

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту

_____ Сергій Блаженко
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Валентин Петренко
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 142 Енергетичне машинобудування

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми _____

Холодильні техніка та технологія

на тему: Проект холодильного господарства припортового холодильника із застосуванням CFD моделюванням для оптимального розміщення приладів охолодження

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ХМ-2-8М

Маліновський Артур Станіславович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Бондар Володимир Іванович

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Консультант _____

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Рецензент _____

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

_____ (підпис та прізвище здобувача)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Холодильні техніка та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **ТЕХТ**

Валентин ПЕТРЕНКО

“20” листопада 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Маліновського Артура Станіславовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект холодильного господарства припортового
холодильника із застосуванням CFD моделюванням для оптимального
розміщення приладів охолодження

керівник роботи доц. к.т.н., Бондар В.І.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 20.11.2023 року № 940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 05.02.2024 року

3. Вихідні дані до роботи за основу обрано типовий проект припортового
холодильника, що знаходиться у м. Нові Білярі, CFD аналіз у камерах
зберігання та визначення оптимального розміщення приладів охолодження

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ,

1. Літературний огляд,

2. Типовий проект портового холодильника у м. Нові Білярі

3. Моделювання камер охолодження в програмному пакеті

4. Економічний розділ

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 20.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	20.11-24.11.2023	
	Виконання розділів кваліфікаційної роботи	14.11.23-29.01.2024	
	Оформлення ПЗ, презентація, консультація з розділів	29.01-05.02.2024	
	Подача роботи на перевірку тексту кваліфікаційної роботи на академічний плагіат	05.02-09.02.2024	

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Артур МАЛІНОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Володимир БОНДАР
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена вивченню та вдосконаленню сучасних методів у проєктуванні та реконструкції промислових будівель, а також основ теорії моделювання процесів тепло-масообміну в плинному середовищі.

Проведено підбір основного і допоміжного обладнання, автоматики та арматури, що сприятиме ефективному функціонуванню об'єкта.

У магістерській роботі використано академічну версію програми Revit MEP для створення BIM моделі камер, що дозволило оптимізувати розміщення обладнання. Застосування академічної версії програми AutoCAD CFD Simulation дозволило провести аналіз температурного поля в нетипових камерах та виявити зони, які не відповідають технологічним умовам зберігання мороженої продукції.

У процесі виконання роботи використовувалися наступні програми: пакет прикладних програм Microsoft Office 2016, Revit MEP 2017, Autodesk AutoCAD 2012, MathCAD 14, AutoCAD CFD Simulation 2014. Цей підхід дозволив забезпечити комплексну оцінку та оптимізацію проєкту реконструкції припортового холодильника, підвищити його продуктивність та енергоефективність.

Ключові слова: проєктування та реконструкція, сучасні методи промислового будівництва, теорія моделювання тепло-масообміну, припортовий холодильник, підбір обладнання, автоматики та арматури, BIM моделювання в Revit MEP, оптимізація розміщення обладнання, аналіз температурного поля в камерах, енергоефективність.

					00.MP.142.003.014.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект холодильного господарства припортового холодильника із застосуванням CFD моделюванням для оптимального розміщення приладів охолодження	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Маліновський А.С.						
Керівник		Бондар В.І.						
Консультант								
Рецензент								
Затвердив		Петренко В.П.						
						НУХТ, ТЕХТ, ХМ-2-8М		

ABSTRACT

This master's thesis focuses on studying and improving modern methods in the design and reconstruction of industrial buildings, as well as the fundamentals of modeling heat and mass transfer processes in fluid environments.

The selection of primary and auxiliary equipment, automation, and valves has been carried out to facilitate the efficient operation of the facility.

The academic version of Revit MEP software was used to create a BIM model of chambers in this master's thesis, allowing for optimized equipment placement. The application of the academic version of AutoCAD CFD Simulation software enabled the analysis of temperature fields in non-standard chambers, identifying areas that do not meet the technological conditions for storing frozen products.

The following software packages were used during the work: Microsoft Office 2016 suite, Revit MEP 2017, Autodesk AutoCAD 2012, MathCAD 14, and AutoCAD CFD Simulation 2014. This approach facilitated a comprehensive assessment and optimization of the refrigeration unit reconstruction project, enhancing its productivity and energy efficiency.

Keywords: design and reconstruction, modern methods in industrial construction, heat and mass transfer modeling theory, refrigeration unit, equipment selection, automation and valves, BIM modeling in Revit MEP, equipment placement optimization, temperature field analysis in chambers, energy efficiency.

ВСТУП	6
1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	7
1.1. <i>Огляд сучасних методів проєктування та реконструкції промислових будівельних конструкцій</i>	7
1.2. <i>Основи теорії моделювання процесів тепломасообміну в плинному середовищі</i>	12
2. ТИПОВИЙ ПРОЄКТ ПОРТОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА У М. НОВІ БІЛЯРІ	20
2.1. <i>Розрахунок теплоізоляційних конструкцій холодильника</i>	20
2.2. <i>Розрахунок теплонадходжень до охолоджуваних приміщень</i>	22
3. МОДЕЛЮВАННЯ КАМЕР ОХОЛОДЖЕННЯ В ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ	45
3.1. <i>Створення 3D моделі об'єктів дослідження</i>	45
3.2. <i>Аналіз полів швидкості та температури в змінених камерах зберігання</i>	50
3.3. <i>Опрацювання даних моделювання</i>	51
4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

ВСТУП

Аналіз холодильного господарства України вказує на критичний стан систем зберігання, зокрема, холодильників. При обстеженнях у сільському господарстві та інших галузях 98% холодильників, побудованих за типовими проєктами 60-80-х років, виявилися застарілими та обладнаними виробами, виробництво яких було припинено більше 20 років тому. Зупинка діяльності філіалів організацій, що їх будували, спричинила втрату архівної документації, ускладнюючи оцінку роботи холодильних підприємств.

Холодильні підприємства, що збудовані до 1960 р., потребують вилучення з експлуатації, а ті, що побудовані у період 1960-1970 рр., вимагають реконструкції понад 50%. Ам'ячні охолоджуючі системи, використовувані в розподільчих холодильниках після 1970 р., сьогодні вимагають реконструкції та модернізації, оскільки в Україні не виробляються нові ам'ячні холодильні установки.

Для виконання даної роботи, використано програму Revit MEP з принципом BIM-моделювання. Це дозволило вирішити проблеми пошуку оптимальних архітектурних і конструктивних рішень з урахуванням зміненого функціоналу будівель та норм проєктування, а також заміни інженерного обладнання.

Програмне забезпечення Autocad CFD було використано для аналізу температурного поля в нетипових камерах. Це дозволило знайти ефективне рішення щодо розташування повітроохолодників при зміні типу охолодження з вільної циркуляції повітря на примусову. Такий комплексний підхід сприяє вдосконаленню ефективності та технологічної відповідності холодильних систем.

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.

1.1 Огляд сучасних методів проєктування та реконструкції промислових будівельних конструкцій.

Реконструкція будівель — проведення будівельних робіт в цілях зміни існуючих техніко-економічних показників об'єкту і підвищення ефективності його використання, що передбачають: реорганізацію об'єкта, зміну геометричних розмірів і технічних показників, капітальне будівництво, прибудови, надбудови, розбирання та посилення тримальних конструкцій, переобладнання горищного приміщення, будівництво та реконструкцію інженерних систем і комунікацій.

Сучасні методи для проєктування і реконструкції промислових будівель ґрунтуються на досягненнях в області інформаційних технологій та комп'ютерного проєктування.

Сучасні поняття і аббревіатури їх позначають:

- PLM (Product / Project Life Circle Management) - управління життєвим циклом проєкту або продукту;
- BIM (Building Information Modeling) - інформаційна модель будівлі;
- ISM (Integrated Structural Modeling)) - інтегроване моделювання конструкції;
- FIM (Fabrication Information Modeling) - інформаційна модель виробництва;
- BLM (Building Life Management Circle) - управління життєвим циклом будівлі;
- Виміри моделювання - 3D CAD / 4D CAD / 5D CAD.

PLM- життєвий цикл включає період від виникнення потреби в створенні продукції до її ліквідації внаслідок вичерпання споживчих властивостей. Основні етапи життєвого циклу: проєктування, виробництво, технічна експлуатація, утилізація[7, ст.76].

BIM – це комплексний підхід до зведення, оснащення, забезпечення експлуатації та ремонту будівлі, який передбачає збирання та комплексну

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

обробку в процесі проектування всієї архітектурно-конструкторської, технологічної, фінансової та іншої інформації про будівлю з усіма її взаємозв'язками і залежностями. В інформаційному моделюванні будівля і все що до неї відноситься, розглядається як єдиний об'єкт. Кожен елементарний модуль, об'єкт будівлі є просторовою інформаційною моделлю, яка пов'язана із базою знань, і у якій кожному елементу можна привласнити додаткові атрибути. Такі ознаки і переваги органічно впливають із глобальних відмінностей знань від інформації їх композитивність, ієрархічність, процедуральність та описовість.[5, ст.38]

ISM (Integrated Structural Modeling)) - являє собою технологію для спільного використання структурної інформації інженерного проекту серед структурного моделювання, аналізу, проектування, розробки і деталізації додатків.;

BLM - охоплює життєвий цикл будівель, проектування, будівництво, введення в експлуатацію, передачі обслуговування, зручності операцій, технічного обслуговування, (ймовірно, кілька циклів заміни), і, нарешті, демонтаж. [7, ст.84]

3D- геометричні розміри X-Y-Z. Вони дозволяють візуалізації, виявлення перешкод, префабрикація, свідчення існуючого, розрахунку величин, автоматичні секції оновлення і деталі і т.д.

4D - використовується для діяльності, пов'язаної з планування будівельного майданчика. Дозволяє учасникам отримувати і візуалізувати хід своєї діяльності протягом життя проекту. Використання технології приводить до поліпшення контролю за виявлення конфліктів або за складністю змін, що виникають в ході будівельного проекту, надає методи управління і візуалізації інформації, а також підтримувати зв'язок в різних ситуаціях, таких як інформування персоналу сайту або попередження про ризики, пов'язує інформацію про геометрію з "часом" або графіком будівництва, що дозволить різним зацікавленим сторонам проекту для перегляду в тривалості часу події або прогресу на етапі будівництва.

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

5D - використовується для відстеження бюджету та аналізу витрат, пов'язаних діяльності. П'ятий вимір пов'язано з 3D і 4D дозволяє учасникам візуалізувати хід своєї діяльності і пов'язаних з ними витрат з плином часу.

Використання 5D технології призводить до більшої точності і передбачуваності оцінок, зміни проєкту. 5D надає методи для вилучення і аналізу витрат, оцінки сценаріїв і змін впливів

Реконструкцію даного об'єкту планується провести в середовищі BIM моделювання, що надає певні переваги перед САПР.

1. Моделі і об'єкти управління BIM - це не просто графічні об'єкти, це інформація, що дозволяє автоматично створювати креслення і звіти, виконувати аналіз проєкту, моделювати графік виконання робіт, експлуатацію об'єктів і т.д., що надає учасникам процесу великі можливості для прийняття найкращого рішення з урахуванням всіх наявних даних.

2. BIM підтримує розподілені групи, тому люди, інструменти та завдання можуть ефективно і спільно використовувати цю інформацію протягом усього життєвого циклу будівлі, що виключає повторне введення і втрату даних, помилки їх передачі та перетворенні.

Основні якісні характеристики BIM моделі [6, ст.76].

1. Точна геометрія - всі об'єкти задаються достовірно (в повній відповідності з реальною, в тому числі і внутрішньої, конструкцією), геометрично правильно і в точних розмірах;

2. Всеосяжні і поповнювані властивості об'єктів - всі об'єкти в моделі мають деякі наперед задані властивості (характеристики матеріалу, код виготовлювача, ціну, дату останнього обслуговування і т.п.), які можна змінювати, поповнювати і використовувати як в самій моделі, так і через спеціальні формати файлів (наприклад, МФК) за її межами;

3. Багатство смислових зв'язків - в моделі задаються і враховуються при розгляді такі відносини зв'язку та взаємного підпорядкування складових частин, як «міститься в», «залежить від», «є частиною чогось» і т.д.

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Інтегрована інформація - модель містить всю інформацію в єдиному центрі, забезпечуючи таким чином її узгодженість, точність і доступність;

5. Підтримка життєвого циклу - модель підтримує роботу з даними протягом всього періоду проектування, зведення, експлуатації та навіть остаточного знесення (утилізації) будівлі.

Головною перевагою BIM являться замешенная витрат пов'язаних з втратою інформації на стадії проектування, що призводить на витрати пов'язані зі зміною вартості проекту на стадії реалізації.

Аналіз ринку використання BIM технологій [9, ст. 12]

Результати застосування BIM проявляються у вигляді високої якості проектної документації, зберігання інформації в єдиному інформаційному ресурсі, поліпшення інформаційного обміну і взаємодії різних учасників інвестиційно-будівельних проєктів, зниження витрат на етапі будівництва і т.д. Все це призводить до підвищення економічної ефективності реалізації проєктів будівництва будівель і споруд, в тому числі зниження собівартості. Ці вигоди проявляються як на рівні окремої будівельної організації у вигляді підвищення рівня прибутку і рентабельності, так і на державному рівні за рахунок зниження вартості об'єктів, що споруджуваних по державним замовленням і відповідно більш ефективному використанню коштів державного бюджету.

В силу наявності значних переваг від використання BIM на державному рівні в ряді країн встановлено умови щодо обов'язкового застосування зазначених технологій при проектуванні і будівництві об'єктів за рахунок коштів державного бюджету.

У 2011 році про нову стратегію в галузі будівництва, орієнтованої на досягнення конкурентних переваг на світовій арені, оголосила Великобританія. В рамках даної стратегії розроблена і реалізується методично пророблена єдина послідовна програма переходу на технології інформаційного моделювання. В рамках програми і був підготовлений перехід на обов'язкове застосування даних технологій з вересня 2016 року

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для всіх фінансованих з бюджету проєктів, в тому числі нового будівництва реконструкції, капітального ремонту. Таке рішення, прийняте на державному рівні, забезпечило прискорені темпи впровадження BIM технологій.

У 2012 році в США більше 70% учасників будівельного ринку заявили про використання технологій інформаційного моделювання в своїх проєктах (дані компанії McGraw Hill Будівництво), у Великобританії в 2016 році - році 54% (за даними НБС, Національний BIM Report). За даними сінгапурського державного агентства з будівництва (BCA, Будівництво & Будівництво Authority), з 2015 року Більше 80% всіх будівельних проєктів виконуються виключно із застосуванням BIM технологій. До справжнього моменту всі 100% проєктні організації та близько 70% будівельних підрядників Сінгапуру застосовують BIM на своїх проєктах.

У січні 2014 року було внесено поправки в європейську директиву про держзакупівлі, де всім країнам Євросоюзу для підвищення прозорості та ефективності витрачання бюджетних коштів було рекомендовано застосовувати електронні форми роботи, що включає BIM в будівництві. В даний час організована і фінансується Єврокомісією робоча група по BIM (BIM Цільова група ЄС) з представників держзамовників країн,

Аналіз проєктів, реалізованих британськими компаніями із застосуванням BIM технологій, показав позитивні економічні ефекти :

Зекономити на витратах близько 20% від загального обсягу (підтверджено на пілотних проєктах, реалізованих в рамках державної стратегії щодо переходу на BIM в 2012-2015pp);

Скоротити тривалість робіт на 10-12%, що призводить також до скорочення накладних витрат;

За результатами аналізу різних досвіду застосування Досліджень BIM в США, можна виділити основні переваги технології:

- Візуалізація (3D);
- Скорочення термінів формування документації по проєкту;

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- Параметрична прив'язка елементів інформаційної моделі, що дозволяє здійснювати автоматичну послідовну коригування проєкту при змінюванні одного з елементів;

- Автоматизований пошук та виправлення колізій;

- Підвищення точності календарного планування;

- Підвищення точності планування витрат;

- Зручність накопичення і зберігання інформації про проєкт;

- Швидкість і легкість обміну інформацією про проєкт між його учасниками;

- Можливість накопичення напрацювань, що дозволяють багаторазове використання і відносну легкість внесення змін до проєкту;

- Можливість контролю і зниження витрат на етапі експлуатації;

- Можливість контролю екологічних показників;

- Автоматизований випуск документації по проєкту.

Стенфордським університетом було проведено дослідження 32 великих проєктів з використанням BIM. За результатами дослідження були отримані наступні дані про ефект від застосування технологій інформаційного моделювання:

1. Зниження рівня незапланованих витрат до 40%;

2. Точність розрахунку вартості проєкту в межах 3% (без BIM - до 10%);

3. Скорочення тривалості формування кошторисної документації - до 80%;

4. До 10 % економія від вартості контракту за рахунок високої якості проєкту і усунення колізій;

5. Скорочення тривалості реалізації інвестиційно-будівельного проєкту до 7%;

1.2. Основи теорії моделювання температурного поля в плинному середовищі.

Основні рівняння механіки рідини і газу

									Арк.
									12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.014.ПЗ				

Коротко розглянемо вид рівнянь гідродинаміки і теплообміну:

Рівняння нерозривності (рівняння неперервності) його також називають рівнянням збереження маси [10,ст.16].

$$G = \rho \cdot U \cdot F; \quad (1.1)$$

ρ - густина рідини кг/м³;

U - швидкість м/с;

F - площа м²

Рівняння рух суцільного середовища яке фактично являє собою другий закон Ньютона записаний для елементарного об'єму.

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial U_k}{\partial \tau} + \partial U_k \cdot \frac{\partial U_k}{\partial x_j} \right) = \rho \cdot J_k - \frac{\partial P}{\partial x_k} + \mu \cdot \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial U_k}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_k} - \frac{2}{3} \cdot \frac{\partial U_l}{\partial x_l} \right); \quad (1.2)$$

μ - динамічна в'язкість Па·с;

J - об'ємні сили;

Рівняння енергії (Рівняння енергії) рівняння енергії фактично представляє собою закон збереження тепла, записаний для елементарного об'єму [10,ст.19].

$$\rho \cdot c_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + U_k \cdot \frac{\partial T}{\partial x_k} \right) = q_v - \frac{\partial P}{\partial \tau} + \lambda \cdot \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \mu \cdot \Phi; \quad (1.3)$$

Відомо, що процеси тепло масообміну з точки зору механіки суцільних середовищ можуть бути описані системою нелінійних диференціальних рівнянь в частинних похідних, цю систему рівнянь прийнято називати рівняннями Нав'є-Стокса, для прикладу ще раз запишемо систему рівнянь для неізотермічного (з теплообміном) течії рідини в декартових прямокутних координатах, вона буде складатися з рівнянь нерозривності (1.1) руху (1.2), і енергії (1,3)

$$G = \rho \cdot U \cdot F; \quad (1.4)$$

									Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.014.ПЗ				

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial U_k}{\partial \tau} + \partial U_k \cdot \frac{\partial U_k}{\partial x_j} \right) = \rho \cdot J_k - \frac{\partial P}{\partial x_k} + \mu \cdot \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial U_k}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_k} - \frac{2}{3} \cdot \frac{\partial U_l}{\partial x_l} \right); \quad (1.5)$$

$$\rho \cdot c_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + U_k \cdot \frac{\partial T}{\partial x_k} \right) = q_v - \frac{\partial P}{\partial \tau} + \lambda \cdot \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \mu \cdot \Phi; \quad (1.6)$$

В загальному випадку система рівнянь Нав'є-Стокса включає в себе рівняння нерозривності, руху, енергії і дифузії. Якщо в потоці відбуваються хімічні реакції, задача ускладнюється введенням рівнянь моделі протікання даних реакцій. Рівняння Нав'є-Стокса можуть бути вирішені в загальному вигляді лише в деяких випадках і при ряді припущень загального аналітичного рішення системи цих рівнянь поки що не отримано. При цьому чисельні методи рішення рівнянь Нав'є-Стокса розвинені досить добре і на сьогоднішній день знайшли широке застосування в різних областях науки і техніки. Чисельне моделювання є невід'ємною частиною процесу проектування

В нинішній час розвинені три основних підходи до чисельного вирішення рівнянь Нав'є-Стокса.

Перший з них носить назву методу кінцевих різниць Finite Difference Method (FDM). Його суть полягає в прямій заміні похідних, що входять в вихідні рівняння, їх дискретними (різницеvими) аналогами. Рішення шукається в вузлах сітки, на яку розбивається розрахункова область. Перевагою методу є відносна простота реалізації, проте з точки зору фізичного сенсу цей метод не дуже наочний. Іншим недоліком цього методу є особливі вимоги до побудови сітки, що часто ускладнює процес рішення [10, ст.27].

Другий називається методом кінцевих об'ємів або методом контрольного об'ємів. В англоmовної літературі він називається Finite Volumes Method (FVM). Основа методу полягає в тому, що розрахункова область з допомогою сітки розбивається на сукупність кінцевих об'ємів. Вузли, в яких шукається рішення, знаходяться в центрах

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

цих об'ємів. Для кожного об'єму повинні виконуватися закони збереження маси, кількості руху і енергії. Метод кінцевих об'ємів застосовується у багатьох обчислювальних гідродинамічних (CFD) пакетах[10, ст.28].

Третій метод рішення - метод кінцевих елементів (МСЕ). В англійській літературі його називають Finite Elements Method (FEM). Суть методу складається в наближеному рішенні варіаційної задачі. Для формулювання цього завдання нагадаємо поняття функціоналу. Оператор $I [f (x)]$ називається функціоналом, заданим на деякому безлічі функцій, якщо кожній функції $f (x)$ ставиться в відповідність певне числове значення $I [f (x)]$. Варіаційна задача складається в знаходженні такої функції $f (x)$, якої б відповідало мінімальне значення функціоналу $I [f (x)]$ від цього функціоналу різний для різних задач і підбирається спеціально. В нині час метод кінцевих елементів знайшов широке застосування при рішенні задач теплопровідності в твердих тілах і при розрахунках на міцність. Однак він може бути застосований і до завданням течії рідин і газів . Відомі також методи, які поєднують в собі риси методу кінцевих об'ємів і методу кінцевих елементів . Поєднання цих методів дозволяє використовувати більше широкий ряд розрахункових сіток (тетраедричних сітки, піраміди, призми, поліедри), що необхідно при рішенні задач зі складної геометрією [10, ст.28]. Цей підхід використовують CFD пакети Ansys CFX, Ansys Fluent и т.д.

Метод кінцевих різниць Finite Difference Method (FDM)

В основі розв'язання рівнянь з частинними похідними методом кінцевих різниць лежить, природно, – різницева апроксимація похідних, яка багато в чому нагадує апроксимацію похідних. Розв'язання здійснюється в три етапи (мал. 1.2). Спочатку в області розв'язку вводять рівномірну сітку "вузлових точок", що відповідає характеру задачі і граничним умовам. Потім розв'язуване рівняння з частинними похідними записують у найбільш зручній системі координат i , представляючи похідні в кінцево-різницевої формі, приводять його до виду різницевого рівняння. Отримане різницеве рівняння використовують надалі для опису функціонального зв'язку між

										Арк.
										15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.014.ПЗ					

сусідніми вузлами сітки. Різницеве рівняння записують для всіх вузлів сітки і отримують в результаті систему N алгебраїчних рівнянь з N невідомими. На останньому етапі отриману систему алгебраїчних рівнянь розв'язують одним із чисельних методів [11, ст.160].

Перший етап . Сітки, що застосовуються при поданні диференціальних рівнянь з частинними похідними в кінцево-різницевої формі. Усі раніше наведені рівняння з частинними похідними були записані в декартовій системі координат, однак іноді буває зручніше користуватися іншими системами координат, що володіють спеціальними геометричними властивостями і враховують форму фізичного тіла. Найчастіше в інженерній практиці застосовується декартова, циліндрична та сферична системи координат. На рис. (мал. 1.3). показані сітки, Побудова в області розв'язку сітки, яка містить N вузлових точок. Конфігурація сітки має відповідати характеру задачі і граничним умовам . Використання диференціального рівняння з частинними похідними для отримання різницевого виразу, що описує функціональні зв'язки між сусідніми вузлами сітки. Розв'язання отриманої системи N рівнянь з N невідомими з метою отримання наближеного розв'язку у вузлах сітки які найчастіше застосовують при розв'язанні рівнянь з частинними похідними [11, ст.161]:

- а) прямокутна;
- б) полярна;
- в) трикутна;
- г) скошена.

Метод кінцевих елементів (МСЕ)

Основні принципи розрахунку згідно методу (МСЕ) [12, ст.8]

1. Будь-яку безперервну величину (наприклад, температуру, тиск, переміщення) можна апроксимувати дискретною моделлю, яка будується на безлічі дискретно-неперервних функцій, визначених на кінцевому числі елементів;

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2. Дискретно-безперервні функції визначаються за допомогою значень неперервної величини в кінцевому числі точок даній області;

3. При побудові дискретної моделі безперервної величини поступають таким чином. У області фіксується кінцеве число точок. Ці точки називаються вузловими (або просто вузлами). Значення безперервної величини в кожній вузловій точці вважається змінною, яка повинна бути визначена. Область визначення безперервної величини розбивається на кінцеве число під областей, званих елементами (або кінцевими елементами). Ці елементи мають загальні вузлові точки і в сукупності апроксимують форму області;

4. Безперервна величина апроксимується на кожному елементі поліномом (або будь-якої інший функцією), який визначається за допомогою вузлових значень цієї величини. Для кожного елемента визначається свій поліном, але поліноми підбираються таким чином, щоб збереглася безперервність величини уздовж кордонів елемента. Цей поліном називають ще функцією елемента.

Об'єктом для використання МКЕ являється матеріальне тіло, яке розбивається на частини - кінцеві елементи. В результаті розбивки утворюється сітка із границь елементів. Точки пересікання цих границь утворюють вузли. На границях всередині елементів можуть бути утворені додаткові вузлові точки. Сукупність із всіх кінцевих елементів і вузлів являє собою основною кінцево-елементною моделлю. Дискретна модель повинна повністю покривати область досліджуваного об'єкта.

Всі елементи і вузли нумеруються. Нумерація вузлів буває (глобальною) для всієї кінцево-елементній моделі місцевій (локальній) всередині елементів. Нумерацію елементів і загальну нумерацію вузлів бажано виконувати так, щоб праце ємкість розрахунків була найменшою. Існують алгоритми оптимізації цієї нумерації. Повинні бути визначені масиви зв'язків між номерами елементів і загальними номерами вузлів, а також місцевими і загальними номерами вузлів. Для розрахунку різних фізичних величин з

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

допомогою МКЕ в цій області необхідно визначити матеріали елементів і задати їх властивості.

Стан тіла що характеризує кінцевим числом незалежних параметрів, визначених в вузлах кінцево-елементної сітки. Такі параметри називаються степенями свободи. В алгоритмі МКЕ використовується загальна (глобальна) система координат, прив'язана до всієї кінцево-елементної моделі (мал. 1.4). І місцеві (локальні) системи координат зв'язні з конкретними кінцевими елементами, в силу чого їх називають елементними системами відліку. Перехід від однієї системи відліку до іншої проходить з допомогою перетворення.

В загальній системі координат цей вектор може буди записаний в вигляді.

$$U = \{U_i\} = \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ u_{iz} \end{Bmatrix} \quad (1.7)$$

Якщо вузол i має n_i степенем вільності, а кінцевий елемент включає n_e вузлів, то число степенем вільності одного елементу рівно $n_e \times n_i$. Число ступенів вільності всієї моделі, маючий n однотипних вузлів рівно $N = n \times n_i$. Набір всіх степенем вільності моделі становить загальний (глобальний) вектор степенем вільності (тобто вузлових переміщень моделі), в якому нумерація може буди загальна (глобальна) чи по номерам вузлі з додаванням індексу вузлової степені вільності.

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ \cdot \\ u_q \\ \cdot \\ u_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} U_1 \\ \cdot \\ U_q \\ \cdot \\ U_n \end{Bmatrix} \quad (1.8)$$

Де $\{U_i\}$ - під матриця, складена із всіх n_i компонентів переміщень вузла i . В відповідності до тримірної задачі при використанні загальної декартової системи координат x, y, z ця під матриця являється вектором переміщень

вузла формули переміщення вузла. Перехід від вузлової нумерації до загальної для трьох ступенів вільності і вузлі формули перетворення мають наступний вигляд: $u_{ix} = u_{3i-2}, u_{iy} = u_{3i-1}, u_{iz} = u_{3i}$.

Інтерполяція функції може відбуватися з допомогою багатьох дискретних функцій, що називаються функціями форми. Кожна форма відрізняється від нуля тільки в області одного кінцевого елемента, рівна одиниці в одному вузлі цього елемента і рівна нулю для всіх інших вузлах. Такий вибір інтерполюючої функції дозволяє розрахувати вектор переміщень довільної точки елемента $u_e(x)$ через вектор вузлових переміщень елемента $\{U_i\}_e$ в вигляді сум.

$$u_e(x) = [N(x)]_e \{U\}_e \quad (1.9)$$

x - координата, визначаюча положенні точки в елементі;

$[N(x)]_e$ - матриця функції форми елемента;

Елемент, для якого використовується функція форми багаточлена другої степені, називається одномірним квадратичним, чи одномірним елементом другого порядку. Степінь поліномів що використовуються в якості функції форми, визначає порядок кінцевого елемента. Вибір порядку апроксимації накладає деякі умови на кількість вузлів елемента.

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2. ТИПОВИЙ ПРОЄКТ ПОРТОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА У М. НОВІ БІЛЯРІ

2.1. Розрахунок ізоляційних конструкцій холодильника.

2.1.1 Розрахунок ізоляції зовнішніх стін камер зберігання м'ясо, риба.

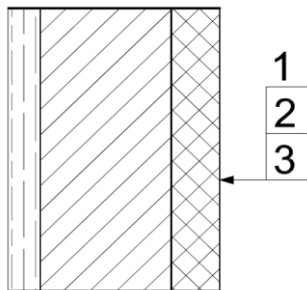
Температура в камері $t_{\text{кам.}} = -20^{\circ}\text{C}$; охолодження безпосереднє.

Потрібне значення коефіцієнта теплопередачі для камери з $t_{\text{кам.}} = -20^{\circ}\text{C}$

ХОЛОДИЛЬНИКА,:

$$K_0^{mp} = 0,21 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}; [1, \text{табл. 8.2}]$$

$$\alpha_{\text{зов.}} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}; \alpha_{\text{вн.мор.}} = 9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}; [1, \text{табл. 8.1}]$$



1.- Штукатурка.

$$\delta_1 = 0,02\text{м};$$

$$\lambda_1 = 0,98 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}};$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 0,02 \frac{\text{м}^2 \times \text{К}}{\text{Вт}};$$

2.- бетонна плита:

$$\delta_2 = 0,350\text{м};$$

$$\lambda_2 = 1,86 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}};$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = 0,188 \frac{\text{м}^2 \times \text{К}}{\text{Вт}};$$

Сумарний термічний опір:

$$\sum R_3 = R_1 + R_2 = 0,02 + 0,188 = 0,21 \frac{\text{м}^2 \times \text{К}}{\text{Вт}};$$

3.- теплоізоляція сендвіч панель із ППУ (потрібно визначити)

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.014.ПЗ				

$$\lambda_3 = 0,025 \frac{Вт}{м \times К};$$

Потрібна товщина теплоізоляції:

$$\delta_{із.}^{мп.} = \lambda_3 \times \left[\frac{1}{K_0^{мп.}} - \left(\frac{1}{\alpha_{зов.}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн.}} \right) \right];$$

$$\delta_{із.}^{мп.} = 0,025 \times \left[\frac{1}{0,21} - \left(\frac{1}{23} + 0,21 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,106 м;$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100 мм.

Оскільки прийнята товщина теплоізоляції відрізняється від потрібної, визначаємо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$K_0^Д = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{зов.}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн.}} \right) + \frac{\delta_{із.дійсне}}{\lambda_{із.}}};$$

$$K_0^Д = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + 0,21 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,1}{0,025}} = 0,235 \frac{Вт}{м^2 \times К};$$

2.1.2 Стіна між камерою зберігання фруктів (+2) та камерою зберігання замороженого м'яса, риби (-20).

$$t_{к.зб.фрукт.} = +2^\circ C; \quad t_{к.зб.мяса} = -20^\circ C;$$

$$\text{Для } t_{вн.} = 0^\circ C \Rightarrow K_0^{мп.} = 0,26 \frac{Вт}{м^2 \times К}; [1, \text{табл. 8.4}]$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}; [1 \text{ табл. 8.1}]$$

$$\alpha_1 - \text{в камері з } t_{к.зб.фрукт.} = 0^\circ C;$$

$$\alpha_2 - \text{в камері з } t_{к.зб.мяса} = +2^\circ C;$$

1.- Штукатурка.

$$\delta_1 = 0,02 м;$$

$$\lambda_1 = 0,98 \frac{Вт}{м \times К};$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 0,02 \frac{м^2 \times К}{Вт};$$

2.- бетонна плита:

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$\delta_2 = 0,300 м;$$

$$\lambda_2 = 1,86 \frac{Вт}{м \times К};$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = 0,16 \frac{м^2 \times К}{Вт};$$

3.- теплоізоляція із ППУ (потрібно визначити);

$$\lambda_{із.} = 0,025 \frac{Вт}{м \times К};$$

Сумарний термічний опір:

$$\sum R_{сум.мор.} = R_1 + R_2 = 0,02 + 0,16 = 0,18 \frac{м^2 \times К}{Вт};$$

Потрібна товщина теплоізоляції:

$$\delta_{із.}^{мп.} = \lambda_3 \times \left[\frac{1}{K_0^{мп.}} - \left(\frac{1}{\alpha_{зов.}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн.}} \right) \right];$$

$$\delta_{із.}^{мп.} = 0,025 \times \left[\frac{1}{0,26} - \left(\frac{1}{9} + 0,18 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,87 м;$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100 мм

Оскільки прийнята товщина теплоізоляції відрізняється від потрібної, визначаємо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$K_0^Д = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{зов.}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн.}} \right) + \frac{\delta_{із.дійсне}}{\lambda_{із.}}};$$

$$K_0^Д = \frac{1}{\left(\frac{1}{9} + 0,18 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,1}{0,025}} = 0,23 \frac{Вт}{м^2 \times К};$$

Всі інші розрахунки огорожуючих конструкцій виконуються по типовій методиці, а дані заносяться до таблиць.

2.2 Розрахунок теплонадходжень до охолоджуючих приміщень.

Загальна кількість теплоти, що надходить в охолоджуване приміщення холодильника:

					00.МР.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \text{ Вт},$$

де Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 – надходження теплоти відповідно через огорожувальні будівельні конструкції, від продуктів при холодильному обробленні, від вентиляції приміщень, пов'язане з експлуатацією камери, що виділяється продуктами під час термообробки.

2.2.1 Теплонадходження через загороджуючі конструкції.

$$Q_1 = Q_{1m} + Q_{1c}, \text{ Вт};$$

де Q_{1m}, Q_{1c} - надходження теплоти відповідно через стіни, простінки, перекриття, покрівлю, через підлогу, від сонячної радіації, Вт.

$$Q_{1m} = K_{\partial} \times F \times \theta \times 10^{-3} = K_{\partial} \times F \times (t_{\text{зов.}} - t_{\text{вн.}}) \times 10^{-3}, \text{ Вт};$$

Камера №1.1 Визначення надходження теплоти через зовнішні стіни в камері зберігання субпродуктів в ящиках.

Стіна внутрішня, що межує з приміщеннями з опаленням.

$$t_{\text{к.зб.}} = -20^{\circ}\text{C};$$

$$K_{\partial} = 0,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}};$$

$$t_{\text{зов.}} = 32^{\circ}\text{C};$$

$$F = 14,3 \times 4 = 57,2 \text{ м}^2;$$

$$Q_{1m} = 0,22 \times 57,2 \times (28 - (-20)) \times 10^{-3} = 0,604 \text{ кВт};$$

Теплонадходження від сонячної радіації південної від ПН-СХ стіни:

$$Q_{1c} = K_{\partial} \times F \times \Delta t_c \times 10^{-3}, \text{ кВт};$$

Стіна залізобетонна:

$$\Delta t_c = 0^{\circ}\text{C} [1 \text{ табл. 9.1}].$$

$$K_{\partial} = 0,235 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}};$$

$$Q_{1c} = 0,235 \times 129,6 \times 0 \times 10^{-3} = 0 \text{ кВт};$$

Теплонадходження від стіни коридору:

$$\theta = 0,7 \times (t_{\text{зов.}} - t_{\text{вн.}}) = 0,7 \times (32 - (-20)) = 36,4^{\circ}\text{C};$$

$$Q_{1m} = K_{\partial} \times F \times \Delta t_c \times 10^{-3}, \text{ кВт};$$

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$K_{\partial} = 0,227 \frac{Вт}{м^2 \times К};$$

$$Q_{1m} = 0,227 \times 48,8 \times 36,4 \times 10^{-3} = 0,403 Квт;$$

Теплонадходження від дверей в коридор:

$$Q_{1m} = K_{\partial} \times F \times \Delta t_c \times 10^{-3}, Квт;$$

$$K_{\partial} = 0,4 \frac{Вт}{м^2 \times К};$$

$$Q_{1m} = 0,4 \times 8,4 \times 36,4 \times 10^{-3} = 0,122 Квт;$$

Теплонадходження від суміжних стіни камери (+2..+4):

$$Q_{1m} = K_{\partial} \times F \times \Delta t_c \times 10^{-3}, Квт;$$

$$K_{\partial} = 0,23 \frac{Вт}{м^2 \times К};$$

$$Q_{1m} = 0,23 \times 24 \times 49,2 \times 10^{-3} = 0,272 Квт;$$

Теплонадходження від камери №1.2:

$$Q_{1m} = K_{\partial} \times F \times \Delta t_c \times 10^{-3}, Квт;$$

$$K_{\partial} = 0,36 \frac{Вт}{м^2 \times К};$$

$$Q_{1m} = 0,36 \times 0 \times 49,2 \times 10^{-3} = 0 Квт;$$

Теплонадходження від підлоги:

$$Q_{1c} = K_{\partial} \times F \times \Delta t_c \times 10^{-3}, Квт;$$

$$K_{\partial} = 0,17 \frac{Вт}{м^2 \times К};$$

$$Q_{1m} = 0,17 \times 52 \times 176 \times 10^{-3} = 1,555 Квт;$$

Теплонадходження від перекриття:

$$Q_{1m} = K_{\partial} \times F \times \Delta t_c \times 10^{-3}, Квт;$$

$$K_{\partial} = 0,2 \frac{Вт}{м^2 \times К};$$

$$Q_{1m} = 0,20 \times 0 \times 176 \times 10^{-3} = 0 Квт;$$

Теплонадходження від сонячної радіації покриття:

$$Q_{1m} = K_{\partial} \times F \times \Delta t_c \times 10^{-3}, Квт;$$

$$Q_{1m} = 0 Квт;$$

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Теплонадходження від огорожувальних конструкцій

$$Q_1 = 0,604 + 0,403 + 0,122 + 0,272 + 1,555 = 2,956 \text{ кВт};$$

Для всіх інших камер розрахунки робимо так само і результати заносимо до табл. 2.1

2.2.2 Теплонадходження від вантажів при холодильній обробці.

Камера №1.1 .

$$t_{\text{к.зб.}} = -20^\circ\text{C};$$

Температура продукту (риби) , що поступають в камеру зберігання №1:

$$t = -18^\circ\text{C} .$$

Теплонадходження при охолодженні і заморожуванні продуктів в камерах зберігання:

$$Q_{2np} = M_{np} \times \Delta i \times \frac{10^3}{24 \times 3600};$$

Δi - різниця питомих ентальпій продуктів, КДж/кг;

Грузовий об'єм камери зберігання:

$$V_{zp} = F_{\text{кам}} \times h \times \beta;$$

$$M_{np} = 0,6 \times V_{zp} \times q_v$$

q_v – норма навантаження на 1 м^3 вантажного об'єму камери, $\text{т} / \text{м}^3$;

h_{zp} – вантажна висота штабеля, м;

β – коефіцієнт використання будівельної площі камер;

$$V_{zp} = 177 \times 0,6 \times 3 = 318,6 \text{ м}^3;$$

$$M_{np} = 0,1 \times V_{zp} \times q_v = 0,1 \times 318,6 \times 0,47 = 15 \text{ т} / \text{добу};$$

$$M_{np} = 15 \text{ т} / \text{добу};$$

$$t_1 = -18^\circ\text{C}; \quad t_2 = -20^\circ\text{C};$$

$$i_1 = 5 \text{ КДж} / \text{кг}; \quad i_2 = 0 \text{ КДж} / \text{кг}; \quad [1, \text{додаток 10}]$$

$$\Delta i = 5 \text{ КДж} / \text{кг};$$

$$Q_{2np} = 15 \times 5 \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,86 \text{ кВт};$$

де M_m - добове надходження тари т/добу;

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Теплонадходження від тари $Q_{2m}, \text{кВт}$:

$$Q_{2m} = M_m \times c_m \times (t_1 - t_2) \times \frac{10^3}{24 \times 3600}, \text{кВт};$$

$$c_m = 2,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}};$$

$$Q_{2m} = 15 \times 0,1 \times 2,3 \times (-18 - (-20)) \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,1 \text{кВт};$$

$$Q_2 = 0,86 + 0,1 = 0,87 \text{кВт};$$

Розрахунки для всіх інших камер проводимо так само, і результати заносимо в табл. 2.2.

2.2.3 Теплонадходження при вентиляції приміщення.

Це теплонадходження враховується лише для спеціалізованих холодильників для зберігання овочів і фруктів.

2.2.4 Експлуатаційні тепло надходження.

$$Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4, \text{кВт};$$

де q_1, q_2, q_3, q_4 – надходження теплоти відповідно від освітлення, перебування людей, працюючих електродвигунів та відчинення дверей.

Теплонадходження від освітлення:

де A – теплота, яка виділяється джерелами освітлення за одиницю часу на 1 м^2 площі пола, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

F – площа камера, м^2 .

$$q_1 = A \times F \times 10^{-3}, \text{кВт}$$

$$F = 177 \text{ м}^2 ;$$

$$A = 2,3 \text{ Вт}/\text{м}^2 ;$$

$$q_1 = 2,3 \times 177 \times 10^{-3} = 0,41 \text{кВт};$$

Теплонадходження від перебування людей:

$$q_2 = 0,35 \times n, \text{кВт}$$

де $0,35$ – тепловиділення однієї людини, кВт ;

n – число людей, які працюють в даному приміщенні.

$$q_2 = 0,35 \times 2 = 0,75 \text{кВт};$$

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Теплонадходження від працюючих електродвигунів:

$$q_3 = \eta_\epsilon \times N_{\text{ел.дв.}}, \text{кВт}$$

$$q_3 = 0,8 \times 390 \times 2 = 0,624 \text{кВт}$$

Теплонадходження при відкриванні дверей:

Розрахунок проводимо по формулі Тамма [3, ст. 24]

$$q_4 = q \times D_t \times D_f (1 - E);$$

q - сумарна добове теплове навантаження на холодильну камеру, кВт для повністю усталеного повітряного потоку з урахуванням різниці густин, ентальпії зовнішнього повітря.

D_t - коефіцієнт, який враховує час коли двері залишаються відкритими;

D_f - коефіцієнт, який враховує характер повітряного потоку;

E - степінь захисту завіси дверного пройому;

$$q = 0,692 \times A \times (i_{\text{вн}} - i_{\text{зн}}) \times \rho_{\text{вн}} \times F_m \times \sqrt{H \left(1 - \frac{\rho_{\text{зн}}}{\rho_{\text{вн}}}\right)};$$

A - площа дверного пройому;

$i_{\text{вн}}, i_{\text{зн}}$ - ентальпії внутрішнього і зовнішнього повітря;

$\rho_{\text{зн}}, \rho_{\text{вн}}$ - густина внутрішнього і зовнішнього повітря;

F_m - коефіцієнт що враховує різницю густини внутрішнього і зовнішнього повітря;

$$D_t = \frac{n \times \tau_{1\text{откр}} + 60 \times \tau_{2\text{откр}}}{86400};$$

n - добова кількість проходів через дверний проїом;

$\tau_{1\text{откр}}$ - час відкриття/ закриття дверей при проході хв.;

$\tau_{2\text{откр}}$ - час коли двері залишаються відкритими хв.;

$$\tau_{2\text{откр}} = \nu_{\text{откр}} M_{\text{пр}}$$

$\nu_{\text{откр}}$ - середній час коли двері залишаються відкриті хв./тона

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$F_m = \left(\frac{2}{1 + \left(\frac{1,17}{1,38} \right)^{1/3}} \right)^{3/2} = 0,959;$$

$$q = 0,692 \times 8,4 \times (65 - (-17)) \times 1,38 \times 0,959 \times \sqrt{3 \times \left(1 - \frac{1,17}{1,38} \right)} = 428,26 \text{кВт}$$

$$D_t = \frac{10 \times 25 + 60 \times 0,8 \times 15 \times 2}{86400} = 0,02;$$

$$q_4 = 0,02 \times 428,26 \times 0,8 \times (1 - 0,2) = 5,71 \text{кВт};$$

$$Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = 0,41 + 0,75 + 0,624 + 5,71 = 7,48, \text{кВт};$$

Розрахунки для всіх інших камер проводимо так само, і результати заносимо в табл. 3.3.

Q_5 для всіх камер дорівнює нулю, оскільки це теплонадходження від продуктів, що дихають (фрукти, овочі тощо).

Табл. 2.1

Камера №1.1

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороження	Θ	Δt_c	Теплонадходження через стіни
Перегородка -20/+4	0,230	49,2	24	0	0,272
Перегородка -20/-20	0,360	49,2	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	48,80	36,4	0	0,403
Внутрішня стіна приміщення	0,220	57,20	48	0	0,604
Підлога	0,170	176,00	21	0	0,1244
Перекриття	0,200	0,00	0	0	0
Двері	0,400	6,10	36,4	0	0,122
ВСЬОГО					2,035

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Камера №1.2

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороження	Θ	Δtс	Теплонадходження через стіни
Зовнішня	0,235	74,00	52	0	904
Перегородка -20/-20	0,360	125,20	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	81,40	36,4	0	673
Внутрішня стіна -20/опалюване приміщення	0,220	98,00	48	0	1035
Підлога	0,170	453,25	52	0	4007
Перекриття	0,200	453,25	0	0	0
Двері	0,400	16,80	36,4	0	245
ВСЬОГО					6,62

Камера №1.3

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороження	Θ	Δtс	Теплонадходження через стіни
Перегородка -20/-20	0,360	52,00	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	112,00	36,4	0	925
Внутрішня стіна -20/опалюване приміщення	0,220	112,00	48	0	1183
Підлога	0,170	182,00	52	0	1609
Перекриття	0,200	182,00	0	0	0
Двері	0,400	12,20	36,4	0	178
ВСЬОГО					3,89

Камера №1.4

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороженн я	Θ	Δtс	Теплонадход- ження через стіни
Зовнішня	0,235	104,00	52	0	1271
Перегородка -20/-20	0,360	26,00	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	39,90	36,4	0	330
Внутрішня стіна камера/маш. відділення	0,220	56,00	48	0	591
Підлога	0,170	144,00	52	0	1273
Перекриття	0,200	144,00	0	0	0
Двері	0,400	6,10	36,4	0	89
ВСЬОГО					3,55

Камера №2.1

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороженн я	Θ	Δtс	Теплонадход- ження через стіни
Зовнішня ПД-ЗХ	0,235	74,00	52	0	904
Зовнішня ПН-СХ	0,235	134,00	52	4,25	1771
Перегородка -20/-20	0,360	146,00	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	153,20	36,4	0	1266
Перегородка -20/+4	0,230	98,00	24	0	541
Перекриття -20/-20	0,400	1051,15	0	0	0
Перекриття підлога -20/-20	0,170	422,01	48	0	3444
Перекриття	0,200	1051,15	0	0	0
Двері	0,400	25,20	36,4	0	367
ВСЬОГО					8,29

										Арк.
										30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.014.ПЗ					

Камера №2.2

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороженн я	Θ	Δtс	Теплонадход- ження через стіни
Зовнішня ПД-ЗХ	0,235	32,00	52	0	391
Зовнішня ПН-ЗХ	0,235	146,00	52	0	1784
Зовнішня ПН-СХ	0,235	144,00	52	4,25	1904
Перегородка -20/-20	0,360	98,00	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	191,20	36,4	0	1580
Перекриття -20/-20	0,400	978,00	0	0	0
Перекриття підлога -20/-20	0,170	652,00	48	0	5320
Двері	0,400	16,80	36,4	0	245
ВСЬОГО					11,22

Камера №3.1

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороження	Θ	Δtс	Теплонадход- ження через стіни
Зовнішня ПД-ЗХ	0,235	74,00	52	0	904
Зовнішня ПН-СХ	0,235	134,00	52	4,25	1771
Перегородка -20/-20	0,360	146,00	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	153,20	36,4	0	1266
Перегородка -20/+4	0,230	98,00	24	0	541
Перекриття -20/-20	0,400	2102,30	0	0	0
Двері	0,400	25,20	36,4	0	367
ВСЬОГО					4,85

Камера №3.2

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороженн я	Θ	Δtс	Теплонадход- ження через стіни
Зовнішня ПД-ЗХ	0,235	32,00	52	0	391
Зовнішня ПН-ЗХ	0,235	146,00	52	0	1784
Зовнішня ПН-СХ	0,235	144,00	52	4,25	1904
Перегородка -20/-20	0,360	98,00	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	191,20	36,4	0	1580
Перекриття -20/-20	0,400	1956,00	0	0	0
Двері	0,400	16,80	36,4	0	245
ВСЬОГО					5,90

Камера № 4.1

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороженн я	Θ	Δtс	Теплонадход- ження через стіни
Зовнішня ПД-ЗХ	0,235	74,00	52	0	904
Зовнішня ПН-СХ	0,235	134,00	52	4,25	1771
Перегородка -20/-20	0,360	146,00	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	153,20	36,4	0	1266
Перегородка -20/+4	0,230	98,00	24	0	541
Перекриття -20/-20	0,400	2102,30	0	0	0
Двері	0,400	25,20	36,4	0	367
ВСЬОГО					4,85

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Камера №4.2

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороженн я	Θ	Δtс	Теплонадход- ження через стіни
Зовнішня ПД-ЗХ	0,235	32,00	52	0	391
Зовнішня ПН-ЗХ	0,235	146,00	52	0	1784
Зовнішня ПН-СХ	0,235	144,00	52	4,25	1904
Перегородка -20/-20	0,360	98,00	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	191,20	36,4	0	1580
Перекриття -20/-20	0,400	1956,00	0	0	0
Двері	0,400	16,80	36,4	0	245
ВСЬОГО					5,90

Камера №5.1

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огороженн я	Θ	Δtс	Теплонадход- ження через стіни
Зовнішня ПД-ЗХ	0,235	74,00	52	0	904
Зовнішня ПН-СХ	0,235	134,00	52	4,25	1771
Перегородка -20/-20	0,360	146,00	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	153,20	36,4	0	1266
Перегородка -20/+4	0,230	98,00	24	0	541
Перекриття -20/-20	0,400	1051,15	0	0	0
Покрівля	0,190	1051,15	52	17,7	13920
Двері	0,400	25,20	36,4	0	367
ВСЬОГО					18,77

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Огородження	Коеф. теплопередачі	Площа огорождення	Θ	Δt_c	Теплонадходження через стіни
Зовнішня ПД-ЗХ	0,235	32,00	52	0	391
Зовнішня ПН-ЗХ	0,235	146,00	52	0	1784
Зовнішня ПН-СХ	0,235	144,00	52	4,25	1904
Перегородка -20/-20	0,360	98,00	0	0	0
Внутрішня стіна коридор	0,227	191,20	36,4	0	1580
Перекриття -20/-20	0,400	978,00	0	0	0
Покрівля	0,190	978,00	58	17,7	14067
Двері	0,400	16,80	36,4	0	245
ВСЬОГО					19,97

Табл. 3.2

№ камери	площа камери	$t_{вн}$ 0С	$V_{зр}$ м ³	q_v т / м ³ ;	β	Добове надходження	
						$M_{пр}$	M_m
1.2	453,25	20,00	1359,75	0,47	0,60	23,01	2,30
1.3	182,00	20,00	546,00	0,47	0,60	15,40	1,54
1.4	144,00	20,00	432,00	0,47	0,60	12,18	1,22
2.1	1051,15	20,00	3153,45	0,47	0,60	53,36	5,34
2.2	978,00	20,00	2934,00	0,47	0,60	49,64	4,96
3.1	1051,15	20,00	3153,45	0,47	0,60	53,36	5,34
3.2	978,00	20,00	2934,00	0,47	0,60	49,64	4,96
4.1	1051,15	20,00	3153,45	0,47	0,60	53,36	5,34
4.2	978,00	20,00	2934,00	0,47	0,60	49,64	4,96
5.1	1051,15	20,00	3153,45	0,47	0,60	53,36	5,34
5.2	978,00	20,00	2934,00	0,47	0,60	49,64	4,96

Продовження Табл. 2.2

№ камери	Температура продукту 0С		Ентальпія продукту кДж/кг		Q_{2np}	Q_{2m}	Q_2
	t_1	t_2	i_1	i_2			
1.1	-16	-20	9,65	0	1,66	0,08	1,74
1.2	-16	-20	9,65	0	2,57	0,13	2,70
1.3	-16	-20	9,65	0	1,72	0,09	1,81
1.4	-16	-20	9,65	0	1,36	0,07	1,43
2.1	-16	-20	9,65	0	5,96	0,30	6,26
2.2	-16	-20	9,65	0	5,54	0,28	5,82
3.1	-16	-20	9,65	0	5,96	0,30	6,26
3.2	-16	-20	9,65	0	5,54	0,28	5,82
4.1	-16	-20	9,65	0	5,96	0,30	6,26
4.2	-16	-20	9,65	0	5,54	0,28	5,82
5.1	-16	-20	9,65	0	5,96	0,30	6,26
5.2	-16	-20	9,65	0	5,54	0,28	5,82

Табл. 2.3

№ камери	q_1	q_2	q_3	q_4	Q_4
1.1	0,41	0,75	0,62	5,71	7,49
1.2	1,04	1,40	2,69	7,80	12,93
1.3	0,42	1,05	1,34	3,61	6,42
1.4	0,33	1,05	1,34	3,02	5,74
2.1	2,42	2,80	4,61	17,51	27,34
2.2	2,25	2,80	4,61	16,35	26,01
3.1	2,42	2,80	4,61	17,51	27,34
3.2	2,25	2,80	4,61	16,35	26,01
4.1	2,42	2,80	4,61	17,51	27,34
4.2	2,25	2,80	4,61	16,35	26,01
5.1	2,42	2,80	4,61	17,51	27,34
5.2	2,25	2,80	4,61	16,35	26,01

2.3 Підбір основного, допоміжного обладнання та арматури.

2.3.1 Визначення навантаження на обладнання камер.

Навантаження на компресорну централь що обслуговує споживачів на першому та другому поверсі та працює при температурі кипіння $t_0 = -29^{\circ}\text{C}$:

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$\Sigma Q_{-30} = \Sigma Q_{10\text{об}} + 0,6 \times \Sigma Q_{20\text{об}} + 0,7 \times \Sigma Q_{40\text{об}} = 36,54 + 0,6 \times 19,75 + 0,7 \times 85,93 = 108,54 \text{ кВт};$$

Холодопродуктивність компресора:

$$Q_0 = \frac{k \times \Sigma Q_{-30}}{b};$$

де k – коефіцієнт, що враховує втрати в трубопроводах та апаратах холодильної установки; $k=1,07$;

b – коефіцієнт робочого часу; $b=0,9$;

$$Q_0 = \frac{1,07 \times 108,54}{0,9} = 129 \text{ кВт};$$

Навантаження на компресорну централь що обслуговує споживачів на третьому та четвертому поверсі та працює при температурі кипіння $t_0 = -29^\circ\text{C}$:

$$\Sigma Q_{-30} = \Sigma Q_{10\text{об}} + 0,6 \times \Sigma Q_{20\text{об}} + 0,7 \times \Sigma Q_{40\text{об}} = 21,50 + 0,6 \times 24,15 + 0,7 \times 106,69 = 110,67 \text{ кВт};$$

Холодопродуктивність компресора:

$$Q_0 = \frac{k \times \Sigma Q_{-30}}{b};$$

де k – коефіцієнт, що враховує втрати в трубопроводах та апаратах холодильної установки; $k=1,07$;

b – коефіцієнт робочого часу; $b=0,9$;

$$Q_0 = \frac{1,07 \times 110,67}{0,9} = 131,6 \text{ кВт};$$

Навантаження на компресорну централь що обслуговує споживачів на третьому та четвертому поверсі та працює при температурі кипіння $t_0 = -29^\circ\text{C}$:

$$\Sigma Q_{-30} = \Sigma Q_{10\text{об}} + 0,6 \times \Sigma Q_{20\text{об}} + 0,7 \times \Sigma Q_{40\text{об}} = 38,74 + 0,6 \times 12,08 + 0,7 \times 53,34 = 83,33 \text{ кВт};$$

Холодопродуктивність компресора:

$$Q_0 = \frac{k \times \Sigma Q_{-30}}{b};$$

де k – коефіцієнт, що враховує втрати в трубопроводах та апаратах холодильної установки; $k=1,07$;

b – коефіцієнт робочого часу; $b=0,9$;

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$Q_0 = \frac{1,07 \times 83,33}{0,9} = 99 \text{ кВт};$$

що працює при температурі кипіння $t_0 = -40^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{-45} &= \Sigma Q_{10\text{об}} + \Sigma Q_{20\text{об}} + 0,7 \times \Sigma Q_{40\text{об}} = \\ &= 7,27 + 68,575 + 0,7 \times 9,73 = 82,66 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

Холодопродуктивність компресора:

$$Q_0 = \frac{k \times \Sigma Q_{-40}}{b};$$

де k – коефіцієнт, що враховує втрати в трубопроводах та апаратах холодильної установки; $k=1,1$;

b – коефіцієнт робочого часу; $b=0,9$;

$$Q_0 = \frac{1,1 \times 82,66}{0,9} = 101,2 \text{ кВт};$$

2.3.2 Вибір розрахункового робочого режиму, тепловий розрахунок холодильної машини. Вибір компресорів.

Розрахунковий (робочий) режим холодильної установки характеризується температурами кипіння t_0 , конденсації t_k , всмоктування (пари на вході в компресор) $t_{вс}$.

Значення цих параметрів обирають в залежності від призначення холодильної установки і розрахункових зовнішніх умов. Температуру кипіння х.а. приймаємо на 7°C нижчою, ніж температура у камерах охолодження також враховуємо втрати тиску в трубопроводах всмоктування 2°C .

Температуру конденсації для установок з повітряним охолодженням конденсатора приймають на $(10 \div 15)^\circ\text{C}$ вище температури води, що виходить з конденсатора:

$$t_k = t_n + (10 \div 15)^\circ\text{C}.$$

Визначаємо:

$$t_k = t_n + (10 \div 15)^\circ\text{C} = 32 + 13 = 45^\circ\text{C}.$$

Величина перегрівання парів холодильного агента:

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$t_{вс} - t_0 = (5 \div 10)^\circ C.$$

Розрахунки проводимо у програмі підбора копреорів Bitzer. Обираємо гвинтові компресори Bitzer HSN що дозволяють здійснити цикл з економайзером.

Задля здійснення розрахунку вказуємо :

- холодоагент R507;
- необхідну холодопродуктивність;
- температуру кипіння $-29^\circ C$;
- температуру конденсації $45^\circ C$;
- цикл з економайзером;
- різниця температур в теплообміннику економайзера $10^\circ C$;
- перегрів $10^\circ C$.

Обираємо централь на базі 2-х компресорів HSN7451-60

2.3.2. Розрахунок та вибір тепломасообмінних апаратів (випарники, конденсатор, повітроохолодники).

Розраховуємо теплове навантаження на конденсатор в теоретичному циклі:

$$Q_k = (Q_{км1} + Q_{км2}) \times 1,2 = 1,2 \times (117,5 + 117,5) = 282 \text{ кВт};$$

Завдання теплового розрахунку теплообмінних апаратів полягає у визначенні площі поверхні теплопередачі. В основу розрахунків покладено розв'язання рівняння теплопередачі:

$$F = Q / (k \times \Delta t_{cp}), \text{ м}^2$$

Підбір конденсатора.

Підбір конденсатора проводимо в програмі підбора GEA Kelvion

Задля здійснення розрахунку вказуємо :

- холодоагент R507;
- необхідну теплоту конденсації Q_k ;
- температуру повітря в місці розташування конденсатора $32^\circ C$;
- температуру конденсації $45^\circ C$;

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- додаткове антикорозійне покриття ламелів.

Обираємо конденсатор RF-PA103L4H-091E865

Підбір повітроохолодників.

1. Камера №1.1 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 10,8 \text{ кВт};$$

Підбір повітроохолодників проводимо в програмі підбора GEA Kelvion

Задля здійснення розрахунку вказуємо :

- холодоагент R507;
- необхідну холодопродуктивність Q_0 ;
- необхідну температуру повітря в камері -20°C ;
- температуру кипіння в випарнику -27°C ;
- електровідтайку;
- відстань міжламелми В.

Обираємо повітроохолодник SGBE 50-F42

2. Камера №1.2 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 20,18 \text{ кВт};$$

Підбір повітроохолодників проводимо в програмі підбора GEA Kelvion

Обираємо SGBE 50-F42 -2 шт.

3. Камера №1.3 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 11,06 \text{ кВт};$$

Обираємо SGBE 50-F42 .

4. Камера №1.4 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 9,84 \text{ кВт};$$

Обираємо SGBE 50-F42

5. Камера №2.1 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 36,4 \text{ кВт};$$

Обираємо SGBE 50-F43 А -3 шт

6. Камера №2.2 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 38,43 \text{ кВт};$$

Обираємо SGBE 50-F43 А -3 шт

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

7. Камера №3.1 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 32,38 \text{ кВт};$$

Обираємо SGBE 50-F43 A -3 шт.

8. Камера №3.2 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 32,22 \text{ кВт};$$

Обираємо SGBE 50-F43 A -3 шт

9. Камера №4.1 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 32,38 \text{ кВт};$$

Обираємо SGBE 50-F43 A -3 шт.

10. Камера №4.2 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 32,22 \text{ кВт};$$

Обираємо SGBE 50-F43 A -3 шт.

11. Камера №5.1 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 48,63 \text{ кВт};$$

Обираємо SGBE 50-F43 A -3 шт.

12. Камера №5.2 ($t_{\text{кам}} = -20^{\circ}\text{C}$).

$$Q_0 = 48,64 \text{ кВт};$$

Обираємо SGBE 50-F43 A -3 шт.

2.3.3 Підбір лінійної арматури для випарників.

Для регулювання подачі холодильного в випарники обираємо імпульсні електро-розширювальні вентиля Dandoss серії АКV, використання ЕРВ порівняно з ТРВ мають такі переваги:

- регулювання проходить з меншим перегрівом 4-5 °С;
- можливість збільшити діапазон плаваючого тиску конденсації;
- використання в циклах с економайзером без лінії байпасування під час запуску установки;

Підбір лінійної арматури проводимо в програмі Coolselector 2.

За для здійснення розрахунку вказуємо :

- холодоагент R507;

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- необхідну холодопродуктивність Q_0 ;
- температуру кипіння $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температуру конденсації $45\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- переохолодження $2\text{ }^{\circ}\text{K}$;
- температуру перегріву $10\text{ }^{\circ}\text{K}$;
- додаткове переохолодження в економайзері $28\text{ }^{\circ}\text{K}$;
- навантаження на ЕРВ повинно бути не більше 85% .

Для камер №1.1; №1.2; №1.3; №1.4; №2.1; №2.2; №3.1; №3.1; №3.2; №4.1; №4.2; обираємо АКВ10-6 (дод. 6).

Для камер №5.1 №5.2 АКВ10-7.

2.3.3 Підбір лінійної арматури для компонування централі.

Холодопостачання підприємства планує забезпечити трьма холодильними станціями на базі двох однотипних напівгерметичних гвинтових компресорів Blitzer HSN 7451-60 з двохступінчастим регулюванням продуктивності $75-50\%$.

Кожна централь обладнана індивідуальним сітчастим фільтром на лінії всаса, загальним масловіддільником, підтримкою тиску конденсації, лінійним ресивером, індивідуальним економайзером з необхідною автоматикою. Також всіма необхідними засобами захисту від небезпечних режимів роботи.

Лінійна арматура підбиралася за допомогою програми підбору Danfoss Coolselector.

1. Підбір сервоприводного клапана ICS з пілотним керуванням, який за допомогою пілота CVP (XP) підтримує тиск в ресивері. Підбір відбувається за пропускній здатності клапана - K_v .

- холодоагент R507;
- масову витрату в трубопроводі нагнітання $5\ 468\text{ кг/год}$;
- температуру конденсації $45\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- переохолодження $2\text{ }^{\circ}\text{K}$;
- температуру перегріву $10\text{ }^{\circ}\text{K}$;

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Обираємо ICS 50

2. Підбір зворотнього клапана CHV для запобігання зворотнього току холодоагента з ресивера в конденсатор. Підбір відбувається за пропускній здатності клапана - Kv.

- холодоагент R507;
- масову витрату в трубопроводі нагнітання кг/год ;
- температуру конденсації 45 0C;
- переохолодження 2 0K;
- температуру перегріву 10 0K;

Обираємо CHV 40.

3. Підбір запірно-зворотнього клапана SCA для запобігання заворотного току холодоагента з конденсатора в компресорну групу. Підбір відбувається за пропускній здатності клапана - Kv.

- холодоагент R507;
- масову витрату в трубопроводі нагнітання кг/год ;
- температуру конденсації 45 0C;
- переохолодження 2 0K;
- температуру перегріву 10 0K;

Обираємо SCA 65.

4. Підбір соленоїдного вентиля для подачі холодильного агента в економайзер.

- холодоагент R507;
- необхідну холодопродуктивність Q₀;
- температуру кипіння -27 0C;
- температуру конденсації 45 0C;
- переохолодження 2 0K;
- температуру перегріву 10 0K;

Обираємо EVR 15.

5. Підбір терморегулюючого вентиля для регулювання подачі холодильного агента в економайзер.

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- холодоагент R507;
- необхідну холодопродуктивність Q_0 ;
- температуру кипіння $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температуру конденсації $45\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- переохолодження $2\text{ }^{\circ}\text{K}$;
- температуру перегріву $10\text{ }^{\circ}\text{K}$;

Обираємо TE15-3.

6. Підбір соленоїдного вентиля для подачі холодильного агента в економайзер.

- необхідну масову витрату;
- необхідну холодопродуктивність Q_0 ;
- температуру кипіння $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температуру конденсації $45\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- переохолодження $2\text{ }^{\circ}\text{K}$;
- температуру перегріву $10\text{ }^{\circ}\text{K}$;

Обираємо EVR 25

7. Підбір пластинчатого теплообмінника Danfoss проводимо в програмі підбору Danfoss Heact.

Сторона 1.

- холодоагент R507;
- необхідну холодопродуктивність Q_0 ;
- температуру кипіння $3\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температуру конденсації $45\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- переохолодження $2\text{ }^{\circ}\text{K}$;
- температуру перегріву $6\text{ }^{\circ}\text{K}$;

Сторона 2.

- холодоагент R507;
- стан рідини;
- температуру входу $43\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температуру виходу $13\text{ }^{\circ}\text{C}$;

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Обираємо мікропластинчастий теплообмінник Danfoss D118-E-26
(дод.13).

8. Підбір ресивера здійснюємо за діаграмою залежності об'єму від холодопродуктивності холодильної централі [4, ст. 3]

Обираємо вертикальний ресивер FS3102.

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

3. МОДЕЛЮВАННЯ КАМЕР ОХОЛОДЖЕННЯ В ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ

3.1. Створення 3D моделі об'єктів дослідження.

Створення моделі відбувалося в програмі Revit MER, інформація для створення моделі об'єкту головним чином бралася з планів, та фото об'єкта. Достовірність інформації буде перевірена після більш детального його дослідження. Таким чином ми реалізуємо одну з переваг BIM моделювання, щодо внесення змін в розроблений проект, незалежно від його стадії.

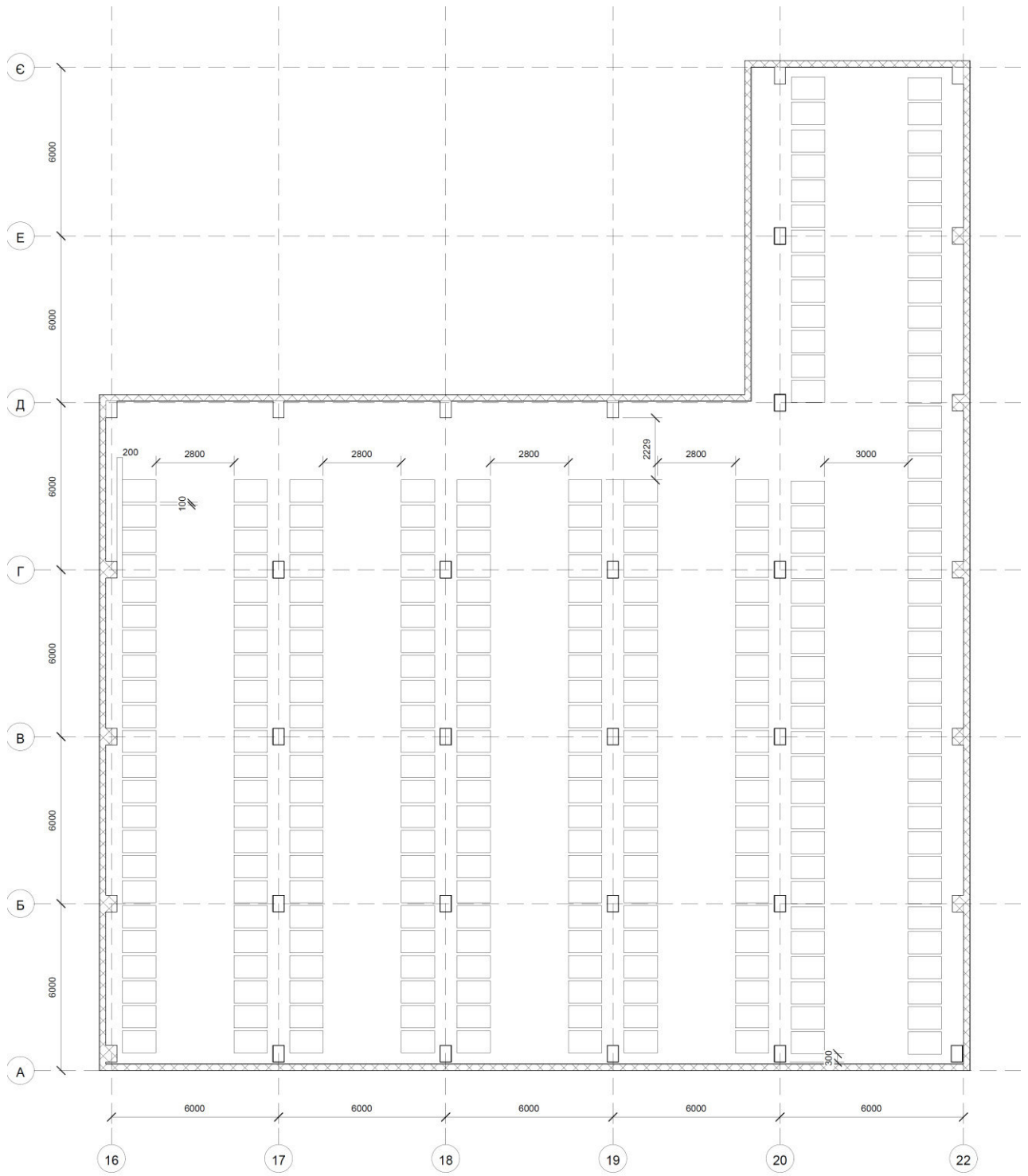
Створення 3D моделі камери зберігання.

Головним чином в дослідженому об'єкті існують два типа нетипових камер доцільність аналізу полів швидкості та температури в них, зумовлена їх геометричними розмірами та наявністю виступаючих конструкцій в об'ємі камера № 1 (мал. 3.1.1) та камера № 2 (мал. 3.1.2) .

3D модель була експортована з BIM моделі холодильника. Згідно проекту в камерах №5.1 №5.2 було підібрано по три повітроохолодника. SGBE 50-F43 відповідно Вар №1, що до доцільності їх вибору підлягає перевірки тому в Варіанті №2 було замінено SGBE 50-F43 на повітроохолодники SGBE 50-F42 які розташовані таким чином, щоб потік повітря був спрямований на зустріч.

- Камера №1 Варіант №1 (мал.3.1.3) ;
- Камера №1 Варіант №2 (мал.3.1.4) ;
- Камера №2 Варіант №1 (мал.3.1.5) ;
- Камера №2 Варіант №2 (мал.3.1.6) ;

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



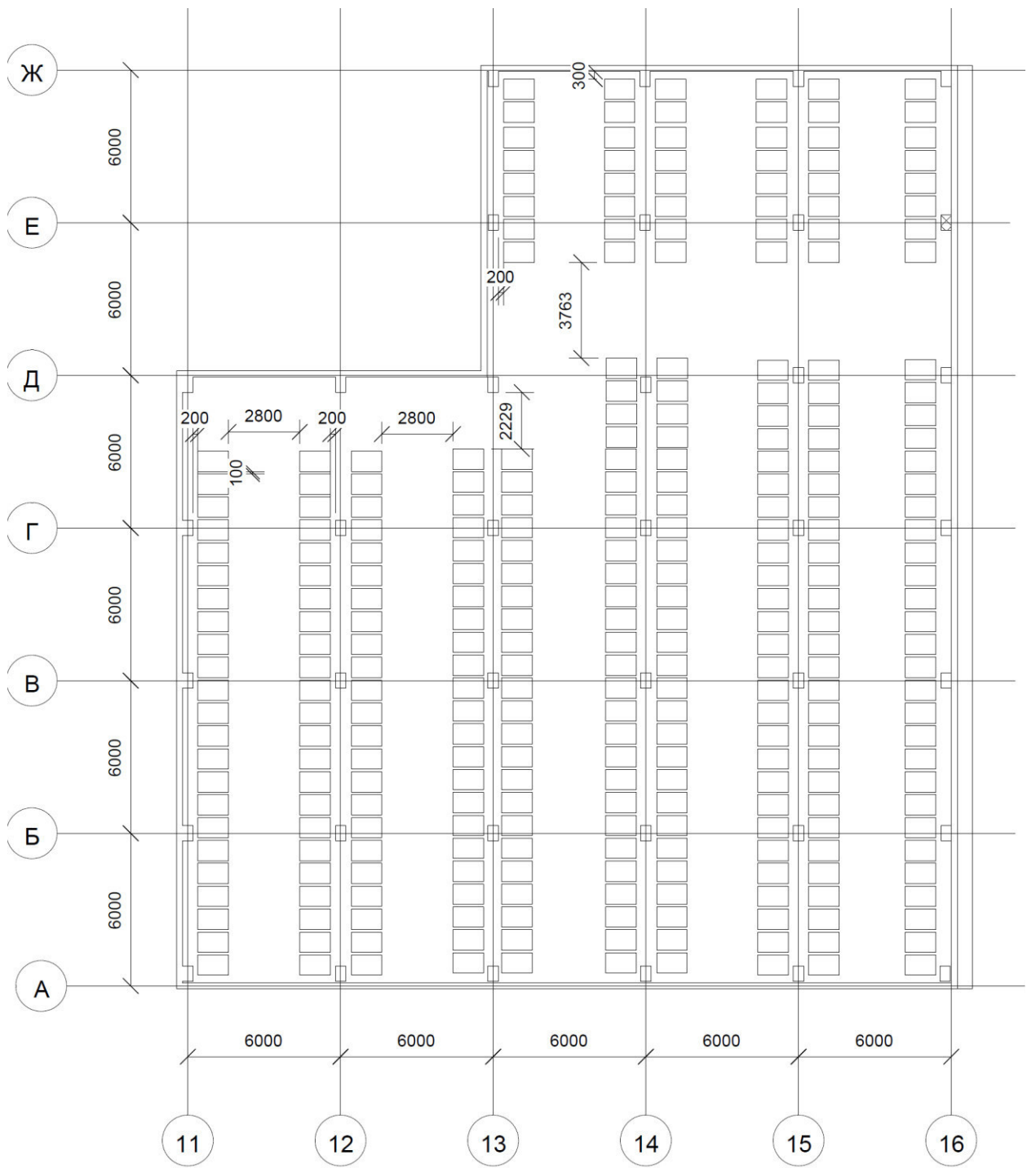
Мал. 3.1.1 Креслення камери №1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.014.ПЗ

Арк.

46



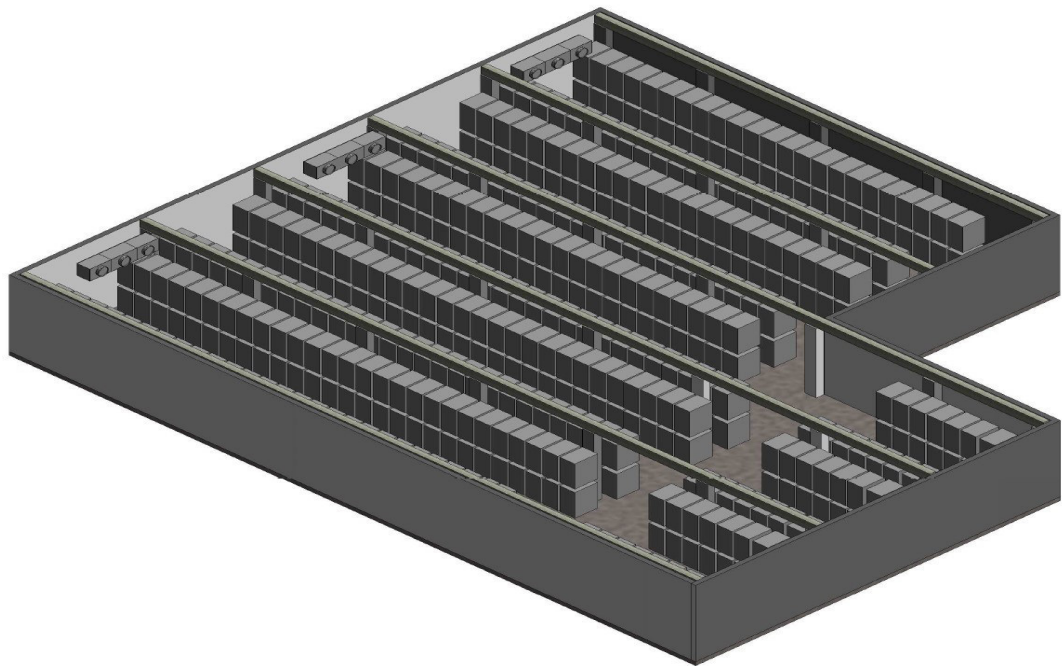
Мал. 3.1.2 Креслення камери №1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

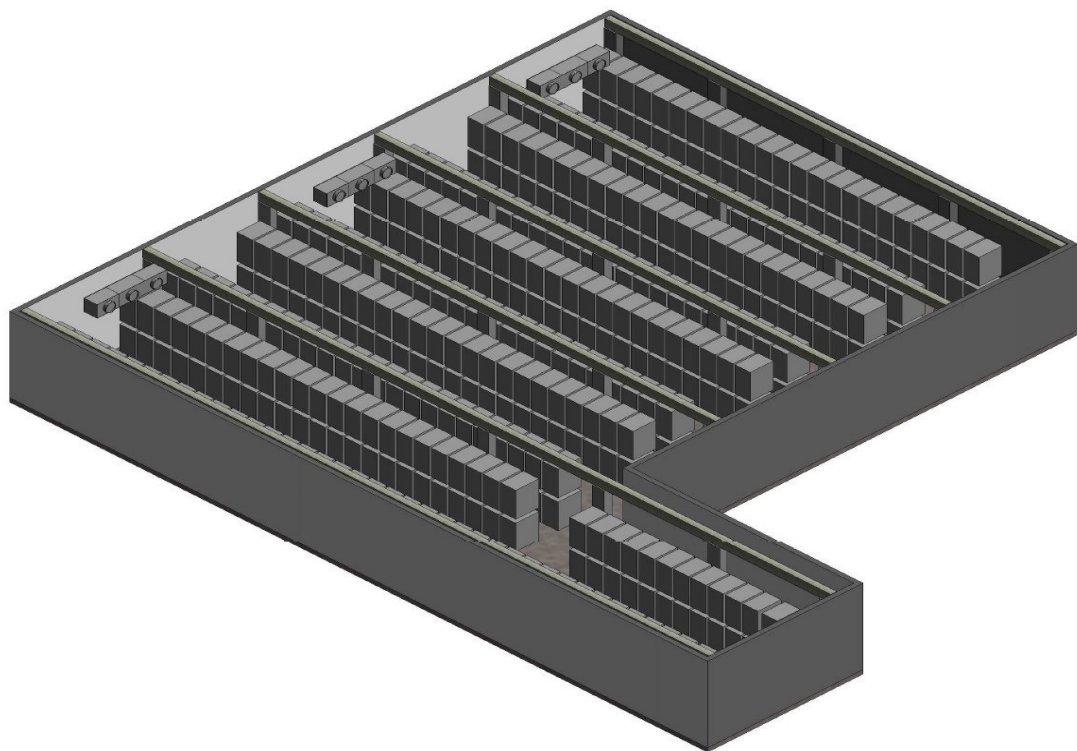
00.MP.142.003.014.ПЗ

Арк.

47



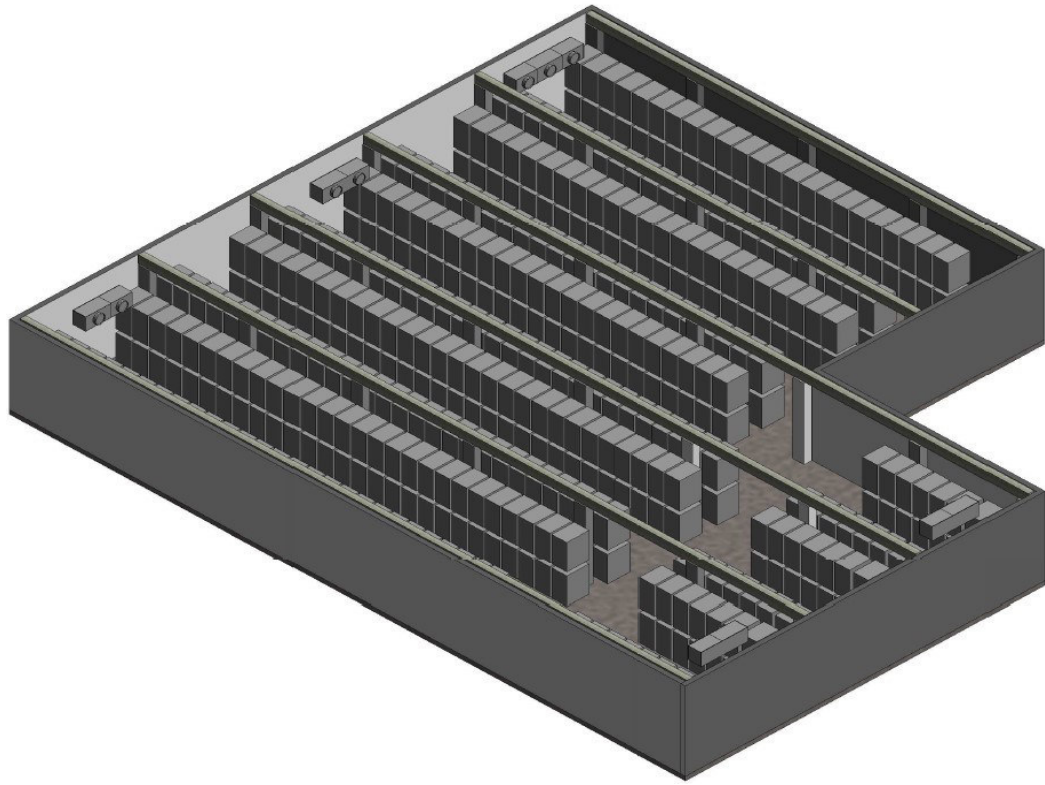
Мал.3.1.3 1 варіант моделювання камери №1



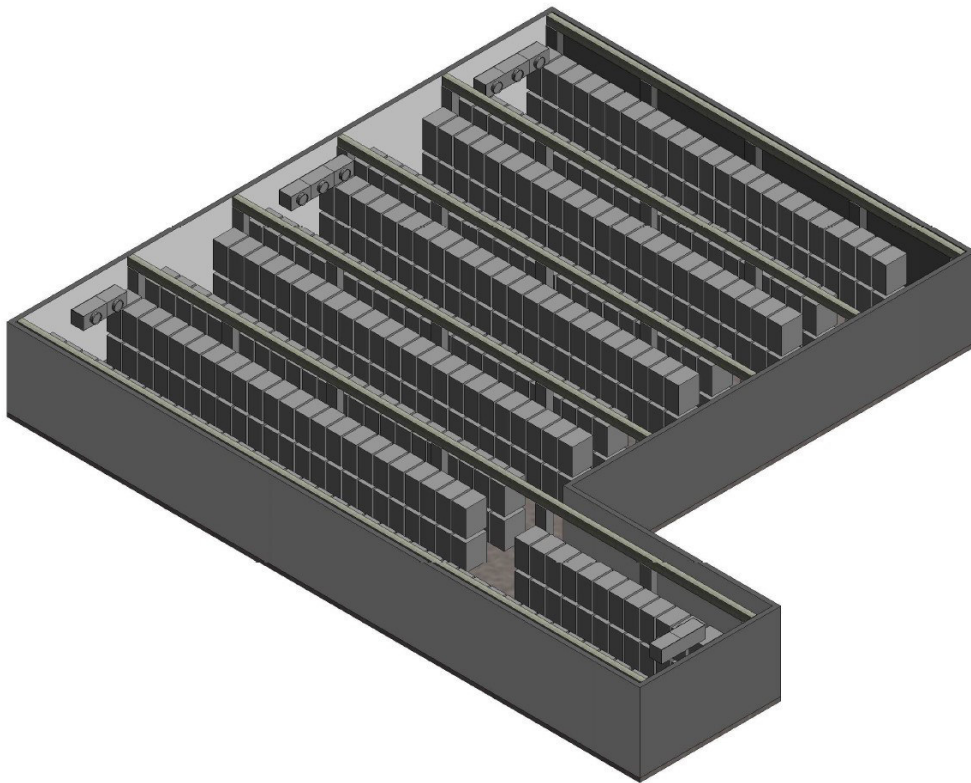
Мал.3.1.4 2 варіант моделювання камери №1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.014.ПЗ



Мал.3.1.5 1 варіант моделювання камери №2



Мал.3.1.6 2 варіант моделювання камери №1

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

3.2 Аналіз полів швидкості та температури в змінених камерах зберігання.

Існують доволі багато рекомендацій по вибору повітроохолодників всі вони ґрунтуються на практичний досвід та довжину пробою струмини визначеної за EN 328 .

Вимірювання відбувається за умов:

- в пустій камері;
- чиста стелі;
- без зміни температури повітря;

Реальна камера не відповідає цим умовам тому підбір повітроохолодників по довжині пробою проводити не доцільно в камерах з великою кількістю виступаючих конструкцій: балки, ферми, колони, світильники, палети і т.д. та з нестандартними геометричними формами розташування і вибір повітроохолодників слід перевірити за допомогою CFD аналізу на наявність застійних зон, на вторинні контури, та на наявність зон що не відповідають технологічним умовам.

Аналіз був виконаний в програмі Autocad CFD Simulation 2014. Загалом процес можна поділити на декілька стадій:

- Завантаження геометрії;
- Задавання матеріалів об'єкту;
- Накладання граничних умов;
- Накладання сітки;
- Процес розрахунку;
- Отримання і дослідження результатів розрахунку;

Розрахунок проводився для найбільш навантажених камер, в період їх роботи в стаціонарному режимі, не враховуючи експлуатаційні теплонадходження, та тепло надходження від термообробки продукту.

Граничні умови:

- Коефіцієнт теплопередачі відповідно для кожної стінки;
- Матеріали моделі;

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

- Температура зовні стінки -38°C ;
- Температура в тамбурі -32°C ;
- Надлишкова температура від сонячної радіації стіни -4°C ;
- Надлишкова температура від сонячної радіації стеля -14°C ;
- Теплоенергетична модель випарнику;
- Об'ємна продуктивність з дод.;
- Температура повітря на виході з дод.;

3.3. Аналіз отриманих результатів в процесі моделювання.

Аналіз камери № 5.2

На мал. 3.2.1 показано ізоповерхні температури до -18°C , що не відповідають температурним режимам в камерах зберігання . Згідно якого в Варіант 1 в області $(X_0-X_1; Y_0- Y_1)$ (30-21; 36-24) найбільше застійних зон, тому в подальшому будемо досліджувати параметри температури та швидкості в порівнянні з Варіантом 2.

Варіант 1 на мал. 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4 зображено перерізи поля швидкості в площині XY на висоті $Z=+0.2;$; 1.5; 3 м. провівши аналіз яких можна дослідити застійні зони в камері що напряму впливають на розподіл температурного поля в камері. Аналізуючи дані перерізи можна дійти висновку що головним чином в більшості об'єму камери циркуляція повітря відповідає технологічним умовам зберігання окрім площини XY (30-21; 36-24) яку доцільно проаналізувати в площині ZY на наявність вторинних контурів рециркуляції. Як бачимо з розрізу ZY $X=26$ м (мал. 3.2.5) на відмітці $Y =29$ м. йде відрив струмини та процес утворення вторинного контуру, його вплив на розподіл температури в камері можемо побачити з перерізу ZY $X=24$ м (мал. 3.2.6).

Варіант 2 мал. 3.2.7, 3.2.8, 3.2.9 зображено перерізи поля швидкості в площині XY на висоті $Z=+0.2;$; 1.5; 3 м. згідно результатів дослідження можна споглядати загальне зменшення кількості застійних зон порівняно з Варіантом 1, але в наслідок заміни SGBE 50-F43 на SGBE 50-F42 можемо

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

споглядати зменшення ширини робочої зони струменя повітря тому є доцільно проаналізувати перерізи в площині ZY при $X=18\dots24$.

Мал. 3.2.10 зображено поля швидкості перерізу в площині ZY при $X=20$ Варіанті 2 в порівнянні з мал. 3.2.11 поля швидкості перерізу в площині ZY при $X=20$ Варіанта 1. Можемо споглядати, що загальна швидкість в перерізі Варіанта 1 значно менша у ніж Варіанті 2 таким чином заміна SGBE 50-F43 на SGBE 50-F42 призводить до зменшення ширини робочої зони повітроохолодника.

Аналіз камери № 5.1

На мал. 3.2.13 показано ізоповерхні температури до $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, що не відповідають температурним режимам в камерах зберігання. Згідно якого в Варіант 1 в області $(X_0-X_1; Y_0- Y_1)$ (29-12;36-24) найбільше застійних зон, тому в подальшому будемо досліджувати параметри температури та швидкості в порівнянні з Варіантом 2.

Варіант 1 на мал. 3.2.14, 3.2.15 3.2.16 зображено перерізи поля швидкості в площині XY на висоті $Z=+0.2,; 1.5; 3$ м. провівши аналіз яких можна дослідити застійні зони в камері, що напряду впливають на розподіл температурного поля в камері. Аналізуючи дані перерізи можна дійти висновку що головним чином в більшості об'єму камери циркуляція повітря відповідає технологічним умовам зберігання окрім площини XY (29-12;36-24) яку доцільно проаналізувати в площині ZY на наявність вторинних контурів рециркуляції. Як бачимо з розрізу ZY $X=27$ м та ZY $X=20$ м мал. 3.2.17, мал. 3.2.18 на відмітці $Y =29$ м. йде відрив струмини та процес утворення вторинного контуру, його вплив на розподіл температури в камері можемо побачити з перерізу ZY $X=25$ м (мал. 3.2.17).

Варіант 2 мал. 3.2.19, 3.2.20 зображено перерізи поля швидкості в площині XY на висоті $Z=+0.2,; 1.5$ м. згідно результатів дослідження можна споглядати загальне зменшення кількості застійних зон порівняно з Варіантом 1, але в наслідок заміни SGBE 50-F43 на SGBE 50-F42 можемо

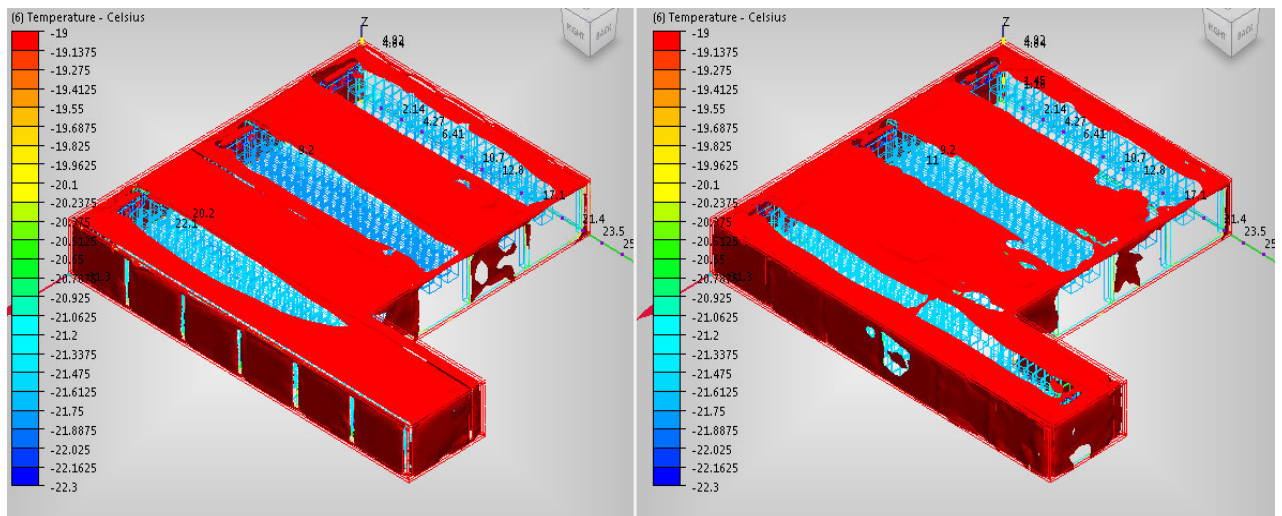
					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

споглядати значне зменшення ширини робочої зони струменя повітря тому є доцільно проаналізувати перерізи в площині ZY при X=12...22

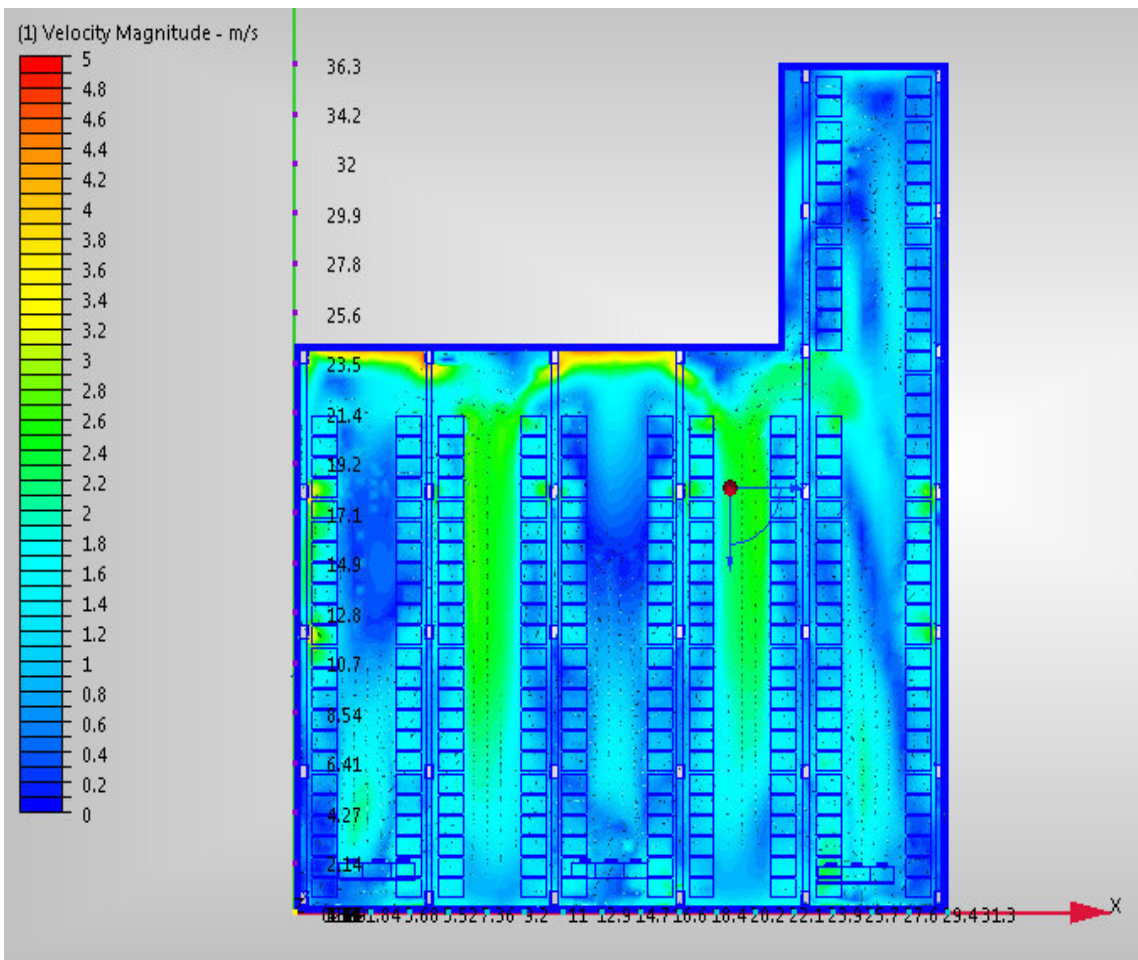
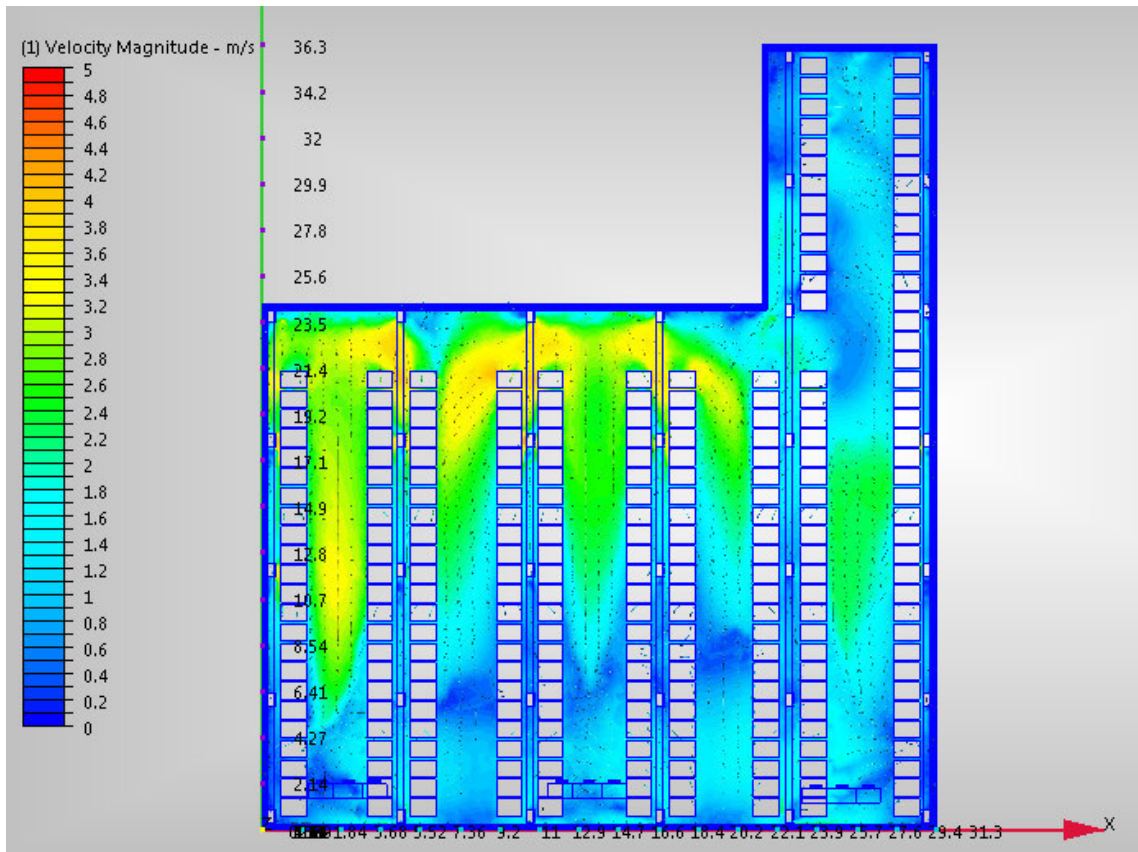
Мал. 3.2.21 зображено поля швидкості перерізу в площині ZY при X=20 Варіанту 2 в порівнянні з мал. 3.2.22 поля швидкості перерізу в площині ZY при X=21 Варіанту 1. Можемо споглядати, що загальна швидкість в перерізі Варіант 1 значно менша ніж у Варіанті 2 таким заміна SGBE 50-F43 на SGBE 50-F42 призводить до зменшення ширини робочої зони повітроохолодника . Таким чином кількість незадовільних зон в Варіанті №2 вища.

Оптимізація розміщення повітроохолодників.

Згідно отриманих результатів, дослідження для камери №5.2, найбільш доцільним буде розташування повітроохолодників Варіанту 2. Для камери №5.2 оптимальним рішенням являється Варіант 1.



										Арк.
										53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.014.ПЗ					

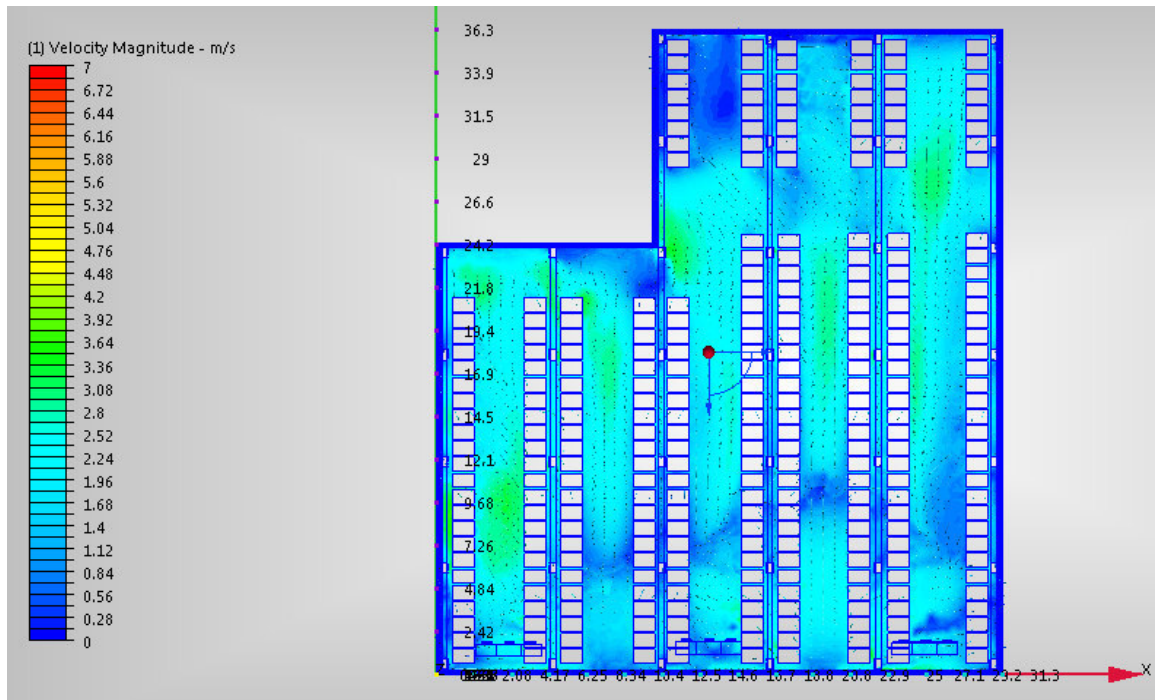
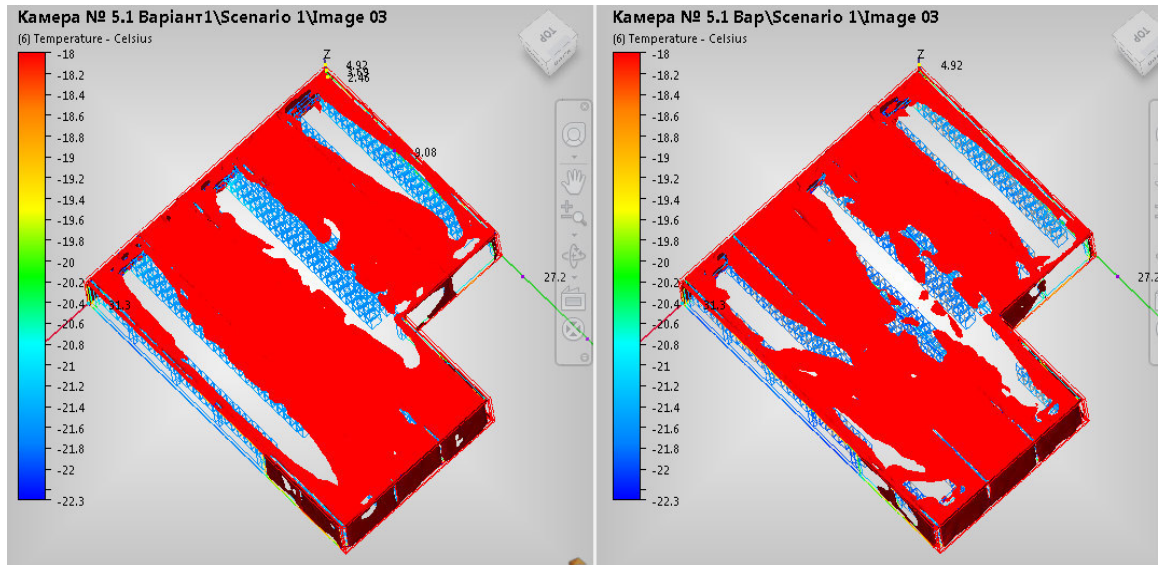


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.014.ПЗ

Арк.

54

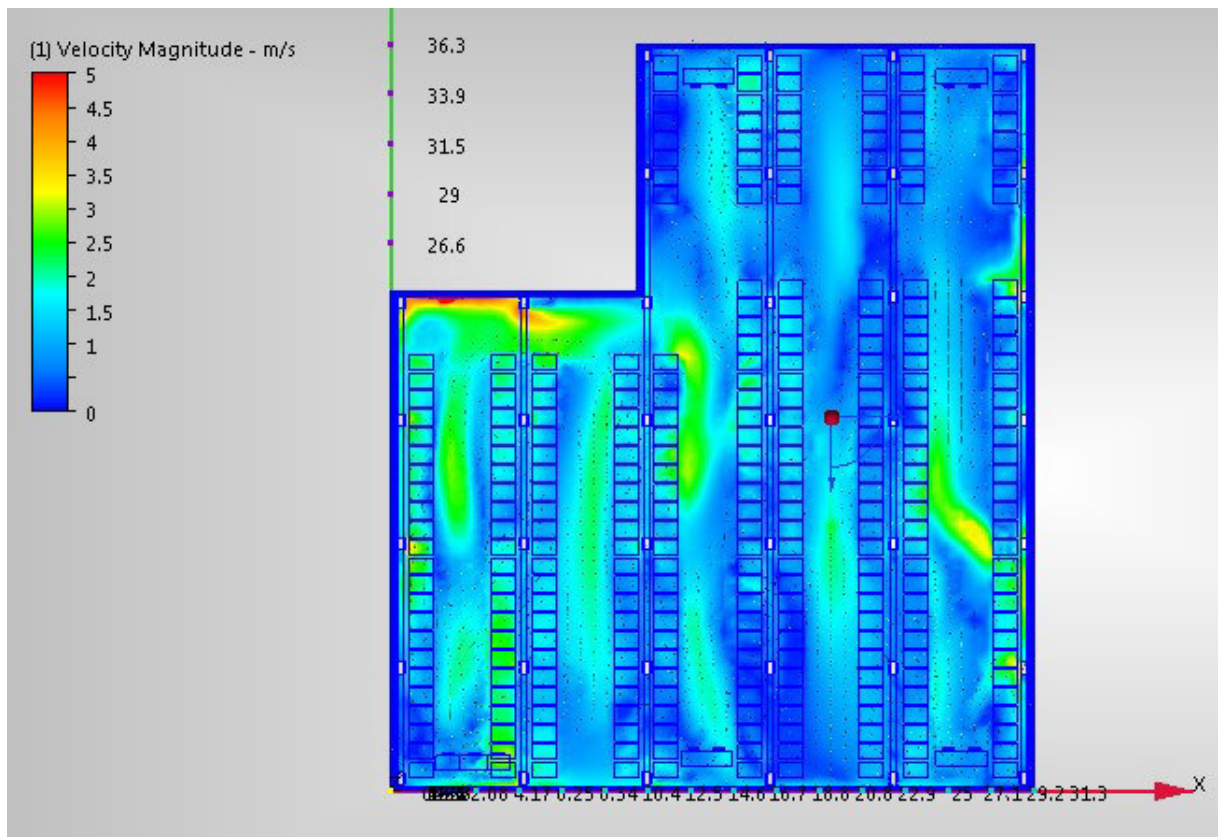
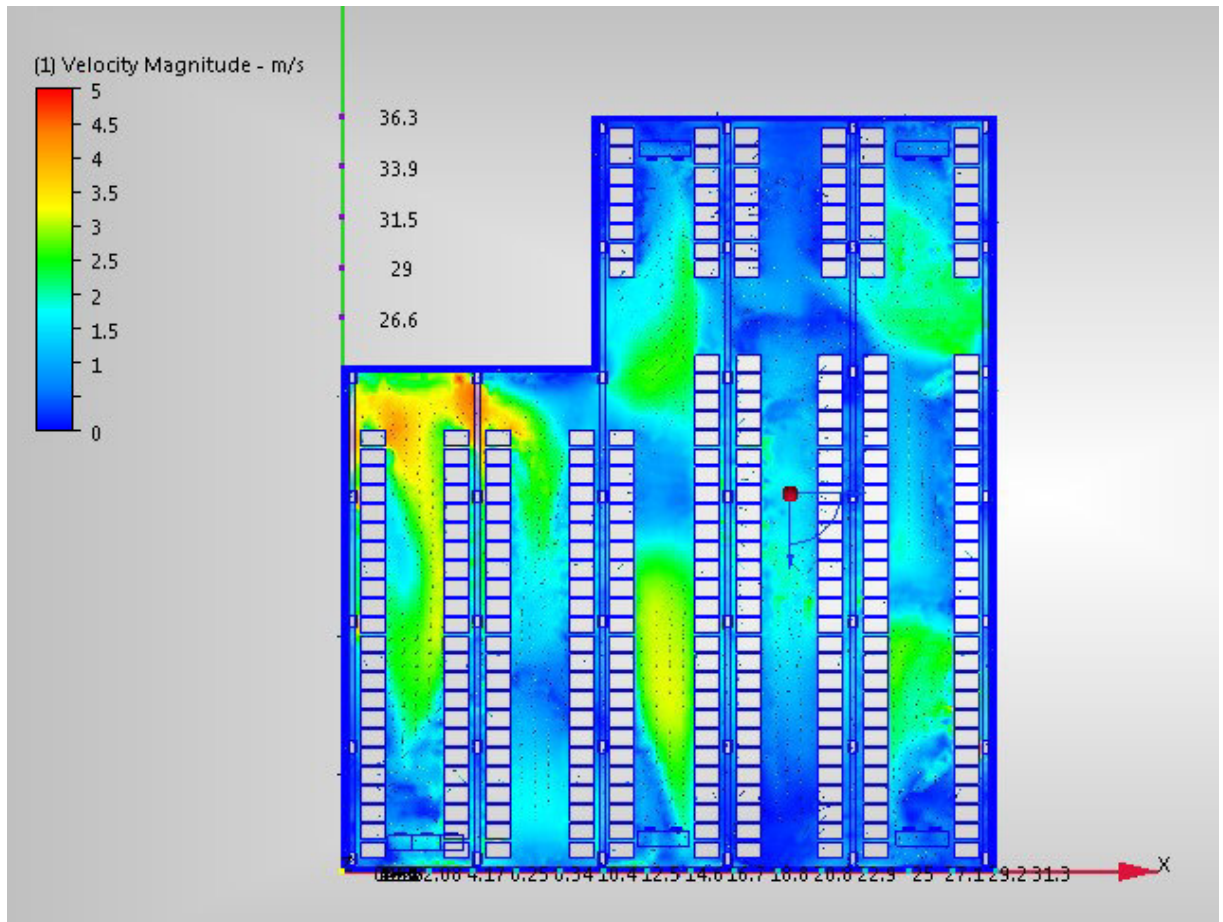


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.014.ПЗ

Арк.

55



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.014.ПЗ

Арк.

56

4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.

4.1 Заовна специфікація на обладнання.

Заовна специфікація на обладнання складена за цінами фірм постачальників з урахуванням НДС і приведена до таблиці. 4.1. Вартість упаковки, транспортування та поставок обладнання із-за кордону та супроводжувальні витрати на отримання обладнання в Україні входять у вартість обладнання.

Таблиця 4. 1 Заовна специфікація на обладнання холодильної установки.

Обладнання	Марка	Виробник	Од. ви м.	К- ть	Код	Ціна EURO	EURO
1. Компресорно-ресиверні агрегати							
Компресор гвинтовий в стандартній комплектації(опції: нагнітальний вентиль, адаптер и запорний вентиль ЕСО).	HSN7451-60	BITZER	шт	6		14562,00	87372,00
Масловіддільни(опція: вентиль на виході мастила)	ОА 4188	BITZER	шт	3		4527,00	13581,00
Вентиль шаровий	GBC 10s	DANFOSS	шт	3	009G7031	35,40	106,20
Соленоїдний вентиль скидання в М.О	EVR 3	DANFOSS	шт	3	032F1208	49,32	147,96
Котушка вентилля	EVR	DANFOSS	шт	3	018F8701	26,52	79,56
Ресивер (вентиль на вході, адаптер для ПК)	FS 2202	BITZER	шт	3		3403,00	10209,00
Віддільник рідини	LTG-S 35-80	GOKCELER	шт	6		184,80	1108,80
Комплект запобіжних клапанів	3032/64+3030/44 - 2 шт.	Castel	шт	3		299,54	898,61
Фільтр газовий	FIA 80 D ANG	DANFOSS	шт	6	148B5905	221,16	1326,96
Вставка фільтра газового		DANFOSS	шт	6	148H3119	171,24	1027,44
Запорний клапан газового фільтра	SVA-ST 80 D ANG CAP	DANFOSS	шт	6	148B5901	502,80	3016,80

								Арк.
								57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.014.ПЗ			

Сервоприводний клапан	ISC 50	DANFOSS	шт	3	027H 5020	1543,68	4631,04
Пілот	CVP-HP	DANFOSS	шт	3	027B 1161	606,36	1819,08
Зворотній клапан після масловіддільника	SCA 65 D ANG	DANFOSS	шт	3	148B 5803	1017,12	3051,36
Зворотній клапан після конденсатора	CHV 40D ANG	DANFOSS	шт	3	148B 5636	245,88	737,64
Корпус масляного термостата	ORV 40 DIN H2	DANFOSS	шт	3	148H 3402	501,12	1503,36
Масляний термостат	ORV H2 49°C/120°F	DANFOSS	шт	3	148H 3464	409,80	1229,40
Манометр	HP		шт	3		30,00	90,00
Манометр	LP		шт	3		30,00	90,00
Економайзер	D118-E-26	DANFOSS	шт	6	021H 2757	723,48	4340,88
Соленоїдний вентиль після ЕКО	EVR 25 (28 mm)	DANFOSS	шт	6	032F2 206	380,04	2280,24
Соленоїдний вентиль подачі в ЕКО	EVR 15 (22 mm)	DANFOSS	шт	6	032F1 224	164,88	989,28
Котушка вентиля	EVR	DANFOSS	шт	12	018F8 701	26,52	318,24
ТРВ економайзера тремостатичний елемент	TES 5	DANFOSS	шт	6	067B 3342	153,36	920,16
ТРВ економайзера, дюза	TE5-4	DANFOSS	шт	6	067B 2792	65,64	393,84
ТРВ економайзера корпус	TE5	DANFOSS	шт	6	067B 4033	55,32	331,92
ТРВ економайзера гайка бмм	Гайка NS 4- 4 C	DANFOSS	шт	6	011L1 101	3,24	19,44
Оглядове скло	SGN 22s	DANFOSS	шт	6	014L0 186	36,00	216,00
Вентиль шаровий ЕКО подача	GBC 22s	DANFOSS	шт	6	009G 7025	59,28	355,68
Вентиль шаровий ЕКО переохл рідина	GBC 35s	DANFOSS	шт	6	009G 7027	139,56	837,36
Фільтр осушувач	DCR 14417s	DANFOSS	шт	3	023U 7070	276,72	830,16
катридж	48 DU/DM	DANFOSS	шт	18	023U 1392	36,72	660,96
Оглядове скло	SGN 12s	DANFOSS	шт	3	014L0 183	22,92	68,76
Реле тиску захистне	KP 15	DANFOSS	шт	6	060- 11546 6	110,88	665,28
Реле тиску ECO	KP 1	DANFOSS	шт	6	060-	60,24	361,44

Арк.

00.MP.142.003.014.ПЗ

58

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

					11016 6		
Вентиль шаровый	GBC 16s	DANFOSS	шт	3	009G 7023	39,36	118,08
Обратный клапан тиску в ресивері	NRVH 16	DANFOSS	шт	3	020- 1038	52,20	156,60
Клапан тиску в ресивері	KVD 15	DANFOSS	шт	3	034L0 177	273,36	820,08
Вентиль сільфонний	BML 6s	DANFOSS	шт	9	009G 0101	44,16	397,44
Вентиль шаровый відсікання фільтра і подачі	GBC 54s	DANFOSS	шт	3	009G 7029	254,28	762,84
Вентиль шаровый відсічка мастила	GBC 16s	DANFOSS	шт	3	009G 7023	39,36	118,08
Зворотній вентиль лінії мастила	NRV 35s (42mm)	DANFOSS	шт	3	020- 1035	237,24	711,72
Диф.клапан	NRD 12	DANFOSS	шт	3	020- 1136	85,08	255,24
Витратні матеріали			к-т	3		10399,3 9	31198,17
Збірка-випробування				3		900,00	2700,00
Всього по розділу 1 :						182 854	
2. Виносний повітряний маслоохолодник							
Повітряний маслоохолодник	OL 600	Bitzer	шт	3		3442,56	10327,68
Вентиль шаровий	GBC 42s	DANFOSS	шт	6	009G 7034	158,88	953,28
Всього по розділу 2 :						11 281	
3. Електрообладнання							
Щит управління (+Мо.хл.+Конденсатор)			шт	9		5053,32	45479,88
Всього по розділу 3 :						45 480	
4. Виносний повітряний конденсатор							
Повітряний конденсатор	RF- PA103L4H- 091E865	GEA	шт	3		17564,6 7	52694,01
Вентиль шаровий	GBC 54s	DANFOSS	шт	6	009G 7029	254,28	1525,68
Всього по розділу 4 :						54 220	
5. Камерне обладнання поверху №1							
Повітроохолодник	SGBE 50- F42 A	GEA-KUBA	шт	5		5344	26720,00
Вентиль шаровий	GBC 16s	DANFOSS	шт	5	009G 7023	39,36	196,80
Вентиль шаровий з клапаном шредера	GBC 35s	DANFOSS	шт	5	009G 7057	139,56	697,80

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>			Арк.
								59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Щит управління камера (1хSGBE 50-F42 A)			шт	3		1253,47	1253,47
Щит управління камера (2хSGBE 50-F42 A)			шт	1		2116,35	2116,35
котушка	220В	DANFOSS	шт	5		26,52	132,60
ЕРВ	AKV 10	DANFOSS	шт	5	068F5 000	148,56	742,80
Всього по розділу 5 :							33 113
6. Камерне обладнання по верху №1; №2; №3; №4							
Повітроохолодник	SGBE 50-F43 A	GEA-KUBA	шт	24		7 772,00	186528,00
Повітроохолодник	SGBE 50-F42 A	GEA-KUBA	шт	8		5344	42752,00
Вентиль шаровий	GBC 16s	DANFOSS	шт	5	009G 7023	39,36	196,80
Вентиль шаровий з клапаном шредера	GBC 35s	DANFOSS	шт	5	009G 7057	139,56	697,80
Вентиль шаровий	GBC 18s	DANFOSS	шт	24	009G 7035	58,80	1411,20
Вентиль шаровий з клапаном шредера	GBC 42s	DANFOSS	шт	24	009G 7064	158,88	3813,12
Щит управління камери			шт	8		2 952,17	2952,17
ЕРВ	AKV 10	DANFOSS	шт	8	068F5 000	148,56	1188,48
ЕРВ	AKV 15	DANFOSS	шт	20	068F5 000	460,56	9211,20
катушка	220В	DANFOSS	шт	28		26,52	742,56
Всього по розділу 6 :							209 010
Всього по обладнанню							576 441

Разом вартість обладнання складатиме 576 441 тис. євро. з врахуванням НДС.

Вартість обладнання без врахування знижки 576 441 євро. Середня знижка на обладнання становить 35%.

Вартість обладнання зі знижкою $576\,441 \times 0,65 = 374\,686$ євро.

Вартість обладнання в національній валюті, курс на момент розрахунку 29.017 грн/євро

$374686 \times 29,017 = 10872282$ грн.

4.2 Вартість будівельних робіт.

									Арк.
									60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.014.ПЗ				

Розрахунок вартості будівельних робіт та матеріалів проведено в таблиці нижче.

Специфікація матеріалів які підлягають монтажу				
Тип	Об'єм	Площа	Вартість грн/м3	Вартість Грн.
Штукатурка	170,12	8525		
Бетон	130,3	1862		
Залізобетон	543,16	7507		
ПСБС	2420,58	15010		
Невраховані матеріали	163,208	1645,2		
Вартість вивозу ТПВ	3427,368		80	274189,44
Специфікація матеріалів які підлягають монтажу				
Тип	Об'єм	Площа	Вартість грн/м3	Вартість Грн.
Бетон	130,07	1862	4100	533287
Залізобетон	549	7627	4100	2250900
Тип	Об'єм	Площа	Вартість грн/м2	Вартість
Штукатурка	28,12	1412	60	84720
Сендвіч панель 60 мм	58,02	907	512	464384
Сендвіч панель 100 мм	613,82	5982	697	4169454
Невраховані матеріали (10 %) від загальних	76,52	1180,80	946,9	75027,45
Вартість демонтажних та монтажних робіт				Вартість Грн.
Вартість демонтажних та монтажних робіт (20 %)			2083,18	1515554,49
Загалом			12579,08	9367516,38

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Визначення кількості виробленого холоду.

Витрати на виробництво холоду при різноманітних температурах кипіння нерівноцінні, тому їх слід приводити до умовної величини – приведеного виробництва холоду, яка визначається як сума добутків кількості виробленого холоду при робочих умовах на коефіцієнт перевodu. Величина переводного коефіцієнту приймається в залежності від робочої температури.

Приведена холодопродуктивність, що забезпечує потреби камер зберігання заморожених продуктів :

$$Q_{0(-30)} = Q_{0(-30)} \times k = 413,7 \times 1,8 = 744,66 \text{ кВт.}$$

Час роботи обладнання при максимальному навантаженні 5400 годин на рік.

Кількість виробленого приведенного холоду за рік буде складатися:

$$Q_0 = Q_{0(-30)} \times 5400 = 413,7 \times 5400 = 2233982 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

4.4 Статті витрат.

4.4.1 Витрати на оплату електроенергії.

По цій статті розраховують витрати на силову електроенергію для приводів компресорів, насосів що встановлені на основному холодильному обладнанні. Річне споживання електроенергії визначається за формулою:

$$W = \sum N_e \times K_c \times n \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

N_e - номінальна потужність двигуна, кВт;

K_c -коефіцієнт використання;

n -час роботи обладнання при робочих умовах, год.

Перелік електроприводів, їх характеристика та розрахунок витрат електроенергії заведено до таблиці 4.3.

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Назва обладнання	Потужність кВт	К-ть	Час роботи	Споживча електроенергія
Компресор Bitzer HSN7451- 60	55	6	5400	1782000
Конденсатор	5,25	3	3000	47250
Повітряний Мас. ОХ	1,32	2	1100	2904
Повітроохолодник GEA KelvionSGBE 50-F42 A	1,48	13	3000	57720
Повітроохолодник GEA KelvionSGBE 50-F43 A	2,22	20	3000	133200
Відтайка GEA KelvionSGBE 50-F42 A	12,35	13	273	43786
Відтайка GEA KelvionSGBE 50-F43 A	18,2	20	273	99273
Компресор Bitzer HSN7451- 60	55	6	5400	1782000
Всього				2166133,091

Разом річна витрата електроенергії 2166133кВт·год.

Тариф оплати за електроенергію складає 1,97 грн. за кВт·год. Тоді витрати на оплату електроенергії складатиме $2166133 \times 1,97 = 4267282$ грн.

4.4.2 Витрати на поповнення системи холодоагентом.

Ці витрати знаходяться у прямій залежності від продуктивності компресорів. Норма витрати фреоном на поповнення системи за рік складає:

Для компресорів, що працюють на безпосереднє охолодження 3,2 кг/(ст.кВт);

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Для компресорів, що працюють у системі охолодження з проміжним теплоносієм 1,8 кг/(ст.кВт);

Витрати на поповнення системи фреоном, за умов вартості аміаку 335,6 грн/кг будуть складати:

$$B_{R507} = 413,7 \times 3,2 \times 335,6 = 444280 \text{ грн.}$$

4.4.3 Витрати на поповнення системи мастилом.

В фреонових системах масло повністю розчиняється в холодильному агенті, що дає змогу циркулювати мастилу у всіх контурах. Задля недопущення залягання мастила в контурах необхідно забезпечити: нахили трубопроводів на всмоктуванні в сторону до агрегату; швидкість в трубопроводах на всмоктуванні та нагнітання 4-12 м/с – на горизонтальних ділянках; 8-16 – на вертикальних ділянках; на підйомах забезпечити масло підйомні петлі з врахування мінімальних режимів продуктивності забезпечити спарені підйомні трубопроводи.

Заміна мастила відбувається лише під час його забруднення, наявності вологи, згорання обмотки одного з компресорів та накопиченні в мастилі продуктів згорання. Визначається придатність мастила по кольору. Тому кратність заміни мастила приблизно визначається в згідно однократної заміни мастила за рік в масло збірнику, функції якого виконує масловіддільник. Мастило BSE 170.

$$M = V \times \rho \times n, \text{ кг};$$

Де V -об'єм масляного ресивера.;

n - к-ть масляних ресиверів;

ρ - густина мастила.

$$M = \sum 0.040 \times 965 \times 3 = 115,8 \text{ кг};$$

Витрати на поповнення системи мастилом при ціні 900 грн/кг на мастило складатиме:

$$B_{\text{маст}} = 900 \times 115,8 = 103500 \text{ грн}$$

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4.4 Витрати на заробітну плату.

Заробітну плату виробничих робітників розраховують по кожному розряду з врахуванням премії та доплат за роботу у нічний час і святкові дні.

Численність робочого персоналу компресорного цеху приймається в залежності від ступеня автоматизації установки, кількості компресорів та їх загальної продуктивності.

На холодильниках більше 1000 т передбачається посада начальника цеха. При комплексній автоматизації холодильної установки, кількості компресорів 6 шт. та загальній холодопродуктивності до 1744 тис. кВт приймається 4 машиністи та помічники та 2 змінних машиніста, також приймаю 2 слюсаря. Розрахунки заносимо в табл. 4.4.

Найменування	Тарифна ставка	Проект	Кількість	Даток за	Місячна заробітна плата	Річна заробітна плата
Машиніст IV Розряду	22	2	240	548	15280	563360
Машиніст V Розряду	20	4	240	1286	14800	557600
Слюсар	18	4	240	1046	14320	551840
Разом						1572800

Таблиця 4.4. Річна заробітна плата працівників.

Найменування Професії та розряд	Посадовий оклад	Чисельність	Місячний фонд заробітної Плати, грн	Річний фонд Заробітної плати, тис. грн..
Начальник цеху	7500	1	7500	90
Начальник Зміни	5000	2	10000	120
Разом				210

Фонд додаткової заробітної плати: $\text{ФДЗП} = \text{ФОЗП} * 0,8$

$\text{ФДЗП} = 172,8 * 0,08 = 13,8$ тис.грн.

Повний фонд заробітної плати: $\text{ФЗП} = \text{ФОЗП} + \text{ФДЗП}$

										Арк.
										65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.014.ПЗ					

$$\text{ФЗП} = 172,8 + 13,8 = 186,6 \text{ тис.грн}$$

Витрати на оплату праці робітників з нарахуванням;

$$\text{ВОПупр} = 186,6 \times 0,3708 + 186,6 = 255,8 \text{ тис.грн}$$

Фонд додаткової заробітної плати: $\text{ФДЗП} = \text{ФОЗП} \times 0,25$

$$\text{ФДЗП} = 210 \times 0,25 = 52,25 \text{ тис.грн.}$$

Повний фонд заробітної плати: $\text{ФЗП} = \text{ФОЗП} + \text{ФДЗП}$

$$\text{ФЗП} = 210 + 52,25 = 262,5 \text{ тис.грн.}$$

Витрати на оплату праці робітників з нарахуванням;

$$\text{ВОПупр} = 262,5 \times 0,3708 + 262,5 = 359,8 \text{ тис.грн}$$

Разом витрати по заробітній платі для холодильника становлять:

$$\text{ВОПх} = 359,8 + 255,8 = 615,6 \text{ тис.грн.}$$

4.4.5 Амортизація обладнання.

Амортизаційні витрати на обладнання становлять 10%

$$\text{Вамор} = 10872282 \times 0,10 = 1087228 \text{ грн.}$$

4.4.6 Витрати на поточні ремонти.

Витрати на поточні ремонти складають 20% від амортизаційних витрат:

$$\text{Впоточ} = 1087228 \times 0,20 = 217447 \text{ тис. грн.}$$

4.4.7 Витрати на охорону праці.

Фінансування заходів з охорони праці складає 0,2% від фонду оплати праці. Ці кошти витрачають на реалізацію заходів для покращення умов праці, створення кращих побутових і соціальних умов на виробництві, підготовки підприємства до робіт, придбання засобів індивідуального захисту тощо:

$$\text{ВОП} = 615,6 \times 0,002 = 1,23 \text{ тис.грн.}$$

4.4.8 Витрати на утримання будівлі.

Амортизаційні відрахування на будівлі становлять 10%

$$9367516,38 \times 0,01 = 936751 \text{ тис.грн.}$$

4.3.9 Витрати на швидкозношений інвентар.

Витрати на знос малоцінного та швидкозносного інвентарю складатиме 5%.

					<i>00.MP.142.003.014.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ВОП=1087228 ×0,05=54316 грн.

4.3.10 Монтажні і пуско-налагодочні роботи.

Витрати на монтажні роботи та рас ходні матеріали складають 35 % від вартості обладнання враховуємо як амортизаційні витрати на обладнання.

MP=1087'2282 ×0,35 × 0.1 = 380529 грн.

4.3.10 Інші витрати.

Інші витрати складають до 0,5% від загально цехових витрат.

4.3.11 Цехові витрати

Калькуляція цехових витрат зведена до таблиці 4.6.

Статті витрат	Значення показників, тис.грн
Електроенергія	4267
Фреон R507	444,28
Масило	103,5
Оплата праці	615,6
Амортизація	1087
Поточні ремонти	217
Охорона праці	1,23
Утримання будівлі	936
Спрацювання інвентарю	54
Інші витрати	386,2805
Монтажні і пуско-налагодочні	380
Разом	8491,8905

4.3.12 Визначення цехової собівартості виробленого холоду

Собівартість стандартної одиниці виробленого холоду:

$C=18491890/2233982=8,27$ грн./ кВт*год

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Явнель Б. К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1989. - 223 с.; ил.
2. Чумак И.Г., Никульшина Д.Г. Холодильные установки. Проектирование: Учеб. пособие для вузов. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 280 с.
3. <http://cde.nuft.edu.ua/> – Сайт дистанційного навчання НУХТ;
4. https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32096/1/refrigeration_equipment.pdf – Холодильна техніка та технологія харчової промисловості: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс]: науково-допоміжний бібліографічний покажчик двома мовами 1960-2020 рр. / упоряд. Т.П. Фесун; Наук.-техн. б-ка ; Нац. ун-т харч. технологій. – Київ, 2020. – 211 с.
5. <http://ref.org.ua/info/articles/materialy-proektu-neat-gs-khau/> – матеріали проекту HEAT + ГС “Холодильна асоціація України”. Статті, законодавча база та технічна література.
6. <https://store.danfoss.com/ua> – обладнання для систем охолодження фірми Данфос.
7. [https:// Industrial Refrigeration Application Handbook | Danfoss /](https://IndustrialRefrigerationApplicationHandbook|Danfoss/) – навчальна література із застосування промислового холоду.
8. https://www.academia.edu/28692186/HANDBOOK_REFRIGERATION – навчальна література по холодильному обладнанню.
9. <https://agrimoon.com/refrigeration-and-air-conditioning-pdf-book/> – навчальна література по холодильному обладнанню.
10. <https://epdf.tips/refrigeration-equipment.html> – навчальна література по холодильному обладнанню.
11. www.grasso.nl – Вибір обладнання для систем охолодження фірми Grasso;

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

12. www.bitzer.de – Вибір обладнання та розрахунки для систем охолодження фірми Bitzer;

13. Тітлов, О.С. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості: навч. посіб. / О.С Тітлов, С.Ф. Горикін.– Львів: Новий світ 2000., 2011.– 286 с.

14. Теплохолодотехніка: навч. посіб. / С.М. Василенко, В.І. Павелко, А.В. Форсюк, М.М. Масліков, Н.В. Іващенко, С.В. Барановська. – К.: Видавництво Ліра-К, 2018. – 258 с.

15. Холодильна техніка та технологія харчової промисловості: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс]: науково-допоміжний бібліографічний покажчик двома мовами 1960-2020 рр. / упоряд. Т. П. Фесун; Наук.- техн. б-ка ; Нац. ун-т харч. технологій. – Київ, 2020. – 211 с.

					00.MP.142.003.014.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69