

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра технічної теплофізики

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»  
за освітньо-професійною програмою «Холодильні машини і установки»

на тему «Холодильна установка для зберігання плодоовочевої  
продукції з умовної місткістю 150 т»

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Виконавець роботи

Червяченко Марія Костянтинівна

(прізвище, ім'я по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис здобувача)

*В роботі не виявлено текстових,  
ілюстративних та інших запозичень  
без коректного на них посилання*

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Козін В. М.

(прізвище, ініціали)

к.т.н., доцент, ст. викладач кафедри ТТФ

(науковий ступінь, звання, посада)

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ванєєв С. М.

(прізвище, ініціали)

к.т.н., доцент, зав. кафедри ТТФ

(науковий ступінь, звання, посада)

Суми 2022

## ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	4
ЗАВДАННЯ.....	7
РОЗДІЛ 1 «ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПЛОДООВОЩЕСХОВИЩ».....	8
РОЗДІЛ 2 «РОЗРАХУНОК І ОБ'ЄМНОПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ.....	18
2.1 Розрахунок і вибір основних будівельних розмірів камери.....	18
2.2 Планування холодильника.....	19
РОЗДІЛ 3 «КАЛОРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КАМЕРИ ЗБЕРІГАННЯ».....	23
3.1 Розрахунок необхідної товщини теплоізоляції.....	23
3.2 Розрахунок теплонадходжень через огородження.....	29
3.3 Розрахунок теплонадходження від технологічного навантаження.....	31
3.4 Розрахунок вентиляційного теплонадходження.....	32
3.5 Розрахунок експлуатаційних теплонадходжень.....	32
3.6 Розрахунок теплового навантаження на обладнання та компресор.....	33
РОЗДІЛ 4 «РОЗРАХУНОК ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ».....	35
4.1 Розрахунок рівноважної температури в камері.....	35
4.2 Розрахунок рівноважної вологості повітря в камері.....	36
РОЗДІЛ 5 «РОЗРАХУНОК І ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ КАМЕРИ».....	40
5.1 Вибір системи охолодження.....	40
5.2 Підбір приладів охолодження.....	40
5.3 Тепловий розрахунок холодильної машини.....	48

					<b>ХМ 06.00.00.00 ПЗ</b>			
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Холодильна установка для зберігання плодовоовочевої продукції з умовної місткістю 150 т. Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Червяченко				2	68	
Перевір.		Козін						
Конс.								
Н. контр.		Козін				<b>СумДУ, гр. ХК-81/2х</b>		
Затв.		Ванєєв						

5.4 Підбір основного обладнання холодильної установки.....	55
РОЗДІЛ 6 «ОХОРОНА ПРАЦІ».....	59
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	67

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Зберігання сільськогосподарської продукції, її кінцева якість та мінімізація втрат повністю залежать від того, як було проведено будівництво овочесховища. Важливо не тільки виростити врожай, а й зберегти його до надходження споживача. Продумують питання зберігання аграрної продукції ще на етапі проектування відповідної будови. Існуючі сьогодні технології будівництва овочесховища дозволяють:

- створити сприятливі умови утримання будь-яких культур;
- захистити продукцію від негативного впливу природних явищ (вологота теплоізоляція овочесховища);
- оберігати врожаї від знищення птахами та гризунами;
- вести постійний та простий контроль за поточним станом сільськогосподарської продукції;
- створювати оптимальні режими;
- створити умови для сортування товарів, їх калібрування;
- забезпечити найбільший комфорт для проведення закладки продукції та відвантаження товару;
- гарантувати швидкий та якісний процес дезінфекції.
- забезпечити максимальну ефективність зберігання;
- забезпечити тривалість зберігання продукції без відчутних втрат. [1]

Типове овочесховище обов'язково має регулювання вологості. Від цього залежить рівень свіжості продукту. Для багатьох овочів відносна вологість повітря оптимально 85-95%, хоча тут існують відхилення від норми. Типовий проект овочесховища передбачає вологість близько 96-98%, яку вимагають зелені овочі, деякі види яблук, капуста, редис, морква. Для цибулі, часнику, вологість вважається нормою 70-80%. При нестачі вологи лише на 1,5-2,5% проявляється видиме в'янення продукту, зниження маси.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Висока вологість повітря небезпечна тим, що в момент зниження температури відбувається відпотівання, і поява крапель вологи на продуктах призводить до розмноження бактерій та грибка. Для уникнення відпотівання, овочі можна засипати шаром соломи, стружки або іншими матеріалами, що вбирають вологу. Ось чому таке обладнання як парогенератори, зволожувачі повітря, парозволожувачі обов'язково входять у проектування овочесховища. [2]

Сучасні камери вирішують проблему, пов'язану з тривалим зберіганням рослинної продукції – виділенням етилену, який сприяє прискореному дозріванню овочів, їх пожовтіння та розм'якшення, що в результаті стає причиною скорочення терміну зберігання. Для відведення етилену використовується система вентиляції, а також обладнання для створення регульованого газового середовища. [3]

Охолодження рослинних продуктів здійснюється плавно. Таке зниження температури дозволяє забезпечити найкращий стан та зовнішній вигляд, при дбайливому поводженні з цінними властивостями. При нестабільному рівні температури всередині овочів починають активно розвиватися мікроорганізми, що призводить до загибелі плода. [4]

Холодильні камери для зберігання фруктів чутливі до схеми розміщення продукції всередині камери. Фрукти розвантажують у холодильні камери у пластикових або картонних ящиках з урахуванням проходів для персоналу, а також з відступами між ящиками не менше ніж двадцять сантиметрів, а від крайнього ящика до стіни холодильної камери не менше 0.2...0.3 метра. Таке розміщення супроводжує конвекції та рівномірне охолодження всіх плодів в охолоджуваному обсязі. Холодильне обладнання для камер зберігання фруктів може включати один або кілька повітроохолоджувачів. Два і більше охолоджувача повітря використовують при будівництві холодильних камер великого розміру, коли довжина повітряного потоку не достатня, щоб продути всю камеру. Кожен

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

повітроохолоджувач забезпечується окремим терморегулюючим вентиляем, соленоїдний вентиль встановлюється один на лінії нагнітання.

Системи управління холодильних камер обладнуються системами віддаленого моніторингу, такі системи можуть у реальному часі постачати оператора актуальною інформацією про роботу холодильного обладнання, налаштовувати обладнання, повідомляти про неполадки в роботі. Простіші щити управління холодильних камер для фруктів забезпечуються дводатчиковими контролерами Eliwell. Такі системи управління регулюють роботу холодильного компресора, керують подачею рідкого холодоагенту в систему, регулюють цикли відтайки, але не регулюють вологість камери. Кожна холодильна камера потребує регулярного обслуговування: чищення конденсатора повітряного охолодження, настроювання терморегулюючого вентиля перед зимовим або літнім циклом роботи, регулювання тиску фреону в холодильному контурі, планової заміни фільтрів-осушувачів. Такі дії довіряють спеціальним службам із сервісного обслуговування та ремонту холодильного обладнання. [5]

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## ЗАВДАННЯ

Виконати розрахунок та проектування однокамерної холодильної установки на базі сендвіч-панелей для зберігання фруктів умовною місткістю 150 т відповідно до вихідних даних.

### Вихідні дані

Продукт.....фрукти (яблука)  
Тара для харчового продукту.....ящик дерев'яний  
Розміщення у камері.....штабель із застосуванням піддонів  
Холодильна технологія.....зберігання  
Місткість камери умовна.....  $E = 150\text{ т}$   
Початкова температура продукту.....  $t_{\text{поч}} = 18^{\circ}\text{C}$   
Температура надходження продукту до камери.....  $t_{\text{надх}} = 18^{\circ}\text{C}$   
Температура зберігання.....  $t_{\text{зб}} = 4^{\circ}\text{C}$   
Прилади охолодження камери.....повітроохолоджувачі  
Тип системи охолодження камери.....з проміжним теплоносієм  
Теплоносій.....пропіленгліколь  
Регіон розміщення.....м. Суми  
Відносний внутрішній ККД компресора.....  $\eta_{oi} = 0,8$   
Охолодження конденсатора.....повітряне

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1 «ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПЛОДООВОЩЕСХОВИЩ»

Холодильні камери з недавніх пір стають обов'язковою частиною обладнання більшості торгових точок, складських комплексів, центрів реалізації квітів, виробничих цехів підприємств, продукція яких вимагає особливих умов зберігання. Перевага їх у тому, що вони прості у виготовленні, легко монтується власними силами підприємства, не потребує особливого догляду та обслуговування, може будь-якої миті бути демонтована (наприклад, після закінчення терміну оренди складського приміщення або переїзду торгової точки) та встановлена на новому місці без шкоди якості.

Основою пристроїв є сендвіч-панелі для холодильних камер, що випускаються стандартних розмірів та товщини. Це тришарові конструкції на основі пінополіуретану, з двох сторін яких проклеєні оцинковані листи сталі із захисним покриттям. Листи застосовуються гладкі або перфоровані. Пінополіуретан є ідеальним термоізолюючим матеріалом, коефіцієнт теплопровідності якого становить всього  $k=0,022$  Вт/м<sup>2</sup>К, тому стіни цих матеріалів відмінно зберігають внутрішню температуру.

Стандартні розміри сендвіч-панелей дозволяють не тільки просто зібрати корпус пристрою, але й за необхідності розширити його об'єм, вставляючи в готову конструкцію, що знаходиться в експлуатації, додаткові модулі або спеціальні панельні пояси. [6]

### **Товщина**

При виборі товщини панелі важливо врахувати кілька параметрів:

- температурний перепад - максимально можлива дельта між температурою всередині та зовні камери при експлуатації;

					XM 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



- вологість у приміщенні. У приміщеннях з високою вологістю товщину теплоізоляції треба також збільшити для запобігання випаданню конденсату на поверхні панелі.

- Наявність або відсутність сонячної радіації, тобто. потрапляння прямих сонячних променів, наприклад, при установці на вулиці, або потрапляння прямого сонячного світла через вікно у приміщенні.

Точний розрахунок необхідної товщини панелі для холодильної камери може зробити фахівець з урахуванням ще декількох параметрів, але для звичайних, типових випадків зберігання продукції в ресторані, магазині можна орієнтуватися на наступні рекомендації:

- панель 80 мм достатня для холодильної камери (середньотемпературний діапазон зберігання від +10 до -5°C),
- панель 100мм - для морозильної камери (низькотемпературний діапазон зберігання від -15 до -20°C). [7]

### **Теплоізоляція**

Найбільш поширеним варіантом утеплювального матеріалу є пінополіуретан і відносно новий тип утеплювача – поліізоціанурат – що відрізняється вищим рівнем вогнестійкості. Якість теплоізоляції можна визначити за показниками теплопровідності, вони повинні бути в діапазоні 0,019-0,025 Вт\*К/м. Чим менша цифра, тим вищий рівень теплоізоляції. [8]

### **Типи теплоізоляції**

Панелі виготовляються з різними осердями (наповнювач), кожен з яких має різні технічні характеристики, призначення, вагу, щільність та вартість. Сьогодні на вибір представлені наповнювачі з мінеральної вати, пінополіізоціанурату (оновлений пінополіуретан), пінополіуретану, пінополістиролу, змішаний наповнювач.

					XM 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

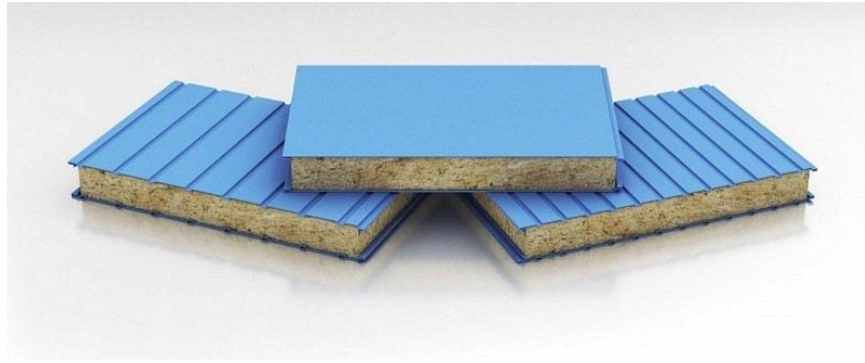


Рисунок 1.1 – Мінеральна вата

Поширений вид утеплювача, що виготовляється із силікатних розплавів та має волокнисту структуру. Цей матеріал популярний у всьому світі, його часто використовують як утеплювач завдяки своїм високим показникам негорючості. Сендвіч-панелі з мінеральною ватою найчастіше застосовують для будівництва будівель підвищеного рівня займання, будівництва виробничих цехів.

Плюси:

- високі показники теплоізоляції;
- негорючість;
- відсутність температурної деформації;

Мінуси:

- велика вага;
- мінімальна вологостійкість;
- поступове зниження теплоізоляційних властивостей;
- підвищена проникність пари.

Панелі з мінватою повсюдно поширені та популярні за рахунок помірної ціни.

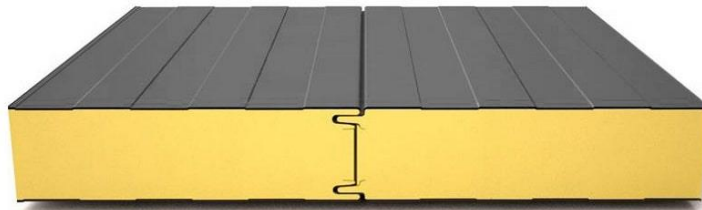


Рисунок 1.2 – Пінополіуретан

					XM 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Ключова перевага – абсолютна стійкість до вологи, низький коефіцієнт теплопровідності, а також довговічність, невелика вага, але в оночас міцність. Пінополіуретан не входить у хімічну реакцію з лугами, різними кислотами. Плити з ППУ використовують для будівництва холодильних камер та зберігання харчових продуктів у них. Це один із найбільш універсальних та безпечних матеріалів. Однак найбільшим недоліком ППУ є їхня горючість. Тому панелі з ним в основі не використовуються для будівництва об'єктів підвищеної небезпеки.

Плюси:

- стійкість до навантажень, деформацій будь-якого характеру (температурні, механічні);
- дуже низька теплопровідність;
- абсолютна стійкість до біологічних та інших впливів;
- довговічність та екологічність;
- стійкість до корозії

Мінуси:

- висока горючість.
- При попаданні прямих сонячних променів стає темним та поступово розсипається.

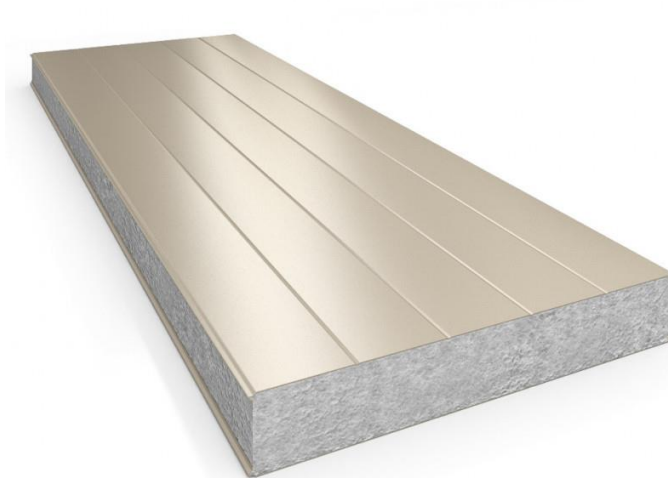


Рисунок 1.3 – Пінополітерол

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Найдешевший матеріал

Плюси:

- високі показники теплоізоляційних та звукоізоляційних властивостей;
- ціна
- менша вага порівняно з мінватою;

Мінуси:

- горючість
- недовговічність
- привабливий для гризунів та птахів. Необхідно закрити доступ металевою обробкою

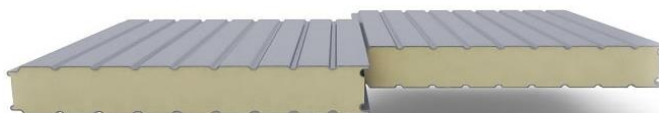


Рисунок 1.4 – Пінополіізоціанурат

Це трішки дорожчий матеріал від пінополіуретану, але на відміну від нього він має покращені характеристики за рахунок технології виробництва. В результаті пінополіізоціанурат більш стійкий до високих температур та вогню.

Плюси:

- мінімальний показник теплопровідності - нижче, ніж в інших матеріалів, що використовуються як утеплювач;
- еластичність, екологічність, міцність;
- стійкість до деформацій;
- дуже висока адгезія з бетоном, металів, склом та іншими матеріалами;
- вогнестійкість, довговічність, стійкість до корозії.

Мінуси:

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- висока ціна;
- вразливий під прямим сонячним промінням.

#### Змішаний утеплювач (комбінований)

Тип утеплювача, який виготовляється з декількох видів матеріалів: мінвати та пінополістиролу. Вони укладаються шарами, склеюються клеєм по всій поверхні. Такий утеплювач має плюси використовуваних матеріалів, але і включає їх мінуси.

#### Типи обшивки сендвіч-панелей

Сендвіч-панелі виготовляються з різними видами обшивки – зовнішніми листами. Тип обшивки підбирається в залежності від цілей, для яких панель використовується.



Рисунок 1.5 – Металева обшивка

Найпоширеніший варіант для будівництва зовнішніх стін із панелей типу сендвіч. Обшивка виготовляється зі сталі (нержавіючої або оцинкованої), покривається полімером і має різний вид профілю - гладкий, накаткою, мікрохвилі або трапецієподібний.

Фанера, гіпсокартон, ДВП, ЦСП

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6 – Фанера, гіпсокартон, ДВП, ЦСП

Такою обшивкою, як правило, покривається один бік панелі. Друга – металом. Панелі з цією обшивкою не використовуються для будівництва зовнішніх стін, а призначені для створення перегородок. Перевага цього типу обшивки полягає у можливості зробити отвори для виведення розетки та прокладання електропроводки, установки декору, полиць тощо.



Рисунок 1.7 – ПВХ-обшивка

Панелі з цією обшивкою застосовуються тільки для внутрішніх робіт: створення перегородок в офісах, будинках. Панелями можна обшивати вікна, двері, укоси. Як утеплювач виступає пінопласт, ППУ або пінополістирол.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

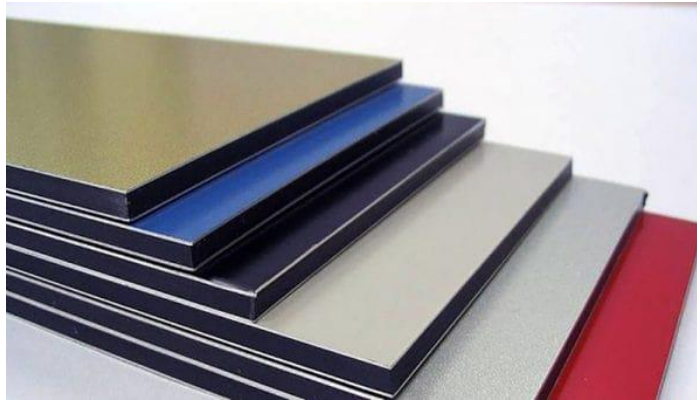


Рисунок 1.8 – Паперова обшивка

Папір просочується бітумом чи доповнюється поліетиленом, фольгою. Панелі з таким видом обшивки можуть використовуватись для теплоізоляції фундаменту, покрівлі, стін. Матеріал виділяється паронепроникністю, тому часто використовується при внутрішній обробці покрівлі. Панелі з цією обшивкою мають малу вагу і допомагають економити під час перевезення та монтажу.

#### **Види замків сендвіч-панелей**

Стінові та облицювальні сендвіч-панелі виготовляються з різними видами замків:

- шип-паз або пазогребневе з'єднання;
- потайне кріплення Secret-fix;
- подвійний затвор Z-Lock;
- Roof lock, фальцевий замок та шип-паз для покрівельних панелей.

#### **Переваги при будівництві**

Сендвіч-панелі в усьому світі вважаються оптимальним будівельним матеріалом через їхню одну з найважливіших переваг - швидкість будівництва. Жодна інша з існуючих технологій не дозволяє так швидко звести запланований об'єкт.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Щоб побудувати склад із сендвіч-панелей площею 200 кв.м., потрібно 2-3 тижні.

Секрет такої швидкості криється в технології: панелі поставляються на будмайданчик у готовому до монтажу вигляді у необхідній кількості. Кріпляться на раніше зібраний металевий каркас шурупами без використання бетону та вологих закріплювачів, які вимагають часу для сушіння.

### **Архітектурна привабливість**

Завдяки різним видам профілю панелі дозволяють реалізовувати будь-які архітектурні рішення в поєднанні з екстер'єром. Ще один плюс - широка різноманітність колірних схем. Крім доступних з каталогу RAL кольорів, панелі прикрашають з імітацією кладки цегли, каменю, дерев'яного зрубу. Це ключовий момент, коли під час будівництва важлива естетика.

### **Геометричні параметри**

Панелі виробляються у кутовій та рівній формі. Кутові можуть бути з асиметричними сторонами для оздоблення кутів, створення стиків між вікнами тощо. Це прискорює монтаж, мінімізує кількість швів, набуває естетики та практичності.

### **Складання-розбирання**

У питанні мобільності сендвіч-панелі є унікальними. Це єдиний будівельний матеріал, який можна розібрати, перевезти та знову зібрати в будь-якому іншому місці. Ця перевага розкриває себе і на момент реконструкції. Наприклад, якщо в період експлуатації панель була пошкоджена, її можна зняти та замінити іншою. Тобто не доведеться повністю розбирати конструкцію.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



## **Недоліки сендвіч-панелей**

Незважаючи на універсальність та практичність матеріалу, він має ряд недоліків, про які слід знати:

- Сендвіч панель менш міцна ніж традиційна цегла, при прямих ударах його легше пошкодити.
- До панелей не можна кріпити додаткові деталі інженерних систем чи конструкції.

## **Побудова із сендвіч-панелей**

Універсальність матеріалу дозволяє використовувати його у будь-яких напрямках. Особливо якщо будується одноповерхова будівля. У цьому випадку сендвіч-панелі – один із найкращих варіантів. З їх допомогою будуються:

- Будь-які промислові, виробничі, сільськогосподарські будинки: склади, ангари, офісні будинки.
- Комерційні об'єкти: логістичні центри, магазини, супер- та гіпермаркети, торгові центри, кіоски, кафе та ресторани, АЗС, СТО.
- Спортивні споруди, спортивні майданчики.
- Приватні будинки, котеджі, дачі, прибудови.
- Холодильні камери. [9]

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2 «РОЗРАХУНОК І ОБ'ЄМНОПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ»

### 2.1 Розрахунок і вибір основних будівельних розмірів камери

Площа, яку займає харчовий продукт у камері зберігання

$$F_{\text{год}} = \frac{E_{\text{ум}}}{q_v \cdot h_{\text{сп}} \cdot \beta} = \frac{150}{0,34 \cdot 3 \cdot 0,76} = 194 \text{ м}^2 .$$

де коефіцієнт, що враховує площу, яку займають проходи, відступи, колони, що дорівнює  $\beta = 0,76$  (для камер від 100 до 400 м<sup>2</sup>);

$q_v = 0,34 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$  – норма завантаження яблук у ящиках на піддонах згідно

[10, Додаток 11];

$h_{\text{сп}}$  – висота вантажу; для камер умовною місткістю від 12 до 125 т

$h_{\text{сп}} = 2 - 3 \text{ м}$ ; задаємося  $h_{\text{сп}} = 3 \text{ м}$ .

Для камер з умовною місткістю від 12 до 150 т висота приміщень одноповерхових холодильників (від чистого полу до низу несучих конструкцій) складає  $h = 4 \text{ м}$ , а сама камера будується з сіткою колон 6 х 6 м.

Отже, середня висота вантажу у камері зберігання не перевищує будівельну висоту холодильної камери. Висота, що залишилася, може бути використана для розміщення приладів охолодження та забезпечення рівномірності циркуляції охолоджуючого середовища по об'єму камери.

Сумарна будівельна площа камер

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\sum F_{\text{б\у\д}} = F_{\text{б\у\д}}^{K36} = 194 \text{ м}^2$$

Будівельна площа допоміжних приміщень

$$F_{\text{доп.п}} = (0,25 \div 0,4) \sum F_{\text{б\у\д}} = 0,25 \cdot 194 = 48,5 \text{ м}^2$$

Будівельна площа машинного відділення

$$F_{\text{м.в}} = (0,1 \div 0,15) \sum F_{\text{б\у\д}} = 0,15 \cdot 194 = 29,1 \text{ м}^2$$

Будівельна площа службових приміщень

$$F_{\text{сл.п}} = (0,05 \div 0,1) \sum F_{\text{б\у\д}} = 0,1 \cdot 194 = 19,4 \text{ м}^2$$

Загальна будівельна площа

$$F_{\text{б\у\д}}^{\text{заг}} = \sum F_{\text{б\у\д}} + F_{\text{б\у\д}}^X + F_{\text{доп.п}} + F_{\text{м.в}} + F_{\text{сл.п}} = 194 + 48,5 + 29,1 + 19,4 = 291 \text{ м}^2$$

Число будівельних квадратів

$$n = \frac{F_{\text{б\у\д}}^{\text{заг}}}{6 \times 12} = \frac{291}{6 \times 6} = 8 = 8 \times 1$$

## 2.2 Планування холодильника

Визначаємо кількість квадратів для кожного приміщення

Кількість квадратів для камери зберігання

$$n = \frac{\sum F_{\text{б\у\д}}}{6 \times 6} = \frac{194}{6 \times 6} = 5,4 \approx 5,5$$

Кількість квадратів для машинного відділення

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$n = \frac{F_{м.б}}{6 \times 6} = \frac{29,1}{6 \times 6} = 0,8 \approx 1$$

Кількість квадратів для допоміжного приміщення

$$n = \frac{F_{доп.п}}{6 \times 6} = \frac{48,5}{6 \times 6} = 1,3 \approx 1$$

Кількість квадратів для службового приміщення

$$n = \frac{F_{сл.п}}{6 \times 6} = \frac{19,4}{6 \times 6} = 0,5$$

Після вибору кількості квадратів можемо спланувати холодильник відносно сторін горизонту, схема якого подана на рис. 2.1.

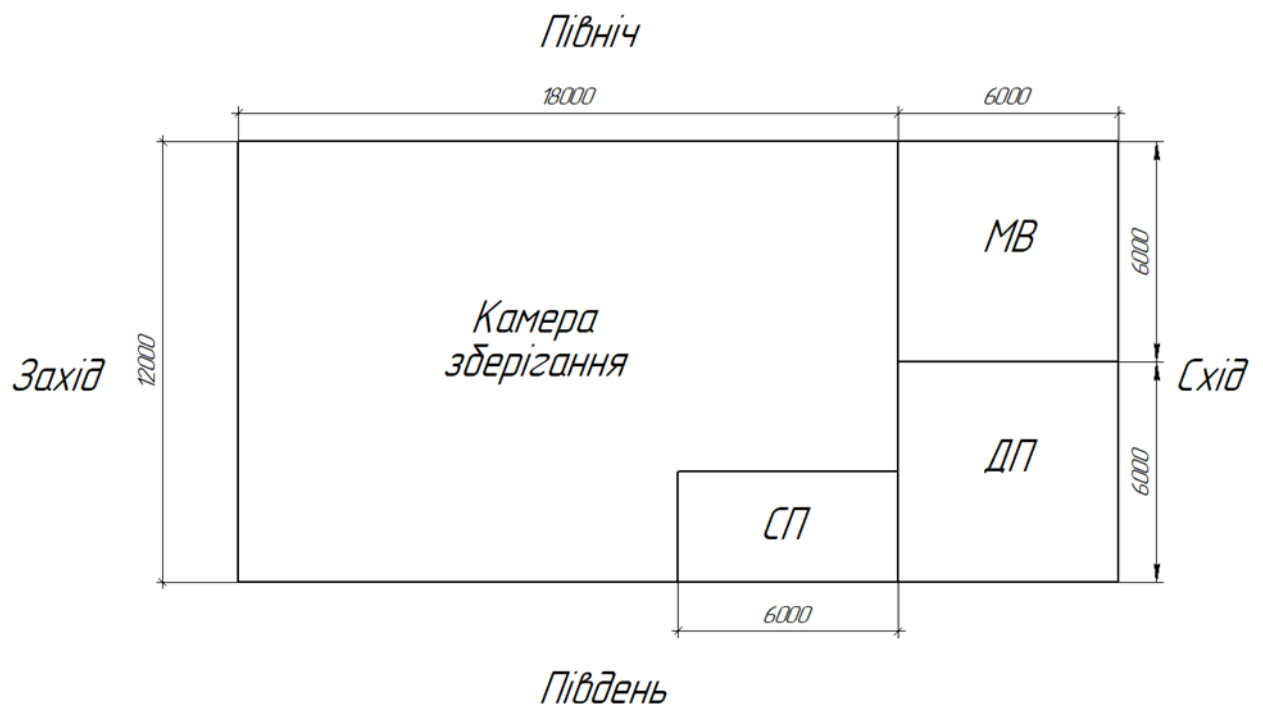


Рисунок 2.1 – План розташування камер однокамерного холодильника

Умовні позначення: ДП – допоміжне приміщення; МВ – машинне відділення;

СП – службове приміщення

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Висоту стін холодильника беремо такою, що дорівнює 4 м.

Згідно умови у камерах фрукти будуть зберігатися у ящиках дерев'яних, що складені у штабель на піддоні.

Розрахуємо необхідну кількість піддонів для камери зберігання.

Пакети вибираємо прямокутної форми з розмірами 1240×824×920 мм (рис. 2).

Об'єм одного піддону становить

$$V_{\text{під}} = 1,24 \cdot 0,824 \cdot 0,92 = 0,94 \text{ м}^3.$$

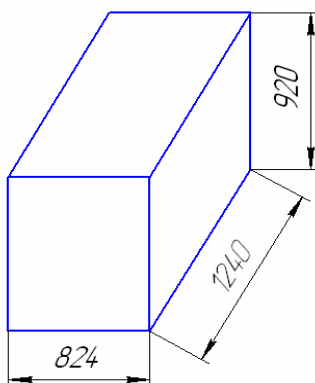


Рисунок 2.2 – Схема пакету

Штабелювання затареного вантажу здійснюємо шляхом укладання ящиків на піддонах.

Габарити піддону узгоджуються з будівельними розмірами камери і виконуються в межах: довжина 4...20 м; ширина 1,2...12 м; висота 3,5...6 м.

Кількість піддонів у камері

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$Z_{\text{конт}} = \frac{E_{\text{ум}}}{q_v \cdot V_{\text{під}}} = \frac{150}{0,34 \cdot 0,94} = 469 \text{ шт}$$

Загальна вантажна площа всіх піддонів

$$F_{\text{вант.шт}} = \frac{Z_{\text{конт}}}{n_{\text{яр}}} \cdot f_{\text{конт}} = \frac{469}{3} \cdot 1,02 = 159 \text{ м}^2$$

де  $n_{\text{яр}}$  – кількість ярусів; задаємося  $n_{\text{яр}} = 3$ ;

$f_{\text{конт}}$  – вантажна площа одного піддону, що обчислюється за даними табл. 2.3 [11] (рис. 2.2).

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3 «КАЛОРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КАМЕРИ ЗБЕРІГАННЯ»

### 3.1 Розрахунок необхідної товщини теплоізоляції

Розрахунок товщини ізоляції зовнішньої стіни камери

$$\delta_{iz} = \lambda_{iz} \left[ \frac{1}{k_{норм}} - \left( \frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \right]$$

1, 3 – лист металу; 2 – утеплювач (пінопласт полістирольний ПСБ-С)

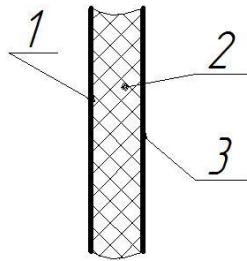


Рисунок 3.1 – Переріз стінки холодильника

Для кожного матеріалу вибираємо відповідні коефіцієнти теплопровідності і товщини:

$$\lambda_1 = \lambda_3 = 46,5 \text{ Вт/(м·К)}; \delta_1 = \delta_3 = 0,0008 \text{ м}; \lambda_{iz} = 0,047 \text{ Вт/(м·К)}$$

$$\delta_{iz} = 0,047 \cdot \left[ \frac{1}{0,44} - \left( \frac{1}{23} + \frac{1}{9} + \frac{2 \cdot 0,0008}{46,5} \right) \right] = 0,1 \text{ м.}$$

Задаємося  $\delta_{iz} = 0,1 \text{ м.}$

Товщиною ізоляції для західної стіни камери задаємося такою самою, як і для північної стіни камери.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{із}}{\lambda_{із}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{1}{9} + \frac{2 \cdot 0,0008}{46,5} + \frac{0,1}{0,047}} = 0,44 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Розрахунок товщини ізоляції для внутрішньої стіни камери, що є суміжною з допоміжним приміщенням та машинним відділенням.

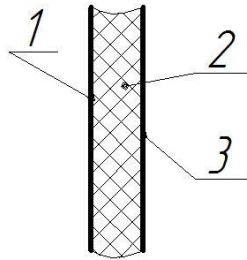


Рисунок 3.2 – Переріз внутрішньої перегородки

Умовні позначення шарів: 1, 3 – лист металу; 2 – утеплювач (пінопласт полістирольний ПСБ-С)

$$\delta_{із} = \lambda_{із} \left[ \frac{1}{k_{норм}} - \left( \frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \right]$$

Для кожного матеріалу вибираємо відповідні коефіцієнти теплопровідності і товщини:

$$\lambda_1 = \lambda_3 = 46,5 \text{ Вт}/(м \cdot К); \delta_1 = \delta_3 = 0,0008 \text{ м}; \lambda_{із} = 0,047 \text{ Вт}/(м \cdot К)$$

$$\delta_{із} = 0,047 \cdot \left[ \frac{1}{0,44} - \left( \frac{1}{9} + \frac{1}{8} + \frac{2 \cdot 0,0008}{46,5} \right) \right] = 0,096 \text{ м}$$

Задаємося  $\delta_{із} = 0,1 \text{ м}$ .

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



$$k_{\partial} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{1}{9} + \frac{2 \cdot 0,0008}{46,5} + \frac{0,1}{0,047}} = 0,42 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Розрахунок товщини ізоляції для внутрішньої стіни камери, що є суміжною з службовим приміщенням.

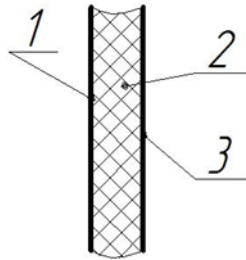


Рисунок 3.3 – Переріз внутрішньої перегородки

Умовні позначення шарів: 1, 3 – лист металу; 2 – утеплювач (пінопласт полістирольний ПСБ-С)

$$\delta_{i3} = \lambda_{i3} \left[ \frac{1}{k_{\text{норм}}} - \left( \frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \right].$$

Для кожного матеріалу вибираємо відповідні коефіцієнти теплопровідності і товщини:

$$\lambda_1 = \lambda_3 = 46,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \delta_1 = \delta_3 = 0,0008 \text{ м}; \lambda_{i3} = 0,047 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$\delta_{i3} = 0,047 \cdot \left[ \frac{1}{0,44} - \left( \frac{1}{9} + \frac{1}{6} + \frac{2 \cdot 0,0008}{46,5} \right) \right] = 0,094 \text{ м.}$$

Задаємося  $\delta_{i3} = 0,1 \text{ м.}$

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}}} = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{9} + \frac{2 \cdot 0,0008}{46,5} + \frac{0,1}{0,047}} = 0,42 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Розрахунок товщини ізоляції для даху камери.

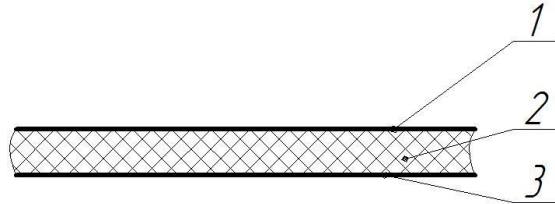


Рисунок 3.4– Шари даху холодильника

Умовні позначення шарів: 1, 3 – лист металу; 2 – утеплювач (пінопласт полістирольний ПСБ-С)

Товщина ізоляції для покриття складатиметься із шару 2

$$\delta_{i3} = \lambda_{i3} \left[ \frac{1}{k_{\text{норм}}} - \left( \frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \right].$$

Для кожного матеріалу вибираємо відповідні коефіцієнти теплопровідності і товщини:

$$\lambda_1 = 46,5 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К}); \quad \delta_1 = 0,0008 \text{ м}; \quad \lambda_3 = 46,5 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К}); \quad \delta_3 = 0,0008 \text{ м};$$

$$\lambda_{i3} = 0,047 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$$

$$\delta_{i3} = 0,047 \cdot \left[ \frac{1}{0,42} - \left( \frac{1}{23} + \frac{1}{9} + \frac{2 \cdot 0,0008}{46,5} \right) \right] = 0,105 \text{ м.}$$

Задаємося найближчою стандарною товщиною шару утеплювача  $\delta_{i3} = 0,12 \text{ м.}$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_d = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}}} = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{1}{9} + \frac{2 \cdot 0,0008}{46,5} + \frac{0,12}{0,047}} = 0,37 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Розрахунок товщини ізоляції для підлоги камери

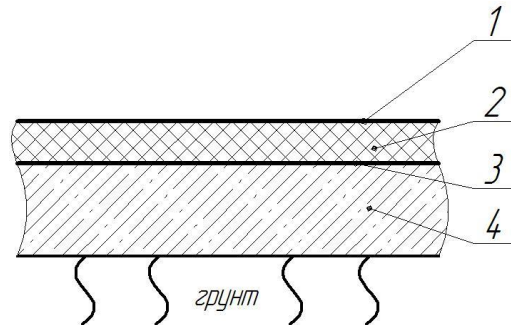


Рисунок 3.5 – Переріз підлоги: 1, 3 – сталевий лист; 2 – утеплювач (пінопласт полістирольний ПСБ-С); 4 – залізобетонна плита; 5 – ґрунт

Товщина ізоляції для покриття складатиметься із шару 2

$$\delta_{i3} = \lambda_{i3} \left[ \frac{1}{k_{\text{норм}}} - \left( \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) \right].$$

Для кожного матеріалу вибираємо відповідні коефіцієнти теплопровідності і товщини:

$\lambda_1 = 46,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \delta_1 = 0,01 \text{ м}; \lambda_3 = 46,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \delta_3 = 0,0008 \text{ м}; \lambda_4 = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \delta_4 = 0,22 \text{ м}; \lambda_{i3} = 0,047 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$

$$\delta_{i3} = 0,047 \cdot \left[ \frac{1}{0,41} - \left( \frac{1}{7} + \frac{0,01}{46,5} + \frac{0,0008}{46,5} + \frac{0,22}{2,04} \right) \right] = 0,1 \text{ м}.$$

Задаємося найближчою стандартною товщиною шару утеплювача  $\delta_{i3} = 0,1 \text{ м}$ .

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}} = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,01}{46,5} + \frac{0,0008}{46,5} + \frac{0,1}{0,047} + \frac{0,22}{2,04}} = 0,41 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт  $m$ , що характеризує відносне зростання термічного опору підлоги за наявності ізоляції

$$m = \frac{1}{1 + 1,25 \cdot \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right)} = \frac{1}{1 + 1,25 \cdot \left( \frac{0,01}{46,5} + \frac{0,0008}{46,5} + \frac{0,1}{0,047} + \frac{0,22}{2,04} \right)} = 0,264.$$

З урахуванням розмірів і кількості піддонів, а також товщини ізоляції холодильника виконуємо схематичну побудову (планування) однокамерного холодильника (рис. 3.1.6). На цьому рисунку також показано необхідні розміри для подальшого розрахунку теплонадходжень.

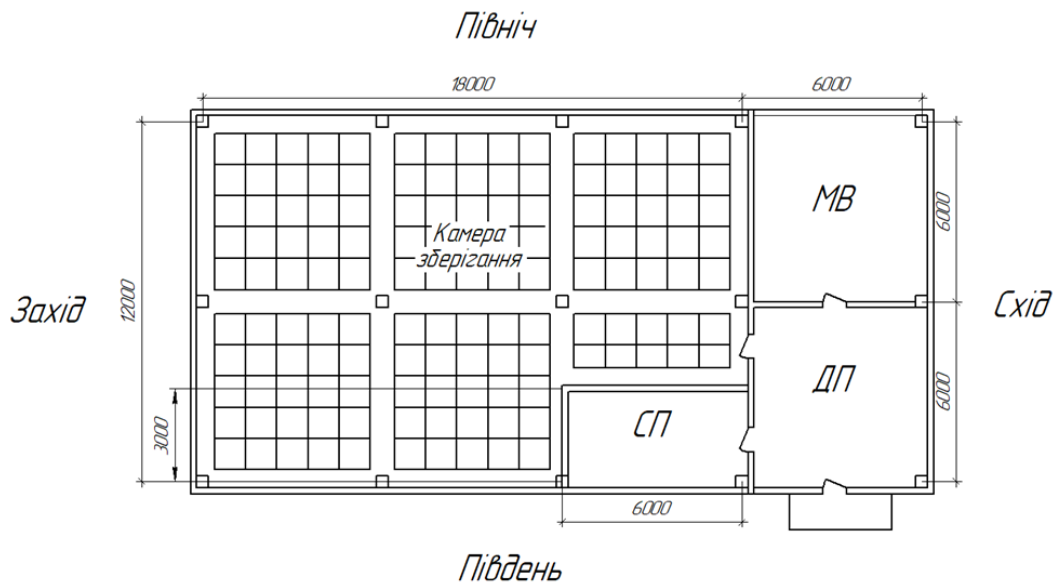


Рисунок 3.6 – Планування однокамерного холодильника

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

### 3.2 Розрахунок теплонадходжень через огороження

Теплонадходження через огороження можна знайти за формулою:

$$Q_1 = Q_{OГP} = Q_{1T} + Q_{1C},$$

де  $Q_{1T}$  – теплонадходження, що зумовлене різницею температур в камері і зовні;  $Q_{1C}$  – теплонадходження, що зумовлене наявністю сонячної радіації.

Знайдемо для кожної стіни, підлоги, даху ці складові теплонадходжень.

Теплонадходження від різниці температур:

– північна стіна:  $Q_{1T}^1 = k_{\partial} \cdot F \cdot (t_3 - t_{кам}) = 0,44 \cdot 12 \cdot 3,6 \cdot (29 - 4) = 475 \text{ Вт}$

– західна стіна:  $Q_{1T}^2 = k_{\partial} \cdot F \cdot (t_3 - t_{кам}) = 0,44 \cdot 12 \cdot 3,6 \cdot (29 - 4) = 475 \text{ Вт};$

– суміжна стіна з СП:  $Q_{1T}^3 = k_{\partial} \cdot F \cdot (t_{тамб} - t_{кам}) = 0,42 \cdot 6 \cdot 3,6 \cdot (18 - 4) = 127 \text{ Вт};$

– суміжна стіна з СП, МВ, ДП:

$$Q_{1T}^4 = k_{\partial} \cdot F \cdot (t_{тамб} - t_{кам}) = 0,42 \cdot 12 \cdot 3,6 \cdot (18 - 4) = 254 \text{ Вт};$$

– дах:  $Q_{1T}^5 = k_{\partial} \cdot F \cdot (t_3 - t_{кам}) = 0,37 \cdot (18 \cdot 12 - 6 \cdot 3) \cdot (29 - 4) = 1832 \text{ Вт};$

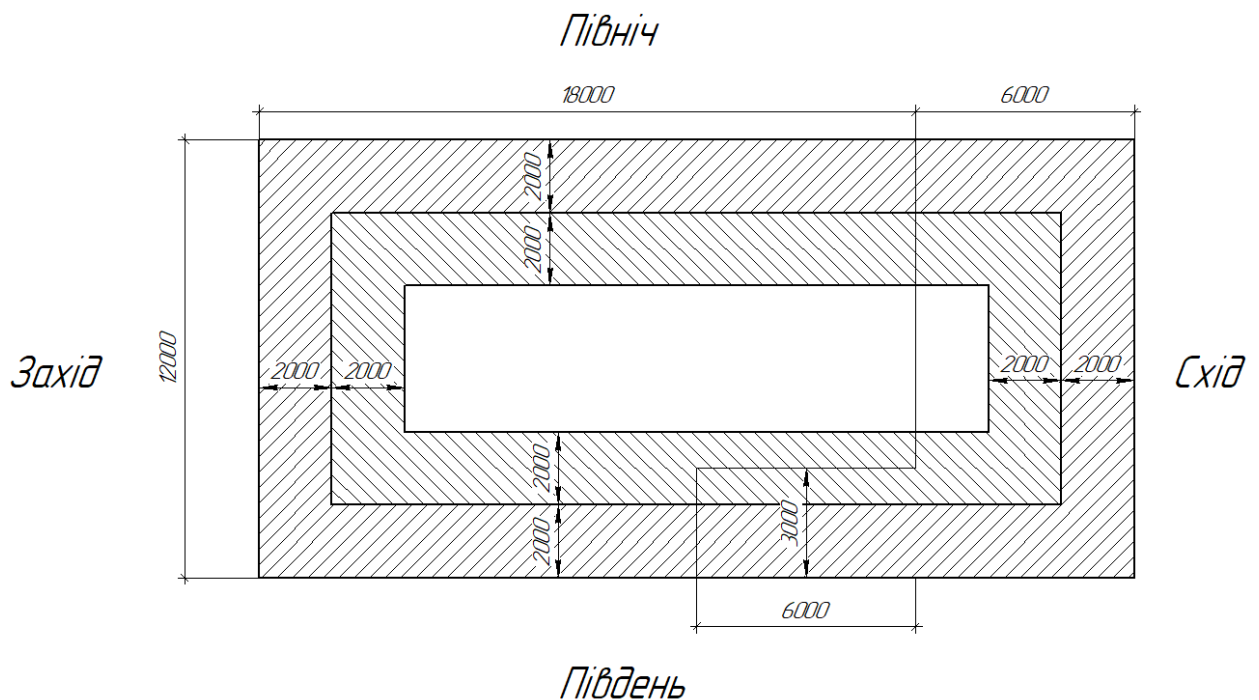


Рисунок 3.7 – Планування підлоги

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

– підлога:

$$\begin{aligned} Q_{IT}^6 &= \left( \sum k_{ум} \cdot F_{ум} \right) (t_z - t_{кам}) \cdot m = \\ &= 0,47 \cdot 84 \cdot (29 - 4) \cdot 0,264 + 0,23 \cdot 68 \cdot (29 - 4) \cdot 0,264 + \\ &+ 0,12 \cdot 56 \cdot (29 - 4) \cdot 0,264 = 408 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Сумарне теплонадходження від різниці температур

$$\begin{aligned} Q_{IT} &= Q_{IT}^1 + Q_{IT}^2 + Q_{IT}^3 + Q_{IT}^4 + Q_{IT}^5 + Q_{IT}^6 = \\ &= 475 + 475 + 127 + 254 + 1832 + 408 = 3571 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Теплонадходження від сонячної радіації

$$Q_{IC} = k_{\rho} F \Delta t_C,$$

де  $\Delta t_C = 0,75 \frac{I \cdot a}{\alpha_s}$  – умовна різниця температур:

– південна стіна:  $\Delta t_C = 0,75 \cdot \frac{384 \cdot 0,4}{23} = 5^{\circ} C \Rightarrow Q_{IC}^1 = 0,42 \cdot 12 \cdot 3,6 \cdot 5 = 91 \text{ Вт};$

– західна стіна:  $\Delta t_C = 0,75 \cdot \frac{465 \cdot 0,4}{23} = 6^{\circ} C \Rightarrow Q_{IC}^2 = 0,44 \cdot 12 \cdot 3,6 \cdot 6 = 114 \text{ Вт};$

– дах:  $\Delta t_C = 0,75 \cdot \frac{640 \cdot 0,9}{23} = 18,6^{\circ} C \Rightarrow Q_{IC}^3 = 0,37 \cdot (18 \cdot 12 - 6 \cdot 3) \cdot 18,6 = 1363 \text{ Вт};$

Сумарне теплонадходження від сонячної радіації для камери

$$Q_{IC} = Q_{IC}^1 + Q_{IC}^2 + Q_{IC}^3 = 91 + 114 + 1363 = 1568 \text{ Вт}.$$

Сумарне теплонадходження через огороження для камери

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_1 = Q_{OГP} = Q_{IT} + Q_{1C} = 3571 + 1568 = 5139 \text{ Вт.}$$

### 3.3 Розрахунок теплонадходження від технологічного навантаження

Теплонадходження від технологічного навантаження

$$Q_2 = Q_{TEХH} = Q_{2ГP} + Q_{2ТАP},$$

де  $Q_{2ГP}$  – теплонадходження від вантажу;  $Q_{2ТАP}$  – теплонадходження від тари.

Теплонадходження від вантажу за умови його доохолодження складає 8 % від місткості камери за умови її місткості до 200 т

$$Q_{2ГP} = 0,08 \cdot E_{ум} \cdot (h_{надх} - h_{вин}) = 0,08 \cdot 150 \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} \cdot (381 - 287) \cdot 10^3 = 13056 \text{ Вт,}$$

де 0,08 – коефіцієнт, що враховує норму надходження вантажів до камери зберігання.

Теплонадходження від тари для камери

$$\begin{aligned} Q_{2ТАP} &= 0,2 \cdot 0,08 \cdot E \cdot C_{вант} \cdot (t_{надх} - t_{вин}) = \\ &= 0,2 \cdot 0,08 \cdot 150 \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} \cdot 2300 \cdot (29 - 4) = 1597 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Теплонадходження від технологічного навантаження для камери

$$Q_2 = Q_{TEХH} = Q_{2ГP} + Q_{2ТАP} = 13056 + 1597 = 14653 \text{ Вт.}$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

### 3.4 Розрахунок вентиляційного теплонадходження

Вентиляційне теплонадходження

$$Q_3 = Q_{\text{ВЕНТ}} = n_{\text{Л}} \cdot V_{\text{норм}} \cdot \rho_{\text{нов}} \cdot C_{\text{нов}} \cdot (t_3 - t_{\text{кам}})$$

Задаємося кількістю працівників у камері – 2 працівники.

Вентиляційне теплонадходження в камері

$$Q_3 = Q_{\text{ВЕНТ}} = 2 \cdot \frac{20}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1005 \cdot (29 - 4) = 335 \text{ Вт.}$$

### 3.5 Розрахунок експлуатаційних теплонадходжень

Теплонадходження експлуатаційне

$$Q_4 = Q_{\text{ЕКСП}} = Q_4^I + Q_4^{II} + Q_4^{III} + Q_4^{IV}$$

Теплонадходження від освітлення

$$Q_4^I = \Sigma N_{oc} = q_{oc} \cdot F_{\text{бод}} = 2,3 \cdot (18 \cdot 12 - 6 \cdot 3) = 455 \text{ Вт};$$

Теплонадходження від працівників

$$Q_4^{II} = q_{\text{Л}} \cdot n_{\text{Л}} = 350 \cdot 2 = 700 \text{ Вт.}$$

Теплонадходження від обладнання задаємося для камери зберігання

$$Q_4^{III} = 3000 \text{ Вт.}$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



Теплонадходження від відкривання дверей

$$Q_4^{IV} = q_{ДВ} \cdot F_{б\gamma\delta} = 3 \cdot 198 = 594 \text{ Вт};$$

Сумарне експлуатаційне теплонадходження камери

$$Q_4 = Q_{ЕКСП} = Q_4^I + Q_4^{II} + Q_4^{III} + Q_4^{IV} = 455 + 700 + 3000 + 594 = 4749 \text{ Вт}.$$

Теплонадходження від фруктів при «диханні»

$$\dot{Q}_5 = \dot{Q}_{ДИХ} = E_{ум} \cdot (0,1 \cdot q_{надх} + 0,9 \cdot q_{зб}) = 150 \cdot (0,1 \cdot 174 + 0,9 \cdot 28) = 6390 \text{ Вт},$$

де  $q_{надх}$  і  $q_{зб}$  – тепловиділення плодів за умови температур надходження та зберігання відповідно.

### 3.6 Розрахунок теплового навантаження на обладнання та компресор

Теплове навантаження на камерне устаткування

Розрахункова формула

$$Q_{0ОБ} = Q_{ОГР} + Q_{ТЕХН} + Q_{ВЕНТ} + Q_{ЕКСП} + \dot{Q}_{ДИХ}.$$

$$Q_{0ОБ} = 5139 + 14653 + 335 + 4749 + 6390 = 31266 \text{ Вт}.$$

Теплове навантаження на компресор

Розрахункова формула:

$$Q_{0КМ} = \frac{1,05 \dots 1,1}{b} (0,8 \cdot Q_{ОГР} + Q_{ТЕХН} + Q_{ВЕНТ} + 0,75 \cdot Q_{ЕКСП} + \dot{Q}_{ДИХ}).$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_{0KM} = \frac{1,1}{b} \cdot (0,8 \cdot Q_{OГP} + Q_{TEXH} + Q_{BEHT} + 0,75 \cdot Q_{EKCI} + \dot{Q}_{ДИX}) =$$

$$= \frac{1,1}{0,92} \cdot (0,8 \cdot 5139 + 14653 + 335 + 0,75 \cdot 4749 + 6390) = 34735 \text{ Вт.}$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		34

## РОЗДІЛ 4 «РОЗРАХУНОК ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ»

### 4.1 Розрахунок рівноважної температури в камері

Вихідні дані, що беремо з попереднього розділу:

- теплонадходження через огороження –  $Q_{ОГР} = 5139 \text{ Вт}$ ;
- теплонадходження від технологічного навантаження –  $Q_{ТЕХН} = 14653 \text{ Вт}$ ;
- теплонадходження від вентиляції –  $Q_{ВЕНТ} = 335 \text{ Вт}$ ;
- експлуатаційні теплонадходження –  $Q_{ЕКСП} = 4749 \text{ Вт}$ ;
- теплонадходження від «дихання» –  $\dot{Q}_{ДИХ} = 6390 \text{ Вт}$ ;
- зовнішня температура –  $t_3 = 29 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура у камері –  $t_{кам} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- відносна вологість в камері –  $\varphi_{кам} = 80 \%$ ;
- температура розсолу –  $t_p = -1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Зовнішні теплонадходження

$$\Sigma Q_{под} = Q_{ОГР} = \Sigma k_d \cdot F_{под} \cdot (t_3 - t_{кам}) = 5139 \text{ Вт}.$$

Внутрішні теплонадходження

$$Q_{вн} = Q_{ТЕХН} + Q_{ВЕНТ} + Q_{ЕКСП} + \dot{Q}_{ДИХ} = 14653 + 335 + 4749 + 6390 = 26127 \text{ Вт}.$$

Теплонадходження, що відводяться

$$\Sigma Q_{от} = \Sigma Q_{огр} + Q_{вн} = 5139 + 26127 = 31266 \text{ Вт}.$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Добуток площі теплообміну на коефіцієнт теплопередачі

$$\sum k_{\delta} \cdot F_{\text{нод}} = \frac{\sum Q_{\text{нод}}}{(t_3 - t_{\text{кам}})} = \frac{5139}{29 - 4} = 205,6 \text{ Вт/К};$$

$$\sum k_{\delta} \cdot F_{\text{от}} = \frac{\sum Q_{\text{от}}}{(t_{\text{кам}} - t_p)} = \frac{31266}{4 - (-1)} = 6253,2 \text{ Вт/К}.$$

З балансу рівнянь виразимо рівноважну температуру

$$\begin{aligned} \sum k_{\delta} \cdot F_{\text{нод}} \cdot (t_3 - t_{\text{кам}}^p) + Q_{\text{вн}} &= \sum k_{\delta} \cdot F_{\text{от}} \cdot (t_3 - t_p) \Rightarrow \\ t_{\text{кам}}^p &= \frac{\sum k_{\delta} \cdot F_{\text{нод}} \cdot t_3 + Q_{\text{вн}} + \sum k_{\delta} \cdot F_{\text{от}} \cdot t_p}{\sum k_{\delta} \cdot F_{\text{от}} + \sum k_{\delta} \cdot F_{\text{нод}}} = \\ &= \frac{205,6 \cdot 29 + 26127 + 6253,2 \cdot (-1)}{6253,2 + 205,6} = 4 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

## 4.2 Розрахунок рівноважної вологості повітря в камері

Рівноважна вологість у камері

$$\varphi_{\text{кам}}^p = \frac{100 + z_{\text{к}} \cdot d_{\text{но}}''}{100 + z_{\text{к}} \cdot d_{\text{кам}}''}.$$

Введений параметр

$$z_{\text{к}} = \frac{828 \cdot \alpha_1 \cdot r(t) \cdot F_0}{\alpha_{\text{нр}} \cdot F_{\text{прод}} \cdot C_p (26,6 + t_{\text{кам}}^p)} = \frac{828 \cdot 5 \cdot 2836 \cdot 250}{1,5 \cdot 218,7 \cdot 1,006 \cdot (26,6 + 4)} = 290661,$$

де  $\alpha_1 = 5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  – коефіцієнт теплопередачі для примусовій циркуляції повітря;

$r(t) = 2836 \text{ кДж/кг}$  – теплота фазового перетворення;

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$C_p = 1,006 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$  – питома теплоємність повітря;

$F_0 = 250 \text{ м}^2$  – площа приладів охолодження;

$F_{np} = 218,7 \text{ м}^2$  – площа поверхні продукту.

Вологовміст у камері

$$d_{\text{кам}} = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{\text{кам}} \cdot P_s(t_{\text{кам}}^p)}{B - \varphi_{\text{кам}} \cdot P_s(t_{\text{кам}}^p)} = 0,622 \cdot \frac{0,8 \cdot 0,813}{100 - 0,8 \cdot 0,813} = 0,0041 \text{ кг} / \text{кг}.$$

Температура інієутворення

$$t_{\text{ин}} = \frac{(\alpha)_{np} \cdot t_{\text{кам}}^p + \frac{\lambda_{\text{ин}}}{\delta_{\text{ин}}} \cdot t_{\text{нов}}}{(\alpha)_{np} + \frac{\lambda_{\text{ин}}}{\delta_{\text{ин}}}},$$

де у момент початку інієутворення  $\tau = 0 \Rightarrow t_{\text{нов}} = t_p + 0,5^\circ\text{C} = -1 + 0,5 = -0,5^\circ\text{C}$ ,  $\delta_{\text{ин}} = 0 \text{ мм}$ .

Вологовміст на поверхні інія

$$d_{\text{пов ин}} = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{\text{нов}} \cdot P_s(t_{\text{нов}})}{B - \varphi_{\text{нов}} \cdot P_s(t_{\text{нов}})} = 0,622 \cdot \frac{1,0 \cdot 0,588}{100 - 1,0 \cdot 0,588} = 0,0037 \text{ кг} / \text{кг}.$$

Зведенний коефіцієнт тепловіддачі

$$(\alpha)_{np} = \alpha_k \cdot \xi + \alpha_l,$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де  $\alpha_l = 1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  – променистий коефіцієнт тепловіддачі;

$\alpha_k = 5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  – конвективний коефіцієнт тепловіддачі.

Коефіцієнт вологовипадіння

$$\xi = 1 + \frac{d_{\text{кам}} - d_{\text{нов}}}{t_{\text{кам}} - t_{\text{нов}}} \cdot \frac{r(t)}{c_{\text{в.п}}} = 1 + \frac{0,0041 - 0,0037}{4 - (-0,5)} \cdot \frac{2836}{1,008} = 1,25,$$

де теплоємність вологого повітря

$$c_{\text{в.п}} = c_p + 1,87 \cdot d_{\text{кам}} = 1,006 + 1,87 \cdot 0,0041 = 1,008 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{К)}.$$

$$\text{Тоді } (\alpha)_{\text{зв}} = \alpha_k \cdot \xi + \alpha_l = 5 \cdot 1,25 + 1 = 7,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Задаємося товщиною інія  $\delta_{\text{ін}} = 1 \text{ мм}$ , тоді  $t_{\text{нов}} = t_{\text{ін}}$ ,  $\lambda_{\text{ін}} = 0,16 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  – коефіцієнт теплопровідності інію.

Температура ініеутворення при  $\delta_{\text{ін}} = 1 \text{ мм}$

$$t_{\text{ін}} = \frac{(\alpha)_{\text{зв}} \cdot t_{\text{кам}}^p + \frac{\lambda_{\text{ін}}}{\delta_{\text{ін}}} \cdot t_{\text{нов}}}{(\alpha)_{\text{зв}} + \frac{\lambda_{\text{ін}}}{\delta_{\text{ін}}}} = \frac{7,2 \cdot 4 + \frac{0,16}{0,001} \cdot (-0,5)}{7,2 + \frac{0,16}{0,001}} = -0,3^\circ \text{C}.$$

Вологовміст біля поверхні інею  $\delta_{\text{ін}} = 1 \text{ мм}$

$$d_{\text{пов ін}} = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{\text{нов}} \cdot P_s(t_{\text{нов}})}{B - \varphi_{\text{нов}} \cdot P_s(t_{\text{нов}})} = 0,622 \cdot \frac{1,0 \cdot 0,6}{100 - 1,0 \cdot 0,6} = 0,00375 \text{ кг / кг}.$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Рівноважна вологість в камері

$$\varphi_{\text{кам}}^p = \frac{100 + z_{\text{к}} \cdot d''_{\text{но}}}{100 + z_{\text{к}} \cdot d''_{\text{кам}}} = \frac{100 + 290661 \cdot 0,0037}{100 + 290661 \cdot 0,0041} = 0,91\% .$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		39

## РОЗДІЛ 5 «РОЗРАХУНОК І ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ КАМЕРИ»

### 5.1 Вибір системи охолодження

Для підтримання необхідних температур у камерах відповідно до вихідних даних вибираємо розсільну схему холодильної установки з холодоносієм – водним розчином пропиленгліколю. Для охолодження холодоносія в випарнику вибираємо одноступеневу парокомпресійну холодильну машину, що працює на холодильному агенті R134a. Для підвищення ефективності роботи холодильної машини та запобіганню потрапляння рідкого холодильного агенту у компресор вибираємо схему з регенеративним теплообмінником.

### 5.2 Підбір приладів охолодження

З метою зменшення усихання фруктів у камері під час їх зберігання та прискорення тривалості процесу виходу камери на стаціонарний режим роботи обираємо прилади охолодження – повітроохолоджувачі низькою швидкістю руху повітря та малим значенням температурного напору  $\Delta t = 4 - 6 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Теплове навантаження на обладнання  $Q_0 = 31266 \text{ Вт}$ . Приймаємо, що охолодження здійснюється за допомогою настінних батарей та повітроохолоджувачів.

Розрахунок настінних батарей, теплове навантаження на яке складає 55% сумарного теплонадходження в камеру.

#### Підбір батарей у камеру зберігання

Площа камери  $198 \text{ м}^2$ ; температура у камері  $t_{\text{кам}} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ ; теплове навантаження на обладнання  $Q_1 = 17200 \text{ Вт}$ .

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



Як прилади охолодження обираємо настінні охолоджуючі батареї зі сталених оребрених труб, що виготовлені з стандартних секцій згідно ГОСТ 17645-78.

Необхідна площа поверхні батарей

$$F_{\text{бат}} = \frac{Q_0}{k_{\text{бат}} \cdot \Delta t} = \frac{17200}{5,0 \cdot 10} = 344 \text{ м}^2,$$

де  $k_{\text{бат}} = 5,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  – коефіцієнт теплопередачі приладу охолодження;

$\Delta t = 10^\circ\text{C}$  – різниця температур.

Таблиця 5.1 – Основні параметри батарей

Стандартні батареї і секції (ГОСТ 17645-78)	Умовн епозна-чення	Розміри, мм			Числ о труб	При кроці ребр 20 мм	
		Довжи-на	Ви-сота	Крок труб		Площа охолоджую чої поверхні, мм	Маса, кг
Одноколекторні	СК	2750	960	160	6	25,1	136,2
Середні	СС	4250	960	160	6	39,0	209,0
Двоколекторні	С2К	4250	960	160	6	39,1	209,0

Відповідно до таблиці 5.1 вибираємо батареї

на північній стіні розташовуємо 4 секції ( 2 середнього типу СС довжиною секції – 4250 мм, шириною – 960 мм, кроком труб – 160 мм, числом труб – 6, площею охолоджуючої поверхні при кроці ребер – 20 мм, – 39 м<sup>2</sup>, маса однієї батареї – 209 кг, 2 одноколекторні типу СК довжиною секції – 2750 мм, шириною – 960 мм, кроком труб – 160 мм, числом труб – 6, площею охолоджуючої поверхні при кроці ребер – 20 мм, – 25,1 м<sup>2</sup>. Маса однієї батареї – 136,2 кг) загальною довжиною 14 м;

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

на західній стіні – 3 секції (2 одноколекторні типу СК довжиною секції – 2750 мм, шириною – 960 мм, кроком труб – 160 мм, числом труб – 6, площею охолоджуючої поверхні при кроці ребер – 20 мм, – 25,1 м<sup>2</sup>. Маса однієї батареї – 136,2 кг, 1 середнього типу СС довжиною секції – 4250 мм, шириною – 960 мм, кроком труб – 160 мм, числом труб – 6, площею охолоджуючої поверхні при кроці ребер – 20 мм, – 39 м<sup>2</sup>, маса однієї батареї – 209 кг) загальною довжиною 9,75 м;

на південній стіні – 3 секції (2 одноколекторні типу СК довжиною секції – 2750 мм, шириною – 960 мм, кроком труб – 160 мм, числом труб – 6, площею охолоджуючої поверхні при кроці ребер – 20 мм, – 25,1 м<sup>2</sup>. Маса однієї батареї – 136,2 кг, 1 середнього типу СС довжиною секції – 4250 мм, шириною – 960 мм, кроком труб – 160 мм, числом труб – 6, площею охолоджуючої поверхні при кроці ребер – 20 мм, – 39 м<sup>2</sup>, маса однієї батареї – 209 кг) загальною довжиною 9,75 м;

на східній стіні – 1 секцію ( двоколекторну типу С2К довжиною секції – 4250 мм, шириною – 960 мм, кроком труб – 160 мм, числом труб – 6, площею охолоджуючої поверхні при кроці ребер – 20 мм, – 39,1 м<sup>2</sup>. Маса однієї батареї – 209 кг) загальною довжиною 4,25 м.

Загальна площа всіх батарей дорівнює 345,7 м<sup>2</sup>.

### **Підбір повітроохолоджувачів в камеру зберігання**

Площа 198 м<sup>2</sup>; температура у камері  $t_{кам} = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$ ; теплове навантаження на обладнання  $Q_2 = 14066 \text{ Вт}$ .

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 – Основні параметри повітроохолоджувачів типу ВОП

Тип	Площа поверхні охолодження, м <sup>2</sup>	Тепловий потік при 0...10°C, Вт
ВОП-50	50	5830
ВОП-75	75	8750
ВОП-100	100	11630

Число повітроохолоджувачів

$$n_{\text{по}} = \frac{\sum \dot{Q}_{\text{от}}}{\dot{Q}_{\text{по}}}$$

$$\text{для ВОП-50, } n_{\text{по}} = \frac{14066}{5830} = 2,4 \approx 3$$

$$\text{для ВОП-75, } n_{\text{по}} = \frac{14066}{8750} = 1,6 \approx 2$$

$$\text{для ВОП-100, } n_{\text{по}} = \frac{14066}{11630} = 1,2 \approx 1$$

Перевіряємо забезпечення коефіцієнта теплопередачі

$$k_{\text{д}} = \frac{\sum k_{\text{д}} \cdot F_{\text{от}}}{\sum F_{\text{от}}} = \frac{6253,2}{6 \cdot 50} = 20,84 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Для подібних повітроохолоджувачів це значення є цілком досяжним.

Остаточню приймаємо модель ВОП-50, 3 шт.

Необхідна площа поверхні повітроохолоджувача

$$F = \frac{\dot{Q}_0}{k \cdot \Delta t},$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де  $k_0 = 20,84 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$  – коефіцієнт теплопередачі для повітроохолоджувача

$$F = \frac{14066}{20,84 \cdot 6} = 113 \text{ м}^2.$$

З метою більш рівномірного розподілу джерел охолодження у холодильній камері підбираємо 3 повітроохолоджувача ВОП-50 ([10, табл. 14.7]). Надлишок поверхні теплообміну дозволить забезпечувати стабільну роботу камери під час пікових температур у теплий період року.

Визначимо достатність циркуляції охолодженого повітря через повітроохолоджувачі.

Задаємося зміною температури у повітроохолоджувачі  $\Delta t_{\text{ПО}} = 2..5 \text{ }^\circ\text{C} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Температура повітря, що надходить до повітроохолоджувача складе

$$t_1 = t_{\text{КАМ}} + \frac{\Delta t_{\text{ВО}}}{2} = 4 + \frac{4}{2} = 6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Питома ентальпія повітря у повітроохолоджувачі

$$h_1 = (1,01 + 1,97 \cdot d_{\text{ПО}}) \cdot t_1 + 2493 \cdot d_{\text{ПО}},$$

$$\text{де } d_{\text{ПО}} = 0,622 \cdot \frac{\phi_{\text{КАМ}} \cdot P_s(t_{\text{КАМ}})}{B - \phi_{\text{КАМ}} \cdot P_s(t_{\text{КАМ}})} = 0,622 \cdot \frac{0,8 \cdot 813}{10^5 - 0,8 \cdot 813} = 0,0041 \text{ кг / кг} \quad -$$

вологівміст повітря при параметрах у камері.

Тоді питома ентальпія повітря на вході до повітроохолоджувача складе

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$h_1 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0041) \cdot 6 + 2493 \cdot 0,0041 = 16,3 \text{ кДж/кг.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки для повітря, що виходить з повітроохолоджувача:

– температура

$$t_2 = t_{\text{КАМ}} - \frac{\Delta t_{\text{ПО}}}{2} = 4 - \frac{4}{2} = 2 \text{ }^\circ\text{C};$$

– питома ентальпія

$$\begin{aligned} h_2 &= (1,01 + 1,97 \cdot d_{\text{ПО}}) \cdot t_2 + 2493 \cdot d_{\text{ПО}} = \\ &= (1,01 + 1,97 \cdot 0,0041) \cdot 2 + 2493 \cdot 0,0041 = 12,3 \text{ кДж / кг.} \end{aligned}$$

Необхідна об'ємна витрата повітря

$$\dot{V}_B = \frac{\dot{Q}_0}{\rho \cdot \Delta h};$$

$$V_B = \frac{14,066}{1,29 \cdot (16,3 - 12,3)} = 2,73 \text{ м}^3/\text{с},$$

де  $\rho = 1,29 \text{ м}^3/\text{кг}$  – густина повітря при нормальних фізичних умовах.

Повітроохолоджувач ВОП-50 укомплектовано двома вентиляторами об'ємною продуктивністю  $0,66 \text{ м}^3/\text{с}$  кожен. При кількості повітроохолоджувачів 3 шт., загальна витрата охолодженого повітря складе

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$3 \cdot 2 \cdot 0,66 = 3,96 \text{ м}^3 / \text{с},$$

що з надлишком забезпечує необхідну витрату повітря, а отже, перепад температур у камері при роботі усіх вентиляторів на номінальному режимі буде меншим.

Додаткові технічні характеристики повітроохолоджувача ВОП-50:

– площа поверхні теплопередачі  $50 \text{ м}^2$ ;

– крок ребер  $13,4 \text{ мм}$ ;

– частота обертання вентилятора  $16,7 \text{ об} / \text{с}$ ;

– потужність приводу вентилятора  $0,4 \text{ кВт}$ ;

– кількість вентиляторів – 2 шт.;

– об'ємна витрата повітря одного вентилятора на номінальному режимі роботи  $0,66 \text{ м}^3 / \text{с}$ ;

– наявність електронагрівачів – так;

– місткість за аміаком  $24,6 \text{ дм}^3$ ;

– маса (без холодоагенту)  $340 \text{ кг}$ .

Теплообмінна поверхня створена на базі сталевих безшовних труб діаметром  $25 \times 2 \text{ мм}$ . Ребра пластинчасті сталеві розміром  $460 \times 140 \times 0,4 \text{ мм}$  посажені на два ряди труб (по 6 труб на кожному ряду). Розміщення труб коридорне з відстанню по осі труб  $76 \times 70 \text{ мм}$ .

Зовнішній вигляд повітроохолоджувача стелевого типу ВОП-50 поданий на рис. 5.1.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

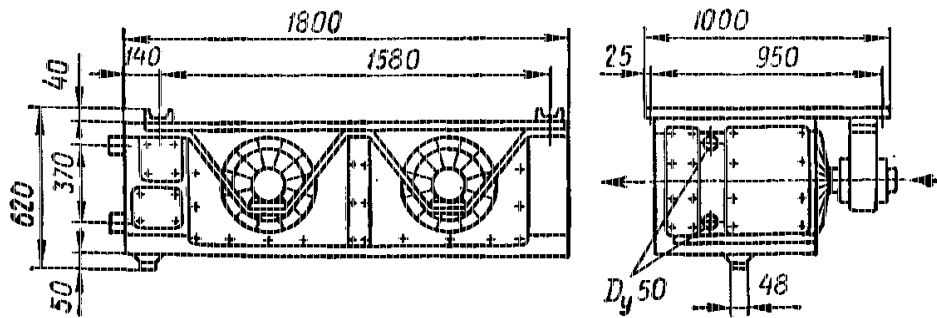


Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд повітроохолоджувача стелевого типу ВОП-50 [12]

З метою визначення потужності компресора, теплового навантаження на теплообмінники (конденсатор, регенеративний теплообмінник) та подальшим вибором обладнання виконаємо тепловий розрахунок одноступеневої парокompресійної холодильної машини. Для розрахунку необхідно знати температури конденсації та кипіння холодильного агенту. Конденсація відбувається у навколишнє середовище за допомогою конденсатора повітряного охолодження. Температура конденсації холодильного агенту

$$t_k = t_{o.c} + \Delta t_n + \Delta t_{HP} = 29 + 6 + 10 = 45 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де  $\Delta t_n$  – нагрівання повітря у конденсаторі;  $\Delta t_{HP}$  – недорекуперація у конденсаторі.

Температура кипіння холодильного агенту

$$t_0 = t_{кам} - \Delta t_{ПО} / 2 - \Delta t_{HP1} - \Delta t_{HP2} = 4 - 4 / 2 - 10 - 5 = -13 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де  $\Delta t_{ПО}$  – нагрівання холодоносія у випарнику;  $\Delta t_{HP1}$  – недорекуперація у приладі охолодження (повітроохолоджувач);  $\Delta t_{HP}$  – недорекуперація у випарнику.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

### 5.3 Тепловий розрахунок холодильної машини

На рис. 5.2 подана принципова схема і цикл в  $p,h$ -координатах одноступеневої парокompресійної холодильної машини.

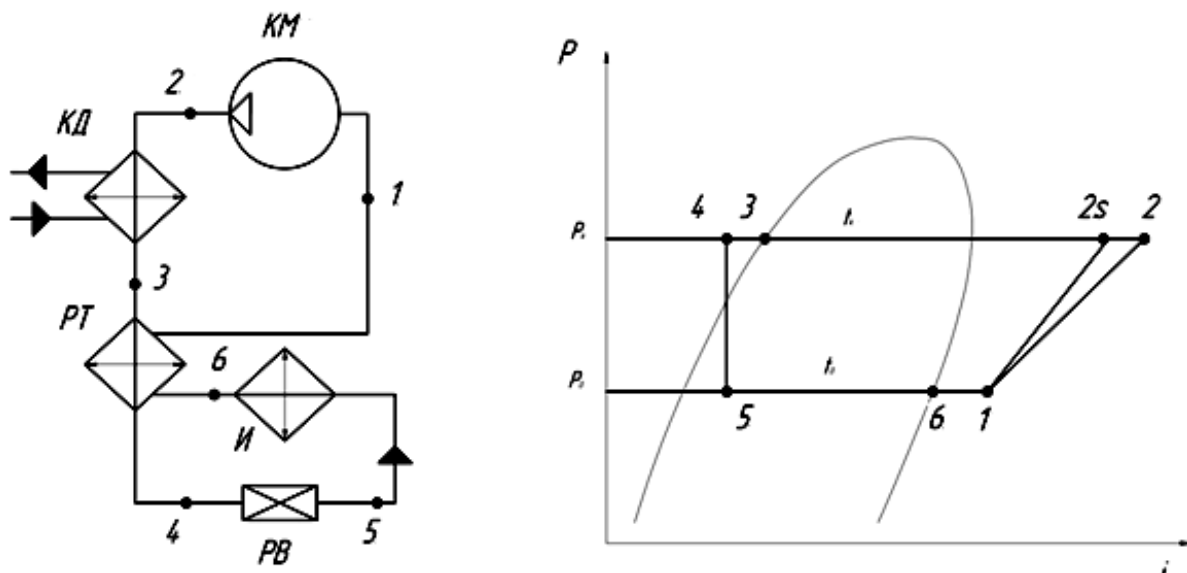


Рисунок 5.2 – Принципова схема і цикл у  $p,h$ -координатах одноступеневої парокompресійної холодильної машини (ПКХМ)

Умовні позначення елементів ПКХМ, подані на рис. 1.1:

$KM$  – компресор;  $KД$  – конденсатор;  $PT$  – регенеративний теплообмінник;  $PВ$  – дросельний вентиль;  $И$  – випарник

Термодинамічні процеси, що утворюють цикл одноступеневої ПКХМ:

1-2 – політропне (дійсне) стиснення пари холодильного агенту в компресорі  $KM$  від тиску кипіння  $p_0$  до тиску конденсації  $p_k$ ;

1-2s – адіабатне (теоретичне) стиснення пари холодильного агенту в компресорі  $KM$  від тиску кипіння  $p_0$  до тиску конденсації  $p_k$ ;

2-3 – ізобарне відведення тепла в конденсаторі  $KД$  за умови тиску  $p_k$ ;

3-4 – переохолодження холодильного агенту за умови тиску  $p_k$  у  $PT$ ;



4-5 – дроселювання холодильного агенту в РВ від тиску  $p_k$  до  $p_0$ ;

5-6 – ізобарне підведення тепла у випарнику В холодильної машини за умови тиску  $p_0$ ;

6-1 – перегрівання пари холодильного агенту у РТ.

Як холодильний агент задаємося R134a.

### Розрахунковий (робочий) режим роботи ПКХМ

Розглянемо регенеративний теплообмінник РТ.

Стан після РТ (т. 4) знаходимо з розгляду виразу теплового балансу РТ

$$h_3 - h_4 = h_1 - h_6,$$

$$h_4 = h_3 - (h_1 - h_6),$$

$$h_4 = 263,9 - (402 - 390,9) = 252,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Дійсні параметри в точці «2»

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{oi}} = 402 + \frac{444 - 402}{0,8} = 455 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

де  $\eta_{oi}$  – відносний внутрішній ККД компресора.

Параметри в вузлових точках циклу ПКХМ наведені в таблиці 5.3.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3 – Параметри циклу у вузлових точках циклу ПКХМ (розрахунковий режим роботи)

Параметры	1	2s	2	3	4	5	6
$t, ^\circ C$	0	65	75	45	39	-13	-13
$p, МПа$	0,178	1,16	1,16	1,16	1,16	0,178	0,178
$h, \frac{кДж}{кг}$	402	444	455	263,9	252,8	252,8	390,9
$x$	–	–	–	0	–	0,347	1
$s, \frac{кДж}{кг \cdot K}$	1,776	1,776	1,81	1,214	1,186	1,213	1,735

Ступінь підвищення тиску у циклі

$$\pi = \frac{p_k}{p_0} = \frac{1,16}{0,178} = 6,52.$$

Отримане значення ступеня підвищення тиску у циклі задовільняє умові застосування одноступеневого поршневого компресора, тому що  $\pi = 6,52 < 8$ .

Питома холодопродуктивність

$$q_0 = h_6 - h_5 = 390,9 - 252,8 = 138,1 \frac{кДж}{кг}.$$

Питоме теплове навантаження на конденсатор

$$q_k = h_2 - h_3 = 455 - 263,9 = 191,1 \frac{кДж}{кг}.$$

Питоме теплове навантаження на РТ

$$q_{PT} = h_3 - h_4 = 263,9 - 252,8 = 11,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Холодопродуктивність

$$\dot{Q}_0 = 31,266 \text{ кВт}.$$

Масова витрата холодильного агенту

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{Q}_0}{q_0} = \frac{31,266}{138,1} = 0,226 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Теплове навантаження на конденсатор

$$\dot{Q}_{KD} = q_K \cdot \dot{m}_a = 191,1 \cdot 0,226 = 43,19 \text{ кВт}.$$

Теплове навантаження на РТ

$$\dot{Q}_{PT} = q_{PT} \cdot \dot{m}_a = 11,1 \cdot 0,226 = 2,51 \text{ кВт}.$$

Питома робота компресора

$$l_K = h_2 - h_1 = 455 - 402 = 53 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Внутрішня потужність компресора

$$N_K = l_K \cdot \dot{m}_a = 53 \cdot 0,226 = 12 \text{ кВт}.$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

### Електрична потужність двигуна компресора

$$N_{el} = \frac{N_K}{\eta_{el} \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_{мех}} = \frac{12}{0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,95} = 13,86 \text{ кВт},$$

де  $\eta_{el}$  – електричний ККД двигуна;  $\eta_{пер}$  – механічний ККД передачі між двигуном і валом компресора;  $\eta_{мех}$  – механічний ККД, що враховує втрати на тертя у елементах компресора, що мають безпосередній контакт.

Коефіцієнт термотрансформації циклу ПКХМ за електричною потужністю

$$COP_e = \frac{\dot{Q}_0}{N_{el}} = \frac{31,266}{13,86} = 2,26.$$

### Стандартний режим роботи ПКХМ

Для середньотемпературного стандартного режиму задаємося температурами:

$$t_0 = -15^\circ\text{C}; t_k = 30^\circ\text{C}; t_n = 25^\circ\text{C}; t_{ec} = 0^\circ\text{C}.$$

Таблиця 5.4 – Параметри циклу у вузлових точках циклу ПКХМ (стандартний режим роботи)

Параметры	1	2s	2	3	4	5	6
$t, ^\circ\text{C}$	0	51	61	30	25	-15	-15
$p, \text{МПа}$	0,164	0,770	0,770	0,770	0,770	0,164	0,164
$h, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	402	437	446	241,7	234	234	389,6
$x$	–	–	–	0	–	0,260	1
$s, \text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{K})$	1,784	1,784	1,813	1,143	1,120	1,213	1,737

Ступінь підвищення тиску у циклі за умови стандартного режиму роботи

$$\pi = \frac{p_k}{p_0} = \frac{0,770}{0,164} = 4,7.$$

Отримане значення ступеня підвищення тиску у циклі задовільняє умові застосування одноступеневого поршневого компресора, тому що  $\pi = 4,7 < 8$ .

Дійсні параметри в точці «2»

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{oi}} = 402 + \frac{437 - 402}{0,8} = 446 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Питома холодопродуктивність

$$q_0 = h_6 - h_5 = 389,6 - 234 = 155,6 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Питоме теплове навантаження на конденсатор

$$q_K = h_2 - h_3 = 446 - 241,7 = 204,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Питоме теплове навантаження на РТ

$$q_{РТ} = h_3 - h_4 = 241,7 - 234 = 7,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Холодопродуктивність

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\dot{Q}_0 = 31,266 \text{ кВт}.$$

Масова витрата холодильного агенту

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{Q}_0}{q_0} = \frac{3,266}{155,6} = 0,2 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Теплове навантаження на конденсатор

$$\dot{Q}_{\text{кд}} = q_{\text{к}} \cdot \dot{m}_a = 204,3 \cdot 0,2 = 41,0 \text{ кВт}.$$

Теплове навантаження на РТ

$$\dot{Q}_{\text{РТ}} = q_{\text{РТ}} \cdot \dot{m}_a = 7,7 \cdot 0,2 = 1,54 \text{ кВт}.$$

Питома робота компресора

$$l_{\text{к}} = h_2 - h_1 = 446 - 402 = 44 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Внутрішня потужність компресора

$$N_{\text{к}} = l_{\text{к}} \cdot \dot{m}_a = 44 \cdot 0,2 = 8,8 \text{ кВт}.$$

Електрична потужність двигуна компресора на стандартному режимі роботи

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$N_{el} = \frac{N_K}{\eta_{el} \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_{мех}} = \frac{8,8}{0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,95} = 10,16 \text{ кВт},$$

Коефіцієнт термотрансформації циклу ПКХМ на стандартному режимі роботи

$$COP_e = \frac{\dot{Q}_0}{N_{el}} = \frac{31,266}{10,16} = 3,07.$$

Подальший розрахунок будемо виконувати для робочого режиму, тому що потужність електродвигуна є більшою.

#### 5.4 Підбір основного обладнання холодильної установки

##### Підбір компресорно-конденсаторного агрегату

Використовуючи каталог компанії Bitzer [13], за відомою величиною холодопродуктивності  $\dot{Q}_0 = 31,266 \text{ кВт}$ , холодильним агентом R134a, температурою кипіння  $t_0 = -13 \text{ }^\circ\text{C}$ , температурою всмоктування  $t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  і температурою навколишнього середовища  $t_{o,c} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$  вибираємо компресорно-конденсаторний агрегат на основі поршневого компресора з вбудованим електродвигуном та конденсатора повітряного охолодження, модель LN135E/6HE-28Y-40P. Його основні характеристики: холодопродуктивність 33,8 кВт (запас дозволяє забезпечити пікові коливання холодопродуктивності), споживана електрична потужність за умови підключення до мережі змінного струму напругою 380-420В – 13,88 кВт, температура конденсації 44,5  $^\circ\text{C}$ , масова витрата холодильного агента 858 кг/год = 0,238 кг/с.

Зовнішній вигляд компресорно-конденсаторного агрегату поданий на рис. 5.3.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

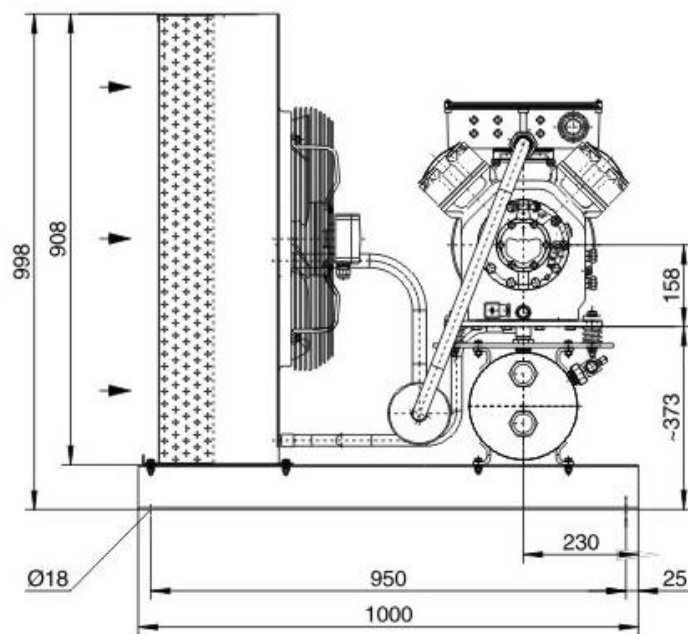
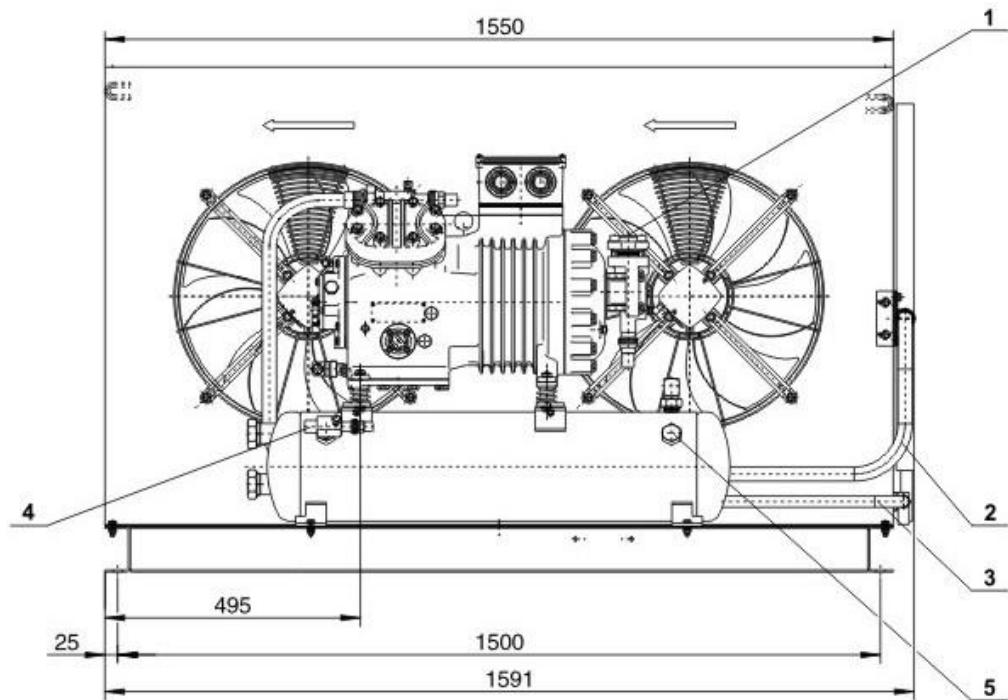


Рисунок 5.3 – Компресорно-конденсаторний агрегат  
LN135E/6HE-28Y-40P [13]

### Підбір випарника

Випарник слугує для охолодження пропіленгліколя, що подається до повітроохолоджувачів. Відбирання тепла реалізується за рахунок кипіння холодильного агента.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		56



Підбір виконуємо за такими вихідними даними:

- холодопродуктивність  $\dot{Q}_0 = 31,266 \text{ кВт}$ ;
- температура кипіння холодильного агента  $t_0 = -13^\circ \text{C}$ ;
- початкова температура пропіленгліколю  $t_2' = -4^\circ \text{C}$ ;
- кінцева температура пропіленгліколю  $t_2'' = -8^\circ \text{C}$ .

Середній логарифмічний температурний напір у апараті

$$\Delta t = \frac{t_2' - t_2''}{\ln \frac{t_2' - t_0}{t_2'' - t_0}} = \frac{-4 - (-8)}{\ln \frac{-4 - (-13)}{-8 - (-13)}} = 6,8^\circ \text{C}.$$

Оцінює значення коефіцієнта теплопередачі апарату

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{кип}}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{\text{конв}}}} = \frac{1}{\frac{1}{700} + \frac{0,002}{93} + \frac{1}{1500}} = 471 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

де  $\alpha_{\text{кип}}$  – оцінює значення середнього коефіцієнта тепловіддачі при кипінні органічних речовин (холодильний агент);

$\alpha_{\text{конв}}$  – оцінює значення середнього коефіцієнта тепловіддачі при вимушеній конвекції в трубах для органічних середовищ;

$\delta_c$  – товщина стінки поверхні теплообміну;

$\lambda_c$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу поверхні теплопередачі (задаємося латунь).

Підбираємо кожухотрубний випарник з нерухомою трубною решіткою горизонтальний типу ИТГ.

Необхідна площа поверхні теплопередачі випарника

$$F = \frac{\dot{Q}_0}{k \cdot \Delta t} = \frac{31,266 \cdot 10^3}{471 \cdot 6,8} = 9,76 \text{ м}^2.$$

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Підбираємо горизонтальний кожухотрубний випарник затопленого типу з нерухомою трубною решіткою типу ИТГ-10 (ГОСТ 15119-79), що має такі технічні характеристики:

- площа поверхні теплопередачі 10 м<sup>2</sup>;
- поверхня теплопередачі – труби 25 × 2 мм;
- кількість ходів по трубному просторі – 2;
- теплоносій у трубному просторі – пропіленгліколь;
- теплоносій у трубному просторі – холодильний агент R134a;
- діаметр кожуха – 325 мм;
- довжина труби апарату – 1,5 м;
- загальна кількість труб – 56 шт.

Зовнішній вигляд випарника типу ИТГ поданий на рис. 5.4.

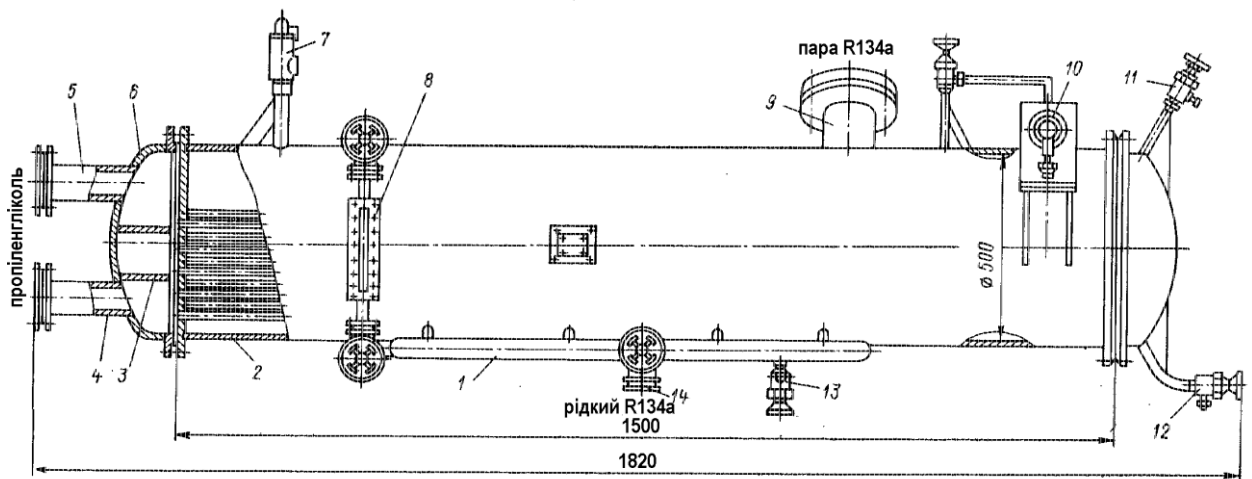


Рисунок 5.4 – Зовнішній вигляд фреонового випарника типу ИТГ затопленого типу

Умовні позначення до рис. 5.4: 1 – рідинний колектор; 2 – обичайка; 3 – перегородки; 4, 5 – штуцери для входу та виходу пропіленгліколю; 6 – кришка; 7 – запобіжний клапан; 8 – показчик рівня; 9, 14 – штуцери для виходу та входу холодильного агенту (R134a); 10 – манометр; 11 – кран для спускання повітря; 12 – кран для спускання пропіленгліколя; 13 – вентиль для спускання мастила.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		58

## РОЗДІЛ 6 «ОХОРОНА ПРАЦІ»

### Загальні вимоги

Охорона праці та техніка безпеки на підприємстві включають комплекс заходів, метою яких є забезпечення безпеки і збереження здоров'я працівників, зайнятих виконанням своїх трудових обов'язків. Основні нормативні вимоги щодо цього наведено у Трудовому кодексі. Також діє ціла низка спеціалізованих нормативних актів галузевого та міжгалузевого характеру.

Заходи з охорони праці та техніка безпеки спрямовані на запобігання травмам працівників та виключенню ситуацій, наслідком яких може стати нещасний випадок або аварія. При цьому на різних підприємствах вимоги техніки безпеки та комплекс необхідних заходів можуть суттєво відрізнятися у зв'язку з галузевими особливостями.

Особи, що несуть відповідальність за дотримання вимог норм техніки безпеки обов'язково проводять інструктаж з охорони праці та техніки безпеки на всьому підприємстві, а також безпосередньо на робочих місцях, де цього вимагає обладнання, що використовується. Однією з обов'язкових вимог охорони праці та техніки безпеки на підприємстві є візуалізація найбільш небезпечних ділянок виробництва та заходів щодо запобігання виробничому травматизму. Як правило, з цією метою на робочих місцях розвішують плакати та наочні посібники.

### 6.1 Вимоги охорони праці до виробничих приміщень

- Забороняється загороджувати проходи та проїзди всередині будівель (споруд), виробничих приміщень для забезпечення безпечного пересування працівників та проїзду транспортних засобів.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		59

- Переходи, сходи, майданчики та перила до них повинні утримуватися у справному стані та чистоті, а розташовані на відкритому повітрі – очищатися у зимовий час від снігу та льоду та посипатися піском.
- Настили майданчиків та переходів, а також поручні до них повинні надійно зміцнюватися. На період ремонту замість знятих перил повинна бути тимчасова огорожа. Поручні та настили, зняті на час ремонту, після закінчення негайно встановлюються на місце.
- Приміщення холодильних установок повинні відповідати вимогам санітарно-гігієнічного законодавства України.
- Балони з холодоагентом мають зберігатися на спеціальному складі.
- Забороняється розміщувати балон із холодоагентом біля джерел тепла (печей, опалювальних пристроїв, парових труб) та струмопровідних кабелів та проводів.
- Розміщення та зберігання у машинному відділенні холодильних установок сторонніх предметів не допускається.

## **6.2 Вимоги охорони праці до розміщення холодильного обладнання**

1. Забороняється розміщувати в одному приміщенні з холодильною установкою обладнання з температурою поверхні вище 300 °С, з відкритим полум'ям або вибухонебезпечним.
2. У машинних відділеннях холодильних установок для обслуговування холодильного обладнання та арматури, розташованих на висоті понад 1,8 м від підлоги, передбачаються металеві майданчики зі сходами та огорожею (перилами) заввишки не менше 0,9 м із суцільною металевою зашивкою по низу ( бортиком) заввишки не менше 0,1 м-кodu.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

3. Дозволяється не влаштовувати майданчик для одиночної арматури, що рідко використовується, розташованої вище 1,8 м від підлоги. В цьому випадку арматура обслуговується з переносної драбини.
4. Двері машинних та апаратних відділень холодильних установок, а також охолоджуваних приміщень (камер) виконуються назовні, що відкриваються, у бік виходу.
5. Холодильні камери з температурою 0 °С і нижче обладнуються системою світлозвукової сигналізації «людина в камері», сигнал від якої надходить у приміщення (місце), в якому знаходиться черговий у складі обслуговуючого персоналу.
6. Для екстреного відключення електроживлення всього обладнання (крім аварійної вентиляції та освітлення) неагрегатованих холодильних установок (компресори, насоси, вентилятори) біля одного з виходів з машинного відділення монтується кнопка червоного кольору загального аварійного відключення.
7. Для захисту працівників від наслідків можливих руйнувань елементів обладнання та трубопроводів холодильних установок внаслідок неякісного монтажу, підвищення тиску, фізичного зносу слід передбачати системи та прилади протиаварійного автоматичного захисту, а також забезпечувати своєчасне огляд судин (апаратів), що працюють під надлишковим тиском та входять до складу холоду. установок та трубопроводів.
8. Системи та прилади контролю, управління та протиаварійного автоматичного захисту розміщуються у місцях, зручних та безпечних для обслуговування. У цих місцях виключаються вібрація, механічні та інші шкідливі впливи, що впливають на точність, надійність та швидкодію систем та приладів.

### 6.3 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

При експлуатації холодильних установок можливий вплив на працівників низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, у тому числі: осколків обладнання, що розлітаються, і струменів холодоагенту (рідкого, газоподібного під тиском), холодоносіїв при можливих руйнуваннях елементів обладнання та трубопроводів (компресори, насоси, вентилятори); підвищеної або зниженої температури поверхонь обладнання та трубопроводів; замикання електричних кіл через тіло людини; недостатньої освітленості робочих зон та ін.

Для обслуговування обладнання, трубопроводів, арматури та інших елементів холодильних установок, що розташовані на висоті вище 1,8 м від підлоги (землі), повинні передбачатися відповідні майданчики, драбини, драбини.

Для захисту працівників від наслідків можливих руйнувань елементів обладнання та трубопроводів холодильних установок слід зокрема передбачати: прилади протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ); запобіжні пристрої тиску; своєчасний огляд апаратів (судин) та трубопроводів.

У машинних відділеннях із централізованими холодильними установками постійного чи нецілодобового обслуговування передбачається вакуум-насос. Необхідність та типорозмір вакуум-насоса вирішуються проектною документацією. Для аварійного (ремонтного) звільнення від холодоагенту охолодних пристроїв, судин та апаратів у централізованих (розгалужених) схемах холодозабезпечення з постійним або некруглодобовим обслуговуванням передбачається дренажний ресивер або колектор для зливу холодоагенту в балони. Трубопроводи з холодоагентом або холодоносієм у холодильних камерах та інших приміщеннях споживачів холоду повинні прокладатися без перетину вантажного обсягу, таким чином, щоб була виключена можливість

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

пошкодження їх вантажами, що переміщуються, або транспортними засобами. Забороняється з'єднувати між собою перемичками технологічні трубопроводи для холодильних установок (машин) з дозованою зарядкою. Дозволяється об'єднувати лише допоміжні трубопроводи, якщо це не суперечить технічним документам організації-виробника обладнання. Гирло трубопроводу для аварійного викиду холодоагенту у передбачених випадках від запобіжних клапанів в атмосферу має бути віддалено від вікон, дверей, повітроприймальних отворів і розташовуватися вище за них не менше ніж на 2 м і не більше ніж у 5 м від рівня землі. Струю холодоагенту, що випускається, не допускається спрямовувати вниз, гирло труби повинно бути захищене від атмосферних опадів. Висота від підлоги до виступаючих частин устаткування, трубопроводів, арматури в проходах машинних відділень має бути менше 2 м.

Слід передбачати приміщення чи місце для чергової зміни працівників, які обслуговують холодильну установку. Двері машинних та апаратних відділень, а також охолоджуваних приміщень (камер) повинні відчинятися назовні, у бік виходу. У машинних (апаратних) відділеннях для обслуговування холодильного обладнання та арматури, що розташовані на висоті вище 1,8 м від підлоги, повинні передбачатися металеві майданчики з огорожею та сходами. Огородження повинні бути висотою не менше 1 м, внизу повинна бути суцільна металева зашивка (бортик) висотою не менше 15 см. Дозволяється не влаштовувати майданчик для одиночної арматури, що рідко використовується, розташованої вище 1,8 м від підлоги. В цьому випадку арматура обслуговується з переносної драбини. Для зберігання балонів з холодоагентом передбачається склад відповідно до чинної нормативної документації. У приміщеннях, де встановлено холодильне обладнання, дозволяється влаштовувати канали, які повинні закриватися врівень із підлогою спеціальними плитами або металевими рифленими листами, або мати огорожу. Підлоги повинні бути

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

рівними, з незгоряного матеріалу, що не піддаються швидкому зносу, маслостійкими та неслизькими. У машинних відділеннях передбачаються каналізаційні трапи видалення стічних вод з урахуванням вимог санітарних норм.

Штоки вентилів мають бути закриті захисними ковпаками. На холодильних установках із заправкою 2,5 кг хладагента та більш запірні вентиля рекомендується встановлювати на ресивері на вході та виході хладагента. У разі заводського постачання компресорно-конденсаторного агрегату встановлення вентиля на вході холодоагенту в ресивер не обов'язкове. Частина обладнання, що рухаються, повинні мати захисні огорожі. [14]

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		64



## ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної роботи було спроектовано холодильну установку, яка містить холодильну камеру для зберігання фруктів із використанням сендвіч-панелей. За теплотехнічними характеристиками сендвіч-панелі перевершують традиційні будівельні матеріали (цегла, дерево, бетон) приблизно в 10 разів, щодо маси, то вона менша у 10 – 20 разів, що дає змогу знизити навантаження на фундамент. Також знижуються й витрати на транспортування – немає потреби у перевезенні важких залізобетонних панелей або цегли. Сендвіч-панелі – недорогі та надійні конструкції, вони дозволяють заощаджувати буквально на кожному етапі будівництва, причому не лише гроші, а й час. Їхня оболонка виготовляється з хорошим і надійним антикорозійним покриттям, матеріал утеплювача має низьку теплопровідність, мінімальне вологопоглинання, достатню механічну міцність, високу довговічність. А сама сендвіч-панель стійка до шкідливого ультрафіолетового випромінювання, атмосферних та механічних впливів. Крім того, через сендвіч-панелі легко прокладаються будь-які комунікації: свердлити або різати цю конструкцію значно легше, ніж залізобетонні панелі.

Як холодильна машина була обрана одноступенева парокомпресійна з регенеративним теплообмінником. Застосування у циклі регенерації тепла дозволило збільшити питому холодопродуктивність циклу, захистити компресор холодильної машини від можливого «вологого ходу» та покращити ефективність циклу. Як холодильний агент R134a – це речовина без запаху та кольору. Вважається найбезпечнішим з'єднанням з погляду екології, оскільки не містить бромовмісних та хлоровмісних фреонів, негативно впливають на склад атмосфери, руйнують озоновий шар. Друга позитивна якість, якою обумовлено широке застосування цього холодоагенту – нетоксичність.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

У роботі відповідно до вихідних даних та завдання було виконано розрахунок і планування холодильної камери. Теплове навантаження на холодильну установку було визначене з калоричного розрахунку охолоджуваних приміщень. У результаті теплового розрахунку холодильного циклу було отримано термічні параметри холодильного агенту у характерних точках циклу, розраховано витрату холодильного агенту та усі теплові навантаження апаратів і потужність компресора. За цими показниками було виконано підбір основного обладнання: компресорно-конденсаторного агрегату на основі поршневого компресора та конденсатора повітряного охолодження, горизонтального кожухотрубного випарника для охолодження проміжного теплоносія та повітроохолоджувачів для відведення тепла з холодильної камери. До основних переваг апаратів повітряного охолодження належить їх автономність, відсутність необхідності застосування дороговартісного теплоносія, його підготовки та постійної компенсації втрат у системі охолодження.

У розділі охорона праці наведено вимоги охорони праці до виробничих приміщень, до розміщення холодильного обладнання, а також небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://agroru.com/doska/holodilnye-ustanovki-dlya-dlitelnogo-hraneniya-ovoschej-77211.htm>
2. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://holodprom.com.ua/ovoshchekhranilishcha>
3. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://www.xiron.ru/content/view/2056/3/>
4. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://mtt-cold.com/catalog/holodilnoe-oborudovanie-dlya-hraneniya-ovoschej>
5. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://coldunion.com.ua/product/holodilnaya-kamera-dlya-hraneniya-fruk/>
6. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://holodcatalog.ru/entsiklopedii/kholodilnye-kamery-i-teploizolyatsionnye-materialy/paneli-dlya-kholodilnykh-kamer/>
7. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://holodcatalog.ru/entsiklopedii/kholodilnye-kamery-i-teploizolyatsionnye-materialy/paneli-dlya-kholodilnykh-kamer/>
8. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://vektragroup.ru/poleznoe/podbor-materialov/sendvich-paneli-dlya-kholodilnykh-i-morozilnykh-kamer-osobennosti-vybora-i-preimushchestva-stroitels/>
9. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://zdorovklimat.com.ua/blog/shho-take-sendvich-paneli.html>
10. Свердлов Г. З. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха / Г. З. Свердлов, Б. К. Явнель. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищевая пром-сть, 1978.

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

11. . Теплообменные аппараты холодильных установок/ Г.Н. Данилова, С.Н. Богданов, О.П. Иванов и др.; Под общ. ред. д.т.н. Г.Н. Даниловой. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. – 303 с., ил.

12. Чумак И. Г. Холодильные установки. Проектирование: Учебное пособие для вузов / И. Г. Чумак, Д. Г. Никульшина – К.:Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 280 с.

13. [Электронный интернет-ресурс] : Режим доступа – <https://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1618917155001&mod=LH> Каталог обладнання компанії Bitzer.

14. [Электронный интернет-ресурс] : Режим доступа – [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/385382/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/385382/)

					ХМ 06.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		68