	6,25	650	7,6 (305)	59,2	931	760	491	752
15-16	6,25	650	5,6 (224)	55,9	928	756	484	747
16-17	6,25	650	5,6 (225)	54,3	923	751	469	743
17-18	6,25	650	11,8 (473)	75,6	952	774	488	766
18-19	6,25	650	17,1 (682)	70,6	940	758	470	749
19-20	6,25	650	22,3 (891)	68,4	933	740	460	733
20-21	9,38	0	11,3 (450)	45,8	18	18	18	18
21-22	9,38	0	0,2 (9)	45,8	18	18	18	18
22-23	6,25	391	10,0 (400)	21,5	522	408	247	403
23-24	2,5	500	22,5 (900)	27,5	266	207	126	205

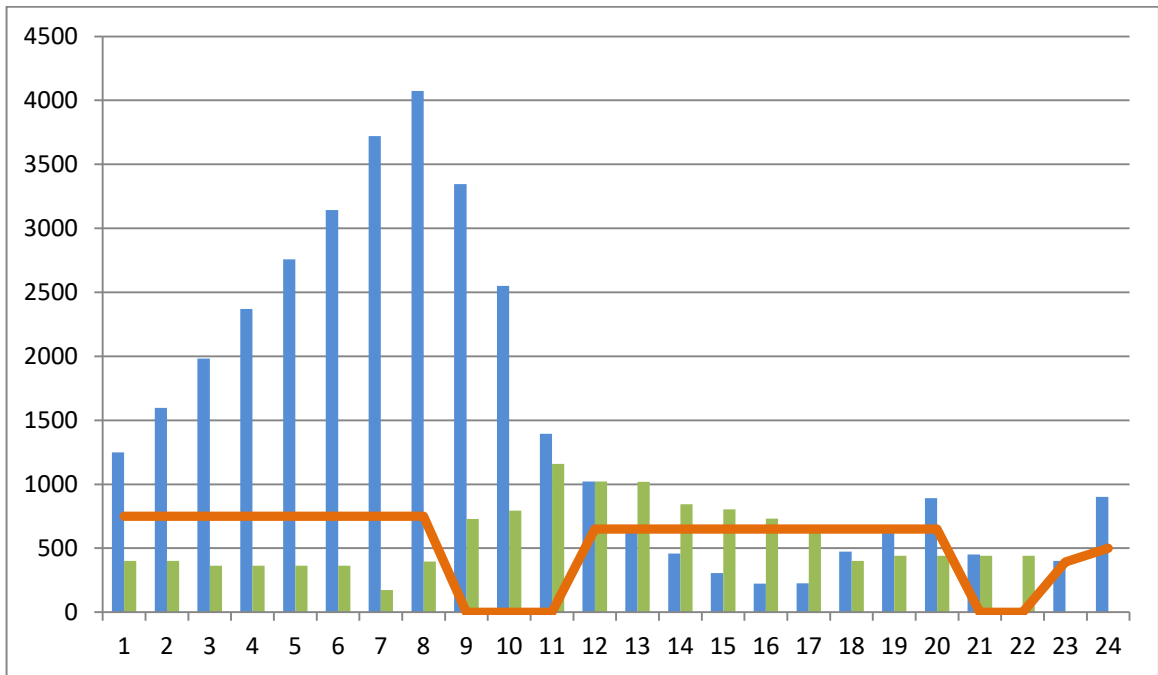


Рисунок 5.5. Добова діаграма роботи холодильної машини і акумулятора холоду для варіанта 4

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії – 4,001,416 грн.

Приведені витрати – 5,844,351 грн.

Варіант 5 – холодопродуктивність 800 кВт, ємність акумулятора 4000 кВт·год

Обладнання: два гвинтових компресори Bitzer OSKA8581-K холодопродуктивністю 427 кВт вартістю 3,544,100 грн кожний, випарний конденсатор VXC S288 для зняття теплоти конденсації 975 кВт вартістю 1,709,850 грн, два пластинчастих випарника Alfa Laval M10 26,9 м² вартістю 810,537 грн кожний, акумулятор об'ємом 580 м³ оціночною вартістю 928,000 грн. Сумарна вартість теплообмінного і компресорного обладнання 11,347,123 грн.

Таблиця 5.11. Варіант 5 – 800 кВт, 4000 кВт·год

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
					Літо	Осінь	Зима	Весна
0-1	2,5	800	30,2 (1207)	92,8	458	368	233	365
1-2	2,5	800	40,1 (1605)	92,8	456	368	232	364
2-3	2,5	800	51,1 (2042)	100,2	460	372	240	368
3-4	2,5	800	62,0 (2479)	96,6	454	365	234	363
4-5	2,5	800	72,9 (2916)	96,6	450	361	234	358
5-6	2,5	800	83,8 (3353)	96,6	447	361	231	358
6-7	6,25	800	99,5 (3980)	93,5	1114	888	571	882
7-8	6,25	420	100,1 (4003)	34,5	559	422	255	419
8-9	9,38	0	81,9 (3274)	51,4	29	29	29	29
9-10	9,38	0	62,0 (2480)	66,7	59	59	59	59
10-11	9,38	0	33,1 (1322)	73,1	86	86	86	86
11-12	6,25	400	17,5 (700)	68,0	598	488	320	483
12-13	6,25	431	2,8 (111)	69,1	648	527	349	522
13-14	6,25	760	0,7 (28)	60,8	1087	882	570	873
14-15	6,25	800	0,6 (25)	59,2	1139	929	597	919
15-16	6,25	730	0,6 (24)	55,9	1039	846	540	836

КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11

Лист

72

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
16-17	6,25	650	0,6 (25)	54,3	923	751	469	743
17-18	6,25	600	5,6 (223)	69,8	872	707	444	700
18-19	6,25	750	13,3 (532)	81,5	1101	890	559	881
19-20	6,25	800	22,3 (891)	84,2	1174	936	591	927
20-21	9,38	0	11,3 (450)	45,8	18	18	18	18
21-22	9,38	0	0,2 (9)	45,8	18	18	18	18
22-23	6,25	0	0,2 (9)	0,0	0	0	0	0
23-24	2,5	800	20,2 (809)	44,1	428	335	205	332

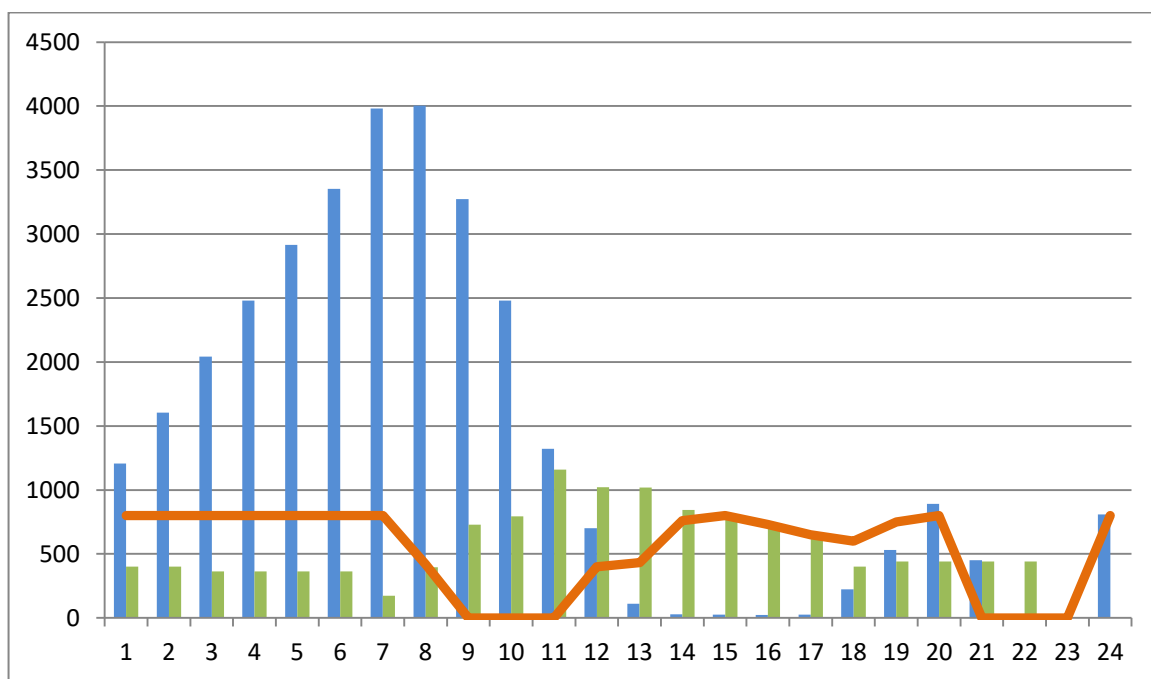


Рисунок 5.6. Добова діаграма роботи холодильної машини і акумулятора холоду для варіанта 5

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії – 4,001,416 грн.

Приведені витрати – 5,717,401 грн.

Варіант 6 – холодопродуктивність 850 кВт, ємність акумулятора 4000 кВт·год

Обладнання: два гвинтових компресори Bitzer OSKA8581-K холодопродуктивністю 427 кВт вартістю 3,544,100 грн кожний, випарний конденсатор VXC S288 для зняття теплоти конденсації 975 кВт вартістю 1,709,850 грн, два пластинчастих випарника Alfa Laval M10BW 26,9 м² вартістю 836,931 грн кожний, акумулятор об'ємом 580 м³ оціночною вартістю 928,000 грн. Сумарна вартість теплообмінного і компресорного обладнання 11,399,911 грн.

Таблиця 5.12. Варіант 6 – 850 кВт, 5000 кВт·год

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
					Літо	Осінь	Зима	Весна
0-1	2,5	850	31,7 (1266)	98,6	491	396	253	393
1-2	2,5	850	42,9 (1714)	98,6	490	396	251	392
2-3	2,5	850	55,0 (2201)	106,5	495	402	261	398
3-4	2,5	850	67,2 (2688)	102,7	488	394	255	391
4-5	2,5	850	79,4 (3175)	102,7	484	389	254	386
5-6	2,5	850	91,6 (3662)	102,7	480	389	252	387

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
6-7	6,25	500	99,7 (3989)	58,5	660	518	320	514
7-8	6,25	400	99,8 (3992)	32,9	531	402	242	399
8-9	9,38	0	81,6 (3263)	51,4	29	29	29	29
9-10	9,38	0	61,7 (2469)	66,7	59	59	59	59
10-11	9,38	0	32,8 (1311)	73,1	86	86	86	86
11-12	6,25	500	19,7 (789)	68,0	737	598	389	592
12-13	6,25	500	6,7 (269)	69,1	744	604	397	598
13-14	6,25	800	5,7 (226)	60,8	1143	927	598	917
14-15	6,25	800	5,6 (223)	59,2	1139	929	597	919
15-16	6,25	700	4,8 (192)	55,9	997	812	519	803
16-17	6,25	700	6,1 (243)	58,5	998	812	509	804
17-18	6,25	650	12,3 (491)	75,6	952	774	488	766
18-19	6,25	650	17,5 (700)	70,6	940	758	470	749
19-20	6,25	650	22,7 (909)	68,4	933	740	460	733
20-21	9,38	0	11,7 (468)	45,8	18	18	18	18
21-22	9,38	0	0,7 (27)	45,8	18	18	18	18
22-23	6,25	0	0,7 (27)	0,0	0	0	0	0
23-24	2,5	791	20,5 (818)	43,6	423	331	202	328

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

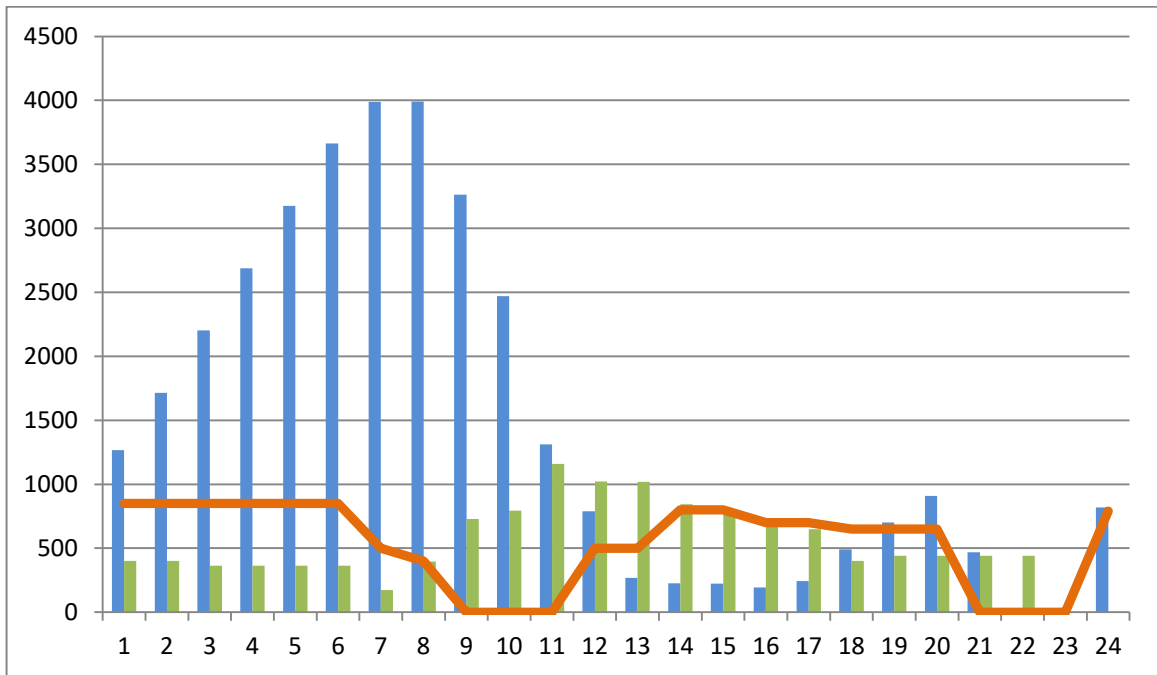


Рисунок 5.7. Добова діаграма роботи холодильної машини і акумулятора холоду для варіанта 6

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії – 3,820,721 грн.

Приведені витрати – 5,644,707 грн.

Варіант 7 – холодопродуктивність 900 кВт, ємність акумулятора 3000 кВт·год

Обладнання: два гвинтових компресори Bitzer OSKA8591-K холодопродуктивністю 477 кВт вартістю 3,959,100 грн кожний, випарний конденсатор VXC S328 для зняття теплоти конденсації 1089 кВт вартістю 1,946,831 грн, два пластинчастих випарника Alfa Laval MK15BW 34 м² вартістю 1,009,986 грн кожний, акумулятор об'ємом 430 м³ оціночною вартістю 688,000 грн. Сумарна вартість теплообмінного і компресорного обладнання 12,573,002 грн.

Таблиця 5.13. Варіант 7 – 900 кВт, 3000 кВт·год

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
					Літо	Осінь	Зима	Весна
0-1	2,5	900	47,1 (1413)	104,4	526	426	274	421
1-2	2,5	900	63,7 (1911)	104,4	524	425	272	421
2-3	2,5	900	81,6 (2448)	112,7	531	433	284	428
3-4	2,5	900	99,5 (2985)	108,7	523	424	276	421
4-5	2,5	300	97,4 (2922)	43,8	157	123	76	122
5-6	2,5	300	95,3 (2859)	43,8	156	123	75	123
6-7	6,25	300	99,5 (2986)	35,1	387	302	183	299
7-8	6,25	426	100,5 (3015)	35,0	567	428	259	425
8-9	9,38	0	76,2 (2286)	51,4	29	29	29	29
9-10	9,38	0	49,7 (1492)	66,7	59	59	59	59
10-11	9,38	0	11,1 (334)	73,1	86	86	86	86
11-12	6,25	900	7,1 (212)	68,0	1289	1041	663	1030
12-13	6,25	900	3,1 (92)	69,1	1301	1049	676	1039
13-14	6,25	800	1,6 (49)	60,8	1143	927	598	917
14-15	6,25	800	1,5 (46)	59,2	1139	929	597	919
15-16	6,25	730	1,5 (45)	55,9	1039	846	540	836

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
16-17	6,25	650	1,5 (46)	54,3	923	751	469	743
17-18	6,25	600	8,1 (244)	69,8	872	707	444	700
18-19	6,25	750	18,4 (553)	81,5	1101	890	559	881
19-20	6,25	785	29,9 (897)	82,6	1149	916	577	907
20-21	9,38	0	15,2 (456)	45,8	18	18	18	18
21-22	9,38	0	0,5 (15)	45,8	18	18	18	18
22-23	6,25	0	0,5 (15)	0,0	0	0	0	0
23-24	2,5	900	30,5 (915)	49,6	483	378	232	375

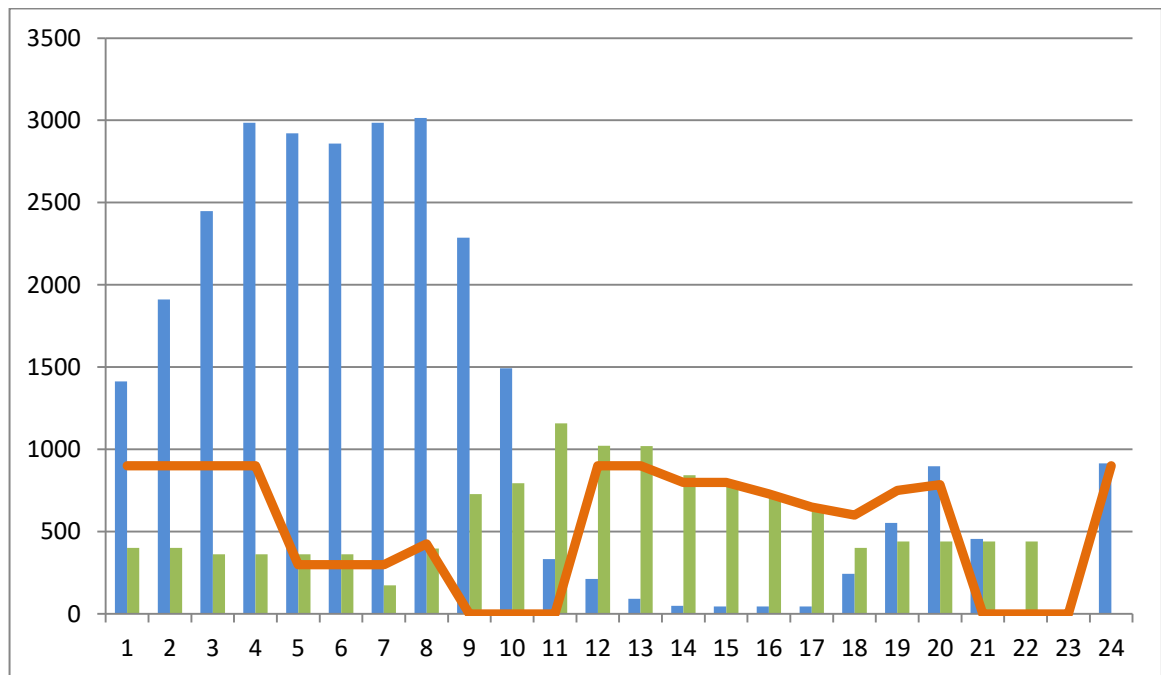


Рисунок 5.8. Добова діаграма роботи холодильної машини і акумулятора холоду для варіанта 7

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії – 4,013,764 грн.

Приведені витрати – 6,025,444 грн.

Варіант 8 – холодопродуктивність 950 кВт, ємність акумулятора 5000 кВт·год

Обладнання: два гвинтових компресори Bitzer OSKA8591-K холодопродуктивністю 477 кВт вартістю 3,959,100 грн кожний, випарний конденсатор VXC S328 для зняття теплоти конденсації 1089 кВт вартістю 1,946,831 грн, два пластинчастих випарника Alfa Laval MK15BW 33 м² вартістю 1,062,608 грн кожний, акумулятор об'ємом 720 м³ оціночною вартістю 1,152,000 грн. Сумарна вартість теплообмінного і компресорного обладнання 13,142,246 грн.

Таблиця 5.14. Варіант 8 – 950 кВт, 5000 кВт·год

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
					Літо	Осінь	Зима	Весна
0-1	2,5	950	29,3 (1463)	110,2	562	456	296	451
1-2	2,5	950	40,2 (2011)	110,2	560	455	293	451
2-3	2,5	950	52,0 (2598)	119,0	569	465	307	460
3-4	2,5	950	63,7 (3185)	114,7	559	454	299	451
4-5	2,5	950	75,4 (3772)	114,7	555	449	298	446
5-6	2,5	950	87,2 (4359)	114,7	551	449	295	446

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
6-7	6,25	810	99,9 (4996)	94,7	1131	901	581	895
7-8	6,25	400	100,0 (4999)	32,9	531	402	242	399
8-9	9,38	0	85,4 (4270)	51,4	29	29	29	29
9-10	9,38	0	69,5 (3476)	66,7	59	59	59	59
10-11	9,38	0	46,4 (2318)	73,1	86	86	86	86
11-12	6,25	431	34,5 (1727)	68,0	641	522	341	517
12-13	6,25	500	24,1 (1207)	69,1	744	604	397	598
13-14	6,25	500	17,3 (864)	60,8	726	591	386	585
14-15	6,25	500	11,2 (561)	59,2	723	591	384	585
15-16	6,25	600	8,6 (430)	55,9	858	699	448	692
16-17	6,25	600	7,6 (381)	54,2	854	694	435	687
17-18	6,25	600	11,6 (579)	69,8	872	707	444	700
18-19	6,25	600	14,8 (738)	65,2	862	693	428	686
19-20	6,25	600	17,9 (897)	63,1	856	678	419	671
20-21	9,38	0	9,1 (456)	45,8	18	18	18	18
21-22	9,38	0	0,3 (15)	45,8	18	18	18	18
22-23	6,25	0	0,3 (15)	0,0	0	0	0	0
23-24	2,5	900	18,3 (915)	49,6	483	378	232	375

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

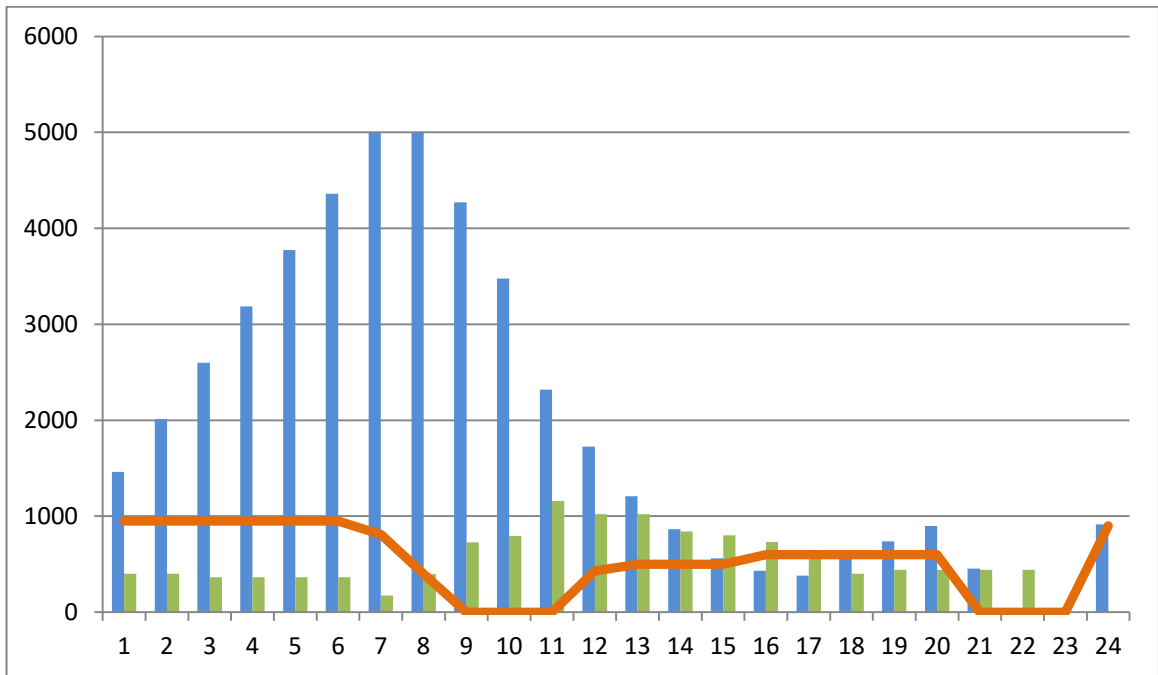


Рисунок 5.9. Додова діаграма роботи холодильної машини і акумулятора холоду для варіанта 8

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії – 3,689,398 грн.

Приведені витрати – 5,792,157 грн.

Варіант 9 – холодопродуктивність 1000 кВт, ємність акумулятора 5000 кВт·год

Обладнання: два гвинтових компресори Bitzer OSKA9573-K холодопродуктивністю 614 кВт вартістю 5,096,200 грн кожний, випарний конденсатор VXC S403 для зняття теплоти конденсації 1089 кВт вартістю 2,393,239 грн, два пластинчастих випарника Alfa Laval MK15BW 34 м² вартістю 1,075,182 грн кожний, акумулятор об'ємом 720 м³ оціночною вартістю 1,152,000 грн. Сумарна вартість теплообмінного і компресорного обладнання 15,888,003 грн.

Таблиця 5.15. Варіант 9 – 1000 кВт, 5000 кВт·год

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
					Літо	Осінь	Зима	Весна
0-1	2,5	1000	32,0 (1598)	116,0	599	487	318	482
1-2	2,5	1000	43,9 (2196)	116,0	597	486	316	482
2-3	2,5	1000	56,7 (2833)	125,3	608	498	332	493
3-4	2,5	1000	69,4 (3470)	120,8	597	486	323	483
4-5	2,5	1000	82,1 (4107)	120,8	592	481	322	477
5-6	2,5	1000	94,9 (4744)	120,8	588	480	319	478
6-7	6,25	400	99,4 (4971)	46,8	521	407	249	405
7-8	6,25	400	99,5 (4974)	32,9	531	402	242	399
8-9	9,38	0	84,9 (4245)	51,4	29	29	29	29
9-10	9,38	0	69,0 (3451)	66,7	59	59	59	59
10-11	9,38	0	45,9 (2293)	73,1	86	86	86	86
11-12	6,25	441	34,2 (1712)	68,0	655	533	348	528
12-13	6,25	500	23,8 (1192)	69,1	744	604	397	598
13-14	6,25	500	17,0 (849)	60,8	726	591	386	585
14-15	6,25	500	10,9 (546)	59,2	723	591	384	585
15-16	6,25	600	8,3 (415)	55,9	858	699	448	692

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

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
16-17	6,25	600	7,3 (366)	54,2	854	694	435	687
17-18	6,25	600	11,3 (564)	69,8	872	707	444	700
18-19	6,25	600	14,5 (723)	65,2	862	693	428	686
19-20	6,25	600	17,6 (882)	63,1	856	678	419	671
20-21	9,38	0	8,8 (441)	45,8	18	18	18	18
21-22	9,38	0	0,0 (0)	45,8	18	18	18	18
22-23	6,25	0	0,0 (0)	0,0	0	0	0	0
23-24	2,5	1000	20,0 (1000)	55,1	539	422	260	418

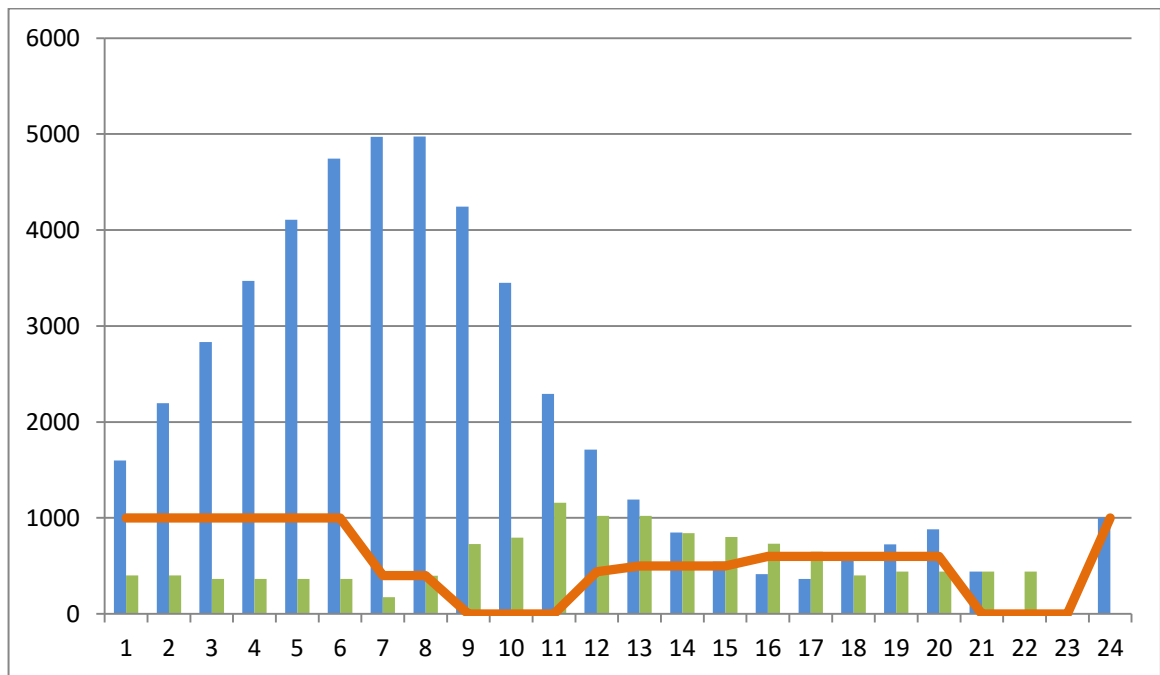


Рисунок 5.10. Добова діаграма роботи холодильної машини і акумулятора холоду для варіанта 9

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії – 3,600,939 грн.

Приведені витрати – 6,143,019 грн.

5.3 Вибір оптимального варіанту комплектації холодильної системи



Рисунок 5.11. Приведені витрати для варіантів комплектації 1-9

Графік не демонструє чіткої тенденції через урахування економії енергії при зміні частоти роботи насоса, яка, у свою чергу, змінюється в залежності від гідравлічного режиму схеми циркуляції проміжного холодоносія. Тому оптимальним слід вважати варіант з найнижчими приведеними витратами за семирічний період. Таким є варіант №6 з наступною комплектацією:

- два гвинтових компресори Bitzer OSKA8581-K холодопродуктивністю 427 кВт;
- два пластинчастих випарника Alfa Laval M10BW 26,9 м²;
- випарний конденсатор Baltimore VXC S288 продуктивністю 1241 кВт;
- акумулятор об'ємом 580 м³.

5.4 Визначення економічної доцільності встановлення байпасної лінії пластинчастих випарників

Байпасний трубопровід пластинчастих випарників відкривається у режимі 2 роботи гідравлічної схеми, коли холодильна система працює тільки за рахунок акумулятора. У цьому випадку немає сенсу прокачувати холодоносій крізь пластинчастий випарник, який має високі втрати тиску (до 10 метрів водяного стовпа), отже, завдяки байпасу зменшується енергоспоживання насосів.

Оцінити це рішення з економічної точки зору можна шляхом перерахунку раніше обраного варіанту комплектації №6 таким чином, що у режимі 2 (робота по байпасу випарників) гідравлічний опір контуру «холодильна машина – акумулятор холоду» дорівнює гідравлічному опору в режимі 6 (одночасна робота акумулятора і випарників). Результати розрахунку зведені у таблицю 5.16. Зміни стосуються періодів з 8 до 11 і з 20 до 23 години.

Таблиця 5.16. Варіант 6 без використання байпасу

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
					Літо	Осінь	Зима	Весна
0-1	2,5	850	31,7 (1266)	98,6	491	396	253	393
1-2	2,5	850	42,9 (1714)	98,6	490	396	251	392
2-3	2,5	850	55,0 (2201)	106,5	495	402	261	398
3-4	2,5	850	67,2 (2688)	102,7	488	394	255	391
4-5	2,5	850	79,4 (3175)	102,7	484	389	254	386
5-6	2,5	850	91,6 (3662)	102,7	480	389	252	387

Час	Тариф, грн. за кВт·год	Потужність холодильної машини, кВт	Заряд акумулятора, % (кВт·год)	Частота обертання насосу, %	Добові витрати на електроенергію, грн			
6-7	6,25	500	99,7 (3989)	58,5	660	518	320	514
7-8	6,25	400	99,8 (3992)	32,9	531	402	242	399
8-9	9,38	0	81,6 (3263)	52,9	31	31	31	31
9-10	9,38	0	61,7 (2469)	68	63	63	63	63
10-11	9,38	0	32,8 (1311)	75,6	94	94	94	94
11-12	6,25	500	19,7 (789)	68,0	737	598	389	592
12-13	6,25	500	6,7 (269)	69,1	744	604	397	598
13-14	6,25	800	5,7 (226)	60,8	1143	927	598	917
14-15	6,25	800	5,6 (223)	59,2	1139	929	597	919
15-16	6,25	700	4,8 (192)	55,9	997	812	519	803
16-17	6,25	700	6,1 (243)	58,5	998	812	509	804
17-18	6,25	650	12,3 (491)	75,6	952	774	488	766
18-19	6,25	650	17,5 (700)	70,6	940	758	470	749
19-20	6,25	650	22,7 (909)	68,4	933	740	460	733
20-21	9,38	0	11,7 (468)	46,4	19	19	19	19
21-22	9,38	0	0,7 (27)	46,4	19	19	19	19
22-23	6,25	0	0,7 (27)	0,0	0	0	0	0
23-24	2,5	791	20,5 (818)	43,6	423	331	202	328

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії – 3,826,124 грн.

Загальні річні витрати на закупівлю електроенергії варіанту №6 з байпасом складають 3,820,721 грн.

Байпас складається з поворотної заслінки Auvas Ду250 вартістю 9,578 грн і двохпозиційного електропривода Belimo SFA 20 Н•м вартістю 11,661 грн. Сумарна вартість обладнання байпасу складає 21,239 грн.

Річна економія від роботи байпасу складає $3,826,124 - 3,820,721 = 5403$ грн.

Термін окупності байпасу

$$\frac{21,239}{5,403} = 3,93 \text{ роки}$$

Цей термін менший, ніж розрахунковий період експлуатації холодильної системи, отже, встановлення байпасного трубопроводу пластинчастих випарників з автоматичною заслінкою є економічно доцільним.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

6 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

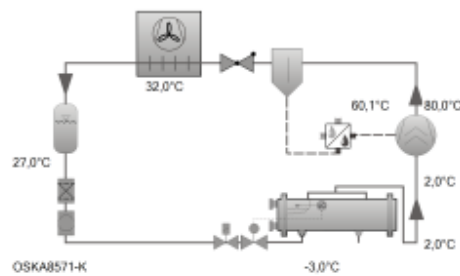
6.1 Вибір компресорного обладнання

Розрахункова температура кипіння $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура конденсації $32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Перегрівання і переохолодження пари $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для обраного варіанту №6 передбачається використання двох гвинтових компресорів виробництва компанії Bitzer холодопродуктивністю 425 kW кожний. За результатами підбору в програмі Bitzer Software v.6.15.1 вибраний компресор марки OSKA8581-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

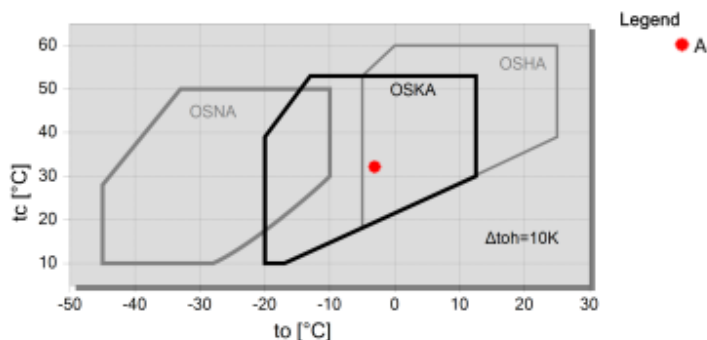
Compressor	OSKA8571-K	OSKA8581-K
Capacity steps	100%	100%
Cooling capacity	371 kW	430 kW
Cooling capacity *	364 kW	421 kW
Evaporator capacity	371 kW	430 kW
Shaft power	71,0 kW	82,1 kW
Condenser capacity	420 kW	487 kW
COP/EER	5,23	5,24
COP/EER *	5,12	5,13
Mass flow LP	1169 kg/h	1354 kg/h
Mass flow HP	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 ³ /h	3,23 m ³ /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



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11

Лист

88

6.2 Вибір пластинчастих випарників

Для охолодження «крижаної» води за допомогою програми Alfa Laval CAS 5 ver.5.87.0.01 два пластинчастих теплообмінника продуктивністю 425 кВт кожний. Температура кипіння становить -3°C , схема живлення – занурений теплообмінник. Відокремлювач рідини знаходиться над теплообмінниками на рамі. Обрані моделі M10-BW мають площу поверхні $26,9\text{ м}^2$ кожний.

Technical specification

Customer :
 Model : M10-BWFG
 Project: : (Untitled 0)
 Item : 11 Date : 24.04.2023

Fluid		Water	Ammonia
Mass flow rate	kg/s	16.81	0.4822
Fluid Condensed/Vapourized	kg/s	0.000	0.3375
Inlet temperature	$^{\circ}\text{C}$	7.0	-3.0
Dew point	$^{\circ}\text{C}$		-3.0
Outlet temperature (vapor/liquid)	$^{\circ}\text{C}$	1.0	-1.0
Operating pressure (In/Out)	bara	/	4.15/4.08
Pressure drop (Perm/Calculate)	kPa	100/33.5	7.62/6.54
Velocity connection (In/Out)	m/s	2.14/2.14	0.0963/13.5
Height of Column	mm		1000
Heat Exchanged	kW	425.0	
Mean Temperature Difference	K	*2	
Relative directions of fluids		Cocurrent	
Nozzle orientation		S2 -> S1	S3 -> S4
Connections S1, S2, S3, S4:		FLANGE EN1092-1 DN100 PN16, lining SS	
Plate material / thickness		ALLOY 304 / 0.50 mm	
Sealing material		NBRP Clip-on	Welded
Ring Gasket			CR
Pressure vessel code		PED	
fluid mass per channel	kg	36.59	5.278
Design pressure	bar	10.0	16.0
Test pressure	bar	14.3	22.9
Design temperature	$^{\circ}\text{C}$	50.0/-10.0	50.0/-10.0
Overall length x width x height	mm	895 x 470 x 1084	
Flooded weight	kg	549	
Packed weight	kg	532	
Type of package		PLYWOOD BOX LYING	
length x width x height	mm	1145 x 600 x 1180	

					KPM.XYiKP.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

6.3 Вибір випарного конденсатора

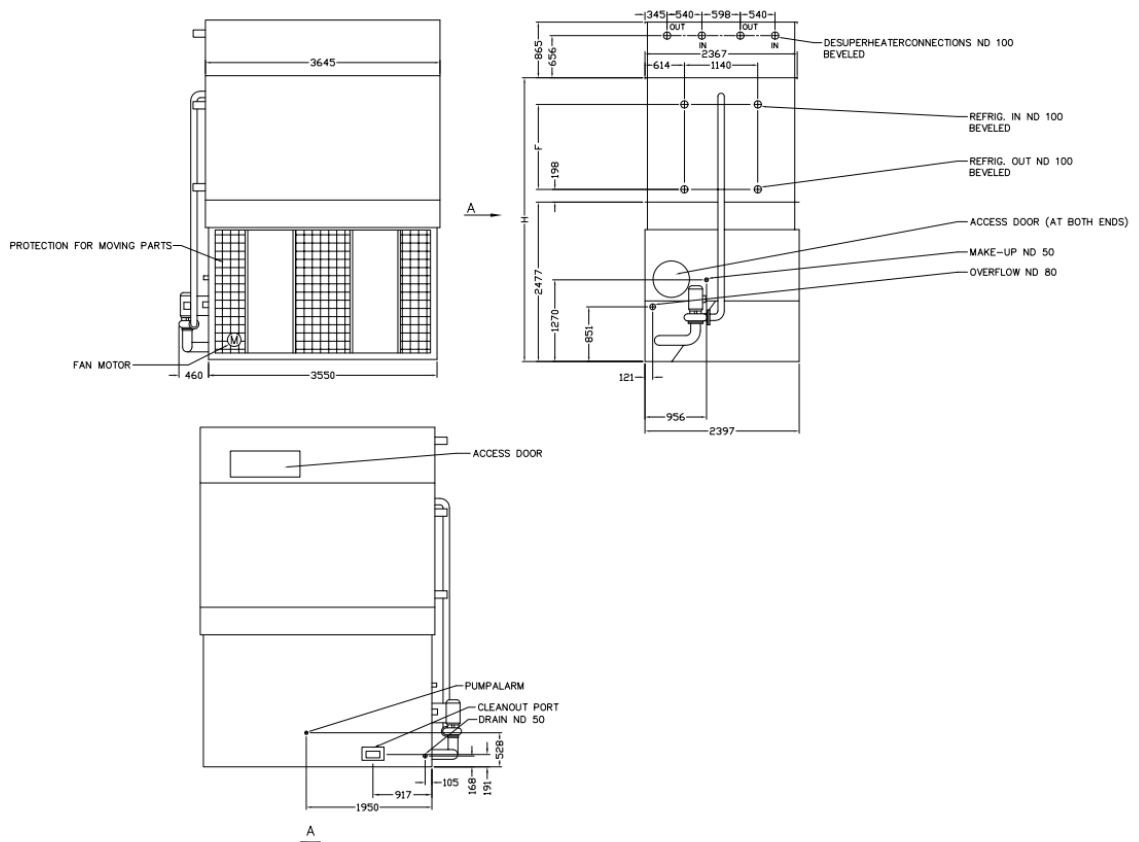
Найбільш важкі умови роботи установки припадають на літній час. Температура конденсації сягає 32 °С, температура за вологим термометром, виходячи з кліматичних даних, у цей період становить 19 °С. Для оптимального варіанта б потрібна потужність конденсатора 975 кВт. Користуючись методикою підбору, наведеною у [9], вибір моделі конденсатора виконаний наступним чином.

Корегуючий коефіцієнт з таблиці 2 – 1,34

Поправка на зняття перегріву з таблиці 3 – 0,92

Потрібна потужність конденсатора $975 \cdot 1,34 \cdot 0,92 = 1202$ кВт.

З таблиці 1 (базова продуктивність конденсаторів) знаходиться потрібна модель конденсатора – VXC S288.



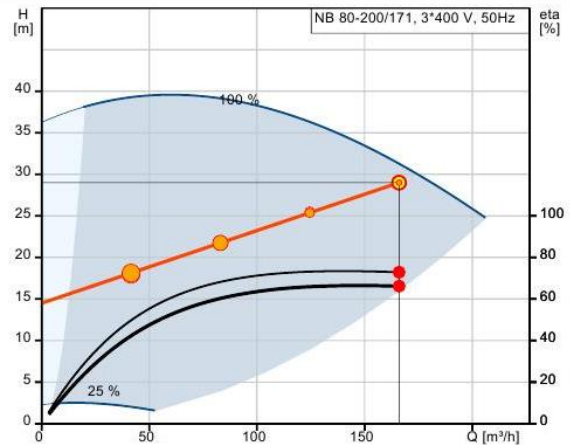
					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

6.4 Вибір насосного обладнання

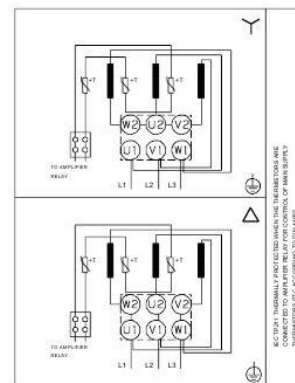
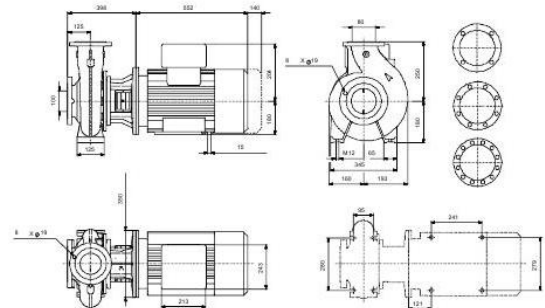
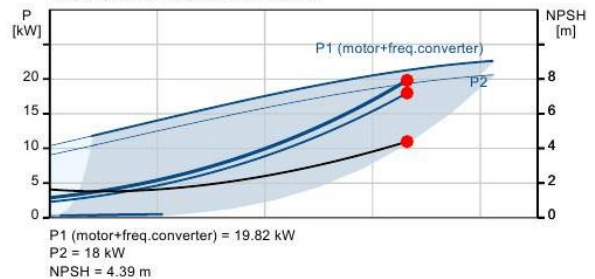
Через те, що випарники живляться за безнасосною схемою, насос підбирається тільки для перекачування холодоносія. Враховуючи результати розрахунку гідравлічної схеми, насос обирається для забезпечення наступних параметрів роботи: напір 28,5 метри водяного стовпа, витрата 165,6 м³/годину. За допомогою Інтернет-ресурсу «Grundfos Product Center» виконано підбір основного і резервного насосів холодоносія з частотним перетворювачем. Обрано марку Grundfos NB 80-200/171. В схемі передбачено встановлення двох насосів – основного і резервного.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

Description	Value
General information:	
Product name:	NB 80-200/171 AAF2AESBAQEQW1
Product No:	On request
EAN number:	On request
Technical:	
Pump speed on which pump data are based:	2878 rpm
Actual calculated flow:	166 m ³ /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
Materials:	
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
Installation:	
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
Liquid:	
Pumped liquid:	Вода
Liquid temperature range:	0 .. 120 °C
Selected liquid temperature:	1 °C
Density:	999.9 kg/m ³
Kinematic viscosity:	1.73 mm ² /s
Electrical data:	
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 m³/h H = 29 m
 n = 98 % (48.6Hz) / 2878 rpm Pumped liquid = Вода
 Density = 999.9 kg/m³ Eta pump = 72.9 %
 Liquid temperature during operation = 1 °C
 Eta pump+motor+freq.converter = 66.2 %



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

6.5 Вибір циркуляційного ресивера

Розрахунок проводився за допомогою спеціалізованої програми Surge-Drum PC2 для ресивера з двома симетричними входами і виходом в центрі. Рівень рідини, який забезпечує живлення пластинчастих випарників, обраний рівним 250 мм. Шляхом послідовного перевірного розрахунку різних співвідношень «діаметр/довжина» обраний варіант з діаметром обичайки 1000 мм і відстанню між вхідними патрубками 2000 мм. Результати роботи програми:

Refrigerant: R717
Evaporating temperature T2: -3.0 C
Refrigerating capacity, Q2: 850.0 kW
Temperature before exp.valve: 32.0 C Gas flow only
Flow rate to compressor: 0.766 kg/s 0.247 m³/s
Flow side A: 0.334 kg/s 0.108 m³/s
Flow side B: 0.432 kg/s 0.139 m³/s
Flash gas flow: 0.098 kg/s 0.031 m³/s
Shell, internal diameter: 1000.0 mm
Total length of shell: 2500.0 mm
Active length of shell: 1000.0 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 dm³
Total liquid charge: 446.1 dm³
Liquid level: 250.0 mm 25.0 % of D
Horizontal gas velocity: 0.220 m/s Allowed 0.670 m/s
Residence time: 4.5 s
Minimum separated droplet: 0.081 mm Wfall 0.165 m/s

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

6.6 Вибір діаметрів аміачних трубопроводів

Розрахунок діаметрів аміачних трубопроводів виконаний в програмі CoolSelector 2 v.5.2.5, яка дозволяє не тільки обчислювати швидкості, але і враховувати гідравлічні втрати.

Вибрані наступні діаметри трубопроводів:

Загальний стояк подачі рідини до пластинчастих випарників – Ду80;

Індивідуальний рідинний трубопровід пластинчастого випарника – Ду50;

Індивідуальний парорідинний трубопровід від пластинчастого випарника – Ду100;

Загальний трубопровід всмоктування сухої пари з циркуляційного ресивера – Ду125;

Трубопровід всмоктування пари до компресора – Ду100;

Нагнітальний трубопровід компресора – Ду65;

Загальний нагнітальний колектор – Ду80;

Трубопровід зливання рідини з конденсатора – Ду50.

Визначення діаметра трубопроводу зливання рідини з конденсатора виконане за умови швидкості у трубі не вище 0,76 м/с [10].

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

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 100 тонн цільного молока і 300 тонн збираного молока на добу.

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

Розрахування 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 обладнання розраховуються як сумарна вартість обладнання та витрати на

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

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 м³ будівлі за укрупненими показниками допоміжних приміщень (компресорний цех) - 12000 грн/м³.

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 KA8581-K	Шт.	2	3,544,100	7,088,200
Пластинчастий теплообмінник M10BW 26,9 м ²	Шт.	2	836,931	1,673,862
Бак-акумулятор 100 м ³	Шт.	6	154,670	928,000
Циркуляційний ресивер	Шт.	1	105,000	105,000
Випарний конденсатор VXC S288	Шт.	1	1,709,850	1,709,850
Насос циркуляційний водяний Grundfos NB 80-200/171	Шт.	2	240,000	480,000
Загальна вартість обладнання			11,984,912	
Транспортні витрати (10%)			1,198,491	
Витрати на монтаж і запуск в роботу (15%)			1,797,737	

Найменування обладнання	Од. вим.	Кіль-ть	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
Витрати на будівельні роботи (10% від капітальних вкладень в будівлі)			1,198,491	
Витрати на проектні роботи (20% від вартості обладнання і будівельних робіт)			2,636,681	
Сумарні капітальні вкладення			18,816,312	

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.

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

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

масла на агрегат складає 100 кг на рік, витрата аміаку - 100 кг на рік. Вартість води 40 грн/м³, добова потреба випарного конденсатора 59 м³. Річна витрата матеріалів складатиме

$$C_M = 200 \cdot 100 \cdot 2 + 100 \cdot 35 + 59 \cdot 40 \cdot 365 = 904\,900 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію

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

$$C_e = 3\,820\,721 \text{ грн}$$

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 10000 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:

$$C_M = (6 \cdot 10000 + 2 \cdot 8500) \cdot (1 + 0,05 + 0,22) \cdot 12 = 1\,173\,480 \text{ грн}$$

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
						98
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 7.2. Витрати за статтею заробітної плати

Найменування посади	Кількість осіб	Заробітна плата, грн.	Річний фонд заробітної плати, грн.
Машиніст, V разряд	6	10000	914400
Слюсар, V разряд	2	7800	259080
Фонд заробітної плати (з урахуванням відрахувань)	1 173 480		

Витрати на амортизацію

Амортизаційні витрати розраховуються за формулою

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

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

Прийняті рівними 15% і 5%;

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

$$C_a = 11\,984\,912 \cdot 0,15 + 5\,184\,000 \cdot 0,05 = 2\,056\,937 \text{ грн}$$

Витрати на поточний ремонт

Витрати на поточний ремонт обчислюються за формулою

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

І складуть

$$C_a = 11\,984\,912 \cdot 0,05 + 5\,184\,000 \cdot 0,02 = 702\,926 \text{ грн}$$

Цехові витрати

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

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

Таблиця 7.3. Цехові витрати

Стаття витрат	Сума, грн
Витрати на матеріали	4 725 621
Витрати на електроенергію	3 820 721
Витрати на заробітну платню	1 173 480
Витрати на амортизацію	2 056 937
Витрати на поточний ремонт	702 926
Експлуатаційні витрати	12 479 685
Інші цехові витрати (20% від експлуатаційних витрат)	2 495 937
Усього	14 975 621

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 $12741 \cdot 3.6 \cdot 365 = 16\,741\,674$ МДж.

Звідки собівартість 1 МДж холоду становить

$$C_0 = \frac{14\,975\,621}{16\,741\,674} = 0,89 \text{ грн/тис. кДж}$$

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 показників, визначається за формулою

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

$$E_T = \frac{P_p - Z_p}{E_H + \rho}, \quad (9)$$

де P_p – вартість, що не змінюється впродовж розрахункового періоду;
 Z_p – витрати, що не змінюються впродовж розрахункового періоду;
 E_H – норматив приведення витрат і результатів, різних за часом. Чисельно дорівнює 0,1;
 ρ – коефіцієнт реновації. При розрахунковому періоді 10 років дорівнює 0,0627.

$$P_p = \sum_{t=t_0}^{tk} C_{kj} \cdot V_{kj}, \quad (10)$$

де C_{kj} – ціна реалізації одиниці продукції k-го виду на місяць j;
 V_{kj} – об'єм реалізації продукції k-го виду на місяць j.

$$Z_p = C + (\rho + E_H) \cdot K, \quad (11)$$

де C – річні поточні витрати на виробництво
 K – одноразові витрати виробництва

$$Z_p = 14\,975\,622 + (0,0627 + 0,1) \cdot 18\,816\,312 = 18\,037\,035,22 \text{ грн}$$

Роздрібна ціна літру молока прийнята рівною 32 грн/літр і незмінною.
Продуктивність молокозавода постійно дорівнює 100 тон на добу.

$$P_p = 100\,000 \cdot 365 \cdot 32 = 1\,168\,000\,000 \text{ грн}$$

$$E_T = \frac{1\,168\,000\,000 - 18\,037\,035,22}{0,1 + 0,0627} = 7\,067\,996\,095,78 \text{ грн}$$

Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект розраховується за формулою

$$\Pi = (C_p \cdot V \cdot (1 - \gamma) - (C_z \cdot V + C)) \cdot k_n, \quad (12)$$

де C_p – ціна реалізації молока, прийнята рівною 32 грн./кг;

C_z – ціна закупівлі молока, прийнята рівною 30 грн./кг;

γ – коефіцієнт врахування втрати продукту. Для молока прийнятий

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

рівним 0.01;

V – річний товарообіг;

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

$$\begin{aligned} \Pi &= (32 \cdot 365 \cdot 100\,000 \cdot (1 - 0,01) - (30 \cdot 365 \cdot 100\,000 + 14\,975\,621,28)) \cdot 0,7 \\ &= 32\,441\,065,10 \text{ грн} \end{aligned}$$

Економічна ефективність (рентабельність) капітальних вкладень дорівнюватиме

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

де $\sum \Pi$ - сумарний прибуток

K – капітальні вкладення

$$E = \frac{32\,441\,065}{14\,975\,621} = 2,17$$

Термін окупності

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

$$T = \frac{14\,975\,621}{32\,441\,065} = 0,46 \text{ року}$$

Вважається, що створення холодильного об'єкта економічно доцільно, якщо $E > 0,15$ і $T < 6,5$. В даному випадку $2,17 > 0,15$ і $0,46 < 6,5$. Отже, створення молокопереробного заводу з акумуляторами холоду має сенс з економічної точки зору.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

Таблиця 7.4. Техніко-економічні показники проекту

№ п/п	Показник	Значення
1	Добова продуктивність, т	100
2	Холодопродуктивність, кВт	850
3	Кількість компресорів, шт	2
4	Встановлена електрична потужність, кВт	250
5	Кількість обслуговуючого персоналу, осіб	8
6	Собівартість 1 тис. кДж холоду, грн.	0,89
7	Капітальні вкладення, тис. грн	18 816,31
8	Експлуатаційні витрати, тис. грн	14 975,62
9	Річний прибуток, тис. грн	32 441,07
10	Термін окупності капітальних вкладень, років	0,46
11	Рентабельність, %	2,17
12	Економічний ефект за розрахунковий період, тис. грн	7 067 996,1

Висновок: термін окупності холодильного об'єкта складає 0,46 роки, рентабельність складає 2,17. Дані показники знаходяться у допустимих межах, отже слід вважати проект будівництва молокозаводу таким, що має доцільність.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Johnson Controls. Valve and Actuator Manual. Section Vb1: Valves, 1994.
2. Danfoss VD.A7.F7.02. Pressure independent balancing and control valve AB-QM DN 10-250. Data sheet
3. Danfoss VN.A3.N2.02. Automatically balanced combination valves AB-QM. Calculation, flow confirmation & pump optimisation. Tech note
4. Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. Л.: Агропромиздат, 1988.
5. Чумак И.Г., Чепурненко В.П. и др. Холодильные установки. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1991. – 495 с.: ил.
6. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/Под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. - 672 с.: ил.
7. 2018 ASHRAE Handbook. Refrigeration. SI edition.
8. Рекомендации по проектированию установок мясной и молочной промышленности ВНИКТИхолодпром, 1987.
9. Baltimore Bulletin D117/3-7 D. VXC evaporative condensers. Selection guide and technical data
10. Baltimore Bulletin D115/3-2. Evaporative condenser engineering manual
11. Danfoss Industrial Refrigeration Ammonia and CO₂ Applications, 2020.
12. Cooltools Chilled water plant design guide, 2009.
13. Terry L. Chapp. Low Ammonia Charge Refrigeration Systems for Cold Storage. White Paper, 2014.
14. Ramesh Paranjpey. Danfoss Ammonia Refrigeration. User Guide. Part 1, 2013.
15. Transfair Engineering. Designing and Prototyping of Refrigerator and Freezer Cooling Circuits, 2007.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104

16. Ling A.L., Mulyandasari V. Compressor Selection and Sizing. Engineering Design Guideline, 2011.
17. Reindl D.T., Jekel T.B. Selection of Screw Compressors for Energy Efficient Operation, International Congress of Refrigeration 2003, Washington, D.C.
18. Пырков В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. К.: Такі справи, 2010.
19. Grundfos. Pump Handbook, 2019.
20. Chapp T.L. Minimizing ammonia charge in industrial refrigeration systems, part 2, HVAC Engineering, September 2015, p. 18-25.

					КРМ.ХУіКП.1.793-03.1.11	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105