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»	**«До захисту допущено»**
Директор інституту	Завідувач кафедри
_____ _Сергій Блаженко	_____ _Валентин Петренко
(підпис) (ім'я та прізвище)	(підпис) (імя та прізвище)
«___» _____ 2023 р.	«___» _____ 2023 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 м'ясокомбінату з порівняльним аналізом систем розподілу повітря в камерах шокової заморозки_____

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ХМ-2-9М

___Коновал Володимир Анатолійович_____ _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник ____Бондар Володимир_ _____
(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 – 2023 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 технологогії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТЕХТ
проф. Петренко В.П.
"07" листопада 2022 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Коновала Володимира Анатолійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект м'ясокомбінату з порівняльним аналізом систем розподілу повітря в камерах шокової заморозки
керівник роботи к.т.н., доц. Бондар В.І.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від 07.11.2022 року № 794-кс
2. Строк подання здобувачем роботи 06.02.2022 року

3. Вихідні дані до роботи розташування підприємства у м. Житомир. Виконати моделювання камери заморозки, методами CAE (моделювання розподілу повітря), температура -35^{0}С, швидкість повітря 30 м/с.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ, 1. Технологічна схема оброблення продукції, 2. Визначення будівельних площ камер, 3. Вибір будівельних конструкцій та розрахунок теплоізоляції, 4. Теплонадходження до приміщень холодильника, 5. Вибір системи та спомобу охолодження, 6. Розрахунок та підбір основного обладнання, 7. Розрахунок та підбір допоміжного обладнання, 8. Тривимірне моделювання камер шокової заморозки, 9. Аміак, холодоагент – безпечний вибір для сталого майбутнього в харчовій промисловості, 10. Охорона праці, 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____07.11.2022_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	07.11-11.11.2022	
	Виконання розділів кваліфікаційної роботи	14.11.22-22.01.23	
	Оформлення ПЗ, презентація, консультація з розділів	23.01-05.02.2023	

Здобувач _____ ____Коновал В.А.__
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ _____Бондар В.І._____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даному магістерському проекті розраховано та запроектовано холодильник м’ясокомбінату в місті Житомир продуктивністю 150 тон переробки на добу, виконано тривимірне моделювання систем розподілу повітря, методами CAE.

В дипломному проекті враховані новітні досягнення в об’ємно-планувальних та конструктивних рішеннях холодильників, системах і схемах охолодження холодильних камер та технологічних процесів. За результатами розрахунку зроблено вибір обладнання таким чином, щоб досягти максимальної ефективності у витратах електроенергії при роботі холодильної установки та досягнення необхідного ефекту в отриманні штучного холоду при максимальному знижені втрат. Наведено розрахунки будівельних конструкцій, теплоізоляції, площі камер холодильника, основного та допоміжного обладнання холодильної установки.

Дипломний проект виконаний на ПК, для розрахунків використовувалися такі прикладні програми: “Microsoft Excel”, “Microsoft Word”, “MathCad”, “CoolPack”, креслення та схеми виконанні за допомогою програми “AutoCad 2021”.

Інформативною базою роботи виступили праці вітчизняних та зарубіжних науковців, статті в наукових та періодичних виданнях.

Ключові слова: тривимірне моделювання, Ansys CFX, моделі турбулентності, моделювання систем розподілу повітря.

Зміст

Вступ……6

1. Технологічна схема оброблення продукції……8

2. Визначення будівельних площ камер холодильника…….....14

3. Вибір будівельних конструкцій та розрахунок теплоізоляції……..18

4. Теплонадходження до приміщень холодильника……..23

5. Вибір системи та способу охолодження…….34

6. Розрахунок та підбір основного обладнання…….…35

7. Розрахунок та підбір допоміжного обладнання…….49

8. Тривимірне моделювання камер шокової заморозки……55

9. Аміак, холодогент - безпечний вибір для сталого майбутнього в харчовій промисловості 80

10. Охорона праці……84

Список використаних джерел…….....104

ВСТУП

Холодильна промисловість в Україні знаходиться у стані швидкого та інтенсивного розвитку. Холодильна промисловість передбачає отримання штучного холоду.

Під штучним холодом у техніці розуміють отримання температури нижче, ніж у навколишньому середовищі, та підтримка таких температур в технологічних процесах чи у приміщеннях. Джерелом штучного холоду служать холодильні машини та установки, які становлять апарати і трубопроводи з замкненим циклом руху спеціальних речовин – робочих тіл, які змінюють свою форму (агрегатний стан) у процесі отримання холоду. Такі тіла називають холодоагентами.

Першим споживачем штучного холоду стала харчова промисловість. За допомогою холодильних машин почали заморожувати та зберігати м'ясо, рибу та інші продукти які швидко псуються.

Бурхливий технічний прогрес XX століття, розвиток сучасних галузей промисловості сприяли використанню штучного холоду у багатьох технологічних процесах. Зараз майже немає галузей народного господарства , які не використовують штучний холод.

Тривале зберігання харчових продуктів, створення штучного мікроклімату у закритих приміщеннях (кондиціювання), гартування металургічна, хімічна промисловість та медицина - ось лише невеликий перелік застосування штучного холоду.

Холодильники - це споруди, призначені для охолодження, замороження та збереження харчових продуктів які швидко псуються.

У приміщеннях (камерах) холодильника підтримуються постійні досить низькі температури (від +12 до -40°) та висока відносна вологість (85-95%). До приміщень холодильника пред'являються підвищені санітарні вимоги.

Холодильники, які працюють у різних районах країни, є ланками безперервного ланцюга, а зв'язок з-поміж них здійснюється за допомогою холодильного транспорту. Протягом останніх років значної популярності набула технологія шокової заморозки харчових продуктів. Ця технологія є найкращим засобом для

того, щоб якнайдовше зберегти продукти. Такий спосіб заморожування передбачає обробку продукту низькою температурою повітря (-35…-40 °С) за невеликий проміжок часу. Шокове заморожування дозволяє максимально зменшити ріст бактерій всередині продукту, таким чином, термін зберігання продукції збільшується на 20-30 %.

Швидке заморожування дає можливість зберегти первинний смак продукції та її вигляд. В процесі заморожування молекули води формують кристали. При звичайному заморожуванні формуються макрокристали, які руйнують кліткову структуру продукту, що погано впливає на його органолептичні якості. Особливо негативними є наслідки формування макрокристалів при заморожуванні м'ясних продуктів, оскільки великі кристали руйнують структуру волокнистих тканин та клітинних стінок.

За рахунок того, що процес шокової заморозки відбувається швидко, молекули води формують мікро кристали і продукція зберігає свій смак та аромат.

Для промислової реалізації технології шокової заморозки переважно використовуються камери тунельного типу.

Критичним при проектуванні камер шокової заморозки є адекватний розрахунок полів шивдкості потоків охолодженого повітря при його обтіканні продуктів у кейджах. Крім того при визначенні розподілу повітряних потоків у камерах шокової заморозки виникатиме питання опимальності розміщення вантажів у камері, оскільки з одного боку є потреба максимально заповнити камеру вантажами, а і іншого – надто щільне завантаження серьозно ускладнить циркуляцію повітря між кейджами та, відповідно, погіршить теплообмін, що, у свою чергу, подовжить цикл заморожування.

У цих умовах найбільш перспективним є застосування методів Computer-aided engineering, моделювання камер заморозки, включаючи моделювання аеродинаміку та теплоомін до повітряних потоків у камерах, що моделюються. Пакет прикладних програм ANSYS CFX надає виключні можливості у цьому сенсі.

1.ТЕХНОЛОГІЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

1.1. Охолодження м’яса та м’ясопродуктів

Найпоширенішим методом охолодження м’яса є повітряний. Також використовують інші, порівняно нові методи: охолодження повітрям чи іншим газом за підвищеного тиску (внаслідок цього зменшується усушка), гідро аерозольне охолодження, охолодження в середовищі вуглекислого газу, охолодження парою кріогенних рідин, вакуумне охолодження, охолодження в РГС, охолодження з використанням електрофізичних методів, глибоке охолодження продуктів, упакованих в середовищі інертних газів.

М’ясні туші і напівтуші охолоджують в камерах і тунелях, спеціально обладнаних підвісними коліями і системою регулювання режиму холодильного оброблення. В камері охолодження яловичі і свинячі напівтуші підвішують на гаках підвісних колій, а баранячі туші – на рамах. Відстань між тушами має становити не менше 5 см. В камеру охолодження завантажують м’ясо одного виду, одної категорії вгодованості і за можливості однакової маси, завдяки чому вся партія одночасно охолоджується до кінцевої температури. Середнє навантаження на 1 м підвісної колії становить близько 250 кг м’яса. В процесі охолодження відносна вологість повітря встановлюється на рівні 85...92% за рахунок випаровування вологи з продукту.

При програмному охолодженні м’ясо спочатку охолоджують при температурі –4...–5°С і швидкості руху повітря 4...5 м/с, а потім при температурі 0°С і швидкості руху повітря, що змінюється за заданою програмою від 4...5 до 0,5 м/с.

Інтенсифікований спосіб охолодження яловичини передбачає використання на першій стадії повітря з температурою до –25°С, що рухається зі швидкістю 5...10 м/с. Після досягнення на поверхні напівтуш кріоскопічної температури починається друга стадія охолодження, протягом якої температура повітря підтримується на рівні кріоскопічної, а швидкість його не перевищує 0,5 м/с. За фронтального способу охолодження напівтуш, коли вони рухаються на конвеєрі назустріч потоку охолодженого повітря, холодильне оброблення

ведеться за змінного впродовж процесу коефіцієнта тепловіддачі. Це дає змогу зменшити тривалість холодильного оброблення на 10% порівняно з процесом, проведеним за сталого значення коефіцієнта тепловіддачі, а всихання при цьому знижується ще на 30...40%. Швидкість повітря в камерах змінюють підбиранням певних перерізів повітророзподільників. Напівтуші переміщуються конвеєрним способом по камері, розміри якої розраховують виходячи з того, що за час проходження камери попереднього охолодження температура поверхні напівтуш не повинна бути нижче кріоскопічної, а в камері до охолодження має досягати заданого кінцевого значення. Уникнути холодового скорочення м'язів (температурного шоку) можна шляхом електростимуляції чи витримування м'яса в період попереднього охолодження при температурі повітря 10...12°С впродовж 12...15 год.

Ефективний засіб для охолодження субпродуктів і м'ясних напівфабрикатів, вкладених у картонні коробки, – снігоподібна вуглекислота. Охолодження проводять в спеціальних тунелях, кількість снігоподібної вуглекислоти, що подається на продукт, регулюють за допомогою реле часу. Для швидкого зниження температури яловичого фаршу з свіжих (парних) напівтуш до 2°С, що необхідно на заключній стадії отримання фаршу, до м'яса додають заморожені пластівці вуглекислоти в пропорції 1:10.

Враховуючи все вище наведене приймаємо одно стадійне охолодження м'яса при температурі в камері -3°С, час охолодження – 20 години. М'ясо будемо охолоджувати підвішеним на коліях. Початкова температура м'яса +39°С, кінцева – + 5°С. Циркуляція повітря посилена.

1.2. Заморожування м'яса та м'ясопродуктів

М'ясо великої рогатої худоби і свиней заморожують, як правило, в напівтушах і четвертинах, баранину – в тушах. Крім того, м'ясо заморожують в блоках, сортових відрубах і дрібній розфасовці.

Отримання високоякісних заморожених продуктів можливе лише за високої якості сировини. Якість м'ясної сировини визначається багатьма

факторами: умовами вирощування, годівлі, вгодованістю, фізіологічним станом худоби перед забиванням, методами забивання та розбирання туш, мірою розвитку після забійних процесів.

Для заморожування м'ясо в тушах і напівтушах підвісними коліями подається до морозильних камер або тунельних морозильних апаратів. Камери однофазного заморожування призначені для заморожування м'яса у вигляді туш, напівтуш в парному стані з температурою в товщі м'язів стегна не нижче 35°С. За відсутності таких камер м'ясо заморожують двофазним способом, попередньо охолодивши його до температури 0...–4°С в товщі м'язів стегна.

За однофазного заморожування зменшуються втрати маси, скорочуються затрати праці на транспортування, раціональніше використовуються холодильні камери, не погіршується якість м'яса. Яловичі напівтуші заморожують за таких параметрів: температура –30...–40°С, швидкість руху повітря 2...5 м/с, відносна вологість повітря 95...100%; тривалість процесу – в межах 24 год. Тривалість заморожування свинячих напівтуш і баранячих туш становить відповідно 18...20 годин і 14...16 годин.

Інтенсифікація процесу заморожування м'яса йде шляхом зниження температури кипіння холодоагенту, збільшення швидкості циркуляції повітря, використання кріорідин, а також нетрадиційних фізичних методів (підвищення тиску повітряного потоку, застосування ультразвуку, вібрації тощо).

За зниження температури охолодного середовища до –40°С і нижче і підвищення швидкості руху повітря до 5 м/с можна заморозити парні напівтуші до посмертного задубіння (за 18 годин), з яким пов'язане холодове скорочення, і за органолептичними властивостями таке м'ясо не буде відрізнятися від м'яса, замороженого двофазним способом з попереднім визріванням.

Максимальна швидкість заморожування досягається застосуванням кріорідин. При цьому значно зростає коефіцієнт тепловіддачі, забезпечується прискорений теплообмін, в максимальній мірі зберігається початкова якість продукту і зменшується до мінімуму його всихання. Крім того, забезпечується підвищена зворотність біологічних процесів. Продукти, заморожені у

кріорідинах, менше підлягають впливу холодового шоку, в них не відбувається денатурація білка; під час варіння таке м’ясо виходить ніжнішим і соковитішим, бо не втрачається клітинний сік.

Субпродукти заморожують на дечках, що вкладають на рами, етажерки чи стелажі, чи у вигляді блоку при температурі –30...–55°С і швидкості руху повітря 1...2 м/с. Тривалість заморожування за двофазного способу – 12 годин, за однофазного – 18 годин; під час заморожування в морозильних апаратах – відповідно 3...4 і 4...7 годин.

Приймаємо однофазний спосіб заморожування м’яса при температурі в камері -25°С, час заморожування 20 годин. Заморожування проводимо у підвішеному стані в контейнерах, у яких воно охолоджувалося. Початкова температура м’яса +5°С, кінцева – -8°С. Циркуляція повітря посилега.

1.3. Зберігання м’яса та м’ясних продуктів

Охолоджене м’ясо зберігають при температурі повітря 0 ... –1°С, за його помірної циркуляції (0,1…0,2 м/с) і відносної вологості 85…90%. Охолоджені напівтуші розміщають у камерах зберігання на підвісних коліях на відстані 3…5 см одна від іншої.

Під час зберігання слід забезпечити теплову рівновагу між м’ясом і повітрям, але досягти цього складно, бо через випаровування води з поверхні виникає психрометрична різниця температур, а отже йде постійний тепловологообмін між повітрям та продуктом. Тому в камерах зберігання циркуляція повітря має бути мінімальною, але достатньою для того, щоб уникнути його застоювання, що сприяє розвитку плісняв.

Переохолоджене м’ясо з температурою по всьому об’єму туш і напівтуш – 1...–2°С також зберігають у підвішеному вигляді. Граничні терміни зберігання охолодженого м’яса при температурі 0...–1,5°С становлять залежно від виду і стану м’яса 7…12 діб, переохолодженого – до 17 діб.

Подовжити зберігання охолодженого м’яса можна:

- застосовуючи гранично низькі температури зберігання (до –2°С);

- використавши газове середовище з підвищеним вмістом азоту, або азоту та вуглекислого газу;
- використавши вакуумну упаковку, що вповільнює окисні процеси і ліквідує всихання;
- застосовуючи консерванти й антиокисники в упакованому і розфасованому м’ясі;
- обробивши поверхню м’яса спеціальними плівкоутворюючими складами (ацетильовані моногліцериди). Так, застосовувані за кордоном харчові покриття ("Дерматекс" тощо) це маслянисті рідини, які отримують з рослинних олій. Таке покриття разом з вакуумною упаковкою гарантує збереження кольору і свіжості м’яса протягом тривалого часу (яловичини – до 50 діб, свинини – до 24, баранини – до 70 діб).

Морожене м’ясо розміщують на зберігання у щільних стійких штабелях, укладених на рейки чи решітки; напівтуші і четвертини – в універсальних контейнерах у декілька ярусів, або на підвісних коліях.

Морожене м’ясо зберігають, як правило, при температурі не вище –18°С, відносної вологості повітря – 95...100%, та його природної циркуляції (0,1 м/с). Терміни зберігання яловичини в напівтушах і четвертинах 12 міс свинини – 6 міс (додаток 5). Зниження температури зберігання до –30°С і нижче дає змогу не лише збільшити терміни зберігання, але і значно зменшити всихання. Так для мороженого м’яса (неупакованих четвертин), що зберігалося при температурі –30°С усушка зменшилася в 2,6 рази порівняно з усушкою при –20°С. На деяких холодильниках (в Японії, США) застосовують температуру зберігання –50°С Зниження температури зберігання особливо важливе у разі застосування повітряної системи охолодження, що спричинює значні втрати маси у камерах з великим вантажним об’ємом охолодження з активним зволоженням повітря в камері зберігання тощо.

Приймаємо температуру в камері зберігання охолодженого м’яса -2°С, початкова температура м’яса +5°С, кінцева – 0°С, час зберігання 7 дід;

замороженого -18°С, початкова температура м’яса -8°С, кінцева – -18°С, час охолодження до кінцевої температури 24 доби, термін зберігання до 120 діб. Зберігання охолодженого м’яса проводимо у контейнерах, замороженого – на стелажах. Циркуляція повітря в обох випадках помірна.

2 Визначення будівельних площ камер холодильника

2.1 Місткість камери зберігання визначається за формулою:

$$Вк = M_{доб} \cdot 0{,}05 \text{ , т} \qquad (2.1)$$

2.2 Будівельна площа камери зберігання без підвісних шляхів визначається за формулою: 7.2 ([2] с. 38);

$$F_{буд.к.зб.} = Вк / (q_v \cdot h_в \cdot \beta_F), м^2 \qquad (2.2)$$

де q_v - норма навантаження на 1 $м^3$ вантажного об'єму камери, Т/$м^3$; приймається по додатку 11 ([2] с. 218) та по таблиці 8 ([6] с.19);

$h_в$ - вантажна висота штабеля, м; приймається по додатку 11 ([2] с. 39);

β_F - коефіцієнт використання будівельної площі камери, приймається по додатку 11 ([2] с. 39);

2.3 Будівельна площа камери термообробки визначається за формулою: 7.5 ([2] с.39);

$$F_{буд.к.т.о} = (M_{доб} \cdot \tau) / (q_F \, 24), м^2 \qquad (2.3)$$

де $M_{доб}$ - добове надходження вантажу в камеру термообробки, Т/доб; приймається як 20-30% $M_{доб}$ в камери зберігання морожених вантажів.

τ - тривалість циклу холодильної обробки, год;

q_F - норма навантаження на 1 $м^2$ будівельної площі камери, Т/$м^2$;

приймається в залежності від способу розміщення вантажу при холодильній

обробці по ([2] с. 39);

24- перевідний коефіцієнт з годин в добу.

2.4 Приймається сітка колон: 6м × 12м.

2.5 Площа одного будівельного прямокутника становить f=6х12=72$м^2$

2.6 Розрахункова кількість будівельних прямокутників визначається за формулою: 7.6 ([2] с. 40);

$$n_р = F_{буд} / f, шт \qquad (2.4)$$

2.7 Приймається дійсна кількість будівельних прямокутників: $n_д$.

2.8 Дійсна будівельна площа камери визначається за формулою:

$$F_{буд.д} = f \cdot n_{д.}, м^2; \quad (2.5)$$

2.9 Дійсна місткість камери визначається за формулою:

$$B_{к.д} = B_к \cdot (n_д / n_р), Т \quad (2.6)$$

2.10 Дійсна будівельна площа камер холодильника визначається за формулою:

$$F_{буд.хол} = \sum F_{буд.к.зб} + \sum F_{буд.к.т.о}, м^2; \quad (2.7)$$

де $\Sigma F_{буд.д.к.зб.}$ - сума дійсних будівельних площ камер зберігання вантажів, $м^2$;

$\Sigma F_{буд.д.к.т.о.}$ - сума дійсних будівельних площ камер термообробки вантажів, $м^2$;

2.12 Будівельна площа допоміжних приміщень визначається за формулою: ([3] с. 188);

$$F_{буд.доп} = (0,2 \div 0,4) \cdot \cdot F_{буд.хол}, м^2; \quad (2.9)$$

2.13 Будівельна площа службових приміщень визначається за формулою: ([3] с. 188);

$$F_{буд.сл.пр} = (0,2 \div 0,4) \cdot F_{буд.хол}, м^2; \quad (2.10)$$

2.14 Будівельна площа машинного відділення визначається за формулою: ([3] с. 188);

$$F_{буд.мв} = (0,1 \div 0,35) \cdot F_{буд.хол}, м^2; \quad (2.11)$$

2.15 Загальна дійсна будівельна площа холодильника визначається за формулою:

$$F_{заг.хол.} = F_{буд.хол} + F_{експд.} + F_{буд.доп} + F_{буд.сл.пр} + F_{буд.мв}, м^2; \quad (2.12)$$

Всі розрахунки групуються та заносяться до таблиці 2.1. План холодильника зображено на рис. 2.1.

Таблиця 2.2 - Таблиця місткості камер

Назва камери	Вк; Т	$M_{доб}$;Т/доб	τ; діб.	τ; год.	q_v;Т/м^3	$h_в$; м	β_F;	q_f;	$F_{буд}$; м^2	f;м^2	$n_р$; шт	$n_д$; т	$F_{буд.д}$;м^2	$В_{к.д}$; Т
К.Т.О м’ яса зам.	720	30	-	24	-	-	-	0,4	75	72	1,1	2	144	
К.Т.О м’ яса охол.	640	40	-	16	-	-	-	0,4	67	72	0,93	1	72	
К.Т.О с/п	72	8	-	24	-	-	-	0,4	20	72	0,23	1	72	
К.З.М м’ яса	600	30	20		0,45	5,5	0,85	-	286	72	3,97	4	288	605
К.З.О м’ яса	80	40	2					-	384	72	5,3	6	432	91
К.З.М с/п	320	8	40		0,35	4,5	0,85	-	239	72	3,3	4	288	388
К.З.О жиру	10	2	5		0,4	3	0,7	-	12	72	0,2	1	72	50
Будівельна площа камер	-	-	-		-	-	-	-	-	72		19	1368	
Експедиція		80	-		-	-	-	0,4	114	72	1,6	2	144	
Допоміжні приміщення	-	-	-		-	-	-	-	691	72	7,6	8,5	612	
Службові приміщення	-	-	-		-	-	-	-	134	72	1,9	3	216	
Машинне відділення	-	-	-		-	-	-	-	205	72	2,8	4	288	
Площа всього холодильника	-	-	-		-	-	-	-	-			36,5	2628	

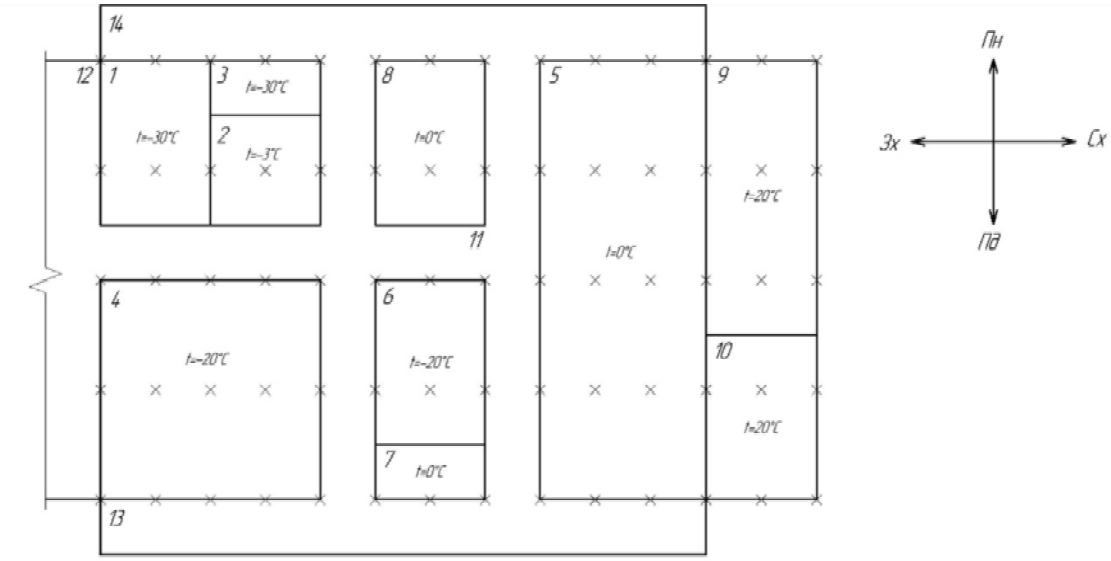


Рис. 2.1. План холодильника

1, 2, 3 - камера термообробки, 4 - камера зберігання замороженого м'яса, 5 - камера зберігання охолодженого м'яса, 6 - камера зберігання заморожених субпродуктів 7 - камера зберігання охолодженого жиру, 8 - Експедиція, 9 – Машинне відділення, 10 – Службове приміщення, 11 – Коридор, 12 – Виробничий цех, 13 – Автомобільна платформа, 14 – Залізнична платформа.

3 Вибір будівельних конструкцій та розрахунок теплоізоляції

Холодильник проектується одноповерховим і виконується по каркасній схемі із самонесучими стінами, при цьому навантаження від покриття і підвісного обладнанні передається на каркас із збірних елементів (колон, балок і ферм). Самонесучі стіні каркасних споруд спираються на фундаментні балки, а ті на фундаменти під колони.

Зі східної сторони прибудовані машинне відділення та службове приміщення. З північної сторони передбачена залізнична платформа. З південної сторони передбачена автомобільна платформа. Висота платформи для автомобільного транспорту дорівнює 1200 мм від поверхи навантажувально-розвантажувального майданчика.

На холодильнику застосовуються колони перерізом 400 х 400 мм. Сітка колон приймається 6 х 12 м.

Зовнішні стіни холодильника (рисунок 3.1) самонесучі, товщина цегляної кладки яких 380 мм, мають теплоізоляцію з внутрішньої сторони. Для захисту теплоізоляці від зволоження застосовується пароізоляція.

Внутрішні стіни (рисунок 3.1), що відокремлюють охолоджувані приміщення від неохолоджуваних (коридори, тамбури, вестибулі) мають товщину цегляної кладка 250 м, перегородки (рисунок 3.1) мають товщину цегляної кладки 120 мм. Теплоізоляція перегородок між камерами з різними температурами виконується з більш холодного боку.

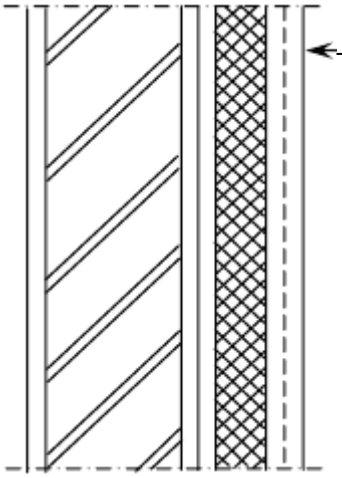
Підлога холодильника (рисунок 3.3) повинна мати достатню міцність, витримувати навантаженні від вантажів і транспортних засобів, бути гігієнічною і безпечною для руху людей транспортних засобів. Тому покриття підлоги виконується монолітним товщиною 40-50 мм із бетону. Верхній шар плити зміцнюється за допомогою сухих зміцнюючих сумішей (топингів). На завершення підлога покривається знепилюючим просоченням.

В якості теплоізоляції застосовується плити Піноплекс.

Для захисту грунту від промерзання під підлогою передбачена бетонна підготовка : електронагрівачами (виробництво «DEWI» Данія).

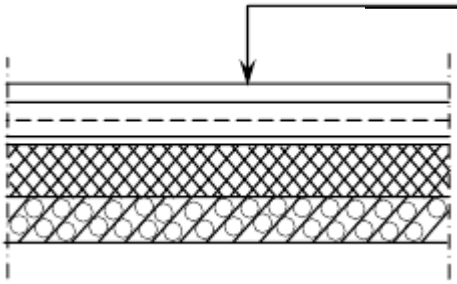
Будівельні конструкції, що використовуються в будівлі холодильника.

Зовнішні і внутрішні стіни, перегородки.



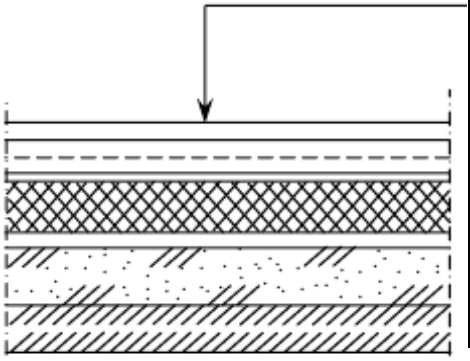
1. Штукатурка складним розчином по металевій сітці
2. Теплоізоляція плитна Піноплекс
3. пароізоляція - 2 шари гідролізу на бітумній мастіці
4. Штукатурка цементно піщана
5. Кладка цегляна на цементному розчині
6. Штукатурка складним розчином

Покриття



1. 5 шарів гідролізу на бітумній мастіці
2. Стяжка з бетону по металевій сітці
3. Пароізоляція
4. Плитна теплоізоляція Піноплекс
5. Залізобетонна плита перекриття

Підлога



1. Монолітне бетонне покриття з важкого бетону
2. Армобетонна стяжка
3. Пароізоляція(1 шар пергаміна)
4. Плитна теплоізоляція Піноплекс
5. Цементно піщаний розчин
6. Ущільнюючий пісок
7. Бетонна підготовка з електронагрівачами

3.1 Розрахункова товщина ізоляційного шару огородження визначається за формулою 2.11([1] с. 53);

$$\delta_{із.р.} = \lambda_{із.} \cdot \left[\frac{1}{K_0} - \left(\frac{1}{\alpha_{зн}} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) \right], м; \qquad (3.1)$$

де $\lambda_{із}$, λ_i - коефіцієнти теплопровідності ізоляційного і будівельних матеріалів, які складають конструкцію огородження, $\frac{Вт}{м \cdot К}$; приймаються по таблиці 8.5 ([2]с.51-52);

K_0 - потрібний коефіцієнт теплопередачі огородження, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$; приймається по таблицях 8.2, 8.3 і 8.4 ([2] с. 48-49);

$\alpha_{зн}$ - коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої, або більш теплої сторони огородження, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$; приймається по таблиці 8.1 ([2] с. 47);

$\alpha_{вн}$ - коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої, або більш холодної сторони огородження, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$; приймається по таблиці 8.1 ([2] с. 47);

δ_i - товщина окремих шарів конструкції огородження, м.

3.2 Приймається дійсна товщина ізоляційного шару: $\delta_{із.д.}$.

3.3 Дійсний коефіцієнт теплопередачі огородження визначається за формулою 2.12 ([1] с. 54);

$$K_0^{\partial} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{зн}} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) + \frac{\delta_{із.д.}}{\lambda_{із}}}, \frac{Вт}{м^2 \cdot К}; \qquad (3.2)$$

Телоізоляційні розрахунки занесено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Зведена таблиця розрахунку ізоляції

Найменування огородження	$t_{кам}$ °С	K_0 $\frac{Вт}{м^2*К}$	$\alpha_{зн}$ $\frac{Вт}{м^2*К}$	$\alpha_{вн}$ $\frac{Вт}{м^2*К}$	δ_1/λ_1 $\frac{м^2*К}{Вт}$	δ_2/λ_2 $\frac{м^2*К}{Вт}$	δ_3/λ_3 $\frac{м^2*К}{Вт}$	δ_4/λ_4 $\frac{м^2*К}{Вт}$	δ_5/λ_5 $\frac{м^2*К}{Вт}$	δ_l/λ_l $\frac{м^2*К}{Вт}$	$\lambda_{із}$ $\frac{Вт}{м*К}$	$\delta_{із.р}$ м	$\delta_{із.д}$ м	$K_0^д$ $\frac{Вт}{м^2*К}$
ЗС ТК	0	0,4	23	8	$\frac{0,02}{0,98}$	$\frac{0,004}{0,3}$	$\frac{0,02}{0,93}$	$\frac{0,38}{0,67}$	$\frac{0,02}{0,93}$	0,544	0,031	0,055	0,06	0,38
ЗС ХК	-30	0,2	23	9	$\frac{0,02}{0,98}$	$\frac{0,004}{0,3}$	$\frac{0,02}{0,93}$	$\frac{0,38}{0,67}$	$\frac{0,02}{0,93}$	0,544	0,031	0,13	0,14	0,19
ЗС ХК	-20	0,23	23	9	$\frac{0,02}{0,98}$	$\frac{0,004}{0,3}$	$\frac{0,02}{0,93}$	$\frac{0,38}{0,67}$	$\frac{0,02}{0,93}$	0,544	0,031	0,11	0,12	0,22
ЗС ХК	-3	0,35	23	9	$\frac{0,02}{0,98}$	$\frac{0,004}{0,3}$	$\frac{0,02}{0,93}$	$\frac{0,38}{0,67}$	$\frac{0,02}{0,93}$	0,544	0,031	0,022	0,03	0,34
ВС ТК	0	0,45	8	9	$\frac{0,02}{0,98}$	$\frac{0,004}{0,3}$	$\frac{0,02}{0,93}$	$\frac{0,25}{0,67}$	$\frac{0,02}{0,93}$	0,37	0,031	0,049	0,05	0,45
ВС ХК	-30	0,27	8	9	$\frac{0,02}{0,98}$	$\frac{0,004}{0,3}$	$\frac{0,02}{0,93}$	$\frac{0,25}{0,67}$	$\frac{0,02}{0,93}$	0,37	0,031	0,095	0,1	0,26
ВС ХК	-20	0,27	8	9	$\frac{0,02}{0,98}$	$\frac{0,004}{0,3}$	$\frac{0,02}{0,93}$	$\frac{0,25}{0,67}$	$\frac{0,02}{0,93}$	0,37	0,031	0,095	0,1	0,26

Продовження таблиці 3.1 - Зведена таблиця розрахунку ізоляції

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ВС ХК	-3	0,41	8	9	0,02 / 0,98	0,004 / 0,3	0,02 / 0,93	0,25 / 0,67	0,02 / 0,93	0,37	0,031	0,057	0,06	0,39
Покриття ТК	0	0,37	23	9	0,012 / 0,3	0,04 / 1,86	0,001 / 0,15	-	0,035 / 2,04	0,084	0,031	0,076	0,08	0,36
Покриття ХК	-30	0,19	23	9	0,012 / 0,3	0,04 / 1,86	0,001 / 0,15	-	0,035 / 2,04	0,084	0,031	0,16	0,16	0,19
Покриття ХК	-20	0,22	23	9	0,012 / 0,3	0,04 / 1,86	0,001 / 0,15	-	0,035 / 2,04	0,084	0,031	0.133	0,14	0,21
Покриття ХК	-3	0,33	23	9	0,012 / 0,3	0,04 / 1,86	0,001 / 0,15	-	0,035 / 2,04	0,084	0,031	0,087	0,09	0,31
Підлога ТК	0	0,41	-	9	0,04 / 1,86	0,08 / 1,86	0,001 / 0,15	0,025 / 0,68	1,35 / 0,58	2,42	0,031	-	-	0.41
Підлога ХК	-30	0,21	-	9	0,04 / 1,86	0,08 / 1,86	0,001 / 0,15	0,025 / 0,68	1,35 / 0,58	2,42	0,031	0,069	0,07	0,2

Продовження таблиці 3.1 - Зведена таблиця розрахунку ізоляції

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Підлога ХК	-20	0,21	-	9	0,04 / 1,86	0,08 / 1,86	0,001 / 0,15	0,025 / 0,68	1,35 / 0,58	2,42	0,031	0,069	0,07	0,2
Підлога ХК	-3	0,41	-	9	0,04 / 1,86	0,08 / 1,86	0,001 / 0,15	0,025 / 0,68	1,35 / 0,58	2,42	0,031	-	-	0,41
Перегородка -30/-3	-	0,22	9	8	0,02 / 0,98	0,004 / 0,3	0,02 / 0,93	0,12 / 0,93	0,02 / 0,93	0,22	0,031	0,127	0,13	0,21
Перегородка -30/-30	0,58	0,58	11	11	0,02 / 0,98	0,004 / 0,3	0,02 / 0,93	0,12 / 0,93	0,02 / 0,93	0,223	0,031	0,04	0,04	0,58
Перегородка -20/-20	0,58	0,58	9	9	0,02 / 0,98	0,004 / 0,3	0,02 / 0,93	0,12 / 0,93	0,02 / 0,93	0,223	0,031	0,039	0,04	0,58
Перегородка 0/0	0,58	0,58	9	9	0,02 / 0,98	0,004 / 0,3	0,02 / 0,93	0,12 / 0,93	0,02 / 0,93	0,223	0,031	0,039	0,04	0,58

4. Теплонадходження до приміщень холодильника

4.1 Навантаження на камерне обладнання визначається як сума всіх теплонадходжень в дану камеру за формулою 9.1 ([2] с. 55);

$$\Sigma Q=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5=Q_{обл}\text{ , Вт} \quad (4.1)$$

4.2. Теплонадходження через огороджуючі конструкції Q_1 визначається за формулою 9.2 ([2] с. 56);

$$Q_1=Q_{1T}+Q_{1C}\text{ ,Вт} \quad (4.2)$$

4.2.1 Теплонадходження через стіни, перегородки, покриття і підлогу визначається за формулою 9.3 ([2] с. 56);

$$Q_{1T} = K_0^{\partial} \cdot F \cdot (t_{зн} - t_{вн})\ , B \quad (4.3)$$

де $K_д$- дійсний коефіцієнт теплопередачі огородження, Вт/(м^2·К); приймається по таблиці 4.1 розділу 4;

F - розрахункова площа поверхні огородження, м^2;

$t_{зн}$ і $t_{вн}$ - розрахункові температури зовнішнього повітря в камері, ^{0}С.

При розрахунку теплонадходжень через внутрішні огородження, які виходять в неохолоджувані приміщення (коридори, вестибулі, тамбури), різниця температур приймається як частина розрахункової різниці температур для зовнішніх стін: 0,7× ($t_{зн}$ - $t_{вн}$), якщо ці приміщення сполучаються з зовнішнім повітрям, і 0,6× ($t_{зн}$ -$t_{вн}$), якщо не сполучаються.

4.2.2 Теплонадходження від сонячної радіації визначається за формулою 9.7 ([2] с. 57);

$$Q_{1C} = K_0^{\partial} \cdot F \cdot \Delta\ t_c\ , Bm \quad (4.4)$$

де $\Delta\ t_c$ - надлишкова різниця температур, яка характеризує дію сонячної радіації в літній час, ^{0}С; приймається по таблиці 9.1 ([2] с. 58);

Всі розрахунки заносяться до таблиці 5.1.

Таблиця 4.1 - Зведена таблиця теплонадходжень Q_1

Назва камери	Найменування огородження	K_0^{∂}; $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	Розміри			F; м^2	$t_{зн}$; ^{0}C	$t_{вн}$; ^{0}C	Δt; ^{0}C	Δt_c; ^{0}C	$Q_{1т}$; Вт	$Q_{1с}$; Вт	Q_1; Вт
			L	B	H								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
К.Т.О. м'яса замороженого	ЗС Пн	0,19	12		6	72	37	-30	67	0	917	-	917
	Пер. Сх	0,21	12		6	72	-30		0	-	0	-	0
	ВС Пд	0,26	12		6	72	-		40,2	-	753	-	753
	ЗС Зх	0,19	12		6	72	20		50	-	684	-	684
	Покриття	0,19	12	12		144	37		67	14,9	1833	408	2241
	Підлога	0,2	12	12		144	1		31	-	893	-	893
													5488
К.Т.О. м'яса охолодженого	ЗС Пн	0,19	6		6	36	-30	-3	27	-	185	-	185
	ВС Сх	0,39	12		6	72	-		28	-	786	-	786
	ВС Пд	0,39	6		6	36	-		24	-	337	-	337
	Пер. Зх	0,21	12		6	72	-30		-27	-	0	-	0
	Покриття	0,31	12	6		72	37		40	14,9	892	333	1225
	Підлога	0,41	12	6		72	1		4	-	118	-	118
													2651
К.Т.О. субпродукту	ЗС Пн	0,19	6		6	36	37	-30	67	0	458	-	458
	Пер. Сх	0,21	12		6	72	-3		27	-	408	-	408
	ВС Пд	0,26	6		6	36	-		40,2	-	376	-	376
	Пер. Зх	0,58	12		6	72	-30		0	-	0	-	0
	Покриття	0,19	12	6		72	37		67	14,9	506	204	710
	Підлога	0,2	12	6		72	1		31	-	446	-	446
													2398

Продовження таблиці 5.1 - Зведена таблиця теплонадходжень Q_1 .

Назва камери	Найменування огороджень	K_0^{∂}; $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	Розміри			F; м^2	$t_{зн}$; ^{0}C	$t_{вн}$; ^{0}C	Δt; ^{0}C	Δt_c; ^{0}C	Q_{1T}; Вт	Q_{1C}; Вт	Q_1; Вт
			L	B	H								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
К.З.М. м'яса	ВС Пн	0,26	12		6	72	-	-20	34,2	-	640	-	640
	Пер. Сх	0,58	24		6	144	-20		0	-	0	-	0
	ЗС Пд	0,22	12		6	72	37		57	-	903	-	903
	ЗС Зх	0,22	24		6	144	20		40	-	1267	-	1267
	Покриття	0,21	24	12		288	37		57	14,9	3447	901	4348
	Підлога	0,2	24	12		288	1		21	-	1210	-	1210
													8368
К.З.О. м'яса	ВС Пн	0,45	18		6	216	-	0	22	-	2138	-	2138
	ВС Сх	0,45	24		6	144	20		20	-	1296	-	1296
	ЗС Пд	0,38	18		6	216	37		37	-	3037	-	3037
	ВС Зх	0,45	24		6	144	-		26	-	1685	-	1685
	Покриття	0,36	24	18		432	37		37	14,9	5754	2317	8071
	Підлога	0,41	24	18		432	1		1	-	177	-	177
													16404
К.З.М. субпродукту	ВС Пн	0,26	12		6	72	-	-20	34	-	637	-	637
	ВС Сх	0,26	24		6	144	-		40	-	1498	-	1498
	ЗС Пн	0,22	12		6	72	37		57	-	903	-	903
	Пер. Зх	0,58	24		6	144	-20		0	-	0	-	0
	Покриття	0,21	24	12		288	37		57	14,9	3447	901	4348
	Підлога	0,2	24	12		288	1		21	-	1210	-	1210
													8596

Продовження таблиці 4.1 - Зведена таблиця теплонадходжень Q_1.

Назва камери	Найменування огороджения	K_0^{∂}; $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	Розміри			F; м^2	$t_{зн}$; ^{0}C	$t_{вн}$; ^{0}C	Δt; ^{0}C	Δt_c; ^{0}C	$Q_{1Т}$; Вт	$Q_{1С}$; Вт	Q_1; Вт
			L	B	H								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
К.З.О. жиру	ЗС Пд	0,38	6		6	36	37	0	37	-	506	-	506
	ВС Сх	0,45	12		6	72	20		20	-	648	-	648
	ЗС Пд	0,45	6		6	36	-		22	-	356	-	356
	Пер. Зх	0,58	12		6	72	0		0	-	0	-	0
	Покриття	0,36	6	12		72	37		37	14,9	959	386	1345
	Підлога	0,41	6	12		72	1		1	-	30	-	30
													2885
Експедиція	ЗС Пд	0,38	12		6	72	37	0	37	-	1012	-	1012
	Пер. Сх	0,58	12		6	72	0		0	-	0	-	0
	ВС Пд	0,45	12		6	72	-		22	-	713	-	713
	ВС Зх	0,45	12		6	72	-		26	-	842	-	842
	Покриття	0,36	12	12		144	37		37	14,9	1918	772	2960
	Підлога	-	12	12		144	1		-	-	-	-	0
													5257

4.3 Теплонадходження від вантажів при холодильній обробці визначається за формулою ([2] с. 58);

$$Q_2=Q_{2пр}+Q_{2т}\ ,Вт \qquad (4.5)$$

де $Q_{2пр}$- теплонадходження від продуктів при холодильній обробці, Вт;

$Q_{2т}$- теплонадходження від тари, Вт.

4.3.1 Теплонадходження від продуктів при холодильній обробці визначається за формулою 9.8 ([2] с. 58);

$$Q_{2пр} = M_{пр} \cdot \Delta\, i \cdot \frac{1000 \cdot 1000}{24 \cdot 3600}\ ,Вт \qquad (4.6)$$

де $М_{пр}$ - добове надходження продукту в камеру, $\frac{т}{доб}$; приймається по таблиці 2.1 розділу 2;

Δ і - різниця питомих ентальпій продукту, які відповідають початковій і кінцевій температурам продукту, $\frac{кДж}{кг}$; приймаються по додатку 10 ([2] с. 217-218);

4.3.2 Теплонадходження від тари визначається за формулою 9.11 ([2] с. 59);

$$Q_{2т} = M_т \cdot C_т \cdot (t_1 - t_2) \cdot \frac{1000 \cdot 1000}{24 \cdot 3600} \ , Вт \qquad (4.7)$$

де $М_т$ - добове надходження тари, $\frac{т}{доб}$; приймається по ([2] с. 59);

$С_т$- питома теплоємність тари, $\frac{кДж}{кг \cdot К}$; приймається по ([2] с. 59);

t_1 і t_2 - початкова і кінцева температури тари, ^{0}С; приймаються рівними початковій і кінцевій температурам продукту.

Таблиця 4.2 - Зведена таблиця розрахуну теплонадходжень Q_2

Назва камери	$M_{доб}$ т/доб	$M_т$ т/доб	t_1 °С	t_2 °С	Δt °С	i_1 кДж/кг	i_2 кДж/кг	Δi кДж/кг	$C_т$ кДж/кг*К	$\frac{1000*1000}{24*360}$	$Q_{2пр}$ Вт	$Q_{2т}$ Вт	Q_2 Вт
К.Т.О м' яса зам.	30	3	39	-8	47	348	39,4	308,6	0,5	11,57	107115	816	107931
К.Т.О м' яса охол.	40	4	39	4	35	348	246	102	-	11,57	47206	-	47206
К.Т.О с/п	8	0,8	39	-8	47	387	43,1	343,9	0,5	11,57	31831	218	32049
К.З.М м' яса	30	3	-8	-20	12	39,4	0	39,4	0,5	11,57	13676	208	13884
К.З.О м' яса	40	4	4	0	4	246	232	14	-	11,57	6479	-	6479
К.З.М с/п	8	0,8	-8	-20	12	43,1	0	43,1	0,5	11,57	3990	55	4045
К.З.О жиру	2	0,2	20	0	20	273	212	61	0,5	11,57	1412	23	1435

Всі розрахунки заносяться до таблиці 4.2

4.4 Теплонадходження при вентиляції визначається за формулою ([3] с. 251);

$$Q_3 = \frac{V_к \cdot a \cdot \rho_п \cdot (i_{зн} - i_{вн})}{86{,}4} \ , Вт \qquad (4.8)$$

де $V_к$ - об'єм камери, $м^3$;

а - кратність повітрообміну; приймається по ([2] с. 60);

ρ_n - щільність повітря при температурі і відносній вологості в камері, $\frac{кг}{м^3}$; приймається по додатку 8([4] с. 602);

$i_{зн}$, $i_{вн}$ - питомі ентальпії зовнішнього повітря і повітря в камері, $\frac{кДж}{кг}$; знаходяться по i-d - діаграмі для вологого повітря.

Всі розрахунки заносяться до таблиці 5.3.

Таблиця 4.3 - Зведена таблиця розрахунку теплонадходжень Q_3

Назва камери	$V_к$; $м^3$	а	ρ_n; $\frac{кг}{м^3}$	$t_{зн}$; ^0C	$t_{вн}$; ^0C	$\varphi_{зн}$; %	$\varphi_{вн}$; %	$i_{зн}$; $\frac{кДж}{кг}$	$i_{вн}$; $\frac{кДж}{кг}$	Δi; $\frac{кДж}{кг}$	Q_3; Вт
Експедиція	864	3	1,22	37	0	48	70	86	8	78	2855

4.5. Експлуатаційні теплонадходження визначаються за формулою 9.18 ([2] с. 61);

$$Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 \ , Вт \qquad (4.9)$$

де q_1 - теплонадходження від освітлення, Вт;

q_2 - теплонадходження від перебування людей в камері, Вт;

q_3 - теплонадходження від працюючих електродвигунів, Вт;

q_4 - теплонадходження при відкриванні дверей, Вт.

5.5.1 Теплонадходження від освітлення визначається за формулою 9.13 ([2] с. 60);

$$q_1 = A \ F \ , Вт \qquad (4.10)$$

де А - теплота, що виділяється джерелом освітлення в одиницю часу на 1 $м^2$ площі підлоги, $\frac{Вт}{м^2}$; приймається по ([2] с. 60);

F - площа камери, м^2; приймається по таблиці 2.1 розділу 2.

4.5.2 Теплонадходження від перебування людей в камері визначається за формулою 9.14 ([2] с. 60);

$$q_2=350\ n\ ,Вт \qquad (4.11)$$

де 350- тепловиділення однієї людини при тяжкій фізичній праці, Вт;

n - кількість людей, працюючих в даному приміщенні, чол.; приймається в залежності від площі камери по ([2] с. 60);

4.5.3 Теплонадходження від працюючих електродвигунів визначається за формулою 9.15([2] с. 60);

$$q_3=N_{дв.}\ 1000, Вт \qquad (4.12)$$

де $N_{дв.}$ - сумарна потужність електродвигунів, кВт; приймається по ([2] с. 60);

1000 - перевідний коефіцієнт з кВт у Вт.

4.5.4 Теплонадходження при відкриванні дверей визначається за формулою 9.17 ([2] с. 61);

$$q_4=К\ F, Вт \qquad (5.13)$$

де К - питомий прилив теплоти при відкриванні дверей, $\frac{Вт}{м^2}$; приймається по таблиці 9.2 ([2] с. 61);

Всі розрахунки заносяться до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Зведена таблиця розрахунку тепло надходжень Q_4

Назва камери	F; $м^2$	A; $\frac{Вт}{м^2}$	q_1; Вт	n;	q_2; Вт	$N_{дв.}$; кВт	q_3; Вт	K; $\frac{Вт}{м^2}$	q_4; Вт	Q_4; Вт
К.Т.О м'яса замороженого	144	4,7	677	3	1050	10	10000	15	2160	13887
К.Т.О м'яса охолодженого	72	4,7	338	2	700	6	6000	15	1080	8118
К.Т.О субпродукту	72	2,7	194	2	700	8	8000	15	1080	9974
К.З.М м'са	288	2,3	662	3	1050	4	4000	8	2304	8016
К.З.О м'яса	432	2,3	994	4	1400	2	2000	12	5183	9577
К.З.М субпродукту	288	2,3	662	3	1050	4	4000	8	2304	8016
К.З.О жиру	72	2,3	166	2	700	2	2000	10	720	3586
Експедиція	144	4,7	677	3	1050	-	-	38	5472	7199

4.6 Розрахунки всіх теплонадходжень заносяться до зведеної таблиці 5.7 і визначається навантаження на камерне обладнання і компресори.

$Q_{1км}$ – 90% від $Q_{1\ к.\ обл.}$

$Q_{2км}$ - для камер термообробки - 100% від $Q_{2\ к.\ обл.}$

$Q_{2км}$ - для камер зберігання охолоджених вантажів - 50% від $Q_{2\ к.\ обл.}$

$Q_{2км}$ - для камер зберігання морожених вантажів - 60% від $Q_{2\ к.\ обл.}$

$Q_{3\ км.}$ - 100% від $Q_{3\ к.\ обл.}$

$Q_{4\ км.}$ – 75% від $Q_{4\ к.\ обл.}$

$t=+12\ ^0C$ - $Q_{1\ км.}$ - 50% від $Q_{1\ к.\ обл.}$

Таблиця 4.5 - Розрахунок теплонадходжень Q

Назва камери	$t_{кам}$	Q_1 ,Вт		Q_2 , Вт		Q_3 , Вт		Q_4 , Вт		∑Q , Вт	
		Кам. обл	КМ	Кам. обл	КМ	Кам. обл	КМ	Кам. обл	КМ	Кам. обл	КМ
КЗО м’ яса	0	16404	14764	6479	6479	-	-	9577	5746	32460	26989
КЗО жиру	0	2885	2597	1435	1435	-	-	3586	2152	7906	6184
КТО м’ яса	-3	2651	2386	47206	61368	-	-	8118	4871	57975	68625
Експедиція	0	5257	4731	-	-	2855	3514	7199	4319	15311	11905
Всього											113703
КЗМ м’ яса	-20	8368	7531	13884	13884	-	-	8016	4810	30268	26225
КЗМ с/п	-20	8596	7736	4045	4045	-	-	8016	4810	20657	16591
Всього											42816
КТО м’ яса	-30	5488	4939	10793	140310	-	-	13887	8332	127306	153581
КТО с/п	-30	2398	2158	32049	41664	-	-	9974	5985	44421	49807
Всього											203388

5 Вибір системи та способу охолодження.

Після визначення теплового навантаження на компресор та камерне обладнання вибирають систему охолодження, найбільш раціональну для даного об'єкту.

Для холодильника, який ми проектуємо, застосовуємо централізовану систему охолодження. Для цієї системи охолодження будуємо загальне машинне відділення для всіх компресорів, компресорних агрегатів та іншого обладнання, яке буде обслуговувати ряд споживачів холоду.

Приймаємо насосно-циркуляційну систему безпосереднього охолодження із верхньою подачею аміаку у прилади охолодження. Схема буде працювати на три температури кипіння: -40° С; -30° С; -10° С.

Для камер з t_0= -10° С вибираємо одноступеневу схему. Для камер з t_0= -30° С і t_0=-40° С застосовуємо двоступеневу схему.

Для камер холодильника, що проектується вибираємо прилади охолодження.

Для камер заморожування продуктів вибираємо повітроохолоджувачі, які забезпечують інтенсивну циркуляцію повітря та за необхідністю проведення комп'ютерного моделювання відповідно до завдання на проектування.

Для камер зберігання охолоджених і заморожених вантажів вибираємо повітроохолоджувачі, які забезпечують помірну циркуляцію.

Для експедиції вибираємо батарейний спосіб охолодження і використовуємо пристінні та стельові батареї відповідно. При батарейному охолодженні відсутні працюючі механізми, які являються додатковим джерелом тепла і збільшують витрати холоду. Втрати від усушки значно менші ніж при охолодженні повітроохолоджувачами.

Конденсатори обираємо випарні.

6. Розрахунок та підбір основного обладнання

6.1 Холодопродуктивність компресорів (на кожну температуру кипіння) визначається за формулою 3.16 ([1] с. 71);

$$Q_0 = \frac{K \cdot \sum Q_{км}}{b}\ , Вт \qquad (6.1)$$

де $\Sigma Q_{км}$ - сумарне теплове навантаження на компресори для даної температури кипіння, Вт; приймається по зведеній таблиці теплонадходжень;

К- коефіцієнт, який враховує втрати в трубопроводах і апаратах холодильної установки, приймається в залежності від температури кипіння по ([1] с. 71);

b - коефіцієнт робочого часу, приймається по ([1] с. 71);

Всі розрахунки заносяться до таблиці 6.1

Таблиця 6.1 - Зведена таблиця розрахунку холодопродуктивності

Температура в камері, ^{0}C	$\sum Q_{км}$, Вт	К	b	Q_0, Вт
0	113703	1,05	0,9	132654
-20	42816	1,07	0,8	57267
-30	203388	1,1	0,9	248585

6.2 Робочий режим холодильної установки.

6.2.1 Температура кипіння холодильного агенту визначається за формулою ([2] с. 71);

$$t_0 = t_{кам}-(5\div10),\ ^0C \qquad (6.2)$$

де $t_{кам}$ - температура повітря в камері, ^{0}C.

6.2.2 Температура всмоктування парів холодильного агенту визначається за формулами ([2] с. 72);

Одноступеневе стискання -

$$t_{вс}=t_0+(5\div10),\ ^0C \qquad (6.3)$$

Двоступеневе стискання -

$$t_{вс}=t_0+(10\div20),\ ^0C \qquad (6.4)$$

6.2.3 Температура води, яка поступає на конденсатор визначається за формулою ([1] с. 87);

$$t_{вд.}=t_{м.\ т.}+(2\div4),\ ^0C \qquad (6.5)$$

де $t_{м.\ т.}$ - температура мокрого термометра, ^{0}C; визначається по i-d- діаграмі для вологого повітря в залежності від розрахункової літньої температури і розрахункової літньої відносної вологості в районі будівництва (додаток 1 ([2] с. 208));

6.2.4 Температура конденсації визначається за формулою ([1] с. 87);

$$t_к = t_{вд.} + (8 \div 11),\ ^0C \qquad (6.6)$$

6.2.5 Температура переохолодження рідкого холодильного агенту перед регулюючим вентилем визначається за формулою ([1] с. 88);

$$t_п = t_{вд.} + (3 \div 5),\ ^0C \qquad (6.7)$$

6.2.6 Тиск в проміжній посудині визначається за формулою 11.14 ([2] с. 77);

$$P_{пр} = \sqrt{P_к \cdot P_0},\ МПа \qquad (6.8)$$

де P_0 - тиск кипіння, МПа;

$P_к$ - тиск конденсації, МПа.

На діаграмі i-lgP по проміжному тиску $P_{пр}$ знаходиться температура в проміжній посудині $t_{пр}$.

6.2.7 Температура рідкого холодильного агенту на виході із змієвика проміжної посудини визначається за формулою ([1] с. 93);

$$t_{зм} = t_{пр} + (3 \div 5),\ ^0C \qquad (6.9)$$

Розрахунок робочого режиму холодильної установки заноситься до таблиці 6.2.

$t_{кам}$, ^{0}C	t_0, ^{0}C	$t_{вс}$, ^{0}C	$t_{зн}$, ^{0}C	φ; %	$t_{м.т.}$, ^{0}C	$t_{вд1}$, ^{0}C	$t_к$, ^{0}C	$t_п$, ^{0}C	P_0, МПа	$P_к$, МПа	$P_{ПР}=\sqrt{P_К \cdot P_О}$ МПа	$t_{пр}$, ^{0}C	$t_{зм}$, ^{0}C	$P_к / P_0$	$P_{пр} / P_0$	$P_к / P_{пр}$
-0	-10	0	37	48	27	30	36	33	0,3	1,5	-	-	-	5	-	-
-20	-30	-20	37	48	27	30	36	33	0,12	1,5	0,42	0	4	12,5	3,5	3,6
-30	-40	-30	37	48	27	30	36	33	0,07	1,5	0,32	-6	-2	21,4	4,6	4,7

Таблиця 7.3 - Вибір схеми холодильної установки

t^0; ^0C	P_o; МПа	P_k; МПа	$\frac{P_k}{P_o}$;	Схема холодильної установки	$P_{пр} = \sqrt{P_к \cdot P_0}$
-10	0,3	1,5	5	Одноступенева	-
-30	0,12	1,5	12,5	Двоступенева	0,42
-40	0,07	1,5	21,4	Двоступенева	0,32

6.3 По даним температурного режиму будуються цикли одно- і двоступеневого стискання в діаграмі i-lgP та визначаються параметри умовних точок циклів (рисунок 6.1; 6.2;);

6.3.1 Параметри умовних точок циклу одноступеневого стискання заносяться до таблиці 6.4.

6.3.2 Параметри умовних точок циклу двоступеневого стискання заносяться до таблиці 6.5.

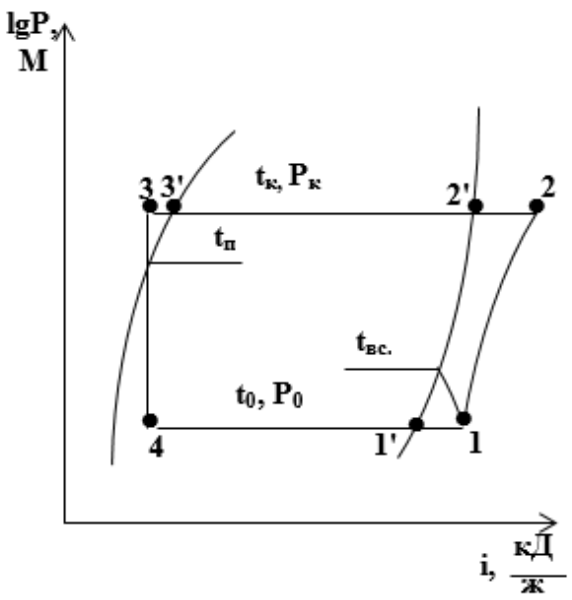


Рис. 6.1 – Одноступеневе стискання

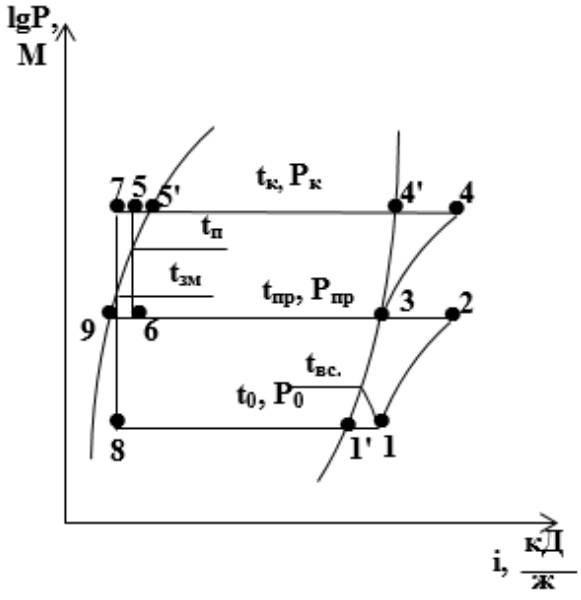


Рис. 6.2, - Двоступеневе стискання

Таблиця 6.4 - Зведена таблиця параметрів умовних точок циклу одноступеневого стиснення

Режим, °С				P_0	$P_к$	$i_{1"}$	i_1	i_2	i_3	$i_3 = i_4$	v_1	v_2	v_3
t_0	$t_к$	$t_п$	$t_{вс}$	МПа		кДж/кг					$М^3$/кг		
-10	36	33	0	0,3	1,5	1450	1475	1700	350	350	0,43	0,13	0,00169

Таблиця 6.5 - Зведена таблиця параметрів умовних точок циклу двоступеневого стиснення

Режим, °С				P_0	$P_{пр}$	$P_к$	$t_{пр}$	$t_{зм}$	$i_{1"}$	i_1	i_2	i_3	i_4	$i_5 = i_6$	$i_7 = i_8$	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
t_0	$T_{вс}$	$t_п$	$T_к$	МПа			°С		кДж/кг							$М^3$/кг				
-30	-20	33	36	0,12	0,42	1,5	0	4	1410	1455	1625	1455	1610	350	210	1,0	0,39	0,29	0,13	0,00169
-40	-30	33	36	0,07	0,32	1,5	-6	-2	1400	1440	1650	1450	1640	350	190	1,7	0,5	0,36	0,125	0,00169

6.4 Тепловий розрахунок та підбір компресорів одноступеневого стискання.

6.4.1 Холодопродуктивність одного кілограму холодильного агенту визначається за формулою 5.1 ([1] с. 95);

$$q_0 = i_{1'} - i_{4'} \text{ ,кДж/кг} \qquad (6.10)$$

де $i_{1'}$, i_4 - ентальпії умовних точок циклу, кДж/кг; приймаються по таблиці 7.4 розділу 7.

6.4.2 Масова витрата пари визначається за формулою 5.2 ([1] с. 95);

$$M = \frac{Q_0}{q_0}, \text{ кг/с} \qquad (6.11)$$

де Q_0 - навантаження на компресор з врахуванням втрат, кВт; приймається по таблиці 7.1;

6.4.3 Дійсна об'ємна подача компресора визначається за формулою 5.3 ([1] с. 95);

$$V_д = M \cdot v_1 \text{ ,м}^3\text{/с} \qquad (6.12)$$

де ν_1 - питомий об'єм пари, м ^{3}/с; приймається по таблиці 7.4 розділу 7.

6.4.4 Теоретична об'ємна подача компресора визначається за формулою 5.4 ([1] с. 96);

$$V_т = \frac{V_д}{\lambda} \text{ , м}^3\text{/с} \qquad (6.13)$$

де λ - коефіцієнт подачі компресора в залежності від ступені стискання $P_к/P_0$, типу компресора і холодильного агенту, на якому буде працювати компресор, приймається по графіку на рисунку 5.5 ([1] с. 97);

6.4.5 Теоретична (адіабатна) потужність компресора визначається за формулою 5.5 ([1] с. 96);

$$N_T = M \cdot (i_2 - i_1) \text{ , кВт} \qquad (6.14)$$

де i_1, i_2 - ентальпії умовних точок циклу, кДж/кг; приймаються по таблиці 7.4 розділу 7.

6.4.6 Дійсна (індикаторна) потужність компресора визначається за формулою 5.6 ([1] с. 96);

$$N_i = \frac{N_т}{\eta_i} \text{ , кВт} \qquad (6.15)$$

де η_i - індикаторний ККД, приймається по ([1] с. 96);

6.4.7 Ефективна потужність компресора визначається за формулою 5.7 ([1] с. 96);

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_{мех.}} \text{ , кВт} \qquad (6.16)$$

де $\eta_{мех}$ - механічний ККД, приймається по ([1] с. 96) або ([2] с. 74);

6.4.8 Теплове навантаження на конденсатор визначається за формулою 5.8 ([1] с. 96);

$$Q_k = Q_0 + N_i \text{ ,кВт} \qquad (6.17)$$

Розрахунок та підбір компресорів одноступеневого стискання заноситься до таблиці 6.6, технічна характеристика - до таблиці 6.7.

Таблиця 6.6 - Розрахунок та підбір компресорів

Ре-жим, °С	q_0, кДж/кг	Q_0 кВт	M Кг/с	$V_д$ м/с	λ	$V_т$ $М^3$/с	Марка компре-сора	К-ть	$V_т$ $М^3$/с	$N_Т$ кВт	N_i кВт	N_e кВт	$Q_к$ кВт
-10	1100	133	0,12	0,05	0,76	0,07	SMC104L	2	0,079	27	34	38	381

Таблиця 6.7 - Технічна характеристика компресорного агрегата

Марка	К-сть циліндрів	Рівень шуму Дб	Габаритні розміри, мм			Маса, кг
			L	B	H	
SMC104L	4	80	2620	1415	1220	1465

6.5 Тепловий розрахунок та підбір компресорів двоступеневого стискання.

6.5.1 Холодопродуктивність одного кілограму холодильного агенту визначається за формулою 5.14 ([1] с. 102);

$$q_0 = i_1 - i_8 \text{ , кДж/кг} \qquad (6.18)$$

де $i_{1'}$, i_8 - ентальпії умовних точок циклу, кДж/кг; приймаються по таблиці 6.5 розділу 6.

6.5.2 Масова витрата пари в С.Н.Т. визначається за формулою 5.16 ([1] с. 102);

$$M_1 = \frac{Q_0}{q_0} \text{ , кг/с} \qquad (6.19)$$

де Q_0 - навантаження на компресор з врахуванням втрат, кВт; приймається по таблиці 6.1 розділу 6.

6.5.3 Масова витрата пари в С.В.Т. визначається за формулою 6.16 ([1] с. 102);

$$M = M_1 \cdot \frac{i_2 - i_7}{(i_3 - i_9)(1 - x_6)} = M_1 \cdot \frac{i_2 - i_7}{i_3 - i_6} \text{ , кг/с} \qquad (6.20)$$

де i_2, i_3, i_6, i_7, i_9 - ентальпії умовних точок циклу,кДж/кг; приймаються по таблиці 6.5 розділу 6.

6.5.4 Дійсна об'ємна подача С.Н.Т. визначається за формулою 5.17 ([1] с. 103);

$$V_д^{C.H.T.} = M_1 \cdot \nu_1 \text{ , м}^3\text{/с} \qquad (6.21)$$

де ν_1 - питомий об'єм пари, що всмоктується С.Н.Т, м^3/с; приймається по таблиці 6.5 розділу 6.

6.5.5 Дійсна об'ємна подача С.В.Т. визначається за формулою 5.18 ([1] с. 103);

$$V_д^{C.B.T.} = M \cdot \nu_3 \text{ , м}^3\text{/с} \qquad (6.22)$$

де ν_3 - питомий об'єм пари, що всмоктується С.В.Т., м^3/с; приймаєтьсяпо таблиці 6.5 розділу 6.

6.5.6 Теоретична об'ємна подача С.Н.Т. визначається за формулою

$$V_т^{C.H.T.} = \frac{V_д^{C.H.T.}}{\lambda^{C.H.T.}} \text{ , м}^3\text{/с} \qquad (6.23)$$

де $\lambda^{C.H.T.}$ - коефіцієнт подачі С.Н.Т. в залежності від ступені стискання $P_{пр}/P_0$, приймається по графіку на рисунку 5.5 ([1] с. 97);

6.5.7 Теоретична об'ємна подача С.В.Т. визначається за формулою 5.20 ([1] с. 103);

$$V_{т}^{C.B.T.} = \frac{V_{д}^{C.B.T.}}{\lambda^{C.B.T.}} \text{ , м}^3\text{/с} \qquad (6.24)$$

де $\lambda^{C.B.T.}$ - коефіцієнт подачі С.В.Т. в залежності від ступені стискання $P_к/P_{пр}$,; приймається по графіку на малюнку 5.5 ([1] с. 97);

6.5.8 Теоретична (адіабатна) потужність С.Н.Т. визначається за формулою 5.21 ([1] с. 105);

$$N_{т}^{C.H.T.} = M_1 \cdot (i_2 - i_1) \text{ , кВт} \qquad (6.25)$$

де i_1, i_2 - ентальпії умовних точок циклу, кДж/кг; приймаються по таблиці 7.5 розділу 7.

6.5.9 Теоретична (адіабатна) потужність С.В.Т. визначається за формулою 5.22 ([1] с. 105);

$$N_{т}^{C.B.T.} = M \cdot (i_4 - i_3) \text{ , кВт} \qquad (6.26)$$

де i_3, i_4 - ентальпії умовних точок циклу, кДж/кг; приймаються по таблиці 7.5 розділу 7.

6.5.10 Дійсна (індикаторна) потужність С.Н.Т. визначається за формулою 5.23 ([1] с. 106);

$$N_i^{C.H.T.} = \frac{N_{т}^{C.H.T.}}{\eta_i^{C.H.T.}} \text{ , кВт} \qquad (6.27)$$

де $\eta_i^{C.H.T.}$- індикаторний ККД С.Н.Т., приймається по ([1] с. 96);

6.5.11 Дійсна (індикаторна) потужність С.В.Т. визначається за формулою 5.24 ([1] с. 106);

$$N_i^{C.B.T.} = \frac{N_{т}^{C.B.T.}}{\eta_i^{C.B.T.}} \text{ , кВт} \qquad (6.28)$$

де $\eta_i^{C.B.T.}$ - індикаторний ККД С.В.Т., приймається по ([1] с. 96);

6.5.12 Ефективна потужність С.Н.Т. визначається за формулою 6.25 ([1] с. 106);

де $\eta_{мех}$ - механічний ККД С.Н.Т., приймається по ([1] с. 96) або ([2] с. 74);

6.5.13 Ефективна потужність С.В.Т. визначається за формулою 5.26 ([1] с. 106);

$$N_e^{C.B.T.} = \frac{N_i^{C.B.T.}}{\eta_{мех}^{C.B.T.}} \text{, кВт} \qquad (6.30)$$

де $\eta_{мех}$ - механічний ККД С.В.Т., приймається по ([1] с. 96) або ([2] с. 74);

6.5.14 Теплове навантаження на конденсатор визначається за формулою 5.27 ([1] с. 106);

$$Q_K = Q_0 + N_i^{C.B.T.} + N_i^{C.H.T.} \text{, кВт} \qquad (6.31)$$

Розрахунок та підбір компресорів двоступеневого стискання заноситься до таблиці 6.8, технічна характеристика - до таблиці 6.9.

6.6. Розрахунок та підбір випарювальних конденсаторів.

6.6.1 Площа теплопередаючої поверхні визначається за формулою 11.26 ([2] с. 85)

$$F_к = \frac{Q_к}{q_F}, \quad м^2 \qquad (7.32)$$

$$F_к = \frac{\sum Q_к}{C_в \cdot \rho_в \cdot \Delta t_в} \qquad (7.33)$$

6.6.2 Розрахункове навантаження на основну орошувальну секцію конденсатора визначається за формулою ([2] с. 88);

$$Q_к = (0{,}9...0{,}92) \cdot \sum Q_{кд}, Вт$$

6.6.3 Об'ємна витрата води на охолодження конденсаторів визначається за технічною характеристикою випарювального конденсатора, враховуючи сумарну витрату води, яка циркулює та свіжої води, яка додається для компенсації втрат води на випарювання, по витраті води підбираються насоси з урахуванням резервного насосу.

Таблиця 6.8 - Розрахунок та підбір компресорів двоступеневого стиснення

Режим °С	Q_0 кВт	q_0 кДж/кг	M_1 Кг/с	M Кг/с	$V_д^{СНТ}$ $М^3/с$	λ	$V_т^{СНТ}$ $М^3/с$	Марка компресора	К-ть	$V_т^{СНТ}$ $М^3/с$	$N_т^{СНТ}$ кВт	$N_i^{СНТ}$ кВт	$N_e^{СНТ}$ кВт	$Q_К$
					$V_д^{СВТ}$ $М^3/с$	λ	$V_т^{СВТ}$ $М^3/с$			$V_т^{СВТ}$ $М^3/с$	$N_т^{СВТ}$ кВт	$N_I^{СВТ}$ кВт	$N_e^{СВТ}$ кВт	
-30	57,3	1245	0,046	0,06	0,046	0,83	0,055	ТСМО 38	2	0,057	8	10	11	78,6
					0,017	0,83	0,02			0,02	9	11,25	12,5	
-40	248,6	1250	0,2	0,27	0,34	0,77	0,44	TSMC 116L	3	0,24	42	52,5	58,3	365
					0,1	0,77	0,13			0,73	51	64	71	

Таблиця 6.9 -Технічна характеристика компресорів двоступеневого стиснення

Марка	К-ть цилі-ндрів	$V_т$ $М^3/с$	Діаметр• хід пор-шня	Макс. ча-стота обе-ртання	Номінальна проду-ктивність	Габаритні розміри ,мм			Маса, кг
					R717	L	B	H	
ТСМО 38	6/2	0,0942	82x70	1500	23	1400	700	1000	500
		0,0283							
TSMC 116L	6/2	0,3564	100x100	1500	133	2475	1150	1335	1800
		0,1069							

Таблиця 6.10 – Розрахунок, підбір та технічна характеристика конденсаторів

Qк.д.; Вт	Qк.; Вт	q_F; $\frac{Вт}{м^2}$	$F_к$; $м^2$	Марка конденсатора	К-ть	$F_{к.д.}$; $м^2$	Розміри, мм			Об'єм трубного простору, $м^3$	Маса кг
							L	B	H		
824600	750386	2500	300	Я29-ИК-300	1	304	2920	2400	2540	2,13	7700

Розрахунок, підбір та технічна характеристика водяних насосів заноситься до таблиці 6.11

Таблиця 6.11 – Розрахунок, підбір та технічна характеристика водяних насосів

Марка конд.	К-ть	Витрата цирк. води одним конд.	Витрата свіжої води одним конд.	Сумарна витрата води конд.	Марка насоса	К-ть насос.	Подача; $м^3$/год	Повний напір; м	Част. обер.; об/хв
ИК-300	1	84	1,05	85,05	К45/30	3	45	30	3000

6.7 Розрахунок та підбір повітроохолоджувачів.

6.7.1 Площа теплопередаючої поверхні повітроохолоджувачів визначається за формулою 11.26 ([2] с. 85);

$$F_{п.о.} = \frac{Q_{к.обл}}{K_{п.о.} \cdot \Delta t} \text{ ,м}^2 \qquad (6.35)$$

де $Q_{к. обл.}$ - теплове навантаження на камерне обладнання для даної камери, Вт; приймається по зведеній таблиці теплонадходжень;

$К_{п.о.}$ - коефіцієнт теплопередачі повітроохолоджувача, Вт/($м^2$*К); приймається в залежності від t_0 по ([2] с. 92);

Δ t - різниця температур між киплячим холодильним агентом і повітрям в

камері, ^{0}C;

6.7.2. Розрахункова кількість повітроохолоджувачів визначається за формулою

$$n_p = \frac{F_{п.о.}}{f_{п.о.}} \text{,шт} \qquad (6.36)$$

де $f_{п.о.}$ - площа теплопередаючої поверхні прийнятого повітроохолоджувача, м^2; приймається по таблиці 14.7 ([2] с. 128);

6.7.3. Приймається дійсна кількість повітроохолоджувачів: $n_д$.

6.7.4. Об'ємна подача повітря встановленими вентиляторами визначається за формулою 11.39 ([2] с. 92);

$$V_{пов} = \frac{Q_{к.обл}}{\rho_{пов}(i_1 - i_2)} \text{, м}^3\text{/с} \qquad (6.37)$$

де $\rho_{пов}$ - щільність повітря, яке виходить з повітроохолоджувача, кг/м^3; знаходиться по діаграмі i-d для вологого повітря;

$i_1 - i_2 = \Delta i$ - різниця ентальпій між повітрям яке входить в повітроохолоджувач і повітрям, яке виходить з нього, кДж/кг; знаходиться по діаграмі i-d для вологого повітря;

6.7.5. Об'ємна витрата повітря повітроохолоджувачами для даної камери визначається за формулою

$$V_{пов.зач} = V_{1.пов} \cdot n_д \text{ ,м}^3\text{/с} \qquad (7.38)$$

де $V_{1\ пов}$ - об'ємна витрата повітря одним повітроохолоджувачем, м^3/с; приймається по таблиці 14.7 ([2] с. 128);

$n_д$ - дійсна кількість повітроохолоджувачів, шт.;

6.7.6 Місткість повітроохолоджувачів для даної камери по аміаку

визначається за формулою

$$V_{а.заг} = V_а \cdot n_д \text{ ,м}^3 \qquad (6.39)$$

де $V_а$ - місткість по аміаку одного повітроохолоджувача, м^3; приймається по таблиці 14.7 ([2] с. 128);

Таблиця 7.12 - Розрахунок, підбір та технічна характеристика повітроохолоджувачів

Назва кмери	$Q_{к.обл.}$ Вт	t_0 ^0C	$t_{кам}$ ^0C	$K_{ПО}$ Вт/м^{2}К	$F_{пое}$ м ^{2}	Марка ПО	$f_{пое}$ м ^{2}	$n_р$, шт	$n_д$, шт	$V_а$ м ^{3}	$V_{а.заг}$ м ^{3}
КТО м’ яса зам.	127306	-40	-30	12	1061	ADHN066C/24	277	3,8	4	0,043	0,172
КТО м’ яса ох.	57975	-10	-3	12	690	ADHN051C/34	260	2,7	3	0,039	0,117
КТО субпродукту	44421	-40	-30	12	370	ADHN066D/2744	217	1,7	2	0,056	0,112
КЗМ м’ яса	30268	-30	-20	12,5	242	ADHN046C/37	122	1,97	2	0,032	0,064
КЗО м’ яса	32460	-10	0	15,2	214	GDS066C/15	117	1,86	2	0,03	0,06
КЗМ субпродукту	20657	-30	-20	12,5	165	GDS046B/28	84	1,96	2	0,032	0,064
КЗО жиру	7906	-10	0	15,2	52	GDS066C/112	52,2	0,9	1	0,03	0,03

Назва кмери	Марка ПО	$t_н$ ^0C	$t_в$ ^0C	i_1 кДж/к	i_2 кДж/кг	Δi кДж/кг	ϕ %	$\rho_{пов}$ кг/м^3	$V_{пов}$ м ^{3}/с	$V_{пов}$ м ^{3}/с	$V_{пов.заг}$ м ^{3}/с
КТО м’ яса зам.	ADHN066C/24	-28	-32	-27	-31	4	95	1,45	22	4,47	18
КТО м’ яса ох.	ADHN051C/34	-1	-5	-27	-31	4	95	1,45	10	4,5	13,5
КТО субпродукту	ADHN066D/274444	-28	-32	-27	-31	4	95	1,45	7,7	4,5	9
КЗМ м’ яса	ADHN046C/37	-18	-22	-16	-20	4	90	1,38	5,5	3,5	7
КЗО м’ яса	GDS066C/15	2	-2	11	4	7	80	1,28	3,6	2	4
КЗМ субпродукту	GDS046B/28	-18	-22	-16	-20	4	90	1,38	3,7	2,67	5,34
КЗО жиру	GDS066C/112	2	-2	11	4	4	80	1,28	0,9	2,5	0,9

7. Рrозрахунок та підбір допоміжного обладнання

7.1 Розрахунок та підбір лінійних ресиверів.

7.1.1 Місткість лінійних ресиверів для насосно-циркуляційної системи з нижньою подачею холодильного агенту в прилади охолодження визначається за формулою 5.41 ([1] с. 128);

$$V_{л.р.} = \frac{0,3 \cdot V_{вип.}}{0,5} \cdot 1,2 \text{ , м}^3 \qquad (7.1)$$

де $V_{вип}$ - місткість по аміаку випарювальної системи, м^3;

0,5 - коефіцієнт, який враховує норму заповнення ресивера при експлуатації (50% від об'єму);

1,2 - коефіцієнт, який враховує запас місткості (20%);

7.1.2 Місткість випарювальної системи визначається за формулою

$$V_{вип} = V_{б} + V_{п.о} + V_{в} \text{ , м}^3 \qquad (7.2)$$

де $V_б$ - місткість по аміаку всіх батарей, м^3;

$V_{п.о.}$ - місткість по аміаку всіх повітроохолоджувачів, м^3;

Розрахунок лінійних ресиверів заноситься в таблицю 8.1.

Таблиця 7.1 - Розрахунок лінійних ресиверів

$V_б$, м^3	$V_{по}$, м^3	$V_{вип}$, м^3	Подача	$V_{лр}$, м^3	Марка	Кількість
0,2	0,619	0,819	верхня	0,5	0,75 РД	1

Технічна характеристика лінійних ресиверів заноситься до таблиці 8.2.

Таблиця 7.2 - Технічна характеристика лінійного ресивера

Марка	Габаритні розміри		$V_{ам}$,; м^3	Маса, кг
	D•S	L		
0,75 РД	630х10	3109	0,79	430

7.2 Розрахунок та підбір циркуляційних ресиверів.

7.2.1 Місткість циркуляційних ресиверів визначається за формулою 5.42 ([1] с. 128);

$$V_{ц.р.} = (V_б \cdot K_1 + V_{п.о.} \cdot K_2) \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \text{ , м}^3 \quad (7.3)$$

де K_1 - коефіцієнт заповнення труб батарей;

K_2 - коефіцієнт заповнення труб повітроохолоджувачів;

K_3 - коефіцієнт кількості аміаку, який викидається з приладів охолодження;

K_4 - коефіцієнт місткості колекторів і трубопроводів;

K_5 - коефіцієнт робочого заповнення ресиверів для забезпечення стійкої роботи насосів;

K_6 - коефіцієнт допустимого заповнення ресиверів;

K_7 - коефіцієнт запасу місткості;

Всі коефіцієнти приймаються по таблиці 5.20 ([1] с. 129);

Розрахунок та підбір циркуляційних ресиверів заноситься до таблиці 7.3.

Таблиця 8.3 Розрахунок циркуляційних ресиверів

По-дача	t_0, ^0C	$V_б$, м^3	$V_{по}$, м^3	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	$V_{цр}$, м^3	Марка ресивера
верхня	-10	0,2	0,21	0,25	0,5	-	1,2	1,25	1,25	1,2	0,35	1,5 РДВ
верхня	-30	-	0,128	-	0,5	-	1,2	1,25	1,25	1,2	0,144	1,5 РДВ
верхня	-40	-	0,284	-	0,5	1,2	1,2	1,25	1,25	1,2	0,38	1,5 РДВ

Таблиця 8.4 - Технічна характеристика циркуляційних ресиверів

Марка	Габаритні розміри		Діаметри умовних проходів патрубків,мм				$V_{ам}$, м^3	Маса, кг
	D•S	H	d_1	d_2	d_3	d_4		
1,5 РДВ	800•8	3880	150	80	40	15	1,4	710

7.3 Розрахунок та підбір дренажного ресивера.

В насосно-циркуляційних системах дренажний ресивер підбирається по місткості хладагенту у випарній системі самої великої камери, апарату.

На основі цього приймається дренажний ресивер марки 1,5 РД.

Технічна характеристика дренажного ресивера заноситься до таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 - Технічна характеристика дренажного ресивера

Марка	Габаритні розміри, мм		Міст-кість, $м^3$	Маса, кг
	D•S	L		
1,5 РД	800х8	3610	1,65	670

7.4 Розрахунок та підбір трубопроводів.

7.4.1 Внутрішній діаметр трубопроводу визначається за формулою 7.2 ([1] с. 170);

$$d_{вн.} = 1{,}13\sqrt{\frac{V}{\omega}} \text{ ,м} \qquad (7.6)$$

де ω - розрахункове значення швидкості руху середовища в трубопроводі, м/с; приймається по таблиці 7.4 ([1] с. 172);

V - кількість речовини, яка протікає по трубопроводу, м/с;

7.4.2 Кількість речовини, яка протікає по трубопроводу визначається за формулою

Одноступеневе стискання:

Всмоктування: $V = M \cdot v_1$,м/с (7.7)

Нагнітання: $V = M \cdot v_2$, м/с (8.8)

Двоступеневе стискання:

Всмоктування: $V = M_1 \cdot v_1$, м/с (7.9)

Нагнітання: $V = M \cdot v_4$, м/с (7.10)

7.4.3 Кількість речовини, яка протікає по загальному нагнітаючому трубопроводу визначається за формулою

$$V = V_1 + V_2 + V \text{ , } м^3/с \qquad (7.11)$$

Нагнітання (t_0= -10 ^{0}C) - $V_1 = M \cdot v_2$, $м^3/с$ (7.12)

Нагнітання (t_0= -30 ^{0}C) - $V_2 = M \cdot v_4$, $м^3/с$ (7.13)

Нагнітання (t_0= -40 ^{0}C) - $V_3 = M \cdot v_4$, $м^3/с$ (7.14)

7.4.4 Кількість речовини, яка протікає по рідинному (зливному) трубопроводу від конденсатора до лінійного ресивера визначається за формулою

$$V = M \cdot v_3 + M_1 \cdot v + M_1 \cdot v_5 \text{ , } м^3/с \qquad (7.15)$$

Таблиця 7.8 - Розрахунок та підбір аміачних трубопроводів

Трубопровід	t_0 ; ^0C	M ; $\frac{Кг}{с}$	M_1 ; $\frac{Кг}{с}$	V_1 ; $\frac{м^3}{с}$	V_2; $\frac{м^3}{с}$	V_3; $\frac{м^3}{с}$	V_4 ; $\frac{м^3}{с}$	V_5 ; $\frac{м^3}{с}$	V ; $\frac{м^3}{с}$	ω $\frac{м}{с}$	$d_{вн}$; м	D_y ; мм
Всмоктуючий	-10	0,12	-	0,43	-	-	-	-	0,05	15	0,065	70
Нагнітаючий	-10	0,12	-	-	0,13	-	-	-	0,016	20	0,032	32
Всмоктуючий	-30	-	0,046	1	-	-	-	-	0,046	15	0,063	70
Нагнітаючий	-30	0,06	-	-	-	-	0,13	-	0,008	20	0,023	25
Всмоктуючий	-40	-	0,2	1,7	-	-	-	-	0,34	15	0,17	200
Нагнітаючий	-40	0,27	-	-	-	-	0,125	-	0,034	20	0,047	50
Загальний нагнітаючий	-	-	-	-	-	-	-	-	0,058	20	0,06	70
Рідинний	-	-		-	-	-	-	0,00169	0,0006	0,6	0,036	40

Розрахунок та підбір аміачних трубопроводів заноситься до таблиці 7.8.

8.5 Розрахунок та підбір аміачних насосів.

8.5.1 Об'ємна подача аміачного насосу визначається за формулою ([3] с. 166);

$$V_a = M \cdot V_p \cdot a \text{ , м}^3/\text{с} \qquad (7.16)$$

де М - масова витрата холодильного агенту, кг/с; приймається по таблиці 8.8 розділу 8;

V_p - питомий об'єм рідкого холодильного агенту, м^3/кг;

а - кратність циркуляції холодильного агенту (верхня подача а= 20);

Розрахунок, підбір та технічна характеристика аміачних насосів заноситься до таблиці 7.9.

Таблиця 7.9 – Розрахунок та технічна характеристика аміачних насосів

Режим ^{0}С	M_p, кг/с	V_p, м^3/кг	а	$V_{ам}$, м^3/с	Марка насосу	Кіль-кість	Подача, м^3/год	Напір, м
-10	0,12	0,00169	5	0,001	HRP3232	2	5,5	27
-20	0,06	0,00169	5	0,0005	HRP3232	2	5,5	27
-30	0,27	0,00169	5	0,0023	HRP5040	2	13,5	35

7.6 Підбір мастиловіддільника.

Підбір мастиловіддільника проводиться по діаметру загального нагнітального трубопроводу і підбирається один загальний аміачний

інерційний мастиловіддільника марки 50СМ.

Технічна характеристика мастиловіддільника заноситься до таблиці 7.10.

Таблиця 7.10 - Технічна характеристика мастиловіддільника

Марка	Розміри, мм			Міст-кість, л	Маса, кг
	DxS	H	d_1		
100М	408х9	1800	100	0,17	224

7.8 Підбір мастилозбірник.

Для випуску масла з мастиловіддільника, всіх апаратів і випуску його на зовні підбирається один загальний мастилозбірник марки 150СМ

Технічна характеристика мастилозбірника заноситься до таблиці 7.9

Таблиця 7.11 - Технічна характеристика мастилозбірника

Марка	Розміри, мм		Міст-кість, л	Маса, кг
	D	H		
150СМ	159	770	150	18,5

7.9 Розрахунок та підбір проміжних посудин.

Розрахунок та підбір проміжних посудин окремо не проводиться так як в комплект вибраних двоступеневих компресорів , які працюють на t_0,= -30 °С та на t_0,= - 40 °С входять кожухотрубні проміжні охолоджувачі із змійовиками.

7.10 Підбір повітровідокремлювача.

Для випуску повітря із системи холодильної установки підбирається один автоматичний повітроохолоджувач марки Purger фірми Grasso.

8. Тривимірне моделювання камер шокової заморозки

Швидкий розвиток комп'ютерної техніки і її впровадження у всі сфери життя призвело до того, що сьогодні грамотний спеціаліст в будь-якій області знань повинен добре орієнтуватись в світі комп'ютерів та володіти необхідними програмними засобами. Сучасний інженер не може існувати без знання систем автоматичного проектування (CAD - Computer Aids Design), автоматичного виробництва (CAM–Computer Aids Manufacturing) та автоматичного інженерного аналізу (CAE – Computer Aids Engineering). Такі CAD/CAM системи як AutoCad, SolidWorks, DUCT, Unigraphics широко використовуються для комп'ютерного моделювання виробів складної форми, з наступним випуском креслень та генерацією управляючих програм для станків с ЧПУ. Однак ці спеціалізовані пакети числового моделювання не мають розвинених систем інженерного аналізу. CAE-системи інженерного аналізу (ABAQUS, ANSYS, COSMOS, I-DEAS, NASTRAN та ін.) дозволяють не тільки виконати моделювання систем різної фізичної природи, а й дослідити відгук цих систем на зовнішній вплив у вигляді розподілення напружень, температур, швидкостей електромагнітних полів та ін. Використання таких програм допомагає проектним організаціям скоротити цикл розробки, знизити собівартість виробів та підвисити якість продукції. У зв'язку з цим одною із задач вищої школи є підготовка спеціалістів , що володіють сучасними програмними комплексами інженерного аналізу.

Одним із найрозповсюдженіших таких комплексів на сьогодні являється програма ANSYS , що використовую метод кінцевих елементів. Багатоцільова направленість програми, незалежність від апаратних засобів (від персональних комп'ютерів до суперкомп'ютерів), засоби геометричного моделювання на базі B-сплайнів (технологія NURBS), повна сумісність з CAD/CAM/CAE системами провідних виробників та «дружній» інтерфейс призвели до того, що саме ANSYS на сьогоднішній день використовується в багатьох університетах для навчання студентів та виконання науково-дослідних робіт.

8.1 Поняття Методу контрольного об’єму (МКО).

Основна ідея методу контрольного об'єму (МКО) легко зрозуміла і піддається прямої фізичної інтерпретації. Розрахункову область розбивають па деяке число непересічних контрольних обсягів. Диференціальне рівняння інтегрують по кожному контрольному обсягом. Для обчислення інтегралів всередині контрольного обсягу використовують функції форми, які описують зміну деякої цікавить змінної між розрахунковими вузловими точками. В результаті знаходять дискретний аналог диференціального рівняння, до якого входять значення в декількох розрахункових вузлових точках. Як розрахунковий вузла в МКО приймається центр контрольного обсягу.

Отриманий подібним чином дискретний аналог висловлює закон збереження для кінцевого контрольного обсягу точно так же, як диференціальне рівняння виражає закон збереження для нескінченно малого контрольного обсягу.

Для отримання математичного формулювання МКО необхідно звернутися до основних диференціальним залежностям. Рівняння нерозривності, кількості руху і узагальнене диференціальне рівняння, записані в координатної формі приймуть такий вигляд:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho V_i\right) = 0\,, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho V_j\right) + \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho V_i V_j\right) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\mu\left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i} + \frac{\partial V_i}{\partial x_j}\right)\right], \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho\phi\right) + \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho V_i \phi\right) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\Gamma\left(\frac{\partial \phi}{\partial x_i}\right)\right] + S\,. \quad (3)$$

Далі, керуючись зазначеними вище міркуваннями, кожен з виразів (1) - (3) слід про інтегрувати по контрольному об’єму. При цьому, деякі об'ємні інтеграли зручно перетворити в поверхневі, використовуючи теорему Остроградського-Га-

усса. Можна помітити, що при відсутності деформації контрольного об’єму протягом часу (розрахункова сітка не змінюється з плином часу), відповідні похідні можуть бути винесені за знак інтеграла:

$$\frac{d}{dt}\int_{\Omega}\rho d\Omega+\int_{S}\rho V_i dn_i=0, \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt}\int_{\Omega}\rho V_j d\Omega+\int_{S}\rho V_i V_j dn_i=-\int_{S}P dn_i+\int_{S}\mu\left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i}+\frac{\partial V_i}{\partial x_j}\right)dn_i+\int_{\Omega}S_{V_j}d\Omega, \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\Omega}\rho\phi d\Omega+\int_{S}\rho V_i\phi dn_i=\int_{S}\Gamma\left(\frac{\partial\phi}{\partial x_i}\right)dn_i+\int_{\Omega}S d\Omega, \quad (6)$$

де

Ω - контрольний об’єм;

S - контрольна поверхню, що обмежує контрольний обсяг;

dn_i - диференціал декартової складової вектора зовнішньої нормалі до поверхні.

В інтегральних співвідношеннях об'ємні інтеграли характеризують собою кількісний рівень змінних всередині контрольного обсягу, а поверхневі представляють собою потоки змінних.

Потім необхідно перевести точні інтегральні рівняння (4) - (5) в дискретну форму, для чого використовуються схеми дискретизації різного порядку точності. Отже, МКО зводиться до дискретизації основних диференціальних рівнянь в інтегральної формі. Об'ємні складові перетворюються шляхом апроксимації змінних всередині окремих сегментів осередку (рис.9.1) і їх подальшого інтегрування по кожному з об'ємних сегментів, які в сумі складають контрольний обсяг. Поверхневі складові (потоки) спочатку обчислюються для точок інтегрування, розташованих в центрі сегмента поверхні, в яку укладено контрольний обсяг, а потім повна зміна обчислюється інтегруванням отриманих потоків через окремі грані [3].

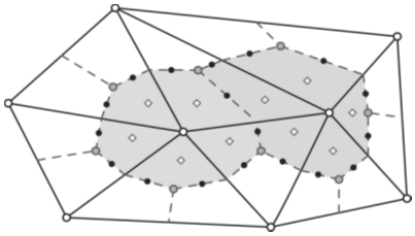


Рис. 8.1. Формування контрольних обсягів на основі сіткової моделі

Дискретна форма інтегральних співвідношень може мати вигляд (використана Ейлерова схема апроксимації с різницею назад першого порядку):

$$\Omega\left(\frac{\rho-\rho^0}{\Delta t}\right)+\sum_{ip}\left(\rho V_i\Delta n_i\right)_{ip}=0\,,\ (7)$$

$$\Omega\left(\frac{\rho V_j-\rho^0 V_j^i}{\Delta t}\right)+\sum_{ip}\dot{m}_{ip}\left(V_j\right)_{ip}=$$

$$=\sum_{ip}\left(P\Delta n_j\right)_{ip}+\sum_{ip}\left(\mu\left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i}+\frac{\partial V_i}{\partial x_j}\right)\Delta n_i\right)+\overline{S_{V_j}}\Omega\,,$$

$$\Omega\left(\frac{\rho\phi-\rho^0\phi^0}{\Delta t}\right)+\sum_{ip}\dot{m}_{ip}\phi_{ip}=\sum_{ip}\left(\Gamma\left(\frac{\partial\phi}{\partial x_i}\right)\Delta n_i\right)_{ip}+\overline{S}\Omega\,,$$

де

Δt - крок за часом;

Δn_i - приріст декартової складової вектора зовнішньої нормалі до поверхні;

індекс «ip» означає обчислення для точки інтегрування і підсумовування по всіх точках інтегрування даного контрольного обсягу;

індекс «» вказує, що величина відповідає попереднього значення часу.

Зміна маси (масова витрата) через поверхню елемента обсягу отримано як

$$\dot{m}_{ip}=\left(\rho V_i\Delta n_i\right)_{ip}.$$

Величини, отримані при вирішенні, наводяться до центрів контрольного обсягу. Незважаючи на це деякі члени рівнянь потребують вирішення для точок інтегрування. Для знаходження величин всередині елемента сітки використовуються апроксимуючі функції (функції форми) кінцевих елементів.

Зміна деякої змінної всередині обсягу можна записати як

$$\phi = \sum_{i=1}^{n} N_i \phi_i \ ,$$

Де N_i - апроксимуюча функція для і-го вузла;

ϕ_i - значення змінної в і-м вузлі;

n- число вузлів елемента.

Підсумовування відбувається по всіх вузлах елемента. При цьому апроксимуюча функція має такі властивості:

$$\sum_{i=1}^{n} N_i = 1 \ , (21)$$

для і-го вузла $N_i = \begin{cases} 1, \ i = j; \\ 0, \ i \neq j. \end{cases}$

Одним з важливих властивостей МКО є те, що в ньому закладено точне інтегральне збереження таких величин, як маса, кількість руху і енергія на будь-якій групі контрольних обсягів і, отже, на всій розрахунковій області. Це властивість проявляється при будь-якому числі вузлових точок, а не тільки в граничному випадку дуже великого їх числа. Таким чином, навіть рішення на грубій сітці задовольняє точним інтегральним балансам [4, 5, 7].

Існує два основні різновиди МКО, що характеризуються розташуванням контрольного обсягу по відношенню до елементів вихідної (геометричній) сітки (рис.0.2): МКО, центрована по вузлу і МКО, центрована по осередку [4, 8].

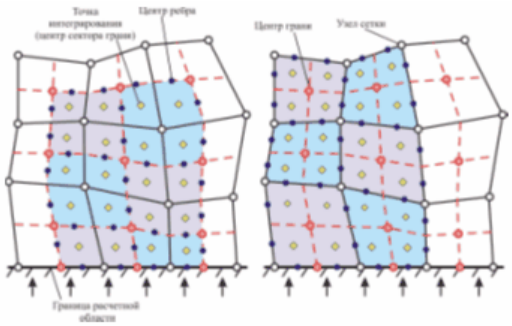


Рис. 8.2. Схема контрольного об'єму, центрована по вузлу (зліва) і центрована по осередку (праворуч)

8.2 Розв’язання рівнянь гідродинаміки у програмних кодах

У загальному випадку ньютонівська рідина, яка стискається, описується п'ятьма рівняннями в частинних похідних . Перше з цих рівнянь описує збереження маси, яке означає, що величина масової витрати в об'ємі, що втікає, дорівнює масовій витраті в об'ємі, що витікає відповідно до

$$\frac{\partial p}{\partial t} + div(\rho u) = 0,$$

де ρ - густина рідини; u - вектор швидкості в декартовій системі координат.

Другий закон Ньютона в комбінації з фактом, що для ньютонівської рідини розмір діючих напружень на контрольний об'єм пропорційний величині деформацій, що описується у відомих рівняннях Нав’є-Стокса. Три рівняння, які подані нижче, описують закон збереження кількості руху в трьох напрямах. Величина збільшення кількості руху частинки рідини дорівнює сумі сил, що діють на частинку, і описується такими рівняннями:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + div(\rho uu) = -\frac{\partial p}{\partial x} + div(\mu gradu) + S_{Mx},$$
$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + div(\rho vu) = -\frac{\partial p}{\partial x} + div(\mu gradv) + S_{My},$$
$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + div(\rho wu) = -\frac{\partial p}{\partial z} + div(\mu gradw) + S_{Mz},$$

де p - тиск; μ - динамічна в'язкість, u, v, w - компоненти швидкості u.

Останнє рівняння у частинних похідних, яке визначає потік, це рівняння енергії, яке випливає з першого закону термодинаміки. Величина збільшення енергії частинки рідини дорівнює доданому теплу до частинки рідини і величині роботи, що діє на частинку:

$$\frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + div(\rho iu) = -pdivu + div(\lambda gradT) + \Phi + S_i,$$

де i - внутрішня енергія; λ - теплопровідність; T - температура, і

$$\Phi=\mu\left(2\left(\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right)+\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2\right)-$$

$$-\frac{2}{3}\mu(divu)^2.$$

Ці п'ять рівнянь в частинних похідних мають сім невідомих змінних (u,v,w,p,T,ρ і i). Для того щоб замкнути цю систему рівнянь, необхідно ввести рівняння для тиску і внутрішньої енергії

$$p=p(\rho,T);\ i=i(\rho,T).$$

Рівняння теплопередачі для твердотільної області, рівняння енергії

$$\frac{\partial(\rho c_p T)}{\partial t}=div(\lambda gradT)+S,$$

де c_p - питома теплоємність.

Рівняння (1.147) можна розв’язати аналітично тільки для декількох простих випадків.

Метод контрольного об’єму. Першим кроком методу контрольного об'єму є інтегрування основних рівнянь для кожного контрольного об'єму. Визначальні рівняння можна записати у вигляді

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}+div(\rho\phi u)=div(\Gamma grad\phi)+S_\phi,$$

де ϕ - властивість рідини і Γ - коефіцієнт дифузії.

Якщо рівняння (1.153) проінтегрувати по контрольному об'єму, то загальне рівняння переносу буде мати вигляд

$$\int_{CV}\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}dV+\int_{CV}div(\rho\phi u)dV=\int_{CV}div(\Gamma grad\phi)dV+\int_{CV}S_\phi dV.$$

Використавши властивість дивергенції за теоремою Гаусса, отримаємо

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\int_{CV}(\rho\phi)dV\right)+\int_A n\cdot(\rho\phi u)dA=\int_A n\cdot(\Gamma grad\phi)dA+\int_{CV}S_\phi dV.$$

Для стаціонарного потоку нестаціонарним членом рівняння (1.155) можна нехтувати:

$$\int_A n\cdot(\rho\phi u)dA=\int_A n\cdot(\Gamma grad\phi)dA+\int_{CV}S_\phi dV.$$

Для нестаціонарного процесу рівняння (1.155) можна проінтегрувати за часом і отримати загальне рівняння переносу у вигляді

$$\int_{\Delta t}\frac{\partial}{\partial t}\left(\int_{CV}(\rho\phi)dV\right)dt+\int_{\Delta t}\int_{A}n\cdot(\rho\phi u)dAdt=\int_{\Delta t}\int_{A}n\cdot\left(\Gamma_{\phi}grad\,\phi\right)dAdt+$$
$$+\int_{\Delta t}\int_{CV}S_{\phi}dVdt.$$

Дискретизація. Другим кроком скінченно-об'ємного методу є зведення рівнянь в частинних похідних до алгебраїчних рівнянь.

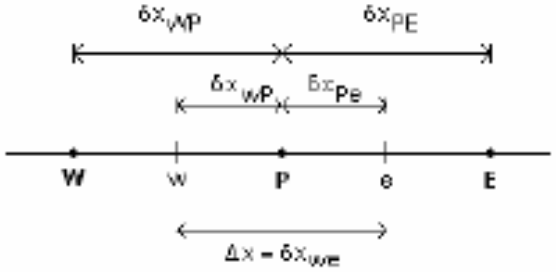


Рис. 8.3 – Одновимірна сітка

На рис. 1.12 показано одновимірну сітку, де P,W і E - вузли, w і e - грані сітки, які розміщені в середині між вузлами, а Δx - довжина контрольного об'єму.

При дискретизації рівняння переносу використовується протипотокова диференціальна схема. Ця схема є схемою першого порядку. Нижче представлений процес чисельного інтегрування і дискретизації основних рівняннь.

Приклад. Ця задача являє собою задачу конвекції-дифузії в одновимірному поставленні. Використовуються другий і третій члени рівняння переносу (1.89)

$$\frac{d(\rho\phi u)}{dx}=\frac{d}{dx}\left(\Gamma\frac{d\phi}{dx}\right).$$

Одновимірне рівняння нерозривності запишемо у вигляді

$$\frac{d(\rho u)}{dx}=0.$$

Рівняння (1.158) і (1.159) інтегруються по Δx, де A - область між гранями. Це дає

$$(\rho uA\phi)_e-(\rho uA\phi)_w=\left(\Gamma A\frac{d\phi}{dx}\right)_e+\left(\Gamma A\frac{d\phi}{dx}\right)_w,$$

$$(\rho uA)_e-(\rho uA)_w=0.$$

Змінні F і D визначаються як

$$F = \rho u \; ; \quad D = \frac{\Gamma}{\delta x} \; .$$

Змінні F і D на гранях комірки стають

$$F_w = (\rho u)_w \; ; \quad F_e = (\rho u)_e \; ,$$

$$D_w = \frac{\Gamma_w}{\delta x_{WP}} \; ; \quad D_e = \frac{\Gamma_e}{\delta x_{PE}} \; .$$

Наступним кроком є прикладення диференціальної противопотокової схеми.

Якщо напрям потоку додатний, що визначається потоком із заходу на схід. Властивість ϕ із західної грані комірки w імовірно дорівнює ϕ у західному вузлі W. Також ϕ у східній грані комірки дорівнює ϕ у вузлі P.

$$\phi_w = \phi_W \; ; \quad \phi_e = \phi_p \; .$$

Підставивши (1.174 а, б) в (1.169), одержимо алгебраїчне рівняння

$$\left[(D_w + F_w) + D_e + (F_e - F_w) \right] \phi_p = (D_w + F_w) \phi_w + D_e \phi_E$$

Протипотокова схема дає добрий збіг, але чутлива до чисельної дифузії. Це означає, що якщо потік спрямований не по нормалі до граней елемента, результати можуть вийти за область потоку. Це означає, наприклад, що стрибки ущільнення побачимо як згладжені криві.

Для отримання більш точного розв'язку, ϕ на гранях сітки може бути апроксимовано рядами більш високого порядку

$$\phi_w = \phi_W + \beta grad \phi \cdot \Delta \bar{r}$$

$$\phi_e = \phi_P + \beta grad \phi \cdot \Delta \bar{r} \; ,$$

де $\Delta \bar{r}$ - відстань і напрям від грані комірки до відповідного вузла; β - константа, яка змінюється в діапазоні від 0 до 1; $\beta = 0$ - противопотокова схема; $\beta = 1$ - схема другого порядку. Схема другого порядку менш робастна і з'являється ризик чисельного розсіювання, що означає виникнення пульсацій у розв'язку.

Ітерації. Коли визначальні рівняння дискретизовані і зведені до алгебраїчних рівнянь алгебри, то використовується ітеративний чисельний метод для розв'язку задачі. Спрощено метод може бути описаний так.

Алгебраїчні рівняння можуть бути записані у матричному вигляді

$$[A]\{\phi\} = \{b\},$$

де $[A]$ - матриця коефіцієнтів; $\{\phi\}$ - вектор розв'язання і $\{b\}$ - вектор.

Для отримання розв'язку ϕ^{n+1} до початкового припущення ϕ^n додається поправка ϕ':

$$\phi^{n+1} = \phi^n + \phi',$$

ϕ' розраховується з рівняння

$$\frac{\partial A}{\partial \phi}\phi' = r^n,$$

де r^n - відхил, який отриманий з рівняння

$$r^n = b - A\phi^n.$$

Цей процес повторюється до того часу, поки розв'язок повністю збігається, і відхил стане мінімальним.

Турбулентне моделювання. Для більшості промислових потоків використовуються розв'язки рівнянь Нав'є-Стокса. Коли числа Рейнольдса перевищують певні величини, потік стає турбулентним. Розв'язати турбулентну течію прямим чисельним інтегруванням неможливо, оскільки це вимагає набагато більшої потужності комп'ютера, чим це можливо у даний час, тому були введені моделі турбулентності.

Рівняння Рейнольдса. Більшість турбулентних моделей отримані з усереднених рівнянь Рейнольдса. Ці рівняння одержані з умови, що швидкість рідини u розділяється на дві компоненти, середню швидкість U і швидкість флуктуацій u'.

$$u = U + u',$$

$$U = \frac{1}{\Delta t}\int^{+\Delta t} u dt$$

.

Якщо швидкість U ввести в рівняння нерозривності (1.147), воно матиме вигляд

$$\frac{\partial p}{\partial t} + div(\rho U) = 0$$

,

і рівняння Нав'є-Стокса перетвориться на

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + div(\rho U \otimes U) = -gradp + div(\mu gradU) - div\left(\rho\overline{u' \otimes u'}\right) + S_M$$

,

Загальна властивість перенесення φ складається із середньої кількості ϕ і кількості флуктуації φ':

$$\varphi = \phi + \varphi'$$

.

Одержано скалярне рівняння перенесення

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + div(\rho\phi U) = div\left(\Gamma_\phi grad\phi\right) - div\left(\rho\overline{u'\varphi'}\right)$$

.

У рівняннях (1.185) і (1.187) з'являються два невідомих члени, напруження Рейнольдса $\rho\overline{u' \otimes u'}$ і потік Рейнольдса $\rho\overline{u'\varphi'}$. Межа над цими членами означає, що вони усереднені за часом.

Моделі турбулентної в'язкості. Група моделей, які названі моделями турбулентної в'язкості, допускають, що турбулентний потік містить добавки до напружень Рейнольдса, які пропорційні середньому градієнту швидкості

$$-\rho\overline{u' \otimes u'} = -\frac{2}{3}\rho k\delta - \frac{2}{3}\mu_t divU\delta + \mu_t\left(\nabla U + (\nabla U)^T\right)$$

,

де k - турбулентна кінетична енергія

$$k = \frac{1}{2}\overline{u'^2}$$

.

Потоки Рейнольдса

$$-\rho\overline{u'\varphi'} = \Gamma_t \nabla\phi$$

,

де вихрова дифузійність Γ_t дорівнює відношенню турбулентної в'язкості μ_t до турбулентного числа Прандля Pr_t.

$$\Gamma_t = \frac{\mu_t}{\mathrm{Pr}_t}.$$

Всі вихрові моделі в'язкості ґрунтуються на цьому співвідношенні. Відмінності між моделями у методі визначення μ_t.

$k-\varepsilon$ модель. $k-\varepsilon$ модель визначає μ_t як

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon},$$

де C_μ - стала; k і турбулентне в'язке розсіювання ε розраховуються за такими двома рівняннями:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + div(\rho U k) = div\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right) grad k\right] + P_k - \rho\varepsilon$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + div(\rho U \varepsilon) = div\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right) grad \varepsilon\right] + \frac{\varepsilon}{k}(C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2}\rho\varepsilon),$$

де $\sigma_k, \sigma_\varepsilon, C_{\varepsilon 1}$ і $C_{\varepsilon 2}$ - сталі і P_k - турбулентна продуктивність.

$k-\omega$ - модель Вілкокса. У $k-\omega$ моделі μ_t визначається як

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega},$$

де k і турбулентна частота ω визначаються з рівнянь, наведених нижче:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + div(\rho U k) = div\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right) grad k\right] + P_k - \beta' \rho k \omega,$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + div(\rho U \omega) = div\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega}\right) grad \omega\right] + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \rho \omega^2,$$

$\sigma_k, \sigma_\omega, \alpha, \beta'$ і β - сталі моделі.

SST - модель. $k-\varepsilon$ - і $k-\omega$ - моделі мають як переваги, так і недоліки. Модель перенесення зсувного напруження (SST) комбінує кращі властивості цих

двох моделей. $k-\omega$ - модель описує потік біля стінок з прилипанням набагато краще, ніж $k-\varepsilon$ - модель, сітка біля стінки не повинна бути найкращою, і потік не на стільки залежить від сітки. З іншого боку, в ядрі потоку $k-\omega$ - модель набагато чутлива до неточних граничних умов порівняно з $k-\varepsilon$ - моделлю.

Пристінковий шар. У турбулентних потоках потік біля стінок також має потребу апроксимації. Потік біля стінки без прослизання не ефективно описувати вільним потоком. Тільки відстань до стінки y, густина рідини ρ, в'язкість μ і зсувне напруження стінки τ_w є важливими. У такому разі вираз для швидкості біля стінки у формі

$$u^+ = \frac{U}{u_t} = f\left(\frac{\rho u_t y}{\mu}\right) = f\left(y^+\right),$$

u^+ і y^+ - безрозмірні змінні швидкості біля стінки і відстані до стінки. u_t - швидкість тертя, що подана рівнянням

$$u_t = \left(\frac{\tau_w}{\rho}\right)^{1/2}.$$

Лінійний прошарок. Для течій, близьких до стінки, коли $y^+ < 5$, зсувне напруження дорівнює зсувному напруженню стінки. Це

$$U = \frac{\tau_w y}{\mu}$$

вираз для швидкості біля стінки. У данного випадку $y^+ = u^+$. Навіть швидкість U в цьому шарі не зв'язана з турбулентними властивостями, але це буде так, поки швидкість знаходиться в логарифмічному шарі.

Логарифмічний закон прошарку. Течія на відстані приблизно $30 < y^+ < 500$ від стінки являє собою логарифмічний закон. В'язкість і турбулентні властивості рідини є важливими у цьому шарі. Залежність між швидкістю і відстанню до стінки у цьому шарі виражається так:

$$u^+ = \frac{1}{k}\ln y^+ + B = \frac{1}{k}\ln\left(Ey^+\right),$$

де k, B і E - сталі, які залежать від шорсткості стінки.

Коли перший вузол сітки має відстань до стінки менше, ніж $y^+ = 5$, тоді виконується закон лінійного прошарку. Для сіток з першим вузлом, який має відстань до стінки $y^+ = 30$ -500, використовуються функції стінки для логарифмічного закону апроксимації характеристик потоку. Це означає, що автоматично вибирається метод для визначення пристінкового прошарку і автоматично підтримується область відстаней до стінки $5 < y^+ < 30$.

Розрахунок турбулентних течій. Якщо для розрахунку турбулентних пограничних шарів використовуються моделі, пов'язані з обчисленням турбулентної в'язкості для всієї течії, то для отримання досить точних результатів вузли сітки повинні бути розміщені усередині в'язкого прошарку, тобто $y+ \le 4{,}0$ для нестисливих течій і $y+ \le 1.0$ або 2,0 у тих випадках, коли доводиться розв’язувати рівняння енергії.

Використання закону стінки. Для багатьох пристінних турбулентних шарів течія у внутрішній області шару має універсальний характер, який описується логарифмічним законом стінки. По суті, ця внутрішня частина шару є областю, в якій конвективне перенесення виконує незначну роль. Грубо кажучи, закон стінки можна розглядати як розв’язок рівняння руху пограничного шару, одержаного при описанні турбулентності за моделлю шляху змішення Прандтля в припущенні, що конвективні члени і градієнт тиску не істотні. Аналогічно для багатьох течій спостерігається майже універсальний характер розподілу температури, і закон стінки можна використовувати для задання граничних умов на внутрішній границі при розв’язанні рівняння енергії.

Отже, при застосуванні закону стінки рівняння пограничного шару розв'язуються з використанням моделі турбулентності лише у зовнішній частині шару, при цьому використовується відносно груба сітка. Розв’язок в пристінній області описується на основі закону стінки, який фактично є наближеним розв’язком для пристінної області. Звичайно припускається, що закон стінки виконується при $30 < y^+ < 200$ і перший від стінки вузол розрахункової сітки розміщують в цьому інтервалі.

Використання сіток з нерівномірним кроком. Практично всі без винятку розрахунки турбулентних прикордонних шарів, в яких розв'язок знаходиться аж до стінки, проводиться з використанням нерівномірних сіток [5]. Широко використовується схема, що базується на припущенні про те, що відношення двох послідовних кроків сітки постійне:

$$\frac{\Delta y^{+}}{\Delta y_{-}} = \frac{\Delta y_{j+1}}{\Delta y_{j}} = K .$$

При використанні такої схеми з постійним співвідношенням кроків сітки при русі від стінки зростають на один і той же відсоток. У результаті кроки сітки ростуть в геометричній прогресії. Для турбулентного перебігу значення числа K лежить звичайно між 1 і 2.

Точність, а іноді і стійкість деяких різницевих схем має велику залежність від вибраного значення K. У більшості випадків задовільні результати виходять при $K \le 1.2$.

Похибки методів обчислювальної гідродинаміки

Коли моделюється потік важливо знати обмеження. Різні джерела помилок і невизначенностей є у методах обчислювальної гідродинаміки. Їх можна розділити на певні категорії:

1) невизначеності моделі. Ці невизначеності призводять до допущень і спрощень реального потоку. У багатьох випадках ці спрощення необхідні для розв'язання задачі. Одним із прикладів є моделі турбулентності, іншим прикладом може бути нехтування хімічними реакціями;

2) помилки обчислення. Помилки обчислення трапляються від того, що визначальні рівняння не розв'язуються на пряму, але дискретизуються з кінцевим розрізненням в часі і просторі. Помилки можуть бути більші при використанні диференціальної схеми першого порядку замість використання схем вищих порядків;

3) Помилки виконання ітерацій і збіжності. Коли відхили не досягають бажаних рівнів, то можуть траплятися помилки. Це обумовлено різними причи-

нами, наприклад, моделі і граничні умови вибрані таким чином, що не забезпечується збіжність для деяких спеціальних течій. У інших випадках ітераційний процес є достатньо довгим і не завжди досягається його збіжність;

4) помилки округлення. Ці помилки трапляються через обмеження комп'ютера. Може не вистачити місця у пам’яті комп'ютера для зберігання величин у процесі розв’язку, тому величини округляються. Розв’язок точніше ніж точність самого комп'ютера не можливий;

5) невизначеності. Неточні граничні умови, геометрія або неіснуючі дані можуть також призвести до неточних результатів;

6) інші помилки можуть траплятися через помилки користувача і помилки коду, який використовується.

8.3. Опис архітектури і процесу розв’язання поставленої задачі за допомогою пакета ANSYS CFX

Пакет ANSYS CFX складається з 5 додатків, між якими відбувається потік інформації, що виникає в процесі поставлення і розв’язання задач гідродинаміки (рис. 1.13).

CFX-Mesh або інший додаток генерування сіток Ansys CFX-Pre (препроцесор фізики) Ansys CFX-Solver Manager (менеджер задач) Ansys CFX- Solver (вирішувач) Ansys CFX- Post (постпроцесор)

Рисунок 3.1 - Схема поставлення і розв’язання задачі з використанням пакета ANSYS CFX

Розглянемо, за які етапи процесу поставлення і розв’язання задачі відповідає кожен додаток пакета.

CFX - Mesh, або інший додаток генерації сітки, – це перший крок поставлення задачі. На даному етапі відбувається таке:

1) визначення геометрії області дослідження;

2) створення областей потоків рідин або газів, твердих областей і задавання імен граничним областям;

3) установка параметрів сітки.

Система ANSYS CFX дозволяє імпортувати геометричні дані з більшості сучасних систем автоматизованого проектування (CAD) і автоматично генерувати сітку на їх основі. Таким чином, перший етап поставлення задачі може бути виконаний у зовнішньому додатку (CAD-системі). **ANSYS CFX - Pre** реалізує процес визначення фізики задачі. Фізичний препроцесор імпортує сітку, яка була створена на першому кроці. Це другий крок поставлення задачі, на якому визначаються фізичні моделі, на основі яких відбуватиметься моделювання процесу, а також їх основні параметри і характеристики.

CFX-Pre дозволяє визначити граничні умови процесу (вхідні, вихідні параметри), моделі теплообміну і т.д.

ANSYS CFX-Solver – це програма, що реалізує процес розв'язання задачі обчислювальної гідродинаміки. Імпортується задача, поставлена за допомогою ANSYS **CFX – Pre,** і виконується пошук розв'язку всіх необхідних змінних**:**

1) рівняння у частинних похідних інтегруються по всьому об'єму задачі у області дослідження і повинні відповідати виконанню закону збереження (мас або кількості руху) для кожної досліджуваної області;

2) інтегральні рівняння, які були одержані, перетворюються в систему алгебраїчних рівнянь шляхом апроксимації членів в інтегральних рівняннях;

3) алгебраїчні рівняння розв'язуються чисельним методом.

ANSYS CFX-Solver Manager – це надбудова над CFX-Solver. Вона дозволяє контролювати хід розв'язання задачі:

1) визначати вхідні файли вирішувача;

2) запускати або припиняти CFX - Solver;

3) контролювати процес розв'язання задачі;

4) встановлювати CFX - Solver для проведення паралельних обчислень.

ANSYS CFX-Post – це програма, призначена для аналізу, візуалізації і подання результатів, які одержані у ході розв'язання задачі за допомогою **ANSYS CFX-Solver.** Для цього використовуються такі засоби:

1) візуалізація геометрії та областей, які досліджуються;

2) векторні графіки для візуалізації напрямів і величин течій;

3) візуалізація зміни скалярних величин (таких, як температура, тиск) усередині досліджуваної області.

Графіки, зображення і відео, які одержані у результаті аналізу розв'язання задачі можна зберегти у вигляді окремих файлів.

10.3.1. Постановка задачі для моделювання

Пакет ANSYS CFX власне формує середовище, у якому є можливість сформувати геометричний об'єкт, тобто камеру, що моделюється, включаючи вантажі у кейджах, повітроохолодники, тощо. Позитивним є той факт, що геометрична модель проектується у масштабі 1:1, що, у свою чергу, дозволяє адекватно відобразити усі локальні аеродинамічні параметри, включаючи масштаби турбулентності та параметри пристінних шарів без їх масштабування. Вбудовані у ANSYS CFX програми генераторів сіток дозволяють згенерувати розрахункові сітки будь-якої складності та тонини відображення об'єкта (підпрограми Workbench та ICEFM). Розрахункова сітка передається у блок препроцесора ANSYS CFX, у якому, власне і відбувається програмування індивідуальної моделі. Тут задаються початкові та граничні умови, включаючи початкову температури вантажів, температуру охолодженого повітря, граничні умови на стінках, стелі та підлозі камер, що дозволяє максимально урахувати індивідуальні особливості конкретного проекту.

Тут також можна увести параметри, які дозволять провести варіативні розрахунки для вибору оптимальних конструкцій повітрохолодників, а саме: - швидкість та швидкість потоку повітря, його початкову температуру, геометрію повітроохолодника, тощо. Далі сформована модель передається до Solver – блока вирішення, де відбувається ітераційне вирішення систем диференціальних рівнянь аеродинаміки та теплообміну. При чому, наявна можливість задавати значення пристінної турбулентності у вигляді будь-якої складності у залежності від очікуваного результату та ресурсу обчислювальних систем. Після отримання результатів модель передається до постпроцесора. Постпроцесор дає можливість проаналізувати отримані результати і визначити оптимальну конструкцію ка-

мери з усіма можливими індивідуальними особливостями, включаючи геометричні розміри само камери, оптимальне розміщення вантажів (рядами, коридорами, уступами, тощо), відстань між рядами, інше. Особливо сприятливою є можливість детально проаналізувати та визначити оптимальну конструкцію, параметри та геометрію пристрою, яке б забезпечило найвищу інтенсивність теплообміну між повітрям та продуктом, що заморожується.

8.3.2 Моделювання обтікання вантажів у камері шокового заморожування м'ясних продуктів із повітроохолодниками стельового типу.

Моделювання проводилося на кафедрі теплоенергетики та холодильної техніки НУХТ за допомогою ліцензованого пакету ANSYS CFX 15. На рис.8.3. пприйняте для моделювання розміщення вантажів. Прийнятий розмір кейджа - 1x1x1,6, що відповідає прийнятим у м'ясній промисловості розмірам. За такої компоновки вантажів виробнича продуктивність камери складе 15т на цикл.

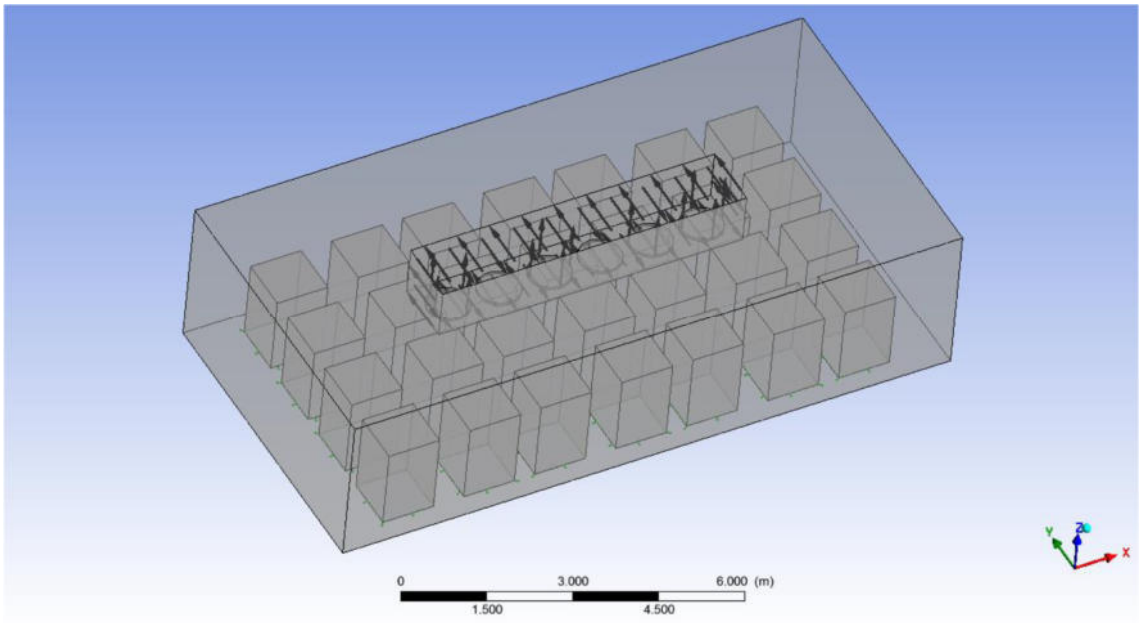


Рис.8.3. Розміщення вантажів у cage у камері заморожування.

Для вирішення задачі охолодження вантажів у cage було створено два домени – один тверде тіло (продукти) рис.8.3. Другий домен – власне повітряний простір, яких охоплює перший домен і сполучається із ним через тепловий контакт зовнішньої поверхні cage. При цьому програма сама визначає умови аеродинамічної та теплової взаємодії між доменами. На рис.8.4.

наведено розрахункову сітку повітряного домену, посередині якої видно розміщений стельовий повітроохолодник із стрілками, які визначають граничні умови виходу повітря від вентиляторів через бічні решітки повітроохолодників.

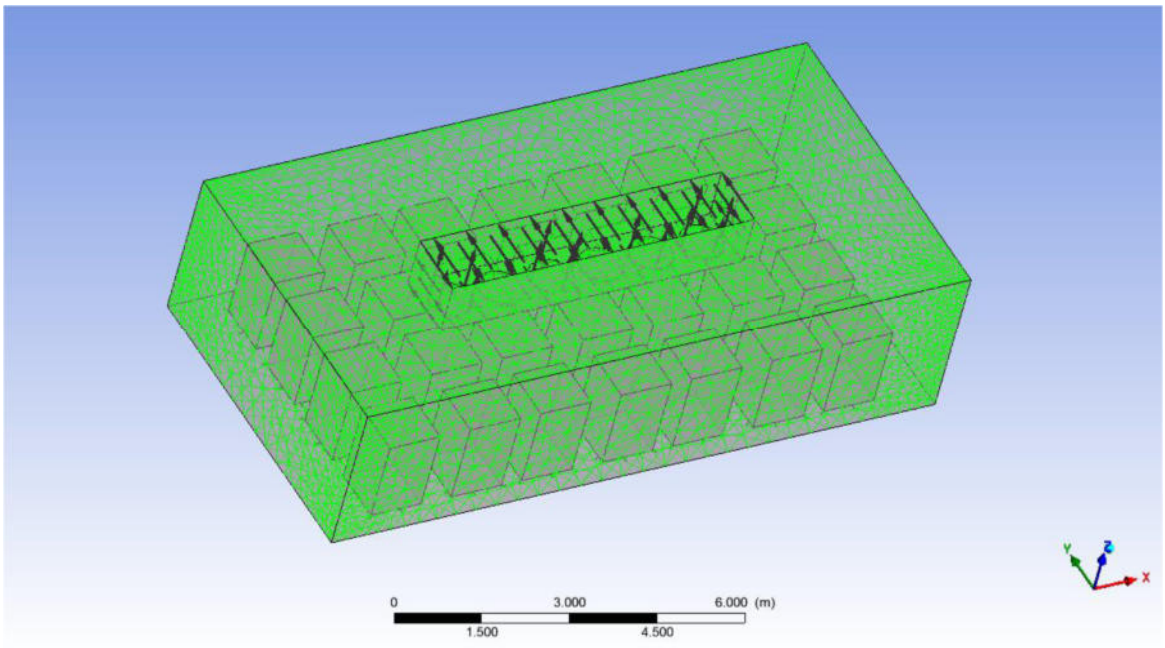


Рис.8.4. Розрахункова сітка дослідної камери

Для забезпечення адекватних розрахунків при прийнятній тривалості циклу розрахунку сітки cage виконано структурованими (у формі паралелепіпеда), причому, із урахуванням необхідності детального розрахунку тривалості. Для забезпечення точності розрахунків при прийнятній тривалості циклу розрахунку сітки cage1 виконано структурованими (у формі паралелепіпеда), причому, із урахуванням необхідності детального розрахунку тривалості заморожування пристінна сітка у напрямку до повітряного домену розбита із змінним кроком, зменшуючись до стінок cage. Таке розбиття дозволяє більш точно відобразити нестаціонарний процес заморожування. При програмуванні задачі прийнято наступні спрощення: Прийнято осереднені значення теплоємності та теплопровідності продуктів у cage за даними для м’яса.

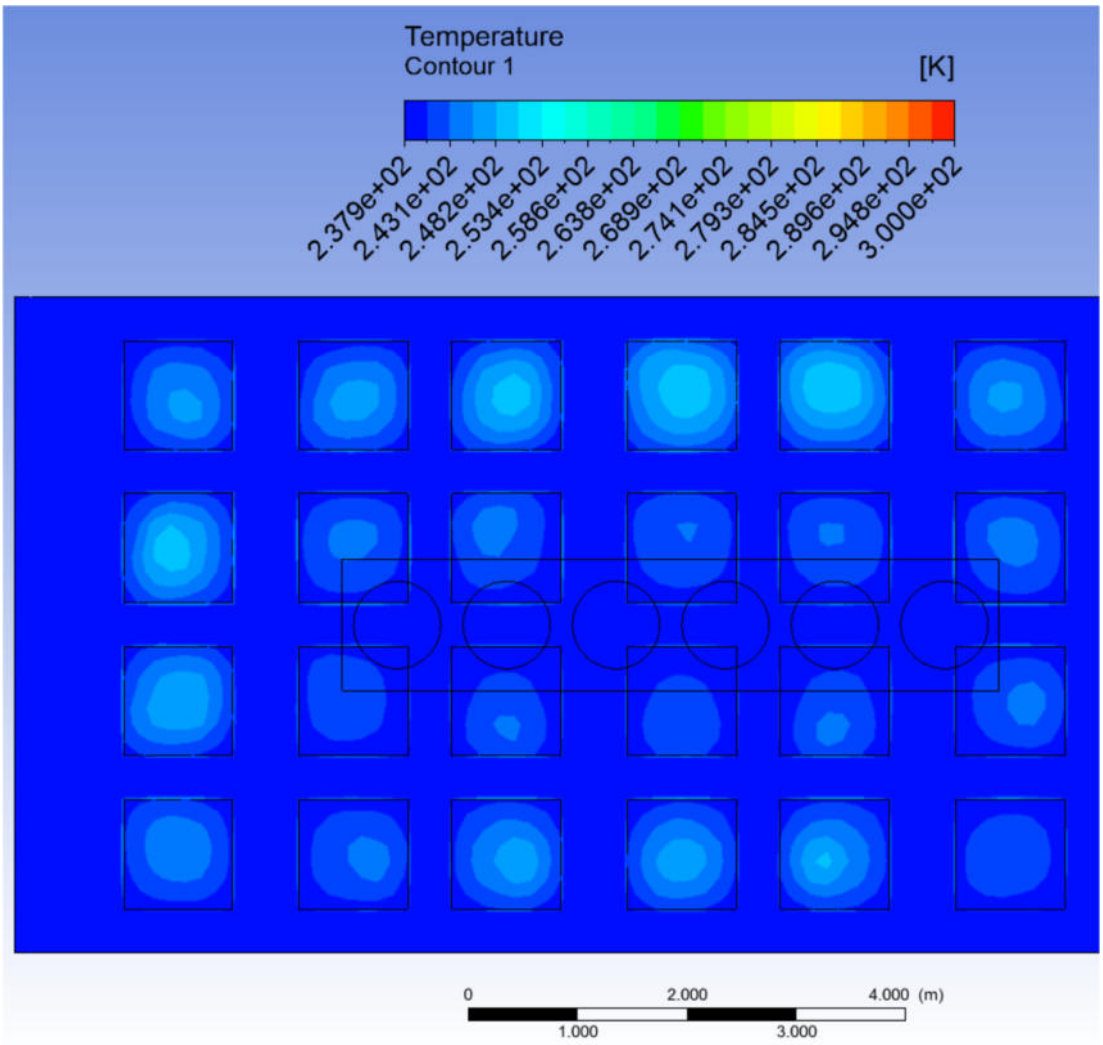


Рис.8.5. Поле температури на фронтальному переріз при температурі - 35^0C.

Як видно з поля температур відбувається інтенсивне охолодження масиву у cage, починаючи від стінок. Слід зауважити, що температура повітря у перерізі у зоні периферійних рядів cag помітно вища від температури у близькості від повітроохолодника, що пояснюється інтенсивним рухом повітря на всмоктуванні у вентилятори повітроохолодника.

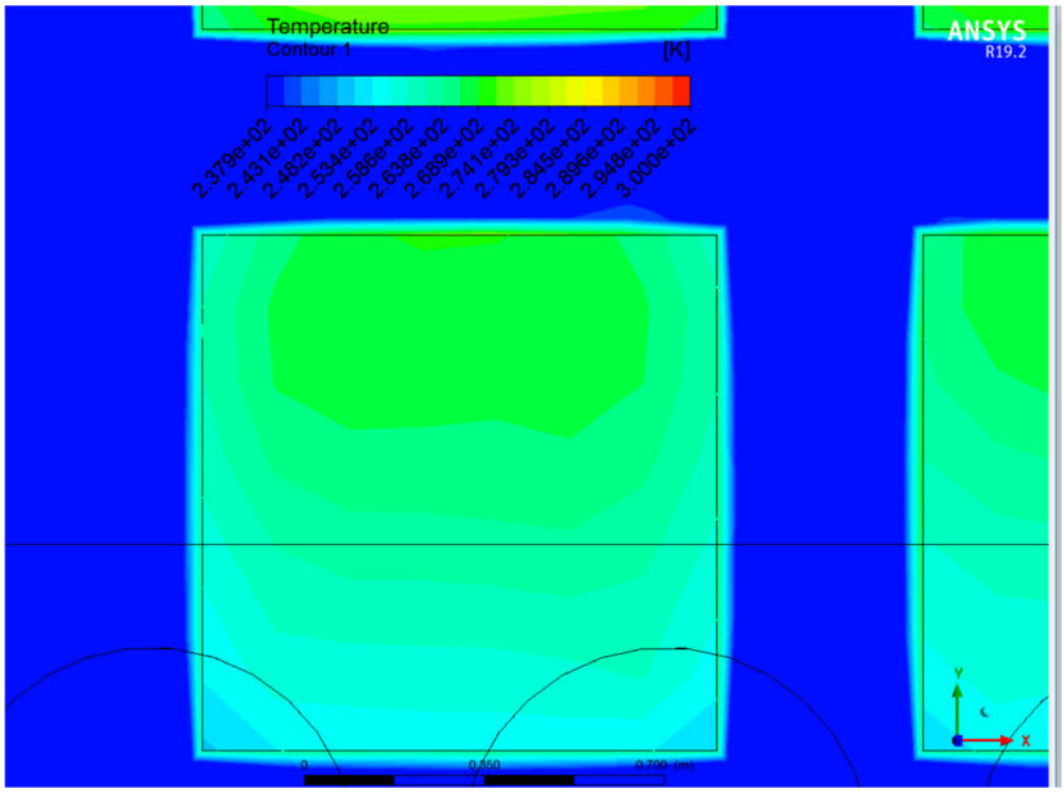


Рис. 8.6. Поле температури поряд з досліджуваними «cage».

Для побудови графіків розподілу температури, а також більш детального розгляду досліджуваної камери проведено декілька ліній в середині досліджуваної камери, рис. 8.7.

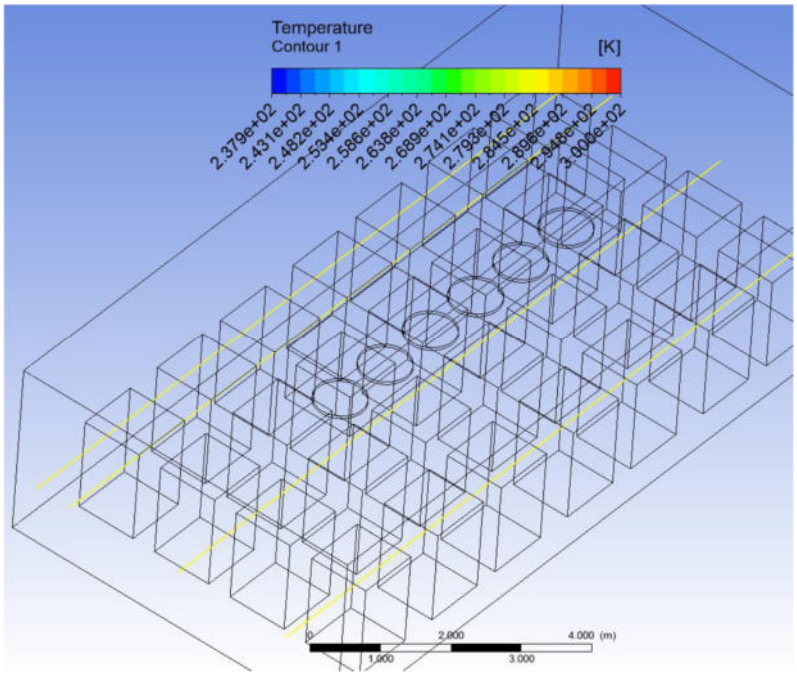


Рис.8.7. Побудова ліній в середині досліджуваної камери.

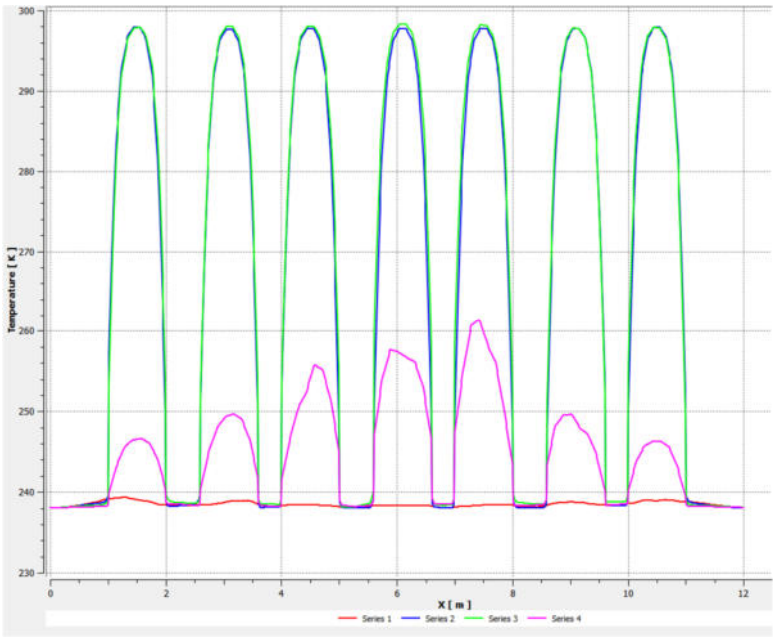


Рис.8.8. Графік зміни температури в досліджуваній камері t=-35^{0}C

На рис. 8.9. представлено розподіл руху повітря по всій досліджуваній камері. Як бачимо даний комплекс дає можливість аналізувати інтенсивність охолодження кожної палети вантажу, в загальному масиві. Даний підхід дозволяє значно розширити можливості проектування сучасних холодильних камер, а також вийти на новий рівень якісних характеристик проектування камер шокової заморозки.

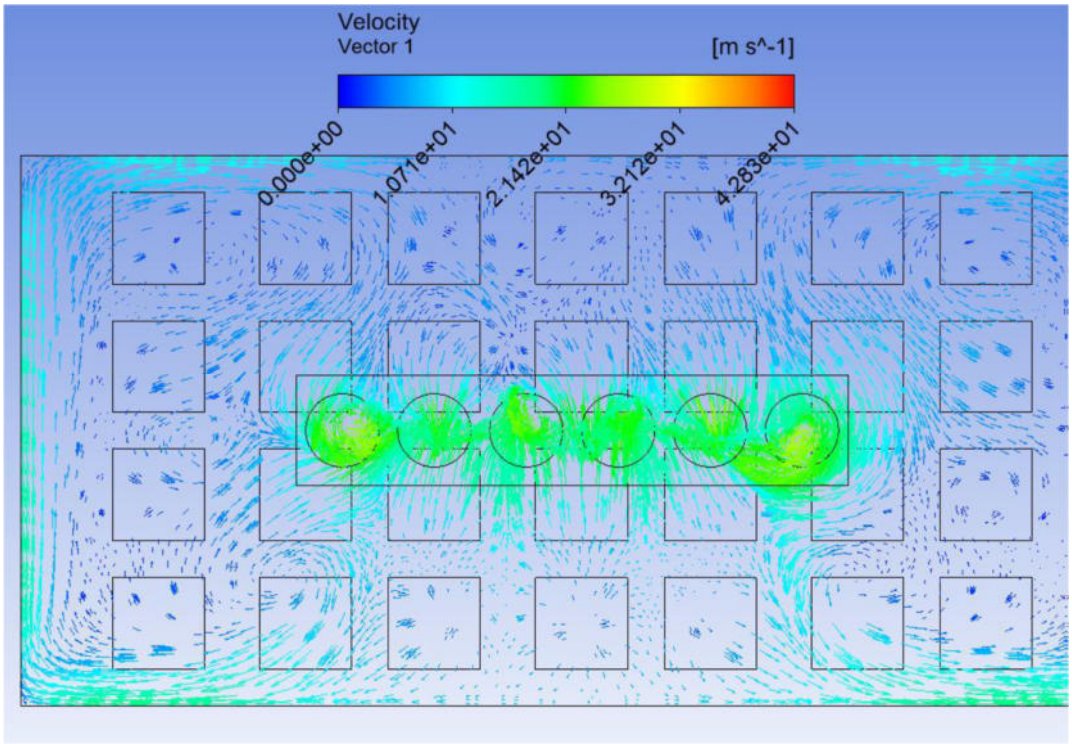


Рис.8.9. Зміна швидкості руху повітря в досліджуваній камері t=-35^{0}C

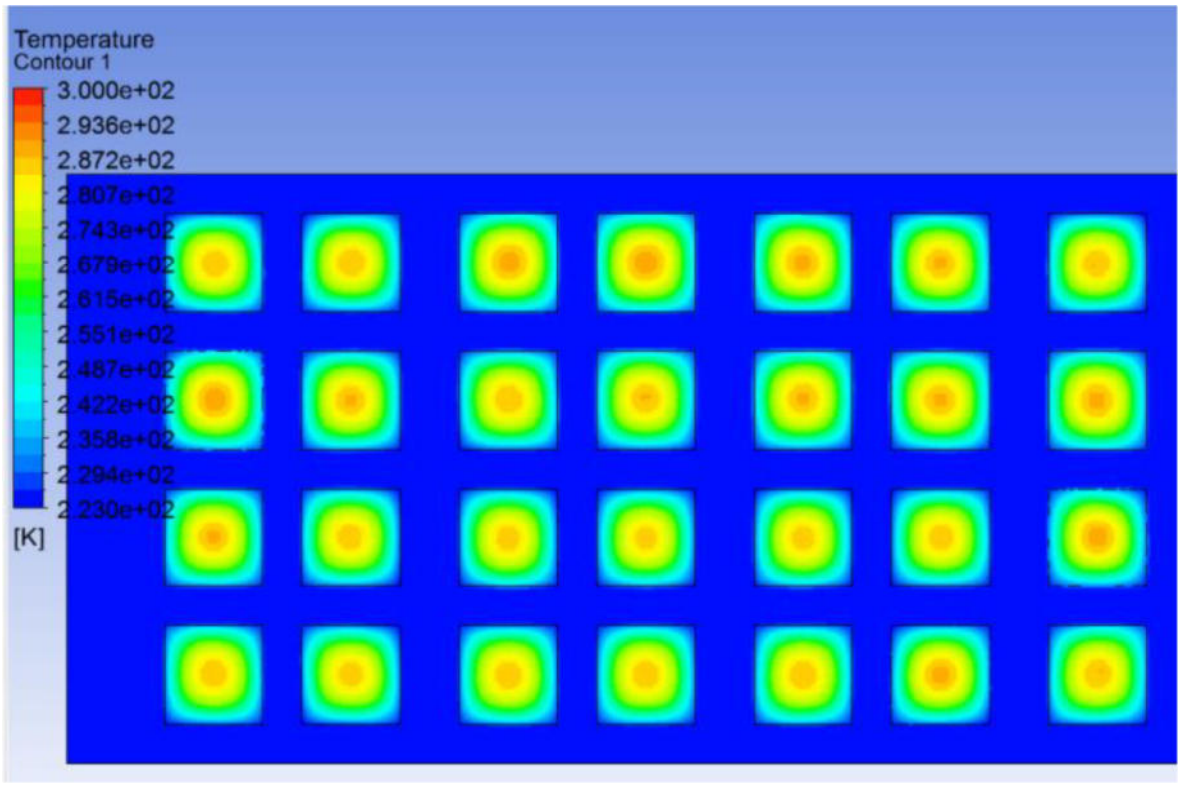


Рис.8.10. Поле температур в експериментальній камері t=-50^{0}C

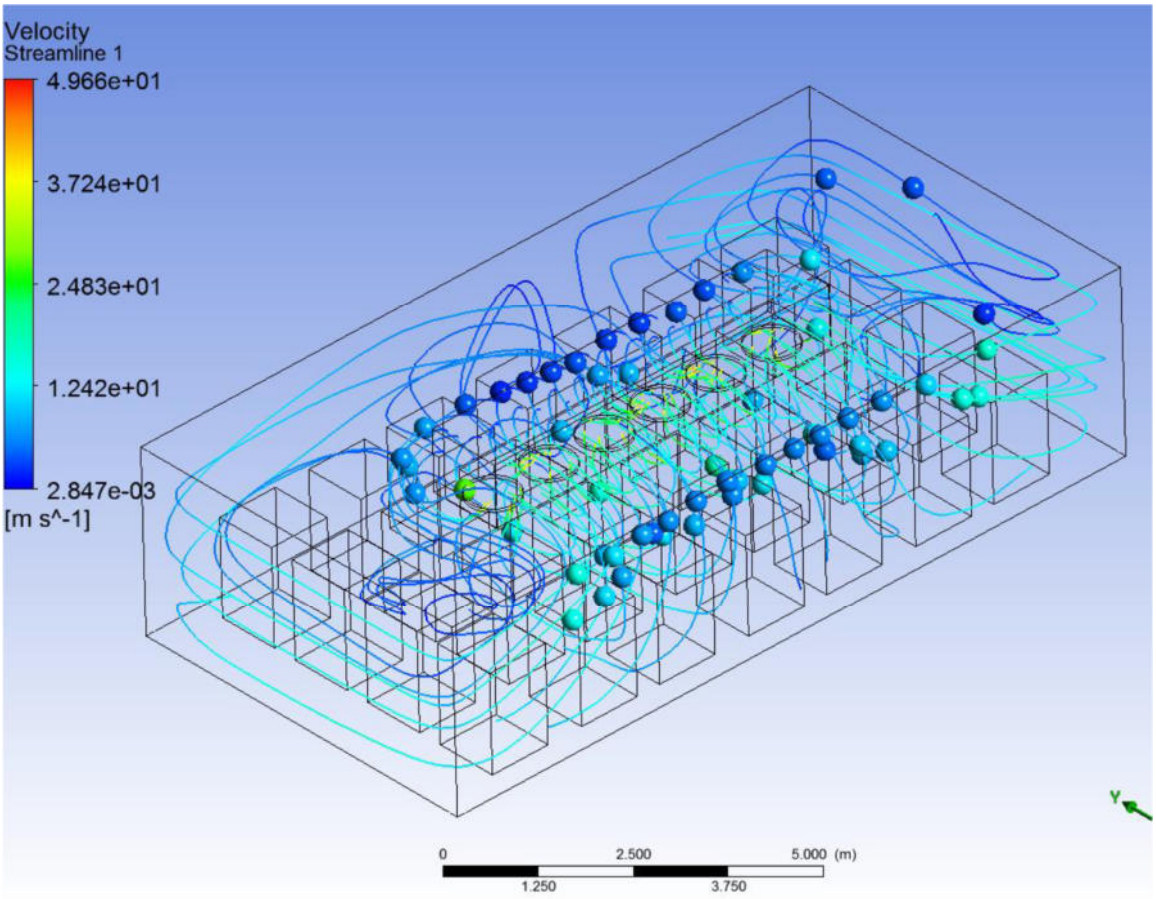


Рис.8.11. Розподіл повітря в камерах шокової заморозки

8.4. Висновки

Виконане моделювання свідчить про широкі можливості застосування даного метода для оптимального проектування камер шокової заморозки м’ясної продукції.

Варіативне моделювання дозволяє визначити найбільш прийнятну конструкцію повітроохолоджувачів, запровадити додаткові повітророзподільні пристрої, а також оптимально розмістити продукти у камері з метою максимального зменшення тривалості циклу та оптимізації самого виробничого процесу.

9. Аміак як холодогент, безпечний вибір для сталого майбутнього в харчовій промисловості

Аміак, серед природних холодоагентів, завжди був головним героєм промислового охолодження. Завдяки суворим обмеженням, які накладаються правилами поступової відмови від F-газів, особливо в Європі, ця рідина знову підтверджує свою роль на багатьох ринках, насамперед у секторі харчових продуктів.

Оцінений операторами в секторі консервування харчових продуктів за його термодинамічні властивості, аміак, фактично, з GWP і ODP, що дорівнює нулю, має всі характеристики, щоб представляти себе як безпечну та довгострокову альтернативу. Аміачні системи з підвищеною ефективністю гарантують низьке споживання енергії та високі врожаї. Переваги, які відповідають потребам кінцевих користувачів, поєднуючи стійкість і чудову продуктивність.

У цьому контексті народився проект Soluzione Termica, який разом з Frascold піклувався про ефективність виробничого цеху лідера в галузі гастрономічних спеціальних продуктів і компанії, відомої на ринку свіжих сирів, моцарелли та бурата на міжнародному рівні.

Зокрема, Soluzione Termica – гравець, який понад 30 років працює в галузі екологічно чистого промислового холодильного обладнання – провів глибокий аналіз виробничих процесів Замовника: від отримання молока до етапу його консервації. готовий продукт, щоб запропонувати альтернативу діючим системам, що складається з охолоджуючих установок із традиційними холодоагентами. зокрема:

було заплановано будівництво двох чилерів NH3 з компресорами Frascold, які стануть новою установкою з виробництва охолодженого гліколю, яка використовується як для охолодження приміщень, так і для обробки.

Новий завод також забезпечує контрольовану температуру 2/4° C на новій платформі для зберігання та розподілу готової продукції обсягом близько 25 000 м3.

Кожна з двох холодильних установок складається з трьох високоефективних гвинтових компресорів Frascold, з'єднаних безпосередньо з двигунами IE3, і мають затоплені пластинчасті випарники.

Мірко Пасотті, менеджер відділу продажів Frascold у Центральній та Південній Італії, сказав: «Одна з головних проблем, яку подолали, — це забезпечення масштабованості груп у зв'язку з надзвичайною щоденною та сезонною мінливістю теплового навантаження. У цьому сенсі була потрібна система, яка завжди може забезпечити достатній рівень потужності, використовуючи стійкі рішення, для оптимального COP (коефіцієнт продуктивності). Вибір трьох гвинтових компресорів серії ATSH 360-A обумовлений бажанням модулювати потужність охолодження з високою точністю. Максимальна ефективність при часткових навантаженнях також залежить від можливості зменшення кількості компресорів, що працюють, відповідно до вимог охолодження. Рішення, яке має гарантовані переваги не лише в ефективності та впливі на навколишнє середовище, але й у плані енергозбереження та загальної вартості володіння».

Джандоменіко Іоббі, генеральний директор Soluzione Termica, зазначає: «Ми покладаємося на Frascold, тому що він здатний гарантувати постійну підтримку всього проекту: від етапу прототипування до виробництва систем і до співпраці на місцях. Тому було природно поговорити з їхнім технічним відділом, щоб визначити найбільш підходящі компресори для установки аміаку нашого клієнта», і він підсумовує: «Я вважаю важливим сприяти використанню NH3 без упередження. Аміак пропонує рішення, яке є не тільки миттєвим і остаточним, але й перевіреним тривалим використанням і знаннями ринку. Правила, що стосуються «низького заряду», хоча й є більш суворими з точки зору безпеки, створюють сприятливі умови для широкомасштабного використання рідини навіть у нових контекстах застосування».

Майбутнє залежить від того, яку діяльність ми виконуємо сьогодні. В останні роки модне слово «сталий розвиток» стало частиною повсякденного

словника, будь то корпоративного чи споживчого. Сталі організації прагнуть збалансувати людей, планету та прибуток, щоб досягти довгострокового успіху та життєздатності. На ринку промислового холоду стійкість є важливим ключем до безпечного та ефективного використання природних холодоагентів, таких як безводний аміак.

Аміак як природний холодогент

Холодильні труби з аміаком протягом багатьох років промисловість харчових продуктів і напоїв вітала використання аміаку як ефективного холодоагенту. Американське товариство інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування повітря (ASHRAE) описує природні холодоагенти як «життєва важливі» за їх роль у суспільстві через їх використання в системах для збереження їжі та виробництва льоду, для кондиціонування простору для добробуту людей і контрольованого середовища, і для підтримки промислових процесів. У міру того як світ стає все більш обізнаним про наслідки холодоагентів для навколишнього середовища, все менше і менше фреонів і гідрофторфторустановок доступні для використання, оскільки холодильні компанії шукають аміак як більш ефективну заміну.

«Як холодоагент аміак має багато переваг. Одна з головних переваг полягає в тому, що він безпечний для навколишнього середовища з нульовим рейтингом як для потенціалу руйнування озонового шару, так і для потенціалу глобального потепління», – сказав Маркус Фулсер, менеджер з холодильних рішень.

Аміак, одна з найпоширеніших сполук, знайдених у природі, необхідний для кругообігу азоту на Землі, і його виділення в атмосферу негайно переробляються. Існує кілька додаткових причин для використання аміаку як природного холодоагенту:

Аміак є більш економічно ефективним рішенням, ніж CFC та HCFC.

Аміак на 3-10% ефективніший, ніж фреони, тому система на основі аміаку потребує менше електроенергії, що призводить до зниження споживання енергії та експлуатаційних витрат.

Все це призводить до зниження експлуатаційних витрат операторів кухонних комбайнів і холодильних установок, а це означає зниження рахунків за продукти для середньої родини.

Обережність, пов'язана з використанням аміаку, полягає в його токсичній дії у високих концентраціях; однак ризик дещо зменшується завдяки різкому запаху, який сповіщає людей про його існування навіть при низьких концентраціях. Аміачні холодильні системи з 10 000 фунтів (приблизно 2000 галонів) або більше аміаку відповідають вимогам стандарту управління безпекою процесів (PSM) Управління з безпеки та гігієни праці (OSHA), що допомагає підтримувати безпечне та ефективне використання.

Майбутнє природних холодоагентів

Натуральні холодоагенти є «перспективним» варіантом для галузей промисловості в умовах дедалі більшого регулювання холодоагентів. Перехід на безпечні для клімату природні холодоагенти є одним із найефективніших способів скоротити викиди парникових газів і може вважатися однією з найбільш економічно ефективних доступних стратегій пом’якшення клімату.

Незалежно від того, чи потрібна вам нова холодильна система чи модернізована система, засоби керування ПЛК, відповідність вимогам PSM або обслуговування, ми є вашим єдиним постачальником, який розробить вашу систему, виготовить основні компоненти, мінімізує час простою завдяки ефективному встановленню, а також наддасть послуги та зв’язок із навчити вас аміачним системам охолодження. Протягом наступних років ми продовжуватимемо демонструвати практики та процеси, які сприятимуть довгостроковому економічному, соціальному та екологічному добробуту наших клієнтів і наших громад.

10. ОХОРОНА ПРАЦІ

Безпечна експлуатація посудин, що працюють під тиском

Посудини, що працюють під тиском, є джерелом підвищеної небезпеки, особливо, якщо в них знаходиться пожежо- та вибухонебезпечні середовища. Ця обставина вимагає дотримання певних безпеки, як при виготовленні так і під час експлуатації цих посудин. Ці правила визначаються відповіними нормативними документами, в яких міститься порядок виготовлення, встановлення, реєстрації, опосвідчення та експлуатації таких посудин.

10.1. Встановлення посудин

Посудини повинні встановлюватись на відкритих площадках у місцях, що виключають скупчення людей, або в окремо розташованих будинках.

Допускається встановлення посудин:

- у приміщеннях, що прилягають до виробничих будівель, за умови відокремлення їх від будівлі капітальною стіною;
- у виробничих приміщеннях у випадках, передбачених галузевими правилами безпеки;
- із заглибленням у грунт за умови забезпечення доступу до арматури і захисту стінок посудини від корозії піддією грунту та блукаючих струмів.

Не дозволяється встановлювати посудини в житлових, громадських і побутових будинках, а також у прилеглих до них приміщеннях.

Встановлення посудин має виключати можливість їх перекидання.

Встановлення посудин повинно забезпечувати можливість огляду, ремонту та очищення їх як з внутрішнього, так і з зовнішнього боку.

Для зручності обслуговування посудин мають бути зроблені площадки і сходи. Для огляду і ремонту можуть застосовуватись колиски та інші пристрої.

Указані пристрої не повинні порушувати міцності та стійкості посудини.

10.2. Реєстрація посудин

Посудини, на які поширюються Правила безпечної експлуатації, за виключенням посудин, указаних нижче, до пуску їх у роботу повинні бути зареєстровані в ЕТЦ. Реєстрації в ЕТЦ не підлягають:

1) посудини 1-ї групи, що працюють при температурі не вище 200 °С, в яких добуток тиску в МПа (кгс/см^2) на місткість в м^3 (літрах) не перевищує 0,05 (500), а також посудини 2, 3 і 4-ї груп, що працюють при зазначеній вище рературі, в яких добуток тиску в МПа (кгс/см^2) на міст в м^3 (літрах) не перевищує 1 (10 000). Група посудин визчається за таблицею:

Група посудини	**Розрахунковий тиск, МПа (кгс/см^2)**	**Температура стінки, °С**	**Характер робочого середовища**
1	Понад 0,07 (0,7)	Незалежно	Вибухонебезпечна, або пожежо-небезпечна, або 1, 2 класів небезпеки за ГОСТ 12.1.007
2	До 2,5 (25) Понад 2,5 (25) до 4 (40) Понад 4 (40) до 5 (50) Понад 5 (50)	Нижче мінус 70, вище 200 Нижче мінус 70 вище 200	Будь-яка, за винятком указаної для 1-ї групи посудин
3	До 1,6 (16) Понад 1,6 (16) до 2,5 (25) Понад 2,5 (25) до 4 (40) Понад 4 (40) до 5 (50)	Від мінус 70 до мінус 20 Від 200 до 400 Від мінус 70 до 400 Від мінус. 70 до 200 Від мінус 40 до 200	Будь-яка, за винятком указаної для 1-ї групи посудин
4	До 1,6 (16)	Від мінус 20 до 200	

2) апарати повітророздільних установок і розподілу газів, розмішованих в середині теплоізоляційного кожуха (регенератори, колони, теплообмінники, конденсатори, адсорбери, відокремлювачі, випарники, фільтри, пароохолодники, підігрівники);

3) посудини холодильних установок і холодильних блоків у складі технологічних установок;

4) резервуари повітряних електричних вимикачів;

5) посудини, що входять до системи регулювання, мащення та ущільнення турбін, генераторів і насосів;

6) бочки для перевезення зріджених газів, балони місткісю до 100л

включно, які встановлені стаціонарно, а також які призначені для транспортування і (або) зберігання стиснутих, зріджених і розчинених газів;

7) генератори (реактори) для отримання водню, які використовуються гідрометеорологічною службою;

8) посудини, які включені в закриту систему видобування (від свердловини до магістрального трубопроводу) ;

9) посудини для зберігання або транспортування зріджених газів, рідинних і сипких тіл, що перебувають під тиском періодично при їх випорожнюванні;

10) посудини із стиснутим і зрідженим газами, призначені для забезпечення паливом двигунів транспортних засобів, на яких вони встановлені;

11) посудин, які встановлені в підземних гірничих виробках;

12) вісцинові та інші фільтри, які встановлені на газорозподільних станціях і пунктах;

13) конденсатозбірники на лінійній частині магістральних газопроводів;

14) пристрої (метанольниці) для введення інгібітора гідрадратоутворення в газопроводах;

15) пневмогідроприводи механізмів управління запірної арматури;

16) вхідні буферні посудини, буферні посудини на виході всіх ступеней масловологовіддільників компресорних установок, автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС), які змонтовані на спільному з компресорними установками фундаменті та не мають відключаючої запірної арматури.

Реєстрація посудини здійснюється на підставі письмової заяви адміністрації власника посудини. Для реєстрації повинні бути подані:

- паспорт посудини встановленої форми;
- посвідчення про якість монтажу;
- схема включення посудини із зазначенням джерела тиску, параметрів її

робочого середовища, арматури, контрольно-вимірювальних приладів, засобів автоматичного керування, запобіжних та блокувальних пристроїв. Схема повинна бути затверджена власником посудини;

- паспорт запобіжного клапана з розрахуванням його пропускної здатності.

Посвідчення про якість монтажу складається організацією, що виконувала монтаж, і має бути підписане керівником цієї організації, а також керівником підприємства, яке є власником посудини, і скріплено печаткою.

У посвідченні повинні бути наведені такі дані:

- найменування монтажної організації;
- найменування підприємства - власника посудини;
- найменування підприємства-виготовлювача і заводський номер посудини;
- відомості про матеріали, застосовані монтажною організацією додатково до вказаних у паспорті;
- відомості про зварювання, що включають вид зварювання, тип і марку електродів, термообробку, режим термообробки і діаграми; прізвища зварників і термістів, номери їх посвідчень; результати випробувань контрольних стиків (зразків), а також результати неруйнівного дефектоскопічного контролю стиків;
- висновки про відповідність проведених на посудині монтажних робіт цим Правилам, проекту, технічним умовам та інструкції з монтажу і придатності їх до експлуатації при вказаних в паспорті параметрах;
- копія дозволу органів Держнаглядохоронпраці на монтаж посудини.

ЕТЦ зобов'язаний протягом 5 днів з дня отримання заяви розглянути подану документацію. При відповідності документації на посудину вимогам Правил, ЕТЦ в паспорті посудини ставить штамп про реєстрацію, пломбує документи і повертає їх власнику посудини. Про відмову в реєстрації повідомляється власнику посудини в письмовій формі із зазначенням причин

відмови та з посиланнями на відповідні Правила.

При перестановці посудини на нове місце або переданні посудини іншому власнику, а також при внесенні змін у схему її включення посудина до пуску в роботу повинна бути перереєстрована в ЕТЦ.

Для зняття з обліку зареєстрованої посудини її власник зобов'язаний подати в ЕТЦ заяву про причини зняття і паспорт посудини.

При відсутності паспорта заводом-виготовлювачем направляється його дублікат. У випадку відсутності дублікату ЕТЦ складає в установленому порядку новий паспорт.

10.3. Технічне опосвідчення

Посудини, на які поширюються ці правила безпечної експлуатації, підлягають технічному опосвідченню до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації і в необхідних випадках - позачерговому. Технічні опосвідчення проводяться експертами ЕТЦ. Періодичне технічне опосвідчення допускається проводити фахівцям організацій, підприємств, установ, які мають дозвіл Держнаглядохоронпраці України, отриманий установленому порядку.

Зовнішній і внутрішній огляди мають за мету:

1) при первинному опосвідченні перевірити, що посудила встановлена та обладнана згідно з цими Правилами і поданими при реєстрації документами, а також що посудина та її елементи не мають пошкоджень;

2) при періодичних і дострокових опосвідченнях встановити справність посудини і можливість її подальшої роботи. Гідравлічне випробування має за мету перевірку міцності елементів посудини і щільності з'єднань. Посудини мають бути пред'явлені до гідравлічного випробування з установленою на них арматурою.

Обсяг, методи і періодичність технічних опосвідчень посудин (за винятком балонів) повинні бути визначені підприємством-виготовлювачем і вказані в

паспорті та Інструкції з монтажу та експлуатації.

Якщо за умовами виробництва немає можливості пред'явити посудину для опосвідчення в зазначений термін, то власник зобов'язаний пред'явити її експерту ЕТЦ або фахівцю організації, підприємства, установи, які мають дозвіл Держнаглядохоронпраці України, отриманий в установленому порядку, достроково.

Опосвідчення балонів має проводитись за методикою, затвердженою розробником конструкції балонів (ДІТП, ДНВО Газоапарат"), в якій треба вказати періодичність опосвідчення і норми браковки.

При технічному опосвідченні допускається використовувати методи неруйнівного контролю, в тому числі і метод акустичної емісії.

Перед внутрішнім оглядом і гідравлічним випробуванням посудина має бути зупинена, охолоджена (відігріта), звільнена від робочого середовища, що заповнює її, відключена заглушками від усіх трубопроводів, які з'єднують посудину з джерелом тиску або з іншими посудинами. Металеві посудини повинні бути очищені до металу.

Посудини, що працюють із сильнодіючими отруйними речовинами 1 і 2-го класів небезпечності за ГОСТ 12.1.007, до початку виконання всередині будь-яких робіт, а також перед внутрішнім оглядом повинні бути піддані ретельній обробці (нейтралізації, дегазації) згідно з інструкцією з безпечного ведення робіт, затвердженою в установленому порядку.

Футеровка, ізоляція та інші види захисту від корозії мають бути частково або повністю видалені, якщо є ознаки, що вказують на можливість виникнення дефектів матеріалів силових елементів конструкцій посудин під захисним покриттям (нещільність футеровки, видування при гумуванні, сліди промокання ізоляції тощо).

Електрообігрів і привод посудини мають бути вимкнуті.

Позачергове опосвідчення посудин, що знаходяться в експлуатації, має бути проведено в таких випадках:

1) якщо посудина не експлуатувалась більше 12 місяців;

2) якщо посудина була демонтована і встановлена на новому місці;

3) якщо проводилось виправлення випинів або вм'ятин, також реконструкція або ремонт посудини із застосуванням зварювання чи паяння елементів, що працюють під тиском;,

4) перед накладанням на стінки посудини захисного покриття;

5) після відпрацювання розрахункового строку служби посудини, встановленого проектом, документацією підприємства-виготовлювача або іншою НД;

6) після аварії посудини або елементів, що працюють під тиском, якщо за обсягом відбудовних робіт потрібен такий огляд;

7) за вимогою інспектора Держнаглядохоронпраці України відповідального по нагляду за технічним станом та експлуатацією посудини.

Технічне опосвідчення посудин, цистерн, балонів і бочок може проводитись на спеціальних ремонтно-випробувальних пунктах, на підприємствах-виготовлювачах, наповнювальних станціях, а також на підприємствах-власниках, які мають необхідну базу, устаткування для проведен|ня опосвідчень відповідно до вимог цих Правил.

Первинне технічне опосвідчення наново встановлених посудин проводиться експертом ЕТЦ після їх монтажу і реєстрації.

Технічне опосвідчення як зареєстрованих, так і тих (посудин, цистерн, бочок і балонів, які не підлягають реєстрації, крім того, повинно проводитися у встановлені цими Правилами строки самостійно: у власників - відповідальним по нагляду за технічним станом та експлуатацією посудин, а на наповнювальних станціях, ремонтно-випробувальних (пунктах і підприємствах-виготовлювачах - спеціально призначеним для цього інженерно-технічним

працівником.

За узгодженням з ЕТЦ технічне опосвідчення посудин може бути проведене до їх реєстрації.

Результати технічного опосвідчення повинні записуватись у паспорт посудини особою, яка проводила опосвідчення із указанням дозволених параметрів експлуатації посудини і строків наступних опосвідчень.

При проведенні позачергового опосвідчення повинна бути вказана причина, що викликала необхідність такого опосвідчення.

Якщо при опосвідченні проводились додаткові випробування і дослідження, то в паспорті посудини повинні бути записані види і результати цих випробувань і досліджень із вказівкою місць відбору зразків або ділянок, які підлягають випробуванням, а також причини, що викликали необхідність проведення додаткових випробувань.

Якщо під час технічного опосвідчення будуть виявлені дефекти, що знижують міцність посудини, то експлуатація її може бути дозволена при знижених параметрах (тиск і температура).

У цьому випадку можливість експлуатації посудини підтверджується виконаними ЕТЦ або головною чи спеціалізованою організацією, що має дозвіл Держнаглядохоронпраці України, розрахунком на міцність і розрахунком пропускної спроможності запобіжних пристроїв.

Таке рішення записується в паспорті посудини особою, яка проводила опосвідчення.

У разі виявлення під час технічного опосвідчення чи обстеження посудини дефектів, причини і наслідки яких встановити важко, експлуатація її повинна бути заборонена до отримання висновку ЕТЦ або спеціалізованої організації, що має дозвіл Держнаглядохоронпраці України, про причини дефектів, а також про можливість та умови подальшої експлуатації посудини.

Якщо під час технічного опосвідчення виявиться, що посудина

внаслідок дефектів, що існують, або порушень діючих Правил перебуває в небезпечному стані, для подальшої експлуатації робота такої посудини повинна бути заборонена.

Посудини, які поставляються в зібраному вигляді, повинні бути законсервовані підприємством-виготовлювачем і в паспорті або в Інструкції з монтажу та експлуатації вказані вимоги і терміни їх зберігання. При виконанні цих вимог перед пуском у роботу проводяться тільки зовнішній і внутрішній огляди, гідравлічне випробування посудини проводити не треба. В цих випадках термін гідравлічного випробування призначається, виходячи із терміну видачі дозволу на експлуатацію посудини.

Ємкості для зрідженого газу перед нанесенням на них ізоляції повинні підлягати тільки зовнішньому і внутрішньому оглядам, якщо були дотримані строки та умови підприємства-виготовлювача по їх зберіганню.

Після встановлення на місце експлуатації до засипання ґрунтом вказані ємкості можуть підлягати тільки зовнішньому огляду, якщо з моменту нанесення ізоляції пройшло не більше 12 місяців і при їх монтажі не застосовувалось зварювання.

Посудини, що працюють під тиском шкідливих речовин (рідини і газів) 1 і 2-го класів небезпечності за ГОСТ 12.1.007, повинні підлягати випробуванню на герметичність повітрям або інертним газом під тиском, рівним робочому тиску. Випробування проводяться власником посудини відповідно до інструкції, затвердженої в установленому порядку.

Під час зовнішніх і внутрішніх оглядів повинні бути виявлені та усунені всі дефекти, які знижують міцність посудини, при цьому треба звернути особливу увагу на виявлення таких дефектів:

1) на поверхнях посудини-тріщин, надривів, корозії стінок (особливо в місцях відбортовки і вирізок), випинів, видимів (переважно в посудинах із оболонками, а також у посудин з вогневим чи електричним обігріванням),

раковин (у литих посудинах);

2) у зварних швах - дефектів зварювання, надривів, роз'їдань;

3) у заклепочних швах - тріщин між заклепками, обривів головок, слідів пропусків, надривів у кромках склепаних листів, корозійних пошкоджень заклепочних швів, зазорів під кромками склепаних листів і головками заклепок, особливо в посудинах, що працюють з агресивними середовищами (кислотою, киснем, лугами та ін.);

4) у посудинах із захищеними від корозії поверхнями - руйнувань футеровки, у тому числі нещільностей шарів, футерувальних плиток, тріщин в гумованому, свинцевому або іншому покритті, сколювань емалі, тріщин і видимів у плакуючому шарі, пошкоджень металу стінок посудини в місцях порушеного захисного покриття;

5) у металопластикових і неметалевих посудинах - розшарувань і розривів армуючих волокон понад норми, встановлені головною організацією.

Особа, яка проводить опосвідчення, може поставити вимогу, у разі необхідності, щоб було видалене (повністю або частково) захисне покриття.

Посудини висотою більше 2м перед оглядом мають бути обладнані необхідними пристроями, які забезпечують безпечний доступ під час огляду до всіх частин посудини.

Гідравлічне випробування посудин проводиться тільки при задовільних результатах зовнішнього і внутрішнього оглядів.

Гідравлічні випробування повинні проводитись відповідно до вимог Правил ТБ. При цьому величина пробного тиску може визначатись, виходячи із дозволеного тиску для посудини. Під пробним тиском посудина повинна перебувати протягом 5 хв, якщо відсутні інші вказівки підприємства-виготовлювача.

Гідравлічне випробування емальованих посудин, незалежно від робочого тиску, повинно проводитись пробним тиском, указаним заводом-виготовлювачем

у паспорті посудини.

У випадках, коли проведення гідравлічного випробування не можливе (велике напруження від ваги води у фундаменті, міжповерхових перекриттях або в самій посудині, утруднення з видаленням води, наявність у середині посудини футеровки, що перешкоджає заповненню посудини водою), дозволяється заміняти його пневматичним випробуванням (повітрям або інертним газом) на такий самий пробний тиск. Цей вид випробування допускається тільки за умови позитивних результатів ретельного внутрішнього огляду і перевірки міцності посудини розрахунком.

Пневматичні випробування повинні проводитися за інструкцією, яка передбачає необхідні заходи безпеки і затверджена в установленому порядку.

День проведення технічного опосвідчення посудини встановлює адміністрація підприємства з попереднім узгодженням з експертом ЕТЦ або фахівцем організації, підприємства, установи, які мають дозвіл Держнаглядохоронпраці України, отриманий в установленому порядку. Посудина має бути зупинена не пізніше строку опосвідчення, вказаного в її паспорті. Власник посудини не пізніше як за 5 днів зобов'язаний повідомити інспектора (експерта) про готовність посудини до опосвідчення.

Власник посудини несе відповідальність за своєчасну та якісну підготовку посудики до опосвідчення.

Посудини, в яких дія середовища може спричинити погіршення хімічного складу і механічних властивостей металу, а також посудини, в яких температура стінки при роботі перевищує 450 °С, мають бути піддані додатковому опосвідченню технічним персоналом підприємства згідно з інструкцією, затвердженою в установленому порядку. Результати додаткових опосвідчень повинні заноситися в паспорт посудини.

Для посудин, що відпрацювали розрахунковий термін служби, встановлений проектом, документацією підприємства-виготовлювача, іншою

НД, або яким було продовжено розрахунковий (допустимий) термін служби на підставі технічного висновку, об'єм, методи і періодичність технічного опосвідчення мають бути визначені за результатами технічного діагностування і виявлення залишкового ресурсу, виконаного ЕТЦ або головною чи спеціалізованою організацією, що має дозвіл Держнаглядохоронпраці України.

Якщо у ході аналізу дефектів, виявлених при технічному опосвідченні посудини, буде встановлено, що їх виникнення пов'язане з режимом експлуатації посудин на даному підприємстві або властиве посудинам цієї конструкції, то особа, яка проводила опосвідчення, повинна вимагати проведення позачергового технічного опосвідчення всіх установлених на цьому підприємстві посудин, експлуатація яких проводилась за однаковим режимом або відповідно до всіх посудин цієї конструкції з повідомлення про це органу Держнаглядохоронпраці України.

Органу Держнаглядохоронпраці України надається право у виключних випадках продовжувати установлені терміни технічного опосвідчення посудин на підставі обгрунтованого письмового клопотання власника посудини з поданням висновку комісії підприємства, що підтверджує задовільний стан посудини, і при позитивних результатах огляду посудини експертом ЕТЦ або фахівцем організації, підприємства, установи, які мають дозвіл Держнаглядохоронпраці України, отриманий в установленому порядку.

10.4. Дозвіл на введення посудини в експлуатацію

Пуск в експлуатацію посудин, що підлягають реєстрації в ЕТЦ, проводиться за наказом власника підприємства (організації), виданим за результатами технічного опосвідчення і проведеного експертом ЕТЦ обстеження готовності посудини до експлуатації і відповідності обслуговування, нагляду і установки вимогам цих Правил і проекту.

Дозвіл на введення в експлуатацію посудини, що не підлягає реєстрації в

ЕТЦ, видається особою, призначеною наказом по підприємству для здійснення нагляду за технічним станом і експлуатацією посудин, на підставі документації підприємства-виготовлювача після технічного опосвідчення і перевірки організації обслуговування.

Дозвіл на введення посудини в експлуатацію записується в паспорті посудини.

На кожній посудині після видачі дозволу на її експлуатацію треба нанести фарбою на помітному місці або на спеціальній табличці форматом не менше 200х150 мм:

- реєстраційний номер;
- дозволений тиск;
- число, місяць і рік наступних зовнішнього і внутрішнього оглядів, гідравлічного випробування.

10.5. Нагляд утримання, обслуговування і ремонт

Організація нагляду

Власник зобов'язаний забезпечити утримування посудин у справному стані і безпечні умови їх роботи. У цих цілях необхідно:

- призначити наказом із числа інженерно-технічних працівників, які пройшли у встановленому порядку перевірку знань цих Правил, відповідальних за справний стан і безпечну дію посудин, а також відповідальних по нагляду за технічним станом та експлуатацією посудин;
- призначити необхідну кількість осіб обслуговуючого персоналу, навчених і маючих посвідчення на право обслу говування посудин, а також установити такий порядок, щоб персонал, на який покладені обов'язки по обслуговуванню посудин, вів ретельне спостерігання за дорученим йому обладнанням шляхом його огляду, перевірки дії арматури, КВП, запобіжних і

блокуючих пристроїв і підтримки посудин у справному стані. Результати огляду і перевірки повинні записуватись в змінному журналі;

- забезпечити проведення технічних опосвідчень, діагностування посудини в установлені терміни;
- забезпечити порядок і періодичність перевірки знань Правил керівними та інженерно-технічними працівниками;
- організувати періодичну перевірку знань персоналом інструкцій з режиму роботи і безпечного обслуговування посудин;
- забезпечити інженерно-технічних працівників Правилами і керівними вказівками з безпечної експлуатації посудин, а обслуговуючий персонал - інструкціями;
- забезпечити виконання інженерно-технічними працівниками Правил, а обслуговуючим персоналом - інструкцій.

Для підприємств з невеликою (до 10) кількістю посудин обов'язки по нагляду за технічним станом і експлуатацією посудин можуть бути покладені на відповідального за справний стан і безпечну дію посудин.

Інженерно-технічний працівник (група) по нагляду за технічним станом і експлуатацією посудин повинен здійснювати свою роботу за планом, затвердженим власником підприємства.

При цьому, зокрема, він зобов'язаний:

- оглядати посудини в робочому стані і перевіряти дотримання встановлених режимів при експлуатації;
- проводити технічне опосвідчення посудин;
- здійснювати контроль за підготовкою і своєчасним пред'явленням посудин для опосвідчення інспектору (експерту) Держнаглядохоронпраці України;
- вести книгу обліку та опосвідчень посудин, які перебувають на балансі підприємства, як зареєстрованих в ЕТЦ, так і не підлягаючих

реєстрації;

- контролювати виконання виданих ним приписів, а також приписів ЕТЦ;
- контролювати своєчасність і повноту проведення планово-попереджувальних ремонтів посудин, а також дотримання цих Правил при проведенні ремонтних робіт;
- перевіряти дотримання установленого цими Правилами порядку допуску робітників до обслуговування посудин, а також брати участь у комісіях з атестації і періодичної перевірки знань інженерно-технічних працівників і обслуговуючого персоналу;
- перевіряти видачу інструкцій обслуговуючому персоналу, а також наявність інструкцій на робочих місцях;
- перевіряти правильність ведення технічної документації при експлуатації і ремонті посудин;
- брати участь в обстеженнях і технічних опосвідченнях посудин.

При виявленні несправностей, а також порушень цих Правил та інструкцій при експлуатації посудин відповідальний по нагляду повинен вжити заходів щодо усуненняцих несправностей або порушень, а в разі необхідності вжити заходів щодо виведення посудини з роботи.

Відповідальний (група) по нагляду за технічним станом та експлуатацією посудин має право:

- видавати обов'язкові для виконання керівниками та інженерно-технічними працівниками цехів і відділів підприє мства приписи по усуненню порушень;
- подавати керівництву підприємства пропозиції щодо усунення причин, що породжують порушення;
- при виявленні серед обслуговуючого персоналу ненавчених осіб, а також осіб, які показали незадовільні знання, вимагати усунення їх від

обслуговування посудин;

- подавати керівництву підприємства пропозиції щодопритягування до відповідальності інженерно-технічних працівників та осіб обслуговуючого персоналу, які порушують Правила та інструкції.

Відповідальність за справний стан і безпечну дію посудини підприємства (цеху, дільниці) має бути покладена наказом на інженерно-технічного працівника, якому підпорядкований персонал, що обслуговує посудини. Номер і дата наказу про призначення відповідальної особи повинні бути записані в паспорт посудини.

На час відпустки, відряджень, хвороби або в інших випадках відсутності відповідальної особи виконання її обов'язків покладається згідно з наказом на іншого інженерно-технічного працівника, котрий пройшов перевірку знань Правил. Запис про це у паспорті посудини не робиться.

Відповідальний за справний стан і безпечну дію посудин повинен забезпечити:

- утримання посудин в справному стані;
- обслуговування посудин навченим та атестованим персоналом;
- виконання обслуговуючим персоналом інструкцій з режиму і безпечного обслуговування посудин;
- проведення своєчасних ремонтів і підготовку посудин до технічного опосвідчення;
- обслуговуючий персонал-інструкціями, а також періодичну перевірку його знань;
- своєчасне усунення виявлених несправностей.

Відповідальний за справний стан і безпечну дію посудин зобов'язаний:

- оглядати посудини в робочому стані з установленою керівництвом підприємства (організації) періодичністю;

- щоденно перевіряти записи в змінному журналі з розписом у ньому;
- проводити роботу з персоналом по підвищенню його кваліфікації;
- брати участь в обстеженнях і технічних опосвідченнях посудин;
- зберігати паспорти посудин та Інструкції підприємств-виготовлювачів по їх монтажу та експлуатації;
- вести облік напрацювання циклів навантаження посудин, що експлуатуються в циклічному режимі.

Утримання та обслуговування посудин

Обслуговування посудин може бути доручено особам, котрі досягли 18-річного віку, пройшли медичне обстеження, навчання за відповідною програмою, атестовані мають посвідчення на право обслуговування посудин.

Навчання та атестація персоналу, який обслуговує посудини, повинні проводитись у професійно-технічних училищах, в учбово-курсових комбінатах (курсах), а також на курсах, спеціально створених підприємствами, які мають дозвіл органів Держнаглядохоронпраці України, видатний на підставі висновку ЕТЦ щодо можливості і умов виконувати вказані роботи навчальними закладами. Індивідуальна підготовка персоналу не допускається.

Особам, які склали іспити, повинні бути видані посвідчення з вказівкою найменування, параметрів робочого середовища посудин, до обслуговування яких ці особи допущені.

Посвідчення повинні бути підписані головою комісії. Атестація персоналу, який обслуговує посудини із швидкознімними кришками, а також посудини, що працюють під тиском шкідливих речовин 1, 2, 3 і 4-го класів небезпеки за ГОСТ 12.1.007, проводиться комісією за участю інспектора Держнаглядохоронпраці України, в решті випадків участь інспектора в роботі комісії не обов'язкова.

Про день проведення іспитів місцевий орган Держнаглядохоронпраці

України повинен бути повідомлений не пізніше як за 5 днів.

Періодична перевірка знань персоналу, який обслуговує посудини, повинна проводитись не рідше одного разу в 12 місяців.

Позачергова перевірка знань проводиться:

- при переході на інше підприємство;
- у разі внесення змін в інструкцію з режиму роботи і безпечного обслуговування посудини;
- на вимогу інспектора Держнаглядохоронпраці України або відповідального по нагляду за технічним станом та експлуатацією посудин.

У разі переривання в роботі за спеціальністю більше 12 місяців персонал, який обслуговує посудини, після перевірки знань повинен перед допуском до самостійної роботи пройти стажування для відновлення практичних навичок.

Результати перевірки знань обслуговуючого персоналу оформляються протоколом, підписаним головою і членами комісії, із відміткою в посвідченні.

Допуск персоналу до самостійного обслуговування посудин оформляється наказом або розпорядженням по цеху чи підприємству.

На підприємстві має бути розроблена і затверджена у відповідному порядку інструкція з режиму роботи і безпечного обслуговування посудин. Для посудин (автоклавів) із швидкознімними затворами в указаній інструкції має бути відображений порядок зберігання і застосування ключ-марки. Інструкція повинна знаходитись на робочому місці і видаватись під розписку обслуговуючому персоналу.

Схеми включення посудин повинні бути вивішені на робочих місцях.

Аварійна зупинка посудин

Посудина повинна бути негайно зупинена у випадках, передбачених інструкцією з режиму, роботи і безпечного обслуговування, зокрема:

- якщо тиск у посудині підвищився вище дозволеного і не знижується,

незважаючи на дотримання персоналом усіх вимог, зазначених в інструкції;

- при виявленні несправностей запобіжних пристроїв від підвищення тиску;
- при виявленні в посудині або її елементах, що працюють під тиском, нещільностей, випинів, розриву прокладок;
- при несправності манометра і неможливості визначити тиск за допомогою інших приладів;
- при зниженні рівня рідини нижче допустимого в посудинах з вогневим обігрівом;
- якщо несправні всі покажчики рівня рідини;
- при несправності запобіжних блокувальних пристроїв;
- при виникненні пожежі, котра безпосередньо загрожує посудині, що знаходиться під тиском. Порядок аварійного зупинення посудини і наступного введення її в роботу повинен бути вказаний в інструкції.

Причини аварійного зупинення посудини мають записані в змінному журналі.

Ремонт посудин

Для підтримання посудини в справному стані власник посудини зобов'язаний своєчасно проводити (відповідно до графіка) її ремонт. При ремонті мають виконуватись вимоги з техніки безпеки, викладені в галузевих правилах та інструкціях.

Ремонт із застосуванням зварювання (пайки) посудин та їх елементів, що працюють під тиском, повинен проводитись за технологією, розробленою підприємством-готовлювачем, конструкторською або ремонтною організацією, до початку виконання робіт, а результати мають бути анесені до паспорта посудини.

Ремонт посудин та їх елементів, які знаходяться, тиском, не допускається.

До початку виконання робіт всередині посудини, яка з'єднана з іншими

працюючими посудинами спільним трубопроводом, посудина має бути відділена від них загушкою або від'єднана. Від'єднані трубопроводи повинні бути заглушені.

Застосовувані для відключення посудини заглушки, які встановлюються між фланцями, повинні бути відповідної міцності і мати виступаючу частину (хвостовик), за якою визначається наявність поставленої заглушки.

При встановленні прокладок між фланцями вони мають бути без хвостовиків.

При роботі всередині посудини (внутрішній огляд, ремонт, чистка та ін.) повинні застосовуватись безпечні світильники на напругу не вище 12 В, а при вибухонебезпечних середовищах - у вибухонебезпечному виконанні. У разі необхідності має бути проведений аналіз повітряного середовища на відсутність шкідливих або інших речовин, що перевищують ГДК.

Sabroe SMC reciprocating compressor units

Large single-stage compressors with swept volumes of 250–1350 m^3/h

SMC compressor units are ideal for use in medium-sized refrigeration installations where reliable service is a major priority. They are particularly effective under part-load conditions.

Sabroe SMC compressors are world-renowned for their exceptional reliability, making them an economical, low-maintenance solution for heavy-duty refrigeration, using all common refrigerants.

Range

Fifteen different models are available to provide swept volumes of between 250 and 1357 m^3/h at 1800 rpm.

SMC 108 single-stage reciprocating compressor unit with Unisab III systems controller

	Advantages	Benefits
	High coefficient of performance (COP), with excellent performance under part-load conditions	Low power consumption, which greatly reduces operating costs
	Variable-speed drive (optional) provides stepless capacity control over the entire operating range	Power consumption and operating costs kept to a minimum
	Repairs can be undertaken *in situ,* without removing the compressor	Lower repair costs and less downtime
	Easy to access for service, with limited spare parts requirements	Easy, inexpensive maintenance, which helps limit downtime and reduce operating costs
	Special oil separator design based on coalescer technology	Low oil carry-over, which cuts back on oil costs

SABROE
BY JOHNSON CONTROLS

Optional equipment

- Unisab III systems controller
- Variable-speed drive line
- Gauges, thermometers and temperature/pressure control switches
- Extended cylinder capacity control
- Oil level regulator (for use in parallel systems)
- ATEX-compliant configuration
- Special vibration dampening

SMC 108 single-stage reciprocating compressor block with gauges

Model	Number of cylinders	Bore x stroke	Swept volume at 1800 rpm	Nominal capacities kW					Dimensions in mm Direct coupled unit			Weight excluding motor	Sound pressure level
				R717			R404A						
				Single/high stage		Booster	Single/high stage						
		mm	m^3/h	-10/+35°C	0/+35°C	-40/-10°C	0/+35°C	-10/+35°C	L	W	H	kg	dB(A)
SMC 104 S	4	100 x 80	271	129	209	35	205	132	2400-2800	1228	1103	830	80
SMC 104 L	4	100 x 100	339	167	266	46	208	235	2400-2800	1228	1103	830	81
SMC 104 E	4	100 x 120	339	206	324	57	N/A	N/A	2400-2800	1228	1103	830	81
SMC 106 S	6	100 x 80	407	194	313	52	308	197	2400-2800	1190	1108	925	81
SMC 106 L	6	100 x 100	509	251	398	70	312	202	2400-2800	1190	1108	925	82
SMC 106 E	6	100 x 120	509	309	486	86	N/A	N/A	2400-2800	1190	1108	925	82
SMC 108 S	8	100 x 80	543	259	417	70	410	263	2400-2800	1201	1103	990	82
SMC 108 L	8	100 x 100	679	335	531	93	416	270	2400-2800	1201	1103	990	83
SMC 108 E	8	100 x 120	679	412	648	115	N/A	N/A	2400-2800	1201	1103	990	83
SMC 112 S	12	100 x 80	814	388	626	106	616	395	2425-3000	1290	1314	1660	83
SMC 112 L	12	100 x 100	1018	502	796	140	624	405	2425-3000	1290	1314	1660	83
SMC 112 E	12	100 x 120	1018	618	972	172	N/A	N/A	2425-3000	1290	1314	1660	83
SMC 116 S	16	100 x 80	1086	517	834	141	821	526	2475-3200	1301	1314	1760	84
SMC 116 L	16	100 x 100	1357	669	1062	187	831	539	2475-3200	1301	1314	1760	84
SMC 116 E	16	100 x 120	1357	824	1297	230	N/A	N/A	2475-3200	1301	1314	1760	84

PUBL-5612 2012.11 - 1

Nominal capacities are based on 5°C subcooling and 1500 rpm.
SMC-E series: max. rpm 1500 for R717
SMC-S series: max. rpm 1500 for R404A
SMC-L series: max. rpm 1200 for R404A
Sound pressure levels in free field, over reflecting plane and one metre distance from the unit.

All information is subject to change without notice.

Johnson Controls Denmark ApS · Sabroe Factory
Christian X's Vej 201 · 8270 Højbjerg · Denmark
Phone +45 87 36 70 00 · Fax +45 87 36 70 05
www.sabroe.com

TSMC 108 two-stage reciprocating compresor unit shown with closed flash inter-stage cooling system and UniSAB systems controller

Sabroe TCMO/TSMC two-stage reciprocating compressor units

Two-stage versions of CMO and SMC reciprocating compressors, with swept volumes of 150–1,000 m³/h

Sabroe TCMO/TSMC two-stage reciprocating compressors are an economical operating alternative to single-stage compressors in smaller low-temperature refrigeration installations.

TCMO/TSMC compressor units are also ideal for medium-size industrial refrigeration installations that involve a big temperature range, such as freezer installations. Furthermore, these units are easy to customise with intermediate cooling systems.

Using a two-stage setup built together as a single unit helps avoid equipment duplication – and thus reduce costs and save space.

Our three-year guarantee covers the complete unit, including compressor block, UniSAB, motor and coupling – for all refrigerants.

Range - Eight different models are available to provide swept volumes of between 150 and 1,000 m³/h.

Advantages	Benefits
Splitting the temperature lift into two separate stages reduces overall energy consumption	Two-stage installations are relatively cost-effective, which helps reduce energy costs
Relatively small footprint	Can be installed in relatively small locations, or where space is limited
High coefficient of performance (COP), with excellent performance under part-load conditions	Low power consumption, which greatly reduces operating costs
Variable-speed drive (optional) provides stepless capacity control over the entire operating range	Power consumption and operating costs kept to a minimum

Technical data

Model	Number of cylinders low/high-pressure side	Swept volume		Nominal capacities* in kW -40/+35°C		Unit dimensions in mm			Weight excluding motor	Sound pressure level	
		1500 rpm	1800 rpm							1500 rpm	1800 rpm
		m³/h	m³/h	1500 rpm	1800 rpm	L	W	H	kg	db(A)	db(A)
TCMO 28	6 / 2	146	175	20	24	1400–1750	700	1000	500	68	70
TCMO 38	6 / 2	170	205	23	28	1400–1750	700	1000	500	69	71
TSMC 108 S	6 / 2	339	407	50	60	2311–2915	1052	1247	1746	80	82
TSMC 108 L	6 / 2	424	509	66	79	2311–2915	1052	1247	1781	81	83
TSMC 108 E	6 / 2	509	N/A	81	N/A	2311–2915	1052	1247	1796	81	83
TSMC 116 S	12 / 4	679	814	100	121	3329–3737	1327	1445	2791	81	83
TSMC 116 L	12 / 4	848	1018	133	159	3329–3737	1327	1445	2841	82	84
TSMC 116 E	12 / 4	1018	N/A	163	N/A	3329–3737	1327	1445	2891	83	84

Dimensions, weight and sound pressure levels are guidelines only.

* Nominal capacities are based on:

1500 rpm at 50 Hz.
1800 rpm at 60 Hz or VSD.

Refrigerant: R717
Other refrigerants available on request.

For R717
2K liquid subcooling, 0.5 K non-usable suction superheat and liquid subcooling in intermediate cooler to 10K above intermediate temperature.

For TCMO
Design pressure, HP side: 28 bar
Design pressure, LP side: 18 bar
Differential pressure: 25 bar.

For TSMC
Design pressure, HP side: 28 bar
Design pressure, LP side: 18 bar
Differential pressure: 25 bar.

Sound pressure levels measured in free field, over reflecting plane and one metre distance from the compressor block.

Min./max. speed	R717
TCMO	700–1800 rpm
TSMC S	500–1800 rpm
TSMC L	500–1800 rpm
TSMC E	500–1500 rpm

Options

- UniSAB systems controller
- Gauges, thermometers and temperature/ pressure control switches
- Oil level regulator (for use in parallel systems)
- ATEX-compliant configuration
- Special vibration dampening
- Intermediate cooling systems

PUBL-5640 01.2021

Johnson Controls Denmark ApS · Sabroe Factory · Christian X's Vej 201 · 8270 Højbjerg · Denmark · Phone +45 87 36 70 00 · www.sabroe.com

All information is subject to change without notice.

Air coolers

GÜNTNER

COMPACT

The COMPACT product line offers readily available standard units for standard applications at a fair price-performance ratio.

VARIO

The VARIO product line comprises series which can be customised quickly and accurately for individual projects by means of the Güntner Product Calculator. Customers are able to choose specific equipment to meet their individual requirements from a variety of different material combinations, variants and accessories.

APPLICATION

The APPLICATION product line consists of series configured for special applications, e. g. for the cooling of agricultural products or storage centers. Customised adaptations and customer series are available for special applications.

Competent. Reliable. Personal.

Name	Product	Capacity	HFC	NH_3	CO_2	Coolant
Slim		0,6 – 14 kW	GASC		GASC	
Dual		2 – 15 kW	DHF		DHF	DHF
Cubic		1 – 68 kW	GACC		GACC	
Dual		4 – 90 kW	DHN	ADHN GDS	DHN	DGN
Cubic		4 – 240 kW	GHN GHF	AGHN GHK	CPGHN CXGHN CXGHF	GGHN GGHF
Process		8 – 50 kW	GBK	AGBK		GGBK
Agri		4 – 115 kW	GACA			GACA
Blast		9 – 72 kW	GFN	GFN	GFN	
Floor		50 – 200 kW	GSN	GSSA	GSN	GSN
Penthouse		50 – 200 kW	GHN	AGHN	GHN	GHN
HighStore		15 – 150 kW	GHN	AGHN	GHN	GHN
ThermoStore		50 – 200 kW	GAIL	GAIL	GAIL	

xxx Product available in Güntner Product Calculator (GPC)

xxx Product available on request

The Ideal Product for Each Customer-Specific Application

Based on extensive experience in the field, the Group has established an especially diverse range of products, providing you with a variety of options for all application areas.

Industrial refrigeration

Commercial refrigeration

Air-conditioning

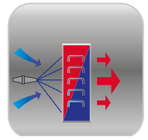
Energy and process cooling

The technologies of the Güntner Group at a glance

GÜNTNER

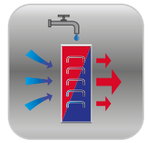
Dry coolers
in different designs

GÜNTNER



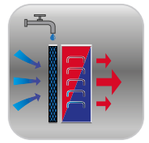
Sprayed dry coolers with Güntner HydroSpray
Intelligent control and section-wise spraying

JÆGGI



Hybrid dry cooler HTK
Hybrid condenser HTV

JÆGGI



Advanced Dry Cooler ADC
Adiabatic system with humidification pads
for pre-cooling

thermowave
PHE for process and industry

Plate heat exchangers, gasketed or module-welded
for operating pressures up to 63 bar

New Products

SLIM / **Compact**

GASC

Air cooler in flat design with blow-through fans
Ideal for commercial refrigeration

– Tube volume reduced by up to 37 % (compared to previous model)
– CO_2 up to 80 bar
– HACCP certification by TÜV SÜD

CUBIC / **Compact**

GACC

High efficiency air cooler in compact design
Ideal for commercial refrigeration

– CO_2 up tp 80 bar
– Tube volume reduced by up to 37 %
– EC fans as accessory

CUBIC / **Vario**

GACV

Variable air cooler in cubic design
Ideal for industrial refrigeration

– Hinged inner tray for easy access
– CO_2 up to 80 bar
– HACCP certification by TÜV SÜD

FLAT / **Compact**
VERTICAL / **Compact**

GCHC GCVC

Compact design
Ideal for commercial refrigeration

– CO_2 up to 120 bar
– TÜV approval for propane
– Optimised for all „new“ refrigerants

FLAT / **Vario**
VERTICAL / **Vario**

GCHV GCVV

Robust and variable
Ideal for industrial refrigeration

– CO_2 up to 120 bar
– Greatest variability (heat exchanger, casing, fan)
– EC fans 0 – 10 V

THERMOSTORE / **Application**

GAIL

Insulated unit cooler
Optimised for logistics applications

– Best defrosting performance
– EC centrifugal fans
– Energy-efficient

The Most Important Information at www.guentner.eu

GPC download
Free configuration software

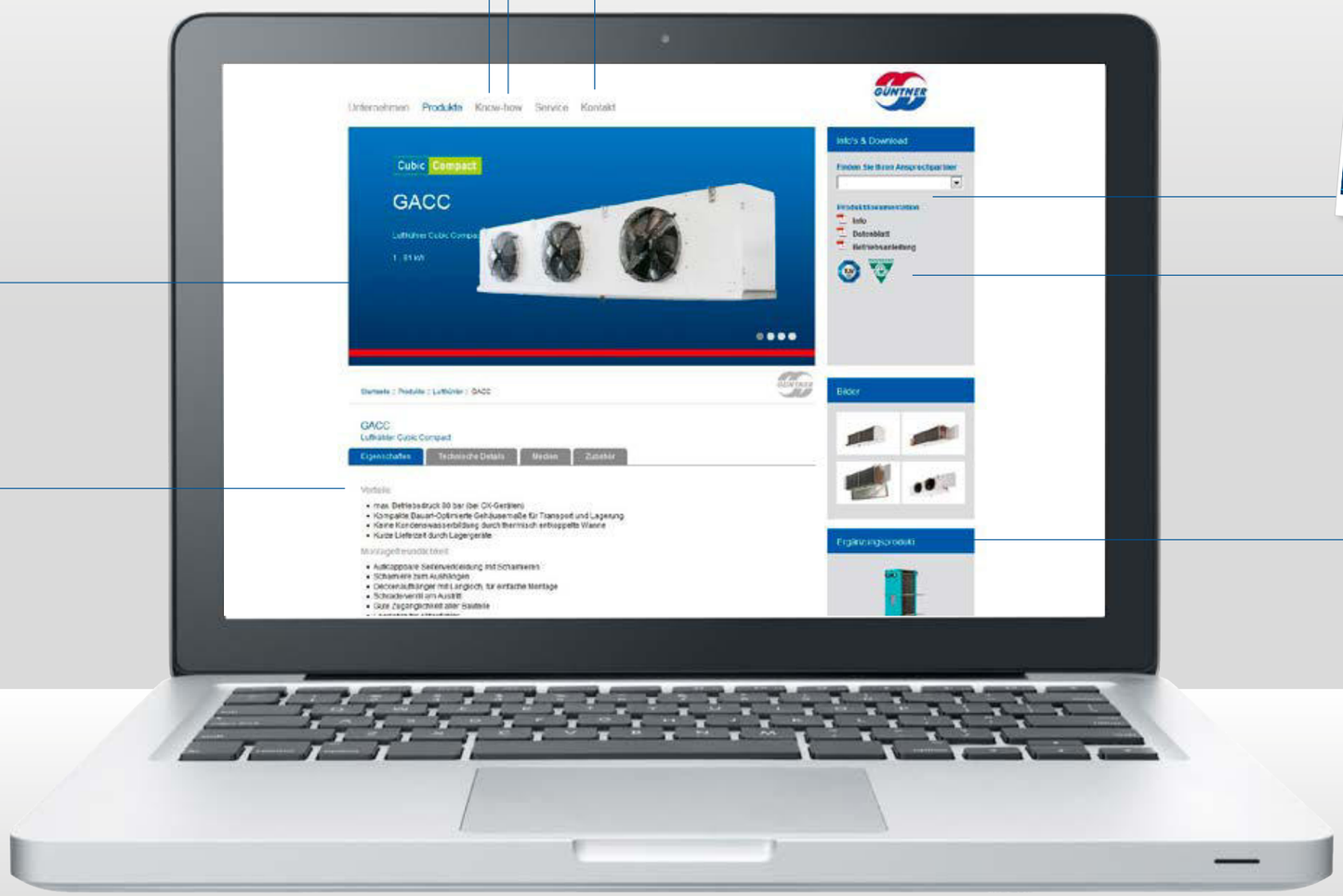
Specialist information/
Application tips

Your worldwide contact partners

Information brochures
Data sheets
Operating instructions

Product photos

Zertifikate
zum jeweiligen Produkt



Product properties
All product benefits at a glance

Complementary Products

Material Diversity for Each and Every Application

The resistance of a material in a heat exchanger is put to the test both internally and externally. From the inside, the chemical properties, pressure and temperature of the refrigerant exert an influence on the tubes or profiles, while the more or less aggressive ambient air (ammonia, sulphuric acid, salt, vinegar, etc.) exerts an influence from the outside.

The versatile material combination options are based on experience and comprehensive tests and analyses. Güntner heat exchangers can be configured for customised applications by selecting the appropriate materials.

Just ask us – we'll be happy to advise you!

Different applications with aggressive atmosphere require targeted material selection. We have compiled a brochure with recommendations for material selection (sorted according to applications).

Salt

Vinegar

Smoke

Fermentation

Cleaning agent

Fluorine, chlorine, sulphur

NH_3 / CO_2 / nitrogen oxide

Proximity to the coast

DUAL / Compact

DHF

Highly efficient air cooler
for commercial refrigeration
in slimline design
with dual air discharge

2 – 15 kW

Advantages

- Flat design
- Even air distribution
- Low draught air level
- Units kept in stock ensure short delivery times

Easy to Install

- Ceiling mounting brackets with slotted hole for easy installation
- Fans wired on connection socket
- Empty tube for defrost sensor
- Easy-to-remove side cover
- Only one condensation drain per unit
- Schrader valve on outlet

Inspection and Cleaning

- Hinged tray and heating sheet, drain line does not have to be dismantled

Heat Exchanger

- Staggered tube pattern 50 x 25 mm
- Internally-ribbed special copper tubes for HFC
- Surface-corrugated aluminium fins for high heat transfer

Casing

- Corrosion-resistant aluminium alloy AlMg
- Powder-coated with RAL 9003

Tray

- Corrosion-resistant aluminium alloy AlMg
- Powder-coated with RAL 9003
- Separate drip plate
- Thermally-decoupled tray (condensation free)
- Collection tray for condensation with only one drain

Fans

- Proven quality fans
- 3 fan types for different sound levels
- Internal motor protection with thermocontacts
- Wired on connection socket in factory
- 230 V, 1~, 50 Hz or 60 Hz

Options / Accessories

- Epoxy-resin coated fins
- Electric defrost heater for coil, wired on connection socket
- Factory-fitted thermostatic expansion valve

Air Configuration

Blow through fans

Fans

1 – 4

IP 44: 350 mm

Heat Exchanger

Type: F 50 x 25 mm
Staggered tube pattern
Fin spacing: 4 mm

Product Types / Refrigerant / Capacity

	Refrigerant	Operating Condition t_0 / T_{LE}	Nominal Capacity with Fin Spacing of 4 mm
DHF N	HFC	-8 / 0 °C	2.86 – 15.32 kW
DHF L1	HFC	-8 / 0 °C	2.29 – 11.89 kW
DHF L2	HFC	-8 / 0 °C	1.95 – 9.62 kW

N = Normal L1 = Reduced-noise design L2 = Quiet design

Available Defrosting Types

Circulation air	Electric	Hot gas	Brine	Water
✓	✓ Coil	–	–	–

Available Material

Material	Tube	Fin	Casing	Tray
AlMg			☑	☑
Aluminium		☑		
Copper	☑			
Aluminium, epoxy-resin coated		✓		
Steel, hot-dip galvanised				
Sheet steel, galvanized				
Stainless steel				

☑ Standard version

Suitable Applications

Room temperatures above 0 °C

Picking areas

Corridors

Sales rooms

CUBIC / Compact

GACC

High efficiency air cooler in compact design – ideal for commercial refrigeration

1.5 – 68 kW

Advantages

- Compact design
- 80 bar for CO_2
- Optimised casing dimensions for transport and storage
- Easy to clean
- Units kept ins tock for short delivery times
- Defrosting kit can be retrofitted at any time

Easy to Install

- Hinged side cover with hinges
- Hinges allow hang-out
- Ceiling mounting brackets with slotted hole
- Schrader valve at outlet
- Easy access to all components

Inspection and Cleaning

- Easy access to all components
- Hinged outer and inner tray
- Outer tray thermally decoupled to prevenet formation of condensation water

Heat Exchanger

The air coolers are equiped with staggered tube pattern and special internally grooved fins. Optimised fin systems and adjusted circuitings offer safe operation and high efficiency.

Casing

- Corrosion-resistant aluminium alloy AlMg
- Powder-coated with RAL9003
- Stainless steel ceiling mounting

High-quality casing construction

- Corrosion-resistant AlMg aluminium alloy
- RAL 9003 powder coating
- Hinged outer and inner tray
- Outer tray thermally decoupled to prevent formation of condensation water

High-efficiency fans

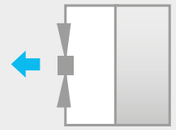
- EC and AC fans available as standard
- ErP-compliant
- Motor protection with thermocontacts
- 50 or 60 Hz
- Adjustable speed

Options / Accessories

- Epoxy-resin coated fins
- El. defrost heating for coil and tray
- EC fans
- AC fans
- Heating kit for retrofitting

Air Configuration

Draw through fans



Fans

1 – 4

315 / 400 / 500 mm

Heat Exchanger

High efficiency heat ex-changer in well-proven Güntner quality

Fin spacing: 4 / 7 mm

Refrigerant / capacity

Refrigerant	t_0	Air inlet	Fin spacing 4 mm	Fin spacing 7 mm
HFC	- 8 °C - 25 °C	0 °C -18 °C	1,5 – 61 kW	1,5 – 55 kW 1,5 – 39 kW
CO_2 DX	- 8 °C - 25 °C	0 °C -18 °C	1,5 – 68 kW	1,5 – 65 kW 1,5 – 52 kW

Available Defrosting Types

Circulation air	Electric	Hot gas	Brine	Water
✓	✓ Coil ✓ Tray	–	–	–

Available Material

Material	Tube	Fin	Casing	Tray
AlMg			☑	☑
Aluminium		☑		
Copper	☑			
Aluminium, epoxy-resin coated		✓		
Steel, hot-dip galvanised				
Sheet steel, galvanized				
Stainless steel				

☑ Standard version

Suitable Applications

Commercial refrigeration / industrial refrigeration

Storage rooms and many types of cold storage rooms with low and medium humidity

Room temperatures +20 to -28 °C

DUAL / **Vario**

DHN

Air cooler for industrial refrigeration
with slimline design
and dual air discharge

4 – 90 kW

Advantages

- Slimline design
- Even air distribution
- Low draught air level
- Aligned tube pattern, large heat-exchanging surface
- Many design types

Easy to Install

- Mounted on pallet in installation position
- Ceiling mounting brackets for easy installation
- Empty tube for defrost sensor
- Easy-to-remove side cover
- Schrader valve on outlet
- Fans wired on connection socket (optional)

Inspection and Cleaning

- Hinged tray

High Operational Reliability and Leak-Safety

- Proven Güntner floating coil principle (refrigerant carrying tubes do not make contact with the casing, increases the heat exchanger's service life)

Heat Exchanger

- Aligned tube pattern 50 x 50 mm (or 60 x 60 mm)
- Special copper tubes for HFC, coolant and CO_2
- Stainless steel tubes for NH_3 (or hot-dip galvanised steel)
- Surface-corrugated aluminium fins for high heat transfer

Casing

- Corrosion-resistant aluminium alloy AlMg
- From fan diameter 650 mm, galvanized steel
- Powder-coated with RAL 9003

Tray

- Corrosion-resistant aluminium alloy AlMg
- Separate drip plate
- Thermally-decoupled tray (condensation free)
- Powder-coated with RAL 9003

Fans

- Proven quality fans
- Internal motor protection with thermocontacts
- Fan diameter 400 mm:
  230 V, 1~, 50 Hz or 60 Hz
- Fan diameter from 450 mm:
  400 V, 3~, 50 Hz or 60 Hz

Options / Accessories

- Epoxy-resin coated fins
- Fans wired on connection socket
- Factory-fitted thermostatic expansion valve
- Double tray, insulated
- Insulated fan plates
- Core tubes made of stainless steel
- Fins made of stainless steel
- Casing and tray made of stainless steel

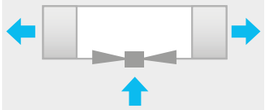
Product Types / Refrigerant / Capacity

	Refrigerant	Operating Condition t_0 / T_{LE}	Nominal Capacity with Fin Spacing of 4 mm	7 mm	10 mm
DHN	HFC	-8 / 0 °C	5.5 – 61.0 kW	5.4 – 54.1 kW	4.6 – 47.9 kW
		-25 / -18 °C	4.1 – 45.9 kW	4.1 – 39.9 kW	3.5 – 35.7 kW
ADHN	NH_3	-8 / 0 °C	5.4 – 59.8 kW	5.1 – 53.4 kW	4.3 – 46.6 kW
		-25 / -18 °C	4.0 – 44.8 kW	3.9 – 41.4 kW	3.3 – 36.4 kW
DGN	Coolant	-3 / 10 °C	6.9 – 88.2 kW	7.4 – 79.6 kW	6.1 – 68.0 kW

	Refrigerant	Operating Condition	Nominal Capacity with Fin Spacing of 5 mm	8 mm	10 mm	12 mm
GDS	NH_3	-8 / 0 °C	2.7 – 41.2 kW	4.9 – 32.6 kW	4.2 – 28.8 kW	3.7 – 26.4 kW
Coil hot-dip galvanized steel		-25 / -18 °C	1.8 – 30.1 kW	3.4 – 24.4 kW	2.8 – 21.8 kW	6.4 – 20.1 kW

Air Configuration

Dual discharge / Blow through



Dual discharge / Draw through

Fans

Quantity: 1 – 3
400 / 450 / 500 / 650 mm

Heat Exchanger

Type: N 50 x 50 mm
or S 60 x 60 mm
Aligned tube pattern
Fin spacing: 4 / 7 / 10 mm

Available Defrosting Types

Circulation air	Electric	Hot gas	Brine	Water
✓	✓ Coil ✓ Tray ✓ Fan	✓ Coil ✓ Tray	✓ Coil ✓ Tray	✓ Coil ✓ Tray

Available Material

Material	Tube	Fin	Casing	Tray
AlMg			✓	✓
Aluminium		✓		
Copper	✓			
Aluminium, epoxy-resin coated		✓		
Steel, hot-dip galvanised	✓	✓		
Sheet steel, galvanized			✓ 2	
Stainless steel	✓ 1	✓	✓	✓

✓ Standard version 1 Standard with NH_3 2 Standard from 650 mm fan diameter

Suitable Applications

Picking areas

Loading ramps

Cold storage rooms with low air speed

CUBIC / **Vario**

GHN / GHF

Air cooler for industrial refrigeration
with cubic design
for a wide range of applications

4 – 240 kW

Advantages

- Robust design
- Suction fans, wide air throw
- Large variety of types
- Many design types

Easy to Install

- Ceiling mounting brackets for easy installation
- Empty tube for defrost sensor
- Side cover with hinges and quick-release fastener
- Schrader valve on outlet

HACCP Hygiene Certificate

- Suitable for rooms used for food processing
- All materials used approved for foodstuffs
- Drip tray with edges inclined at 45° angle
- Easy to clean

High Operational Reliability and Leak-Safety

- Proven Güntner floating coil principle (refrigerant carrying tubes do not make contact with the casing; increases the heat exchanger's service life)

Inspection and Cleaning

- Hinged tray

Heat Exchanger

- Aligned or staggered tube pattern
- Special copper tubes for HFC, coolant and CO_2
- Stainless steel tubes for NH_3 or steel, hot-dip galvanised
- Surface-corrugated aluminium fins for high heat transfer

Casing

- Corrosion-resistant aluminium alloy AlMg up to 500 mm fan diameter
- Galvanized steel, from 710 mm fan diameter
- Powder-coated with RAL 9003
- Hinged side cover with hinges
- Fans positioned at an angle (from 710 mm) improve the air throw and defrosting behaviour

Tray

- Hinged and thermally-decoupled (condensation free)
- Separate drip plate
- Corrosion-resistant aluminium alloy AlMg
- Powder-coated with RAL 9003
- Large condensation drain with 45° incline

Fans

- Proven quality fans
- Standard with two speeds (for fan diameter of 500 mm)
- Motor protection with thermocontacts
- 230 V, 1~, 50 Hz or 60 Hz (up to construction size 450)
- 400 V, 3~, 50 Hz or 60 Hz
- Wired on connection socket in factory (GHF)

Options / Accessories

- Epoxy-resin coated fins
- Double, insulated tray
- Core tubes made of stainless steel
- Casing and tray made of stainless steel
- Factory-fitted thermostatic expansion valve
- Güntner Streamer for increased air throw
- Defrost flap for quick, efficient defrosting
- Air sock connection
- Fan casing for 45° / 90° downblow
- Legs
- Wired on connection socket in factory (GHN)

Product Types / Refrigerant / Capacity

	Refrigerant	Operating Condition t_0 / T_{LE}	Nominal Capacity with Fin Spacing of 4 mm	7 mm	10 mm	12 mm
GHN / GHF	HFC	-8 / 0 °C	0.8 – 210 kW	0.8 – 226 kW	4.6 – 198 kW	4.2 – 185 kW
		-25 / -18 °C	0.7 – 142 kW	0.6 – 162 kW	3.6 – 145 kW	3.3 – 137 kW
AGHN	NH_3	-8 / 0 °C	4.7 – 237 kW	5.3 – 230 kW	4.4 – 193 kW	4.0 – 177 kW
		-25 / -18 °C	3.5 – 168 kW	3.9 – 171 kW	3.3 – 147 kW	22.0 – 136 kW
GGHN / GGHF	Coolant	-3 / 10 °C	1.3 – 155 kW	1.3 – 155 kW	7.4 – 148 kW	6.8 – 136 kW
CXGHN / CXGHF	CO_2	-45 °C / -35 °C	1.4 – 41 kW	1.4 – 141 kW	9.2 – 122 kW	8.3 – 112 kW
CPGHN	CO_2	-45 °C / -35 °C		6.1 – 127 kW	5.1 – 109 kW	4.7 – 101 kW

	Refrigerant	Operating Condition t_0 / T_{LE}	Nominal Capacity with Fin Spacing of 6 mm	8 mm	10 mm	12 mm
GHK Coil hot-dip galvanized steel	NH_3	-8°C	5.7 – 197 kW	6.9 – 203 kW	5.5 – 187 kW	4.9 – 173 kW
		-25°C	4.4 – 149 kW	4.7 – 155 kW	4.3 – 145 kW	3.8 – 132 kW

Air Configuration

Draw through fans

Available Defrosting Types

Circulation air	Electric	Hot gas	Brine	Water
✓	✓ Coil ✓ Tray ✓ Fan	✓ Coil ✓ Tray	✓ Coil ✓ Tray	✓ Coil ✓ Tray

Fans

1 – 4

400 / 450 / 500 / 710 / 800 mm

Heat Exchanger

Aligned tube pattern
Fin geometry:
N 50 x 50 mm

Staggered tube pattern
Fin geometry:
F 50 x 25 mm / K 60 x 52 mm

Fin spacing:
4, 7, 10, 12 mm

Material	Tube	Fin	Casing	Tray
AlMg			✓	✓
Aluminium		✓		
Copper	✓			
Aluminium, epoxy-resin coated		✓		
Steel, hot-dip galvanised	✓	✓		
Sheet steel, galvanized			✓ 2	
Stainless steel	✓ 1	✓	✓	✓

✓ Standard version 1 Standard version with NH_3 2 Standard from 710 mm fan diameter

Suitable Applications

Room temperature
-28 to +20 °C

Medium and high humidity

Process Cooling

PROCESS / **Application**

GBK

Air cooler for processing rooms
with room temperatures above 0 °C
for draught-free air distribution

8 – 50 kW

EUROVENT CERTIFIED PERFORMANCE www.eurovent-certification.com

TÜV SÜD HACCP

Advantages

- Special design for draught-free air distribution
- Air suction from above
- Dual air discharge
- Low noise emissions due to low-speed fans

Easy to Install

- Adjustable ceiling mounting brackets for easy installation
- Fans wired on connection socket
- Empty tube for defrost sensor
- Schrader valve on outlet

Inspection and Cleaning

- Large, hinged drip trays with quick-release fasteners allow for easy access to all components
- Easy inspection and cleaning

Heat Exchanger

- Staggered tube pattern 50 x 25 mm
- Special copper tubes for HFC and coolant
- Stainless steel tubes for NH_3
- Surface-corrugated aluminium fins for high heat transfer

Casing

- Corrosion-resistant aluminium alloy AlMg
- Powder-coated with RAL 9003

Tray

- Double tray, thermally-decoupled (condensation free)
- Corrosion-resistant aluminium alloy AlMg
- Powder-coated with RAL 9003
- Hinged for easy cleaning

Fans

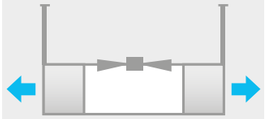
- Proven quality fans
- Low noise emission due to low speed
- Internal motor protection with thermocontacts
- 230 V, 1~, 50 Hz or 60 Hz

Options / Accessories

- Casing and tray made of stainless steel
- Epoxy-resin coated fins
- Core tubes and fins made of stainless steel
- Electric defrost heater for coil, wired on connection socket
- Heating / climatization element
- Manual speed controller

Air Configuration

Blow through fans



Fans

1 – 4
450 / 500 mm

Heat Exchanger

Type: F 50 x 25 mm
Staggered tube pattern
Fin spacing: 4 / 7 mm

Product Types / Refrigerant / Capacity

	Refrigerant	Operating Condition t_0 / T_{LE}	Nominal Capacity with Fin Spacing of 4 mm	7 mm
GBK	HFC	0 / 10 °C	8.7 – 55.2 kW	6.5 – 45.3 kW
GGBK	Coolant	-3 / 10 °C	6.3 – 49.4 kW	5.3 – 34.9 kW
AGBK	NH_3	on request		

Available Defrosting Types

Circulation air	Electric	Hot gas	Water
✓	✓ Coil	✓ Coil	✓

Available Material

Material	Tube	Fin	Casing
AlMg			☑
Aluminium		☑	
Copper	☑		
Aluminium, epoxy-resin coated		✓	
Steel, hot-dip galvanised			
Sheet steel, galvanized			
Stainless steel	✓	✓	✓

☑ Standard version

Geeignete Anwendungen

Room temperatures above 0 °C

Low noise emissions

Draught-free air distribution

Packing and sales rooms

AGRI / **Application**

GACA

Air cooler for fruit and vegetables with blow through fans

4 – 115 kW

EUROVENT CERTIFIED PERFORMANCE www.eurovent-certification.com

TÜV SÜD HACCP

Advantages

- Blow through fans
- Large heat exchanger surfaces
- Design for HFC or glycol

Maximum Use of Room Height

- Flat casing design
- Air-guiding sheet for raising the airflow
- Unit length up to 6 m

Low Moisture Loss

- Through optimised tube circuiting
- Large heat exchanger surfaces
- Calculation with small Dt1
- High airflow volumes

Even Air Distribution

- Blow through fans
- High air circulation rates
- No temperature stratification in storage room

Easy Inspection and Cleaning

- With hinged tray
- And hinged heating sheet

High Operational Reliability and Leak-Safety

- Proven Güntner floating coil principle (refrigerant carrying tubes do not make contact with the casing; Increases the heat exchanger's service life)

Heat Exchanger

- Special copper tubes for HFC
- Surface-corrugated aluminium fins for high heat transfer

Casing

- Sheet steel, galvanized
- Powder-coated with RAL 9003
- Hinged side cover with hinges
- Air-guiding sheet

Tray

- Hinged and thermally-decoupled (condensation free)
- Separate drip plate (hinged)
- Corrosion-resistant aluminium alloy AlMg
- Powder-coated with RAL 9003

Fans

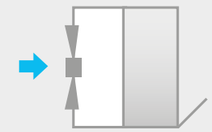
- Proven quality fans
- Standard with two speeds (from fan diameter 500 mm)
- Motor protection with thermocontacts
- 230 V, 1~, 50 Hz or 60 Hz (up to construction size 450)
- 400 V, 3~, 50 Hz or 60 Hz

Options / Accessories

- Epoxy-resin coated fins
- Heating element for drying and heating

Air Configuration

Blow through fans



Fans

1 – 6 **400 / 450 / 500 mm**
1 – 5 **630 mm**
1 – 4 **710 mm**

Heat Exchanger

Large surface for HFC
Aligned tube pattern
50 x 50 mm

High Efficiency for glycol
Staggered tube pattern
50 x 25 mm

Product Types / Refrigerant / Capacity

	Refrigerant	Operating Condition t_o / T_{LE}	Nominal capacity
GACA	HFC	-8 / 0 °C	4 – 115 kW
	Coolant	-3 / 10 °C	4 – 115 kW

Available Defrosting Types

Circulation air	Electric	Brine
✓	✓ Coil ✓ Tray	✓ Coil

Available Material

Material	Tube	Fin	Casing
AlMg			
Aluminium		☑	
Copper	☑		
Aluminium, epoxy-resin coated		✓	
Steel, hot-dip galvanised			
Sheet steel, galvanized			☑
Stainless steel	✓		

☑ Standard version

Suitable Applications

Fruit and vegetable storage

Maximum room height

Low moisture loss

Easy cleaning