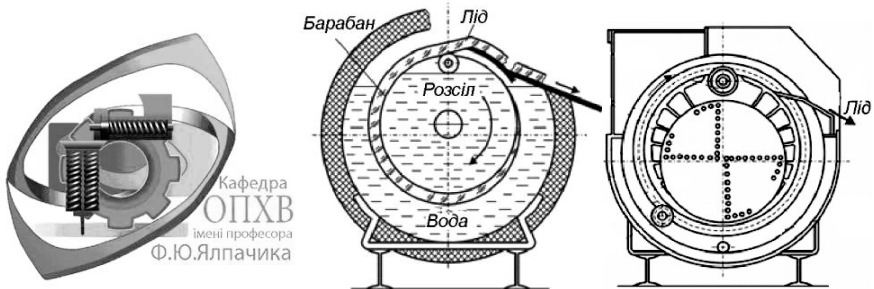
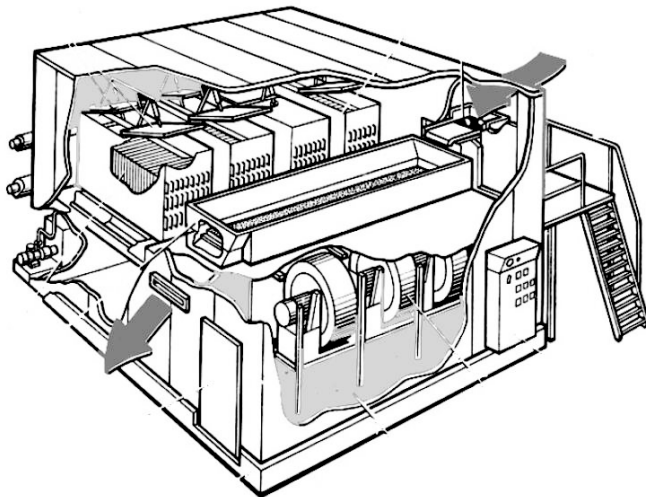


Самойчук К.О., Ялпачик В.Ф., Кюрчев С.В., Буденко С.Ф.,  
Верхоланцева В.О., Паляничка Н.О., Циб В.Г.



## ОБЛАДНАННЯ СКЛАДІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ТА М'ЯСОМОЛОЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ Лабораторний практикум



Мелітополь  
Видавничий будинок  
Мелітопольської міської друкарні  
2019

УДК 631.362.3.006.5  
О-16

*Розглянуто і рекомендовано до друку Вченою Радою факультету  
ІКТ Таврійського державного агротехнологічного університету  
імені Дмитра Моторного.*

*Протокол № 11 від 14 травня 2019 року*

**Автори:** Викладачі кафедри Обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

**Самойчук К.О.**, доктор технічних наук, доцент

**Ялпачик В.Ф.**, доктор технічних наук, професор

**Кюрчев С.В.**, кандидат технічних наук, професор

**Буденко С.Ф.**, кандидат технічних наук, доцент

**Верхоланцева В.О.**, кандидат технічних наук, доцент

**Паляничка Н.О.**, кандидат технічних наук, доцент

**Циб В.Г.**, старший викладач

**Рецензенти:**

**Ю.О. Чурсінов**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології переробки і зберігання продукції сільського господарства Дніпровського державного аграрно-економічного університету

**С.О. Харченко**, доктор технічних наук, професор кафедри оптимізації технологічних систем науково-дослідного інституту мехатроніки і систем менеджменту Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка

**Редактор** **Буденко С.Ф.**, **Технічний редактор** **Лівик Н.В.**

**К.О. Самойчук, В.Ф. Ялпачик, С.В. Кюрчев, С.Ф. Буденко, В.О. Верхоланцева, Н.О. Паляничка, В.Г. Циб.** Обладнання складів для зберігання плодовоовочевої та м'ясомолочної продукції. Лабораторний практикум. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2019. 170 с.

Посібник рекомендований для студентів навчальних закладів III і IV рівня акредитації для використання у навчальному процесі підготовки з дисципліни „Обладнання складів“.



## **ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ**

*світлій пам'яті друга і колеги, викладача та чудової людини, справжнього професіонала своєї справи, відданої і шанованої людини, кандидата технічних наук, доцента кафедри „Обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика”*

*Шаврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного, автора і співавтора багатьох наукових видань*

**БУДЕНКО СЕРГІЮ ФЕДОРОВИЧУ.**

## ЗМІСТ

Організаційно-методичні передумови.....	5
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1</b>	
Дослідження розподілу температури по шарах м'якоті плодів при заморожуванні і дефростації .....	6
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2</b>	
Вивчення обладнання для виробництва льоду і випробування льодогенератора .....	22
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3</b>	
Розрахунок вентиляції приміщення для зберігання коренеплодів.....	46
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4</b>	
Розрахунок теплотехнічних параметрів холодильної камери .....	62
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5</b>	
Розрахунок основних параметрів підвісного конвеєра.....	83
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6</b>	
Розрахунок обладнання камери охолодження м'яса в напівтушах .....	105
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7</b>	
Розрахунок флюїдизаційного морозильного апарата.....	126
<b>ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8</b>	
Розрахунок швидкоморозильних апаратів із застосуванням рідики холодоносіїв.....	147



## **ОРГАНІЗАЦІЙНО-МЕТОДИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ**

Даний лабораторний практикум призначений для поглибленого вивчення другого модуля „Обладнання складів переробних підприємств АПК“ навчальної дисципліни „Обладнання складів“ при підготовці фахівців другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 133 „Галузеве машинобудування“.

Практикум складається з восьми лабораторних та практичних занять, тематика яких відповідає навчальній робочій програмі, розробленій на кафедрі „Обладнання переробних і харчових виробництв“ імені професора Ф.Ю. Ялпачика і затвердженій Методичною радою Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Метою лабораторного практикуму є викладення загальних теоретичних відомостей за кожною темою модулю, що дозволить поглиблено використовувати його при підготовці до розрахункових практичних робіт, поточного та підсумкового контролю по завершенню курсу. Посібник може бути корисним для слухачів факультетів підвищення кваліфікації, студентів заочної форми навчання, а також фахівців інженерно-технічної служби переробних та харчових виробництв.

Звітність з виконання практичного заняття включає оформлення студентом письмового звіту, співбесіду з викладачем.

Типовий звіт з роботи, крім деяких особливих вимог, включає:

- тему і мету роботи;
- коротке викладення основних теоретичних положень за темою, конструктивні особливості обладнання, що розраховується;
- послідовність проведення розрахункової або дослідної частини роботи (з побудовою розрахункових схем, алгоритмом розрахунку, висновками за окремими частинами розрахунку);
- загальні висновки по роботі.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ ПО ШАРАХ М'ЯКОТІ ПЛОДІВ ПРИ ЗАМОРОЖУВАННІ І ДЕФРОСТАЦІЇ

**Мета роботи:** Експериментальним шляхом встановити температуру по шарах плодів і фруктів в динаміці їх заморожування та дефростації. Побудувати термограми процесу і зробити порівняльний аналіз способів та середовищ для заморожування і дефростації.

Час виконання роботи 4 год.

#### 1 Порядок виконання роботи

- ознайомитись з теоретичними відомостями про основні способи заморожування плодоовочевої продукції та її дефростації;
- розглянути принцип дії та будову експериментального обладнання для встановлення закономірностей процесів заморожування і дефростації продуктів;
- розробити методику і оволодіти прийомами проведення лабораторної роботи;
- провести досліди по вивченню температурних полів по шарах зразків плодоовочевої продукції;
- обробити результати експерименту і побудувати графічні залежності за результатами дослідів;
- сформулювати висновки за результатами роботи;
- оформити звіт по роботі і зарахувати його у викладача.

#### 2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент повинен:

- **повторити:** відповідну тему конспекту лекцій за темою заняття та переглянути рекомендовану літературу;
- **знати:**
  - основні методи заморожування і дефростації сільськогосподарської продукції;
- **вміти:** проводити налаштування лабораторного обладнання, користуватись контрольними приладами, встановлювати залежності за темою дослідження, аналізувати результати.

### 3 Основні теоретичні положення

Сучасна технологія консервації заснована на методах обробки, за допомогою яких можна направлено впливати на мікрофлору, активність ферментів і розвиток фізико-хімічних процесів. Ці методи мають велике практичне значення. Гальмування розвитку процесів може бути частковим або повним.

Серед різних методів консервації особливо важливу роль відведено методам, заснованим на дії низьких температур, тобто, охолодженню, підморожуванню і заморожуванню харчових продуктів рослинного і тваринного походження. Ці методи є загальними для багатьох галузей харчової промисловості. Зрештою поліпшується ритмічність постачання населення продуктами, підвищується якість продуктів, і обмежуються втрати.

Заморожування це процес часткового або повного перетворення води, що міститься в продукті, в лід. При цьому відвід тепла від речовини, яку заморожують, супроводжується зниженням його температури. Отже, головна особливість заморожування складається у фазовому перетворенні води в лід, а відвід теплоти представляє необхідну умову такого перетворення.

Сукупність двох явищ, що протікають спільно – льодоутворення та зниження температури і визначає фізичні особливості та можливість подальшого технологічного використання заморожування харчових продуктів.

У технологічному відношенні заморожування викликає зміни в продукті, що перешкоджають повному відновленню первісних властивостей. Тому при заморожуванні харчових продуктів з метою додання їм нових характеристик потрібно, щоб процес був виконаний, виходячи з урахування первісних властивостей продукту.

На рисунку 1.1 представлена узагальнена картина змінення температури системи на всіх послідовних стадіях кріотропного структуроутворення при заморожуванні, перебуванні в замороженому стані і розморожуванні.

Ділянка **A-B** відповідає охолодженню зразка від вихідної температури  $T_i$  до температури початку кристалізації.  $T_u$  (температури переохолодження). На ділянці **C-D** за рахунок виділення прихованої теплоти кристалізації льоду звичайно реєструється „плато кристалізації“. Між точками **D** і **E** відбувається подальше зниження температури до заданого значення ( $T_s$ ).

Ділянка **F-G-H** характеризується наростанням температури в результаті підведення тепла до зразка (процес розморожування).

Далі на ділянці **H-K** відбувається підвищення температури зразка до заданого значення.

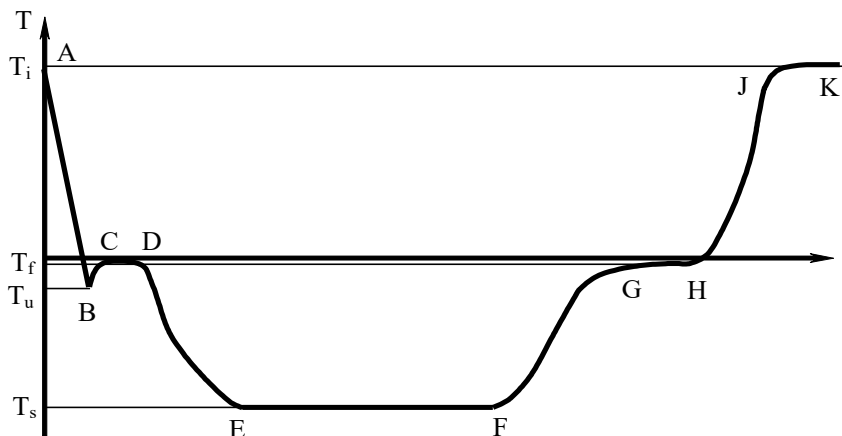


Рисунок 1.1 – Узагальнена термограма процесу кріотропного структуроутворення.

У світовій холодильній практиці для швидкого заморожування харчових продуктів застосовується доволі широкий спектр методів заморожування та відповідних їм технічних засобів. Методи заморожування умовно можна розділити на три основні групи:

- 1) метод прямого контакту харчового продукту із холодоагентом;
- 2) метод використання вторинного середовища (холодоносія), що охолоджується холодоагентом у спеціальних теплообмінниках;
- 3) метод прямого контакту продукту, що заморожується, з холодоагентом через металеву поверхню.

Методи заморожування першої групи, які використовують рідкі, тверді та газоподібні холодоагенти, об'єднані загальною назвою – **кріогенні**.

Друга група методів використовує рідкі та газоподібні холодоносії. У випадку застосування рідких холодоносіїв (розчинів хлоридів кальцію і натрію, пропіленгліколю, спиртових розчинів та ін.) реалізують заглибний метод заморожування, а у випадку використання газоподібного холодоносія (головним чином, це повітря) повітряний метод. У вітчизняній промисловості повітряний метод заморожування одержав найбільше поширення, як найменш енергоємний процес.

Третю групу утворюють методи, засновані на контакті продукту та холодоагента через металеву поверхню, які використовують, в основному, для продукту правильної геометричної форми.

Кріогенне заморожування. У сучасній промисловості для заморожування харчових продуктів найчастіше використовують наступні криогенні агенти: рідкий азот, діоксид вуглецю та фреони (фторхлоргидроуглеводи, фторогідроуглеводи та інші криогенні рідини).

Найбільше поширення для заморожування штучних харчових продуктів одержав рідкий азот, який характеризується високим ступенем відносної інертності, низькою температурою та здатністю до поглинання великої кількості теплоти на одиницю своєї маси.

Найчастіше рідкий азот використовують для заморожування харчових продуктів у швидкоморозильних апаратах тунельного типу. Температура замороженого продукту при виході з тунелю становить мінус 30...35 °С. Конструкція тунельних швидкоморозильних апаратів є типовою для усіх конструкцій, які застосовують для заморожування різних продуктів рослинного і тваринного походження. Основні переваги апаратів цього типу – їхня дешевизна, простота конструкції та висока швидкість заморожування.

Однак витрати на заморожування цим способом у 3...5 разів вищі, ніж при інших способах заморожування, що пояснюється, у першу чергу, високою вартістю самого рідкого азоту. Вартість рідкого азоту становить більше 60% усіх витрат при використанні даного способу заморожування. Таким чином, вартість заморожування азотним способом визначається, в основному, витратою рідкого азоту.

При заморожуванні в рідкому азоті проходження температурного інтервалу мінус 1...5 °С (зона кріоскопічної температури) досягається усього за 3...9 хвилин. При використанні рідкого азоту для заморожування продукту товщиною 1 см буде потрібно часу в середньому 5 хв., товщиною 2 см – 8 хв., товщиною 4 см – 17 хвилин.

Одна з переваг використання рідкого азоту для заморожування харчових продуктів – незначний відсоток втрати маси продукту при заморожуванні (усушка), а також здатність утворювати мілкокристалічну структуру вільно зв'язаної вологи, що сприяє максимальному збереженню природних властивостей продукту.

Кріогенний метод заморожування із застосуванням діоксиду вуглецю також привертає увагу. Заморожування здійснюють, впливаючи на продукт холодним газовим і рідким середовищем, або ж створюючи суміш із газу та диспергованої у ній твердої вуглекислоти.

З метою максимального використання теплоти сублімації продукт покривають „сніговою шубою“, яку одержують після дроселювання рідкого вуглекислого газу. У ряді випадків твердий діоксид вуглецю використовують у вигляді дрібних гранул.

Температура охолоджувального середовища залежить від принципу організації процесу заморожування діоксидом вуглецю. У газовому середовищі її підтримують в інтервалі від мінус 20 до мінус 70 °С. При охолодженні „снігом“ або гранулами температура становить мінус 78,9 °С. Теплота сублімації твердого вуглекислого газу дорівнює 575 кДж/кг, тоді як теплота паротворення рідкого азоту 199,71 кДж/кг. Великі перепади температур між продуктом і холодоагентом, а також відвід теплоти сублімації твердого діоксиду вуглецю дозволяє досягати високих швидкостей заморожування без деформаційних змін у структурі замороженого продукту.

Також діоксид вуглецю можна застосовувати для контактного заморожування будь-яких харчових продуктів, тим більше, що він має бактерицидні властивості, служить ефективним засобом для придушення розмноження анаеробних та аеробних бактерій, а також дозволяє одержувати невеликий відсоток усушки (1,0...0,5%) замороженого продукту.

Узагальнюючи наведену інформацію із криогенного методу заморожування харчових продуктів, можна відмітити, що основний недолік цього методу – висока вартість самих криогенних холодоагентів.

До другої групи способів відносять повітряний метод заморожування. Повітряне заморожування є найпоширенішим у багатьох країнах сучасного світу. Швидкість заморожування у повітряному середовищі залежить від розміру продукту, температури середовища та швидкості її циркуляції.

У повітряних морозильних апаратах (ПМА) при застосуванні одного й того охолоджуючого блока існують два варіанти вантажного блока із площинною і просторовою схемами переміщення продукту. По першій схемі компонуються апарати безперервно-циклічної дії (візкового типу), по другій – апарати безперервної дії зі стрічковим або спіральним конвеєром. Плоди і овочі укладаються розсипом на конвеєрну стрічку та заморожуються у повітрі з температурою мінус 30...мінус 40 °С і швидкістю руху 3...5 м/с. При цьому втрати маси становлять від 0,9 до 2,0%, а у випадку заморожування у камерах – до 4%.

Одним з головних напрямків інтенсифікації обробки продуктів у повітряному середовищі є флюїдизаційне заморожування. Процес може бути прискорений внаслідок підвищення інтенсивності теплообміну, при цьому знижується усушка (до 0,5...0,8%) і поліпшуються санітарно-гігієнічні показники виробництва.

Даний спосіб має обмеження в застосуванні через складність заморожування великогабаритних продуктів, а також труднощі, що пов'язані з визначенням оптимальної швидкості руху середовища.

Заморожування харчових продуктів у повітряному середовищі має наступні недоліки, а саме: низький коефіцієнт тепловіддачі (не більше  $50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  при флюїдизаційному заморожуванні), підвищення якого пов'язане з необхідністю значного збільшення швидкості руху охолоджувального середовища, що, у свою чергу, викликає істотний приріст експлуатаційних витрат, металоємності устаткування та збільшення його габаритних розмірів. У той же час порівняно велика тривалість процесу заморожування викликає невиправдано високі втрати маси заморожених продуктів (до 3...4%).

Заморожування зануренням у некиплячу рідину досліджували ще в XIX ст., але більш детально його почали вивчати в 30-і роки XX ст. Відзначається висока ефективність умов теплообміну, при цьому використовується недороге устаткування, просте в обслуговуванні, що легко піддається автоматизації.

В якості некиплячої рідини використовують холодні розчини солей, в основному хлориду натрію, хлориду кальцію, пропіленгліколю, етилового спирту та ін. Метод занурення у некиплячі рідини застосовують для безконтактного або контактного заморожування штучних харчових продуктів.

До основних недоліків контактного способу, що передбачає заморожування у некиплячій рідині, варто віднести проникнення холодоносія у продукт. Дана обставина приводить до окислювання жирів та негативно впливає на його смак. При цьому строки зберігання замороженого продукту значно скорочуються. Проникнення солі в продукт тим слабше, чим нижча температура розчину та повністю припиняється при евтектичній точці холодоносія.

В останньому десятилітті для холодильної обробки продуктів харчування застосовують двофазні холодоносії. Вони мають різні торговельні назви: бінарний лід, айс-сларрі, flow ice, liquide ice та ін., та являють собою льодові суспензії.

Застосування способів, які відносять до третьої групи, для заморожування рослинних продуктів обмежене. Іноді плоди і овочі заморожують у плиткових апаратах, що швидше, ніж у повітряних, але створює незручності при подальшому використанні цих блоків. Рослинну продукцію заморожують в такий спосіб тільки у випадку подальшої її глибокої промислової переробки.

З теплофізичних завдань по заморожуванню найбільш важливим є визначення тривалості цього процесу, що базується на формулі Р.П. Планка, яка модифікувалася часто і багатьма дослідженнями, але навіть у наші дні вона все ще використовується для розрахунку тривалості заморожування в своєму первинному вигляді.

Планк виходив з положення, що однорідне тіло, яке містить воду, перед початком заморожування охолоджують до кріоскопічної температури. Утворення льоду відбувається без переохолодження води і розвивається ізотермічно при кріоскопічній температурі.

Теплофізичні властивості замороженого тіла не залежать від температури, теплоємність замерзлої частини тіла рівна нулю. Замерзання відбувається завдяки відбору тепла з поверхонь тіла при постійному коефіцієнті теплопередачі і постійній температурі охолоджуючого середовища.

За формулою Планка час заморожування баклажанів визначається:

$$\tau = \frac{q_3 \cdot \rho \cdot \delta}{58 \cdot \lambda_m \cdot \Delta t} \cdot \left( \delta + \frac{4 \cdot \lambda_m}{\alpha} \right) \cdot 60, \quad (1.1)$$

де  $\tau$  - час заморожування, хв.;

$q_3$  - теплота заморожування;  $q_3 = \varphi \cdot \omega \cdot r_3$ , кДж/кг;

$\varphi$  - вологість продукту;

$\omega$  - частка вимороженої води;

$r_3$  - питома теплота твердіння ( $r_3 = 335 \dots 400$  кДж/кг);

$\rho$  - щільність продукту, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta$  - діаметр циліндра, м;

$\lambda_m$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/м·К;

$\Delta t$  - різниця між кріоскопічною температурою продукту і температурою охолоджуючого середовища, °С.

Для баклажанів вологість складає ( $\varphi = 0,8 \dots 0,87$ ; щільність  $\rho = 560 \dots 770$  кг/м<sup>3</sup>; діаметр  $\delta = 0,04 \dots 0,1$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_m = 0,26 \dots 0,4$  Вт/м·К.

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  визначають за рівнянням:

$$\alpha = 6,2 + 4,2 \omega, \quad (1.2)$$

де  $\omega$  - швидкість конвективного переміщення теплоносія ( $\omega = 0,15$  м/с).



Заморожені продукти перед вживанням піддають дефростації, мета якої – доведення продуктів до стану, близького до вихідного.

Оборотність процесу заморожування характеризується здатністю рослинної тканини повертатися в стан, близький до вихідного, який мав місце до заморожування. Повного відновлення досягти неможливо, перш за все, внаслідок втрати частини вологи при розморожуванні. Крім того, це залежить від частки різних форм зв'язку вологи в тканинах, а також від ступеня температурного і осмотичного пошкодження компонентів клітин. При цьому сам спосіб заморожування не надає вирішального впливу на величину вологовіддачі, в першу чергу, важливими є режими проведення процесу, оскільки тільки швидке і надшвидке заморожування здатне підвищити ступінь зворотності процесу внаслідок утворення меншого розміру кристалів льоду та швидкого проходження температурної зони найбільших деструктивних змін, що утворюються в тканинах.

Вивчення реакцій тканин овочів на дію низьких температур дозволило виявити, що дана реакція специфічна, в основному, відносно мікроскопічних і ультраструктур, та полягає в дезінтеграції цитоплазми та її окремих компонентів (пластид, мітохондрій і ядра) з подальшим утворенням псевдоорганели. Дані перебудови більш помітні в повільно заморожених овочах, тобто при швидкості заморожування близькій до  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$ .

Розбіжність між кривими заморожування та розморожування пояснюють відмінністю теплопровідності льоду і води, оскільки теплопровідність льоду приблизно в 4 рази перевищує теплопровідність води. Внутрішня температура продукту в початковий період зростає до точки танення льоду і залишається постійною, після чого швидко підвищується до запрограмованого рівня  $4...5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

У порівняльних умовах процес розморожування протікає дещо повільніше, ніж заморожування. Різниця в швидкості пояснюється відмінністю властивостей льоду та води.

При заморожуванні внутрішнє тепло продукту передається назовні через заморожений шар, а при дефростації тепловий потік направлений в протилежному напрямі. Коефіцієнт теплопровідності розмороженого продукту приблизно в  $2...2,5$  рази нижчий, ніж у замороженого.

Існує декілька основних способів розморожування заморожених продуктів: на повітрі, водою або в інших розчинах, парою, у ва-

куумі, подвійним контактом, а також в електромагнітному полі високої частоти або мікрохвилями.

Процес розморожування на повітрі полягає в наступному. Продукт залишають нагріватися або при нормальній температурі приміщення (близько + 20 °С), або в холодному приміщенні при температурі + 4 °С.

Перевага цього способу полягає в тому, що він сприяє хорошому утриманню води в клітинах та кращому збереженню структури, а недоліки в тому, що при цих температурах прискорюються хімічні реакції розкладання біохімічних компонентів.

Для розморожування в рідких середовищах звичайно використовують воду або 5 %-вий розчин повареної солі, занурюючи плоди в ємність, або застосовуючи обробку зрошуванням. Зрошування є ефективнішим, проте, і складнішим способом. Велике значення має збереження низької обнасіненості рідини епіфітною мікрофлорою.

Метод розморожування у вакуумованому просторі при помірній подачі рідини, що регулюється залежно від конкретних умов розморожування, дозволяє інтенсифікувати зовнішній теплообмін без надмірного нагрівання поверхні об'єкту, що розморожується.

Розморожування парою у вакуумі засноване на вивільненні прихованої теплоти конденсації пари при зниженому тиску на поверхні продукту, який потрібно розморозити.

Останнім часом широке розповсюдження в світовій практиці знаходить розморожування продукту за допомогою електричного струму високої частоти, що дозволяє регулювати товщину прогріву продукту по мірі необхідності. При цьому способі дефростації усувається один з головних недоліків – нерівномірність прогрівання периферійних та внутрішніх шарів, які властиві іншим способам відведення тепла.

З таким же успіхом використовується і розморожування в електромагнітному полі високої частоти або мікрохвилями. Розморожування мікрохвилями значно коротше за часом, ніж традиційні способи, що використовуються. Щоб забарвлення продуктів при розморожуванні не змінювалося, застосовується інактивація ферментів.

При розморожуванні електронагріванням, продукти розташовують між двома металевими електродами з напругою близько 50...80 В при частоті струму 50 Гц. Струм, що проходить через об'єм продукту, вивільняє енергію у вигляді теплоти (ефект Джоуля).

На підставі літературних даних можна зробити висновок, що при розробці режимів заморожування і дефростації плодоовочевої продукції

слід досліджувати швидкість та час заморожування, особливо в інтервалі температур від 0 до мінус 10 °С, оскільки саме в цьому інтервалі спостерігається найбільш інтенсивні фізико-механічні та біохімічні зміни в тканинах продукту, які впливають на якість продукції, що зберігається.

#### **4 Оснащення лабораторної роботи обладнанням і приладами**

1. Холодильна камера або побутовий морозильник;
2. Установка для криогенного заморожування;
3. Потенціометр КВ-1, п'ятиканальний укомплектований п'ятьма хромель-копелевими термопарами або інший багатоканальний прилад для замірів температури в межах від + 50 до – 50 °С;
4. Пристосування для проколювання баклажанів;
5. Секундомір;
6. Ємності для розсолу та води для дефростації;
7. Зразки плодів і овочів як об'єкти заморожування.

Для проведення заморожування у повітряному середовищі, та охолодження розсолу, застосовується стаціонарна холодильна камера або побутовий морозильник (лар) з температурою не менше ніж –24 °С.

У лабораторних дослідах по криогенному заморожуванню у рідкому азоті або його парах використовується посудина Дьюара „Харків-31“ об'ємом 30 літрів рідкого азоту з горловиною шириною 600 мм (рисунок 1.2), що дозволяє опускати в нього плоди з попередньо встановленими в них термопарами.

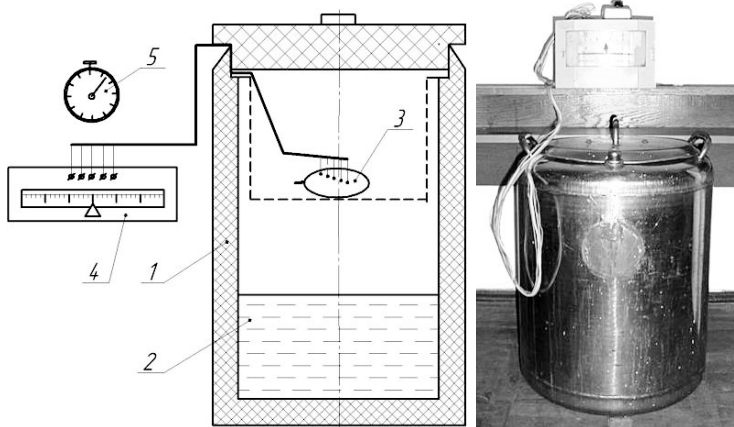
Дана посудина вибрана з міркування, що при використанні подібних посудин з більш вузькою шийкою при проведенні досліджень потрібне переливання рідкого азоту, в інші ємності. При переливанні втрачається значна кількість рідкого азоту внаслідок передачі теплоти від навколишнього повітря на нагрів допоміжної посудини та швидкого випаровування з посудини.

При заморожуванні плодів у парах рідкого азоту об'єкти вкладаються на сітку або поміщаються у спеціальний кошик, який не контактує з рідким азотом.

В цій же посудині доводять до потрібної мінусової температури розсіл або інший рідкий холодоносій, що налитий у відповідну ємність.

Для вимірювання температури у шарах об'єкту досліджень протягом процесу заморожування використовується п'ятиканальний по-

тенціометр КВ-1 (див. рис. 2), укомплектований хромель-копелевими термопарами, що градуйовані в інтервалі температур  $+50...-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



1 – посудина Дьюара „Харків – 31“; 2 – рідкий азот; 3 – дослідний плід; 4 – потенціометр КВ-1; 5 – секундомір.

Рисунок 1.2 – Схема і фото лабораторної установки криогенного заморожування.

У дослідях по заморожуванню баклажанів у розсолі в якості холодоносія використовується водяний розчин  $\text{NaCl}$ . Для складання розчину, який забезпечив би температуру заморожування  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на один літр води слід додати 210 г повареної солі  $\text{NaCl}$ .

Потім даний розчин ретельно перемішують, та ємність з ним опускають в рідкий азот (посудина Дьюара „Харків-31“). Температуру розсолу фіксують за допомогою потенціометра КВ-1.

При досягненні температури розсолу  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$  ємність з розсолом витягається із посудини Дьюара і поміщується у термос для збереження постійної температури розсолу. Потім у ємність з розсолом занурюється об’єкт дослідження, в який на різній глибині пошарово закладені термопари.

Крім вказаного способу, розсіл до потрібної температури можна охолоджувати безпосередньо і у холодильній камері. Ємність із розсолом залишається у холодильній камері, доки температура розсолу не досягає потрібної температури.

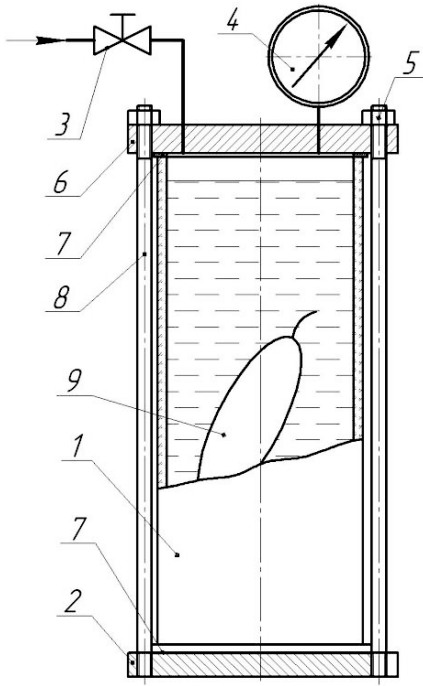
Потім у ємність з розсолем опускається плід з термопарами та фіксується зміна температури по шарах через 1 хв до тих пір, поки температура в центрі плоду не стає рівною температурі розсолу.

Дефростація заморожених об'єктів досліджень проводиться в повітряному середовищі, у воді та в розсолі.

При розморожуванні в повітряному середовищі плоди вкладають у плоску ємність і витримуються до моменту досягнення кімнатної температури в центрі плоду.

При розморожуванні у воді і розсолі заморожений продукт поміщається у воду або розсіл та витримується до повного вирівнювання температури в центрі плоду та середовища.

Для дефростації овочевої продукції контактним методом із застосуванням води або ж розсолу в герметично закритій ємності під тиском 0,05 МПа використовується спеціальна експериментальна камера, схема якої показана на рисунку 1.3.



- 1 – циліндр;
- 2 – нижня кришка;
- 3 – золотниковий пристрій;
- 4 – манометр;
- 5 – гайки;
- 6 – верхня кришка;
- 7 – прокладки;
- 8 – шпилька;
- 9 – плід.

Рисунок 1.3 – Камера для дефростації плодів під тиском.

Камера складається з пластикового циліндра 1, нижньої 2 і верхньої кришки 6, золотникового пристрою 3 з краном та манометра 4. Нижня кришка 2 з ущільнювачем 7 герметично притягнута шпильками 8, верхня кришка знімна і притискається герметично до циліндра 1 через ущільнювач 7, притискними гайками 5.

Дефростація під тиском проводиться таким чином: заморожені плоди поміщаються у циліндр 1 та заливаються водою температурою 25...28 градусів. Потім за допомогою насоса в камері створюється надлишковий тиск, що дорівнює внутрішньому гідростатичному тиску плоду, який підтримується до тих пір, поки температура не досягне 15 °С у центрі плоду.

Після цього тиск плавно зменшується, знімається верхня кришка, і плоди витягаються.

## **5 Методика проведення досліджень**

1) Підготувати плоди, які охолоджені до +5...+3°C до заморожування, для чого оснастити їх термопарами.

Для пошарової фіксації температури в крупні об'єкти досліджень, такі як баклажани, перець, качан кукурудзи, плід гарбуза встановлюються від чотирьох до п'яти термопар. Ці термопари слід розташовувати або на певній відстані від псевдоцентру плоду, або в найбільш характерних його точках, наприклад, для баклажана (див. рисунок 1.4, а) рівновіддалені від центру, а для перцю в таких характерних точках як центр насінника, так звані „ребра“ м'якоті та повітряна порожнина.

Установку термопар в об'єкт на різну глибину слід проводити за допомогою пристосування, що показано на рисунку 1.4,б). Воно складається з голки (2) і цангового затискача (1). Перед проколюванням голка 2 висувається на необхідну довжину і фіксується цанговим затискачем. Потім у ці отвори вставляються термопари та закріплюються за допомогою ізоляційної стрічки.

Для невеликих об'єктів (ягода винограду, кубик гарбуза) достатня установка однієї, двох термопар. Для винограду термопари встановлюються у ягоди, що не відокремлені від грона, в отвір поруч з місцем кріплення їх до плодоніжок.

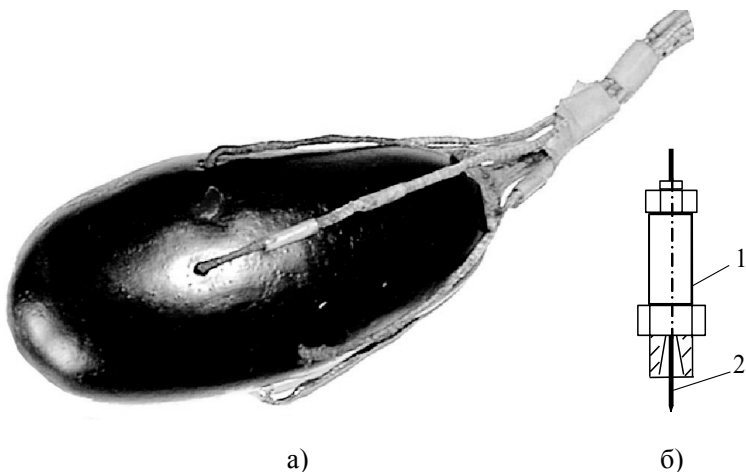


Рисунок 1.4 – а) Фото баклажана зі встановленими термопарами; б) пристосування для проколювання плоду.

2) Провести заморожування об'єктів досліджень в різних охолоджувальних середовищах з періодичною фіксацією температури в різних його шарах (відповідно до місць встановлення термопар). Рекомендується одну з термопар задіяти для вимірювання температури охолоджуючого середовища.

Фіксацію температури бажано проводити через пропорційні проміжки часу з частотою, яка залежить від габаритів і маси об'єкту та виду заморожування. Наприклад, при заморожуванні плоду баклажана в парах рідкого азоту або в розсолі доцільно фіксувати температуру через 1...3 хв., при заморожуванні того ж об'єкта в холодильній камері – через більші проміжки часу.

3) Провести дефростацію заморожених об'єктів в повітряному середовищі, зануренням у воду з температурою  $+ 20...25^{\circ}\text{C}$  при атмосферному і підвищеному тиску. Маса води повинна не менше ніж у 10 разів перевищувати масу плоду. При розморожуванні в повітряному середовищі температура повітря також не повинна перевищувати  $+ 25^{\circ}\text{C}$ .

При дефростації фіксувати температуру по шарах продукту.

Дані, які одержані при заморожуванні та дефростації, заносити в таблицю за зразком таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати дослідів з заморожування плоду.

Час хв.		1	2	3	4	5	6	7	...	130	140	...
Температура °С	I шар											
	II шар											
	III шар											
	IV шар											
	Середовище											

4) Побудувати термограми пошарового процесу (заморожування та дефростації) у координатах час – температура і зробити аналіз за результатами досліджень.

5) Для порівняльного аналізу результатів різних видів процесів заморожування і дефростації провести органолептичну оцінку показників об'єктів, що досліджувались.

Органолептична оцінка свіжих і розморожених об'єктів проводиться групою (6...10 осіб) незалежних експертів (студентів групи) за п'ятибальною шкалою (від 1 до 5 балів).

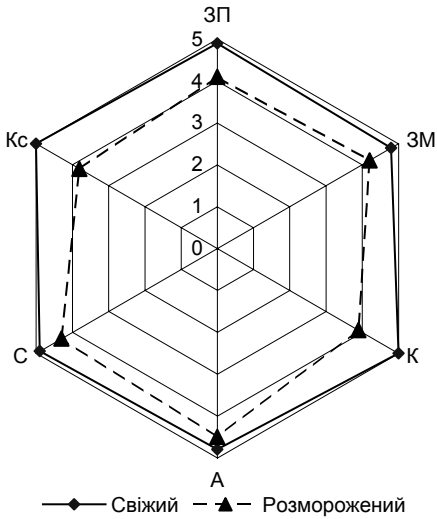
В якості показників оцінки приймаються: зовнішній вигляд поверхні (ЗП), зовнішній вигляд м'якоті (ЗМ), колір (К), аромат (А), смак (С) і зміна консистенції (Кс).

Шкала органолептичної оцінки представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Шкала органолептичної оцінки сировини.

Бал	Зовнішній вигляд		Колір	Аромат	Смак	Консист.
	поверхні	м'якоті				
5	дуже гладка	добрий	дуже інтенсивний	дуже ароматний	дуже присмний	дуже еластичний
4	гладка	прийнятний	інтенсивний	ароматний	приємний	еластичний
3	достатньо гладка	недостатньо добрий	добрий	достатньо ароматний	достатньо присмний	достатньо еластичний
2	недостатньо гладка	задовільний	недостатньо добрий	недостатньо ароматний	недостатньо присмний	недостатньо еластичний
1	середньої задовільності					





6) За результатами висновків усіх експертів визначити середні значення всіх показників, побудувати пелюсткові діаграми і зробити порівняльний аналіз.

### 6 Вимоги безпеки

Під час проведення роботи додержуватись правил загальної інструкції з охорони праці, наведених у розділі „Загальні вимоги безпеки“. Особливу увагу слід приділяти проведенню дослідів з застосуванням рідкого азоту та розсолів.

### Список літератури

1. Грубы Я. Производство замороженных продуктов. М.: Агропромиздат, 1990. 336 с.
2. Ялпачик В.Ф., Загорко Н.П., Стручаев К.М. Дослідження дефростації контактним методом під тиском. / Праці ТДАТА. // Мелітополь. ТДАТА, 2005. Вип. 30. С. 69-73.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

### ВИВЧЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЛЬОДУ І ВИПРОБУВАННЯ ЛЬОДОГЕНЕРАТОРА

**Мета роботи:** розглянути основні конструкції обладнання для виробництва штучного льоду; експериментальним шляхом встановити продуктивність льодогенератора ЛТ-50, розрахункове теплове навантаження на його холодильну установку, швидкість процесу льодоутворення.

Час виконання роботи 4 год.

#### 1 Порядок виконання роботи

- вивчити основні конструкції обладнання для виробництва льоду;
- розглянути принцип дії та будову льодогенератора ЛТ-50;
- розрахувати основні параметри процесу виробництва льоду;
- провести експериментальні дослідження виробництва льоду;
- обробити результати проведеного експерименту;
- побудувати графік залежності за результатами дослідів;
- сформулювати висновки за результатами роботи.

#### 2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент повинен:

**- повторити:**

- а) існуючі способи охолодження продукції сільського господарства;
- б) термодинамічні процеси в холодильних апаратах;
- в) загальні питання процесу затвердіння та плавлення;
- г) теоретичні основи процесу охолодження льодом;

**- знати:**

- а) область використання льоду в охолодженні харчової продукції;
- б) класифікацію льодогенераторів;
- в) конструктивні особливості холодильних машин;

**- вміти:** проводити налаштування льодогенератора ЛТ-50 за умовами проведення дослідів, користуватися контрольно-вимірними приладами, проводити визначення основних аналітичних залежностей за темою лабораторного дослідження, будувати графіки відповідних залежностей за результатами досліджень.

### 3 Загальні відомості

#### 3.1 Льодогенератори, їх класифікація

Льодогенератором називають теплообмінний апарат для заморожування води або розсолу з пристроями для подачі води, відділення та видачі (або без неї) льоду, що зв'язані через регулюючу автоматику з холодильним компресорно-конденсаторним агрегатом.

Льодогенератори можуть бути класифіковані як за видами, складом і призначенням виробленого льоду, так і за способами та джерелами охолодження і за конструктивними особливостями.

Льодогенератори виготовляють технічний і харчовий лід: 1) блоковий, трубчасто-блоковий і сніжно-блоковий; 2) плитний і трубчасто-плитний; 3) малогабаритний лід – дроблений, шматковий і пластинчастий, трубчастий і шкарлупний, брикетний, кубиковий; 4) розсипний лід (подрібнений до снігоподібної маси або гранул), лускатий, сніжний (шляхом пресування може бути перетворений у брикетний і сніжно-блоковий лід).

Льодогенератори бувають періодичної та безперервної дії, з відтаванням і механічним видаленням льоду. Розрізняють неавтономні льодогенератори – з централізованим охолодженням розсолами і безпосередньо холодоагентами; автономні (зокрема агрегатні), автоматизовані льодогенератори безпосереднього охолодження з компресорними, абсорбційними, водяними пароежекторними та термоелектричними холодильними машинами (в них використовується механічна, тепла та електрична енергія).

Льодогенератори з автоматизованим і ручним керуванням по своїй конструкції можуть бути: 1) з рухливими і стаціонарними льодоформами; 2) панельні заглибні і зрошувальні, зокрема пакетопанельні; 3) трубчасті заглибні і зрошувальні з зовнішнім та внутрішнім наморожуванням льоду, зокрема кожухотрубчасті; 4) роторні безперервної дії – скребкового, шнекового та фрезерного типів; 5) з плунжерним і гідравлічним відривом льоду від поверхонь льодоутворення.

За продуктивністю льодогенератори підрозділяють на великі 1000 кг/год і більше, середні – 100-1000 кг/год, малі – 10-100 кг/год та дрібні – менше 10 кг/год (звичайно в складі домашніх холодильників).

У промислових цілях виробляють блоковий, грудковий і лускатий лід, який широко використовується у ковбасному виробництві та виробництві напівфабрикатів. У системі громадського харчування і торгівлі використовуються льодогенератори невеликої продуктивності, які виробляють лід шматковий у вигляді кубиків, стаканчиків і лус-

катий лід для кондитерських цілей, охолодження напоїв та зберігання свіжої риби в торговельному холодильному обладнанні.

### **3.2 Конструктивні схеми льодогенераторів**

За способом охолодження апарати для виробництва льоду під-розділяють на дві групи: льодогенератори розсільного охолодження і льодогенератори безпосереднього охолодження.

Найбільш великі масиви штучного льоду одержують на розсільних льодогенераторах блокового і плиткового льоду. Вони виробляють технічний матовий або прозорий лід у рухомих льодоформах.

Температура охолоджуючого розсолу від  $-8$  до  $-12$  °С, швидкість циркуляції повітря 0,1...0,2 м/с. Розсіл охолоджується у вертикально-трубчастому або листотрубчастому заглибному випарнику з температурою кипіння холодоагенту близько  $-15$  °С. Витрата холоду на 1 кг льоду в межах 525...585 кДж.

Для інтенсифікації процесу застосовують попереднє охолодження води у водоохолоджувачах і не проморожують серцевину блоку.

При відтаванні льодоформи занурюють у теплу (до 40 °С) воду або зрошують їх у нахиленому положенні.

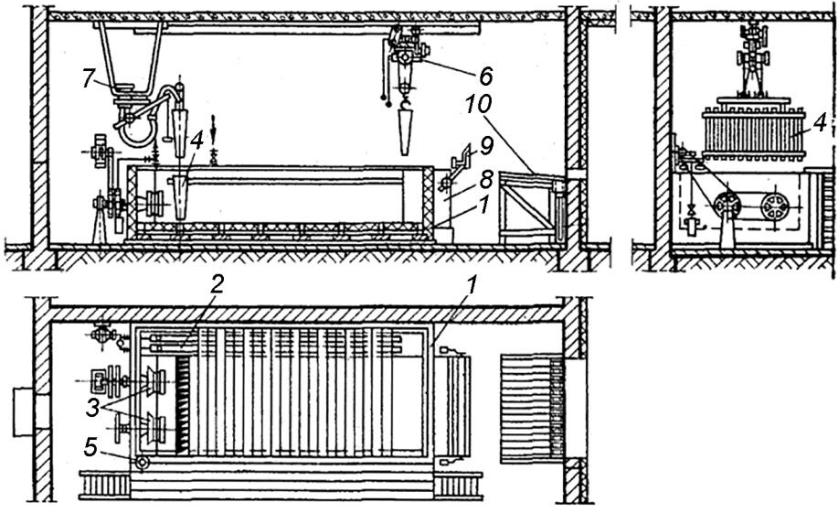
Застосовують розсільні льодогенератори з льодоформами на 12,5; 25 і 50 кг льоду. Льодоформи на 12,5 кг льоду заморожують при температурі розсолу  $-10$  °С приблизно 8 год; на 25 кг льоду  $-12$  год; на 50 кг льоду за 16 год. Довжина льодоформ 1,12 м; довжина блоків льоду близько 1 м.

За кордоном, зокрема в США, застосовують подібні льодогенератори, з барботуванням води для одержання прозорого блокового льоду. Процес виробництва прозорого льоду можна здійснити за схемою змінення тиску.

Недоліки розсільних льодогенераторів наступні: низька питома продуктивність; значна металоємність льодогенератора; підвищена витрата електроенергії у зв'язку із застосуванням проміжного холодносія – розсолу; підвищена корозія розсільного бака, льодоформ, трубопроводів, металевих конструкцій та ін.

Крім того процесу заважає постійна деконцентрація розсолу через випадання вологи із повітря на поверхню розсолу і попадання води в розсіл при заповненні і заморожуванні льодоформ; відсутність автоматизації; потреба в великих виробничих площах для установки льодогенераторів; значні втрати льоду при відтаванні льодоформ.

На рисунку 2.1 показана схема блокового льодогенератора з холодною машиною, який виробляє технічний матовий лід у рухливих льодоформах. Звичайний розсіл ( $H_2O+NaCl$ ), що перебуває в теплоізованому сталевому баку охолоджується до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (від  $-8$  до  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) за допомогою вертикально-трубних, кожухотрубчастих або листотрубчастих випарників з температурою кипіння аміаку або фреону-22 близько мінус  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



1 – бак; 2 – випарні секції; 3 – мішалки; 4 – льодоформи; 5 – штовхач; 6 – підйомний механізм; 7 – водонаповнювач; 8 – відтавач льодоформ; 9 – перекидач; 10 – льодоскочувач.

Рисунок 2.1 – Льодогенератор з розсільним охолодженням для виробництва льоду в блоках.

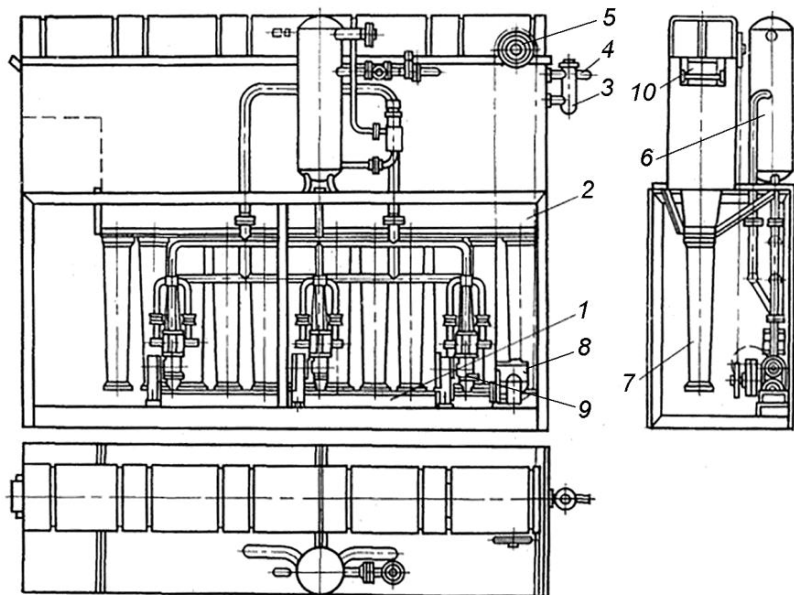
В описуваній конструкції льодогенератор оснащений мішалкою, яка забезпечує швидкість циркуляції розсолу  $0,1\text{...}0,2\text{ м/с}$ , механічним штовхачем і перекидачем льодоформ.

Краном або тельфером підводять до дозуючого водонаповнювача групу сталевих оцинкованих льодоформ у рамах, а після заповнення водою опускають їх у бак з розсоллом.

Після заморожування води у декількох або у всіх групах льодоформ їх переносять в нагрітий водяний відтавач льоду з температурою

звичайно не вище 30...40 °С (щоб уникнути розтріскування льоду). Далі за допомогою крана й перекидача звільняють льодоформи від льоду.

На рисунку 2.2 показаний льодогенератор блокового льоду „Фріблок“. Він являє собою пристрій, що складається із двох баків: у нижньому розмішена випарна система і форми для льоду, у верхньому – вода, з якої виготовляється блоковий лід. Форми, виконані з листової оцинкованої сталі, верхньою відкритою частиною вбудовуються у дно водяного баку, що полегшує їхнє наповнення водою.



1 – нижній бак; 2 – верхній бак; 3 – поплавцевий регулятор; 4 – патрубок підводу води; 5 – пристрій для видалення блоків льоду; 6 – відділювач рідкого агенту; 7 – ребриста льодоформа; 8 – редуктор; 9 – автоматичний розморожувач; 10 – отвір для виходу блоків льоду.

Рисунок 2.2 – Схема блокового льодогенератора „Фріблок“.

Рівень води у верхньому баку підтримується автоматичним поплавковим клапаном. Завдяки системі безпосереднього випару аміаку у нижньому баку вода у формах замерзає.

Готовий блок при відтаванні виходить із форми і спливає на поверхню води у верхньому баку. Далі він автоматично подається до розвантажувального отвору і по жолобу надходить у камеру зберігання.

Утворення блоків льоду, відділення їх від стінок форм при відтаванні і вихід з розвантажувального отвору здійснюються послідовно. Льодогенератори „Фриблок“ виготовляють продуктивністю від 2,4 до 120 т/добу.

Подібні льодогенератори відрізняються компактністю, що пояснюється значним температурним перепадом між водою і киплячим холодильним агентом, високим значенням коефіцієнта теплопередачі при безпосередньому випарі агента, а також додатковими тепловідводячими поверхнями.

Одним з промислових типів блокового льодогенератора безпосереднього охолодження є льодогенератор Вільбушевича.

Установка системи Вільбушевича продуктивністю 3,6 т льоду у добу включала аміачний вертикальний прямоточний двоциліндровий компресор продуктивністю 34 тис. Вт із електродвигуном 13 кВт, горизонтальний кожухотрубчастий конденсатор з ресивером, льодогенератор безпосереднього випару з водоохолоджувачем-дозатором, чотири батареї по три 25 кілограмових льодоформи в кожній, дренажний ресивер і віддільник рідини.

При температурі кипіння холодоагенту  $-15^{\circ}\text{C}$  тривалість наморозування льодоблоков масою 25 кг становить близько 2 години проти 12 год у розсільних льодогенераторах.

Втрати при відтаванні становлять відповідно 2...3% проти 4...6%. Для видачі льоду служить спеціальний пересувний приймач із противагами для спуску трьох крижаних блоків.

У подібних установках наморозування і відтавання льоду періодично проводяться в льодоформах із зовнішніми сорочками і п'ятьма внутрішніми випарними трубками (рисунок 2.3). Для випуску льоду льодоформи мають на дні відкидні кришки на пружинах. Перед заливанням льодоформ водою відкидні кришки повинні бути приморожені шляхом короткочасного пуску води в задалегідь охолоджені льодоформи. Наприкінці процесу наморозування кришки льодоформ під тиском льоду відкриваються, і після відтавання крижані блоки випадають у приймач із противагою, яка й опускає їх майже до рівня підлоги.

Перемикають установку на наповнення водою, наморозування відтавання льоду вручну за допомогою вентилів і багатоходових кранів.

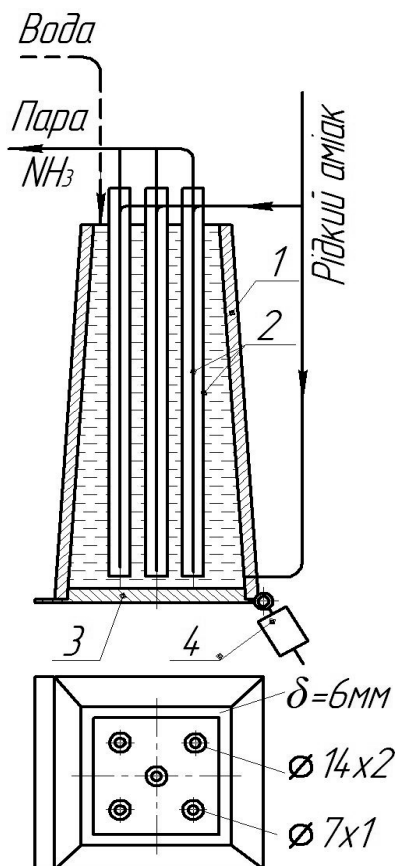


Рисунок 2.3 – Льодоформа льодогенератора Вільбушевича.

Льодогенератори трубчастого льоду за конструкцією нагадують вертикальні кожухотрубчасті конденсатори. Простір між кожухом і трубками заповнюють киплячим аміаком. Вода, стікаючи по внутрішній поверхні трубок, охолоджується, і лід наможується у вигляді трубок. Коли товщина їх досягає 10...15 мм, процес охолодження припиняється. Після цього вентиль відсмоктування пари з льодогенератора перекривають, а рідкий аміак передавлюють за допомогою гарячих парів у спеціальний збірник.

У наступному циклі аміак самопливом повертається назад в кожух льодогенератора.

Недоліками даної конструкції льодогенератора є відсутність автоматизації обслуговування і підвищена його металоємність.

З відомих інших конструкцій льодогенераторів трубчасто-блокового льоду з безпосереднім охолодженням необхідно відмітити льодогенератори фірми „Грассо“ (Голландія) з наможуванням блоків на окремих групах вертикальних або злегка нахилених трубах, розміщених у баку з водою.

На відміну від льодогенераторів Вільбушевича ці льодогенератори автоматизовані і дають можливість одержувати прозорий лід при продувці води повітрям. Металоємність їх порівняно невелика, тому що немає випарних сорочок і льодоформ.

- 1 – корпус(сорочка);
- 2 – трубки зовнішні та внутрішні;
- 3 – відкидна кришка;
- 4 – механізм відкриття кришки.



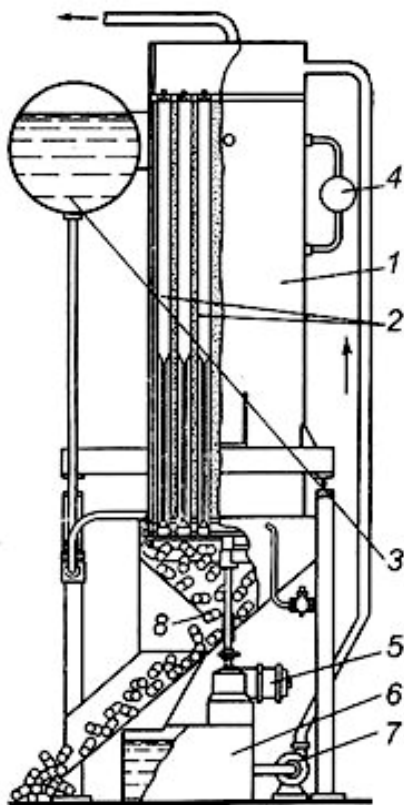


Рисунок 2.4 – Льодогенератор трубчастого льоду.

Цими ж парами проводиться відтавання льоду на трубчастій поверхні. Лід після цього опускається вниз і зрізується механічним ножем, розташованим на нижній трубній дошці льодогенератора, і падає в бункер.

При трубках діаметром  $57 \times 3,5$  мм час одного циклу (при тривалості процесу відтавання близько 10 хв) становить приблизно 40 хв. Льодогенератор виробляє трубки льоду заданої висоти і товщини. Він повністю автоматизований і при продуктивності 10 т/добу має наступні габаритні розміри: висоту 3,9 м, довжину 2,9 м, ширину 1,9 м.

- 1 – кожух;
- 2 – труба;
- 3 – ресивер аміаку;
- 4 – поплавковий вентиль;
- 5 – ніж;
- 6 – бак для води;
- 7 – насос подачі води;
- 8 – скат для льоду.

Для зменшення втрат при відтаванні льоду трубки льодогенератора роблять прямими та з гладкою внутрішньою поверхнею. При відтаванні слід забезпечити інтенсивний обігрів нижньої трубної дошки трубчастого конденсатора, інакше видалення льоду буде затрудненим.

Також набули поширення льодогенератори трубчастого льоду безпосереднього охолодження, що представляють собою льодоформи із сорочкою, у якій кипить аміак. У форми вставляють вертикально розташовані по всій висоті одну або кілька трубок, які охолоджуються киплячим аміаком. В результаті на внутрішній поверхні льодоформ і зовнішній поверхні опущених у них вертикальних трубок відбувається

одночасне наморожування льоду. Внаслідок цього процес льодоутворення прискорюється у кілька разів в порівнянні з наморожуванням льоду у формах тих же розмірів розсільних льодогенераторів.

Лускатий лід зазвичай одержують в барабанних морозильних апаратах, які дозволяють виробляти лід у безперервному потоці.

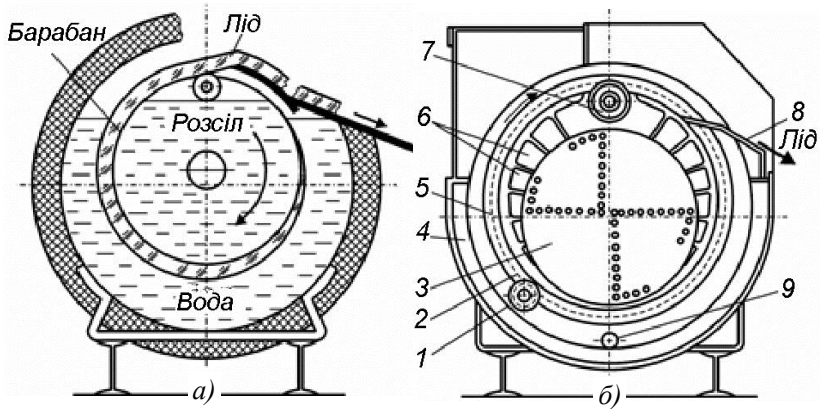
Найбільше число барабанних апаратів для виробництва льоду використовуються в рибній (більше 3000 шт.) м'ясо-молочній, харчовій, хімічній та інших галузях промисловості. Незалежно від різноманіття типів барабанних апаратів усі вони мають один загальний і головний елемент конструкції – морозильний барабан. Він може бути рухливим або нерухливим, горизонтальним або вертикальним.

Прототипом сучасних барабанних апаратів вважають перший генератор лускатого льоду з горизонтальним барабаном який створений ще на початку ХХ ст. в США Г. Філдом (рисунок 2.5). Практично до середини 1950-х рр. схема компоновки апарата, запропонована Філдом, залишалася незмінною. В подальшому були створені апарати з вертикальним барабаном. Є також ряд інших відмітних ознак, що визначають особливості вдосконалених апаратів.

Барабанні морозильні апарати можна класифікувати за наступними основними ознаками: способом охолодження барабану, системою приводу барабана, розташуванню барабана, кількості робочих поверхонь, характеру керування та призначення.

Для одержання великих кількостей сніжного льоду застосовують скребкові снігогенератори горизонтального типу (рисунок 2.6).

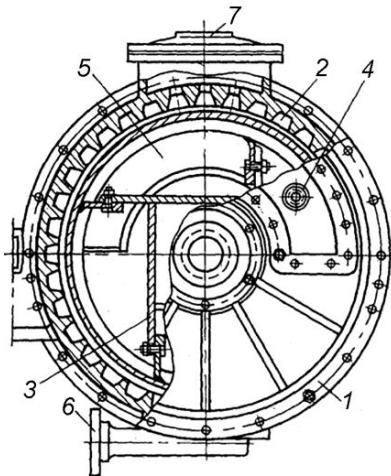
Снігогенератор являє собою двостінний горизонтальний циліндр з сорочкою для кипіння холодоагенту, всередині якого обертається ротор зі спеціальними скребками (ножами) для зрізання льоду. Всередину циліндра за допомогою насоса подається вода, яка частково замерзає на стінках шаром меншим за 1 мм, і лід безперервно зіскрібається ножами у вигляді гранул або злиплих крупинок масою 1-5 мг.



а) схема пристрою Філда; б) льодогенератор лускатого льоду; 1 – шестірня привода барабана; 2 – зубчастий вінець барабана; 3 – кожухотрубчастий випарник-охолоджувач розсолу; 4 – ізоляція; 5 – гнучка металева обичайка барабана; 6 – канали для циркуляції розсолу в сорочці охолодження; 7 – деформуючий ролик; 8 – скребок для знімання льоду; 9 – трубопровід подачі води у водяну ванну.

Рисунок 2.5 – Схема барабанного льодогенератора системи Філда.

Вода після відділення льоду повертається в снігогенератор. Сніжна маса із крупинок льоду і некрижаної води виштовхується з іншого кінця випарного циліндра під тиском насоса в спеціальний відстійник, де частина води стікає і вертається для рециркуляції, а сніг з вмістом води 25% направляють для безпосереднього використання або пресують у брикети в спеціальному пресі револьверного типу.



1 – корпус; 2 – випарна сорочка; 3 – обертові скребки; 4 – вхід води; 5 – вихід снігу з водою; 6 – вхід холодоагенту; 7 – вихід холодоагенту.

Рисунок 2.6 – Горизонтальний снігогенератор скребкового типу.

Умови теплопередачі в снігогенераторі досить сприятливі завдяки ребристим стінкам випарної сорочки циліндра і великої швидкості руху води (до 6 м/с). Коефіцієнт теплопередачі в снігогенераторі досягає  $1500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  і більше. Горизонтальні снігогенератори мають продуктивність від 10 до 30 т/добу.

Найбільш прогресивними пристроями завдяки застосуванню нових технологій є роторні льодогенератори лускатого і сніжного льоду. Автоматичні роторні льодогенератори безпосереднього охолодження не мають потреби у відтаванні льоду і є льодогенераторами безперервної дії.

Вони виготовляють із прісної і солоної води сніжний і лускатий лід з насипною масою приблизно  $300$  і  $500 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а також льодо-водяну пульпу, які придатні для безпосереднього вживання в харчовій технології.

Механічне відділення льоду шнеком, скребками (ножами, різцями) і спеціальними фрезами більш економічне, ніж його відтавання, що пов'язане з втратами льоду і періодичним прогріванням випарників або льодоформ. Тому роторні льодогенератори споживають мінімум холоду ( $460$ - $500 \text{ кДж}/\text{кг}$ ) і електроенергії ( $145$ - $200 \text{ кДж}/\text{кг}$ ), мають мінімальний питомий об'єм.

Сбівартість лускатого і сніжного льоду на  $40$ - $50\%$  менша вартості льоду із блокових генераторів з розсілним охолодженням.

У широко розповсюджених скребкових льодогенераторах лід, що намерзає на циліндричному випарнику, відділяється від нього, рухомим скребком у вигляді лусочок або крупинок, які називають сніжним льодом. При заміні скребків на фрези, що котяться по льоду, виходить тільки лускатий лід. Значно рідше для відділення льоду застосовується обертовий шнек.

Скребкові льодогенератори працюють як при циркуляції води, так і при обмеженій подачі води без її рециркуляції та виготовляють при температурі  $-15 \dots -25 \text{ }^\circ\text{C}$  сухий лускатий лід.

При надлишку води або підвищеній температурі холодоагенту у випадку відповідного настроювання скребків (ножів) ці льодогенератори можуть виробляти сніжний лід з вологістю до  $20 \dots 25\%$  або ж льодоводяну пульпу, придатну для перекачування насосом.

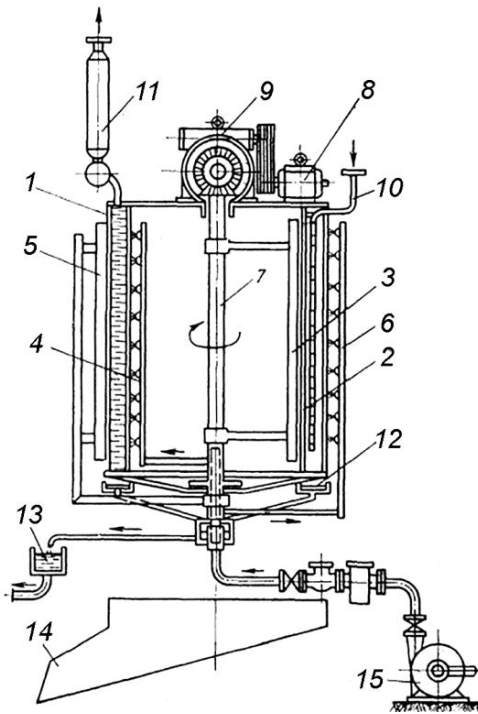
Скребкові льодогенератори у режимі одержання льодо-водяної пульпи (сніжний лід з водою) можуть бути використані, взагалі, як інтенсивні водоохолоджувачі, тому що тепломасообмін при льодоутво-

ренні звичайно значно перевершує конвективний теплообмін, більший за звичайний і температурний напір.

На рисунку 2.7 показана схема скребоквих льодогенераторів типів ЛЛ-300 та ЛЛ-500, які забезпечують при температурі води  $28^{\circ}\text{C}$  і холодоагенту (аміак, фреон)  $-22^{\circ}\text{C}$  продуктивність 300 і 500 кг/год.

Для інтенсифікації і підвищення ефективності роторних льодогенераторів здійснюють наступні заходи:

1) застосування насосних схем, що забезпечують інтенсивну циркуляцію холодоагенту, стабільне заповнення випарників рідким холодоагентом при коливаннях теплового навантаження; 2) застосування для виготовлення випарників високо-теплопровідних матеріалів; 3) обмеження товщини стінки; 4) поліпшення системи зрошення водою поверхні випарника; 5) збільшення частоти обертання ріжучого пристрою; 6) попереднє охолодження води; 7) зниження температури кипіння; 8) оребрення внутрішньої поверхні циліндрів випарника.



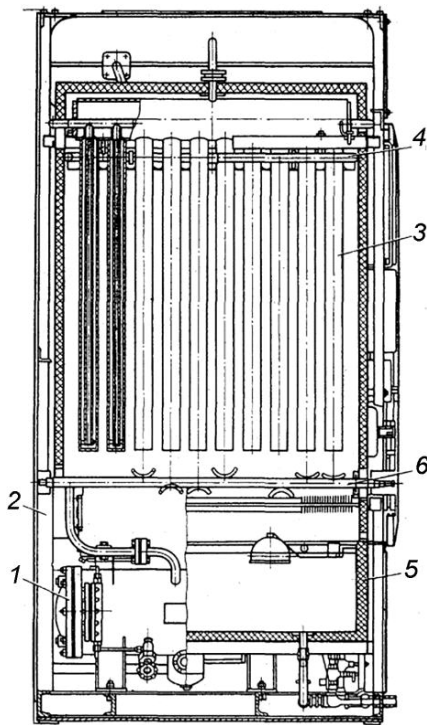
1 – зовнішній циліндр випарника; 2 – внутрішній циліндр випарника; 3 – внутрішній ніж (скребок) з кронштейном; 4 – трубка водяна внутрішня; 5 – зовнішній ніж (скребок) з кронштейном; 6 – трубка водяна зовнішня; 7 – вал; 8 – електродвигун; 9 – редуктор; 10 – трубка подачі холодоагенту; 11 – сухопарник; 12 – водозбірник; 13 – бачок надлишкової води; 14 – льодоскат; 15 – водяний насос.

Рисунок 2.7 – Двосторонній скребоквий льодогенератор серії ЛЛ-500.

Вагоме місце в сімействі льодогенераторів займають агрегатні льодогенератори, тобто льодогенератори, агрегатовані з холодильною машиною, а іноді й з льодосховищем. Агрегатні льодогенератори харчового прозорого льоду з продуктивністю до 20...40 кг/год можуть із успіхом застосовуватися в магазинах, на продовольчих ринках, у ресторанах і фабриках-кухнях, у лабораторіях та лікарнях.

Агрегатні льодогенератори автономні і дають можливість одержувати необхідну кількість льоду по мірі потреби на місці споживання. Конструкції їх різноманітні і вони тільки частково повторюють описані вище льодогенератори виробничого типу.

В комплект льодогенератора ОЛ-25/35 (рисунок 2.8) входить наступне основне устаткування: фреоновий безсальниковий компресор



ФВ6БС (7 тис. Вт) з електродвигуном (4,5 кВт), кожухотрубчастим конденсатором ( $6 \text{ м}^2$ ) і теплообмінником; вертикальний випарник типу „труба в трубі“ ( $1,8 \text{ м}^2$ ) з ресивером (30 л) і терморегулювальним вентилям ТРВ-7м. Крім того, льодогенератор оснащений п'ятьма соленоїдними вентилями, водяним насосом з електродвигуном, зрошувачем і водяним баком, льододробаркою з електродвигуном і реле часу для керування соленоїдними вентилями і електродвигунами.

Лід наморозується на 10 вертикальних трубах випарника діаметром 57 мм і довжиною 1000 мм кожна. За 1...2 хв до початку відтавання намерзлого на випарнику льоду перекривається вентиль на подачі фреону і рідина частково затоплює конденсатор.

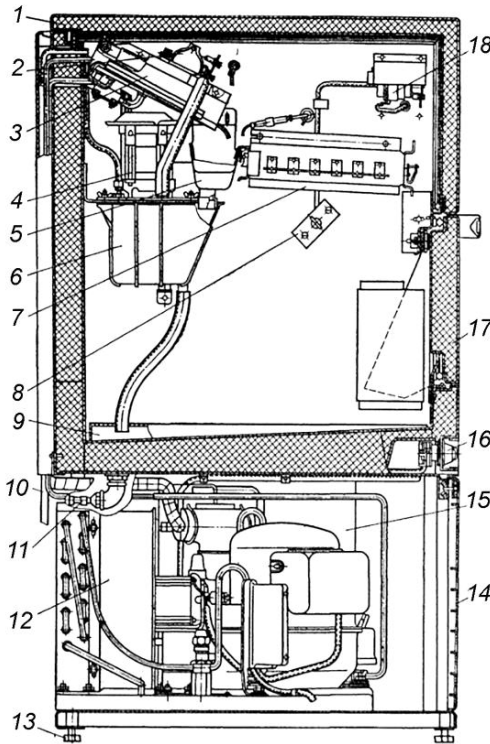
1 – корпус; 2 – компресор з конденсатором; 3 – випарювач; 4 – водозрошувач; 5 – водяний бак з насосом; 6 – льододробарка.

Рисунок 2.8 – Льодогенератор ОЛ-25/30.

Після перемикання вентилів при відтаванні гаряча пара надходить у випарник, видавлює з нього залишки рідини і починає конденсуватися. При цьому випарник працює як конденсатор, а конденсатор як випарник. Відталій лід падає із труб випарника на льододробарку. При середній температурі кипіння холодоагенту  $-15...-16^{\circ}\text{C}$  наморозування льоду займає 22 хв, а відтавання 3 хв.

У агрегатному льодогенераторі „Горос-2“ (рисунок 2.9) одержують харчовий прозорий лід у вигляді невеличких кубиків. Це шафа, яка розділена по висоті на два відділення. У верхній частині розміщені випарник, насос, водозбірник, ванна, ріжуча решітка і бункер для зберігання льоду.

Стінки верхньої частини теплоізолювані. У нижній неізолюваній частині шафи розміщені холодильний агрегат і щит електрообладнання.



Випарник виготовлений із двох зварених між собою листів неіржавіючої сталі. Верхній лист із гладкою поверхнею і бортами з трьох сторін. На ньому наморозується лід. На нижньому листі виштампувані канали, всередині яких проходить холодоагент R12.

- 1 – кришка; 2 – шуп;
- 3 – випарник; 4 – насос;
- 5 – водозбірник; 6 – ванна;
- 7 – решітка ріжуча;
- 8 – кожух капіляра;
- 9 – аркуш знімний;
- 10 – трубка; 11 – штуцер;
- 12 – холодильний агрегат;
- 13 – ніжка;
- 14 – решітка вентиляційна;
- 15 – кришка;
- 16 – перемикач;
- 17 – двері; 18 – реле.

Рисунок 2.9 – Льодогенератор „Горос-2“.

З ванни 6 свіжа вода відцентровим насосом 4 подається по гнучкому шлангу в колектор і рівномірно розподіляється по поверхні по-

хилого випарника 3. Рівень води у ванні підтримується поплавковим пристроєм.

Протікаючи тонким шаром по холодній похилій поверхні випарника 3, вода поступово замерзає і утворює на випарнику шар льоду у вигляді плити. Не замерзла вода зливається через водозбірник 5 у каналізацію, а у ванну 6 надходить свіжа водопровідна вода.

Товщину намерзання льоду регулюють за допомогою щупа 2, положення якого змінюють регулювальним гвинтом. Коли лід торкнеться щупа, вимикається електродвигун насоса і припиняється подача води, відкривається електромагнітний вентиль на нагнітальній стороні компресора. Теплі пари R12, минаючи конденсатор, ресивер і ТРВ, надходять через спеціальний трійник і електромагнітний вентиль прямо у випарник. Плита льоду підгає і сповзає на решітку 7 для розрізування.

При сповзанні лід переміщає кронштейн мікроперемикача, замикаючи його контакти. При цьому льодогенератор вмикається на заморожування, а в решітку 7 з ніхромового дроту подається струм напругою 12 В. Дріт нагрівається і розрізає лід на кубики або пластинки, які падають у бункер. При наповненні бункера льодом до кожуха капіляра 8 термореле 18 вимикає холодильну машину. При звільненні бункера машина вмикається і процес наморожування льоду відновлюється. Продуктивність льодогенератора 40 кг льоду за добу, товщина льоду 8...16 мм, місткість бункера 25 кг.

В експериментальній частині даної лабораторної роботи буде розглянута конструкція агрегатного льодогенератора ЛТ-50 і проведені його випробування.

#### **4 Оснащення робочого місця лабораторної роботи**

1. Льодогенератор ЛТ-50;
2. Прилад для вимірювання температури з термопарами;
3. Ваги, штангенциркуль.

Лабораторна установка складається з власне льодогенератора, систем подачі водопровідної води і відведення її у каналізацію.

Льодогенератор торговий марки ЛТ-50 являє собою автоматичний пристрій, призначений для отримання харчового льоду однакової форми.

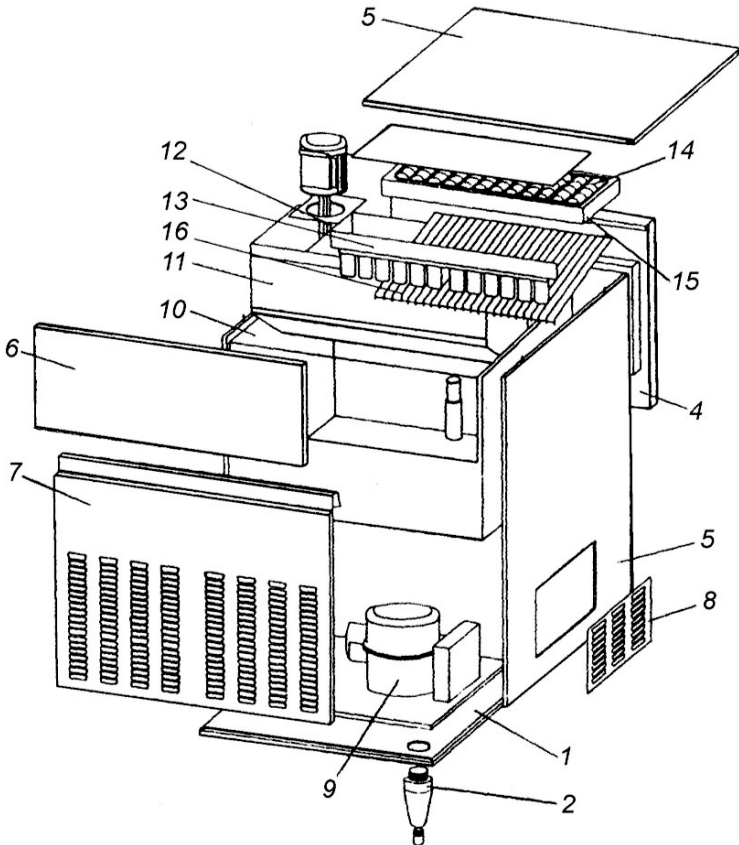
Конструкція льодогенератора (рисунок 2.10) включає кілька взаємопов'язаних вузлів, що забезпечують його функціональне призначення.

Корпус складається з прямокутного металевого піддона 1 з регульованими по висоті ніжками 2. До піддону кріпляться дві зовнішні



боковини 3 з технологічними люками 8, на яких кріпиться задня стінка 4. Зверху встановлена теплоізолювана кришка 5.

З передньої сторони розташовані теплоізолювана кришка 6 бункера для зберігання льоду і легкознімна решітка 7, яка має жалюзі. Всередині корпусу, в нижній його частині, знаходиться машинне відділення, у якому розташовуються: холодильний агрегат 9, прикріплений до піддону та пульт керування.



1 – піддон; 2 – ніжки; 3 – бічна стінка; 4 – стінка задня; 5, 6 – кришка; 7 – решітка; 8 – люк; 9 – холодильний агрегат; 10 – бункер; 11, 15 – ванна; 12 – електронасос; 13 – шторка; 14 – випарник; 16 – приймальна решітка.

Рисунок 2.10 – Конструкція льодогенератора ЛТ-50.

Зверху, над машинним відділенням, знаходиться льодоприготувальне відділення, яке складається з теплоізольованого бункера 10 для зберігання льоду, що представляє собою прямокутний короб, зварений із нержавіючої сталі.

У верхній частині бункера встановлений датчик терморегулятора заповнення бункера льодом.

Над бункером розташована ванна 11 для запасу питної води, що йде на приготування льоду. У лівій частині ванни встановлений електронасос 12, всмоктувальний патрубок якого знаходиться у ванні з водою.

Над дном ванни по її поздовжній осі встановлений зрошувач, що представляє собою профільовану трубку з прорізами (форсунками) для створення фонтанів води; зрошувач з'єднаний з нагнітальним патрубком електронасоса гумовою трубкою. Для запобігання попадання струменів води від зрошувача у ванну збору льоду встановлена захисна шторка 13.

Над зрошувачем встановлений випарник 14, який складається з полімерної пластини прямокутної форми, з одного боку якої знаходяться щільно вставлені в неї робочі органи випарника – порожнисті мідні пальці, що під'єднані до зрошувача, а з іншого, зверху, знаходяться хладонові комунікації, що з'єднують торці цих пальців так, що холодоагент, циркулюючи в системі, послідовно проходить через усі 56 пальців. В середині пальців встановлена вертикальна перегородка з забезпеченням проходу холодоагенту.

Верхня частина випарника з чотирьох боків оточена бортиками, які утворюють ванну з підігрітою водою для нагріву пальців, у результаті чого відбувається відтавання льоду. У протилежному місці від подачі підігрітої води знаходиться отвір для зливу води, що остигла, у ванну. Під випарником встановлена приймальна решітка 16.

На вході води в льодогенератор встановлений фільтр тонкого очищення води і водяний редуктор з манометром для регулювання тиску водопровідної води, яка подається.

Функціональна схема льодогенератора приведена на рисунку 2.11.

Льодогенератор працює наступним чином. Натисканням на кнопку „Робота“, що розташована на пульті управління, одночасно вмикається компресор 1 холодильного агрегату і водяний електронасос 3, в результаті чого у випарник 9 починає надходити холодоагент, а вода з труби 2 і форсунок зрошувача 12 починає омивати робочі поверхні пальців випарника.

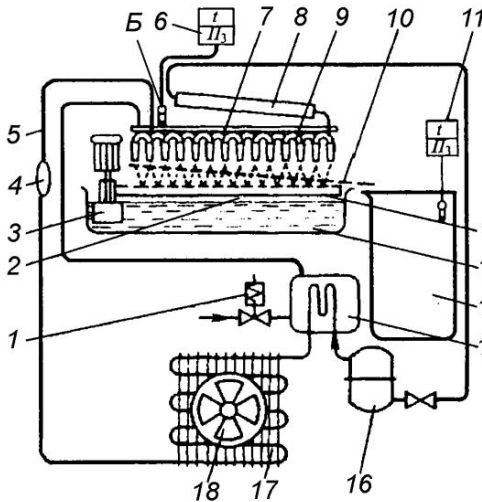
В процесі роботи холодильного агрегату гарячі пари холодоаге-

нту нагрівають у спеціальному теплообміннику 15 питну воду, яка надходить з водопроводу.

Термодатчик 6 пульта керування контролює в процесі наморозування льоду температуру у випарнику в точці Б. При досягненні заданої температури (від мінус 6 до мінус 12° С) вмикається реле часу, що розташоване в пульта керування, яке через 13 хвилин вимикає холодильний агрегат і водяний насос і вмикає соленоїдний клапан 1.

Клапан відкривається, і підігріта в теплообміннику вода по трубці витискується новою порцією холодної води, що надходить під тиском з водопроводу у ванну випарника 7, де нагріває виступаючі торці пальців і за рахунок високої теплопровідності міді відбувається нагрів тіла пальців і відтавання намороженого льоду на кожному з пальців.

Шматки льоду, які зійшли з пальців, падають на похилу решітку і зісковзують у бункер 14 для збору і подальшого зберігання льоду.



Вода з ванни 7 стікає через дренажний калібрований отвір у ванну 13 з водою і використовується для поповнення витрат води, яка потрібна на утворення льоду.

У вихідному положенні у ванну заливається близько 11,5 літрів питної води. Для запобігання переповнення ванни водою в ній встановлюється переливний патрубок.

- 1 – соленоїдний вентиль; 2 – зрошувальна трубка; 3 – насос;
- 4 – фільтр-осушувач; 5 – капілярна трубка; 6 – реле температури;
- 7 – ванна випарника; 8 – відокремлювач; 9 – випарник; 10 – похила решітка; 11 – реле температури; 12 – форсунки; 13 – ванна з водою;
- 14 – бункер; 15 – теплообмінник; 16 – компресор; 17 – конденсатор; 18 – вентилятор.

Рисунок 2.11 – Принципова схема льодогенератора.

Після двохвилинного відтавання за командою пульта керування соленоїдний клапан закривається і знову автоматично вмикаються холодильний агрегат і водяний електронасос. Починається новий цикл роботи.

Наповнення бункера льодом відбувається до тих пір, поки не відбудеться контакт льоду з чутливою частиною датчика-терморегулятора заповнення бункера. При зануренні чутливої частини датчика в лід льодогенератор автоматично вимикається, а при витрачанні частини льоду і звільненні від нього датчика терморегулятора льодогенератор знову автоматично вмикається.

Холодильна система льодогенератора забезпечує отримання необхідної кількості холоду при циркуляції у системі холодоагенту (хладон 12).



а) робочий відсік; б) машинне відділення.

Рисунок 2.12 – Фото відсіків льодогенератора ЛТ-50.

У вихідному положенні, при відкритих всмоктувальних і нагнітальних штуцерах, система заповнюється парами і рідким холодоагентом. При вмиканні компресора 16 відбувається усмоктування і стиснення парів і виштовхування їх у нагнітальну магістраль.

Нагріті від стиснення пари потрапляють у теплообмінник 15, де, пройшовши по змійовику, віддають частину свого тепла навколишній воді. У результаті цього температура парів знижується, а температура води підвищується (у подальшому ця вода використовується для відтавання готового замороженого льоду), потім пари надходять у конденсатор 17, де відбувається подальше охолодження парів до перетворення їх у рідкий стан.

Рідкий холодоагент надходить у капілярну трубку 5, яка виконує роль дроселюючого пристрою, і, пройшовши її, потрапляє у розширювальну частину випарника 9, де кипить, проходячи послідовно по порожнистих пальцях, що омиваються зовні водою. Пройшовши випарник, холодоагент докипає у вторинному випарнику і, повністю перейшовши в пароподібний стан, по всмоктувальній трубці потрапляє у компресор, і цикл повторюється.

Під час роботи холодильної машини гаряча пара холодоагенту, стиснена компресором, підігріває воду в теплообміннику. Рідкий холодоагент відділяється у відокремлювачі 8.

## 5 Методика проведення роботи

- 1) Перевірити візуально комплектність льодогенератора.
- 2) Зняти верхню кришку 5 (див. рисунок 2.10). Визначити розміри ванни: довжину  $l$  (м), ширину  $b$  (м), висоту  $h$  (м). Підрахувати кількість пальців випарника  $n$ , визначити їх діаметр  $d$  (м). Заповнити таблицю 1.1.
- 3) Прикріпити термомпери приладу для вимірювання температури (потенціометра) до поверхонь теплообмінних апаратів льодогенератора: першу – до трубопроводу підведення парів фреону до компресора, другу – до трубопроводу відведення стиснених парів фреону від компресора, третю – до верхньої компресора, четверту – на трубопроводі перед теплорегулюючим вентиляем, п'яту – після терморегулюючого вентиля, шосту – у ванні.
- 4) Відкрити вентиль подачі води з водопроводу. Увімкнути потенціометр і льодогенератор.
- 5) Відкрити кришку льодогенератора і штангенциркулем виміряти зовнішній діаметр гранули льоду  $d_2$  (м). Закрити кришку.
- 6) Помістити в піддон усі гранули льоду, отримані за робочий цикл, і визначити їх масу  $G_2$  (кг).
- 7) Визначити протягом циклу температуру на поверхнях тепло-

обмінних апаратів холодильного агрегату, початкову температуру води  $t_e$  (°C) і кінцеву середню температуру гранули льоду  $t_z$  (°C). Заміри зробити протягом 2-3 циклів. Результати внести в таблицю 1.2.

8) Вимкнути льодогенератор і потенціометр. Ретельно прибрати робоче місце.

### 6 Вимоги безпеки

Під час проведення роботи додержуватись загальної інструкції з охорони праці, які наведені в розділі „Загальні вимоги безпеки“.

### 7 Обробка результатів експерименту

Таблиця 1.1 – Протокол вимірювань установки

Довжина ванни, м	$l$	
Ширина ванни, м	$b$	
Висота ванни, м	$h$	
Кількість пальців	$n$	
Середній діаметр пальців, м	$d$	
Висота пальця, м	$h_n$	

Таблиця 1.2 – Протокол випробувань льодогенератора

Час наморозування гранул, с	$\tau_n$	
Час відтавання гранул, с	$\tau_o$	
Час повного циклу, с	$T$	
Зовнішній діаметр гранули, м	$d_z$	
Маса гранул льоду, отриманих за цикл, кг	$G_1$	
	$G_2$	
Значення температури, °C:		
- випару фреону	$t_o$	
- перед усмоктувальним вентиляем	$t_1$	
- після компресора	$t_2$	
- конденсації	$t_k$	
- перед терморегулюючим вентиляем	$t_{p.e}$	
- нагріву випарника при відтаванні гранул	$t_{om}$	
- води початкова	$t_e$	
- гранул середня	$t_z$	

Середня маса гранул льоду, отриманих за один цикл, кг:

$$G_2 = \frac{G_{21} + G_{22} + G_{23}}{3}, \quad (2.1)$$

де  $G_{21}$ ,  $G_{22}$ ,  $G_{23}$  - маси гранул льоду, одержаних за цикли, кг.  
Фактична продуктивність льодогенератора, кг/год.:

$$П = \frac{3600 \cdot G_2}{T}. \quad (2.2)$$

Теплове навантаження  $Q$  на холодильну установку, кВт:

$$Q = Q_6 + Q_m + Q_o, \quad (2.3)$$

де  $Q_6$  - теплоприток від води при її охолодженні, заморожуванні і охолодженні гранул льоду до кінцевої температури, кВт;

$Q_m$  - теплоприток від металоконструкцій, опалюваних при відтаванні льоду і охолоджуваних при заморожуванні, кВт;

$Q_o$  - теплоприток від навколишнього середовища через огорожувальні конструкції льодогенератора, кВт.

Теплоприток від води

$$Q_6 = \frac{G_n (c_6 \cdot t_6 + r - c_n \cdot t_2)}{\tau_n}, \quad (2.4)$$

де  $c_6$  - питома теплоємність води, ( $c_6 = 4,186$  кДж/(кг·К));

$t_6$  - температура води, °С;

$r$  - питома теплота фазового переходу, ( $r = 335,2$  кДж / кг);

$c_n$  - питома теплоємність льоду, ( $c_n = 2,1$  кДж / (кг · К));

$t_2$  - середня температура гранул льоду, °С;

$\tau_n$  - час на заморожування гранул, с.

Маса льоду  $G_n$ , одержаного за цикл роботи льодогенератора:

$$G_n = G_2 (1 + y), \quad (2.5)$$

де  $y$  - масова частка льоду, яка відтала при звільненні пальців:

$$y = \frac{(d + 2\delta)^2 - d^2}{d_2^2 - d^2}, \quad (2.6)$$

де  $\delta$  - товщина підталого шару льоду, м ( $\delta = 1 \cdot 10^{-3}$  м);

$d_2$  - зовнішній діаметр гранул льоду, м,

$d$  - середній діаметр пальців, м.

Теплоприток від металоконструкцій

$$Q_m = \frac{G_m - c_m (t_{om} - |t_o|)}{\tau_m}, \quad (2.7)$$

де  $G_m$  - маса металоконструкцій, які отеплюються при відтаванні льоду і охолоджуваних при заморожуванні, кг ( $G_m = 0,6$  кг);

$c_m$  - питома теплоємність матеріалу випарника, кДж/(кг·К)

( $c_m = 0,682$  кДж / (кг·К);

$t_{om}$  - температура нагріву випарника при розморожуванні, °С.

Теплоприток від навколишнього середовища

$$Q_o = 0,15Q_v. \quad (2.8)$$

За відомими значеннями температур  $t_k$ ,  $t_{p.e.}$ ,  $t_o$ ,  $t_l$  побудуйте цикл роботи холодильної установки на  $lgP-i$  діаграмі. Визначте тепловміст (кДж/кг) холодильного агента в характерних точках  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ ,  $i_4$  і розрахуйте основні параметри циклу.

Питома холодильна потужність  $q_o$ , кДж/кг:

$$q_o = i_1 - i_4. \quad (2.9)$$

Питома робота компресора  $A_o$ , кДж/кг:

$$A_o = i_2 - i_1. \quad (2.10)$$

Питома теплота конденсації  $q_k$ , кДж/кг:

$$q_k = i_2 - i_3. \quad (2.11)$$

Холодильний коефіцієнт  $\varepsilon$

$$\varepsilon = q_o / A_o. \quad (2.12)$$

Маса холодильного агента, що циркулює у системі,  $G$ , кг/с:

$$G = \frac{1,03 \cdot Q}{q_o}. \quad (2.13)$$

Теоретична потужність компресора  $P_T$ , кВт:

$$P_T = GA_o. \quad (2.14)$$

Розрахункова потужність компресора  $P_e$ , кВт:

$$P_e = \frac{P_T}{\eta_i \cdot \eta_m}, \quad (2.15)$$



де  $\eta_i$  - індикаторний коефіцієнт ( $\eta_i = 0,87$ );  
 $\eta_m$  - механічний ККД ( $\eta_m = 0,9$ ).

Порівняти розрахункову і фактичну потужності компресора, у разі розбіжності зробити висновки.

### **Список літератури**

1. Бобков В.А. Производство и применение льда. М.: Пищевая промышленность, 1977, 230 с.

2. Быков А.В. Различные области применения холода. М.: Агропромиздат, 1985. 272 с.

### ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3

## РОЗРАХУНОК ВЕНТИЛЯЦІЇ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

**Мета роботи:** вивчення основних видів умов зберігання коренеплодів і практичне оволодіння методикою розрахунку активної вентиляції сховища зберігання моркви.

### 1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

#### 1.1 Основні методи зберігання плодів і овочів

Коренеплоди – дворічні рослини (за винятком редису). Для них характерна здатність перебувати при зниженій температурі у стані спокою. Стан цей неглибокий і при сприятливих умовах ріст плоду відновлюється. Цей період характеризують як вимушений спокій. Він потрібний рослинам для завершення найважливіших процесів генеративного розвитку. Наявність періоду спокою в житті рослин дозволяє довго зберігати коренеплоди.

Методи зберігання овочів і плодів підрозділяють на дві групи: польове зберігання (тимчасові споруди); зберігання в капітальних сховищах (стаціонарні споруди).

За способом підтримки режиму зберігання розрізняють наступні види сховищ продукції рослинного походження:

- з природньою вентиляцією, які охолоджують зовнішнім повітрям за рахунок теплової конвекції;
- з примусовою циркуляцією, які охолоджують зовнішнім повітрям, яке подають за допомогою вентилятора, (у тому числі за методом активного вентилявання);
- льодовики і крижані склади, що охолоджуються льодом;
- холодильники зі штучним охолодженням, які охолоджують за допомогою спеціальних холодильних установок;
- холодильники з регульованим газовим середовищем.

Спосіб зберігання того або іншого продукту вибирають за технологічними і економічними показниками.

До технологічних показників відносяться точність підтримки режиму в оптимальних межах і максимальний строк зберігання з найменшими втратами, а до економічних – капітальні витрати на спорудження і витрати при експлуатації.

Стационарні сховища розрізняють за призначенням, місткістю, плануванням, будівельно-конструктивними особливостями, способами розміщення продукції, системами регулювання умов зберігання, механізацією завантаження і вивантаження, економічними показниками.

Сховища можуть бути багатосекційними, їх компонують із уніфікованих секцій місткістю – для картоплі 500, 1000, 1500 т, для буряка і качанної капусти 250, 500, 750 т.

Для районів з розрахунковою зимовою температурою зовнішнього повітря мінус 20 °С сховища частіше проектують наземного типу, а для районів з більш низькою температурою – напівзаглибленого та заглибленого типу.

Найбільш важливими для сховищ рослинної продукції в технологічному відношенні є системи вентиляції, штучного охолодження або підігріву (у сховищах цибулі).

Системи вентиляції, які застосовують в овочесховищах, підрозділяють на природну і примусову, виділяючи різновид примусової – активне вентилявання (рисунок 3.1).

Природна вентиляція сховищ заснована на законах теплової конвекції. Тяга створюється за рахунок руху нагрітого повітря вгору, а холодного донизу. Чим більша різниця температур внутрішнього і зовнішнього повітря, тим більша швидкість його руху. Восени для поліпшення провітрювання таких сховищ у нічний період доводиться відкривати люки та ворота, а взимку ставити заслінки, які перекривають вентиляційні труби.

У сховищах з примусовим видом вентиляції продукт розміщують у тарі (ящиках, контейнерах), складених у штабелі так, щоб повітря обдувало кожну одиницю упакування.

а) природна; б) примусова;

в) активна.

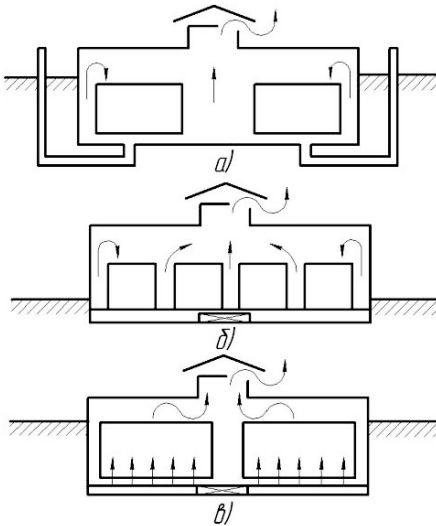


Рисунок 3.1 – Схеми вентиляції сховищ.

Для поліпшення циркуляції повітря всередині сховища та між штабелями продукції застосовують комплексну примусову вентиляцію, яка включає припливну і витяжну підсистеми.

При активному вентиляванні повітря подають знизу вгору через насип продукції, рівномірно обдуваючи кожний її екземпляр. У результаті цього вдається швидко одержати оптимальний тепловий режим, підтримувати у всіх точках штабеля рівні температури, вологість та газовий склад. Продукція не відіпріває і не розігрівається. Все це дозволяє збільшити висоту завантаження та строки зберігання.

У сховищах місткістю більш ніж 500 тон звичайно влаштовують не менше двох автономних систем вентиляції, що забезпечують взаємозамінність припливних установок на випадок виходу з ладу однієї з них. Продуктивність вентиляційного обладнання для сховищ картоплі і коренеплодів приймають з розрахунку питомої подачі повітря в годину на 1 тону продукту.

Система для активного вентилявання, як правило, складається з припливної шахти з жалюзійним забірним отвором, рециркуляційного повітропроводу, реверсивних вентиляторів осьового типу з електродвигунами, підпільних магістральних, розподільних і решітчастих каналів-повітропроводів під підлогою.

Припливну вентиляційну шахту прямокутного перетину розміром 2400×1110 мм розташовують біля зовнішньої стіни вентиляційної камери. Стіни шахти від підлоги до покриття викладають із цегли товщиною 250 мм і утеплюють зсередини мінераловатними плитами, газобетоном або пінобетоном. Проріз із жалюзійними ґратами для забору зовнішнього повітря в наземних сховищах передбачають на зовнішній стіні шахти, а в напівзаглиблених і заглиблених – над покриттям у верхній частині шахти.

Рециркуляційний дерев'яний повітропровід перетином 600×600 мм або металевий діаметром 600 мм для подачі повітря зі сховища у вентиляційну систему приєднують до припливної шахти і обладнують шибером. Відкритий кінець рециркуляційного повітропроводу, що введений у приміщення, закривають металевою сіткою.

Реверсивні вентилятори осьового типу або відцентрові, які створюють рух повітря в системі активної вентиляції, встановлюють у вентиляційній камері на бетонних фундаментах і за допомогою металевих перехідників приєднують до повітропроводів системи на фланцях. Приводом вентиляторів служать електродвигуни потужністю 3,0...6,3 кВт.

На кожні 500...650 тонн місткості сховища потрібно, як мінімум, два осьові реверсивні вентилятори з подачею 12 000 і 15 000 м<sup>3</sup> повітря за годину.

Магістральний канал-повітропровід шириною 900 мм прокладають під робочим проходом (проїздом). Під кожною засікою є відгалуження магістрального повітропроводу з дросельною заслінкою або шибером, яким управляють з робочого проходу за допомогою канатів або металевих тяг. Через відгалуження вентиляційне повітря нагнітається в підпільний простір кожної засіки або відсмоктується з нього. Обладнання відгалужень регулюючими заслінками під кожною засікою, дозволяє роздільно вентилювати ту або іншу засіку з необхідною інтенсивністю.

Повітря, що нагнітається вентилятором по магістральному каналу, надходить у масив продукту через відгалуження і ґратчасту підлогу засіків або при суцільній підлозі через розподільні підпільні і шатрові ґратчасті канали-повітропроводи розташовані на підлозі.

Для збереження однакового напору повітря в різних частинах повітропроводів висоту магістрального каналу зменшують із 900 мм на початку до 450 мм наприкінці, а висоту розподільного каналу – до 450...200 мм. Довжину магістральних і розподільних каналів приймають не більше 35 м, довжину підпільного простору під засіками – не більше 9 м, повітророзподільних каналів – 12 м.

ґратчасту підлогу в засіках укладають по лагах на цегельних стовпчиках. Відстань між шатровими каналами на підлозі становить у світлі 1200 мм, а від паралельної глухої стінки засіки – не більше 800 мм.

У лікувальний період і період охолодження вентиляція повністю працює на зовнішньому повітрі, коли температура його нижча за температуру в сховищі (але не нижче 1°C). При температурі зовнішнього повітря нижче 1°C система працює із частковою або повною рециркуляцією, забезпечуючи температуру суміші зовнішнього і внутрішнього повітря не нижче 1 °C.

У період, коли температура зовнішнього повітря вище температури в сховищі, системи вентиляції працюють повністю на рециркуляцію. У період тривалого зберігання параметри внутрішнього повітря підтримуються системою вентиляції із частковою або повною рециркуляцією.

Для штучного охолодження повітря при весняно-літньому зберіганні і регулюванні його відносної вологості система працює на рециркуляцію. При цьому зовні сховища пристроюють льодогенератор з постійною теплоізоляцією стін.

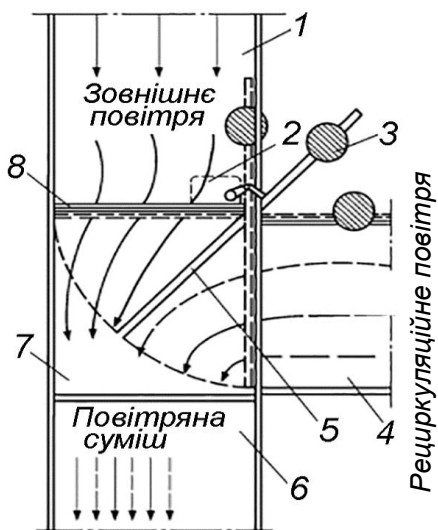
Повітря зі сховища вводиться по повітропроводу у верхню частину льодогенератора; охолоджене повітря відсмоктується з нижньої частини льодогенератора і по металевому повітропроводу, приєднаному до припливної шахти, надходить у сховище. Повітропроводи, що входять у льодогенератор, оснащують шиберами.

У сховищах невеликої місткості встановлюють також місцеві стаціонарні і пересувні холодильні установки з безпосереднім випаром. У великих сховищах застосовують машинне охолодження повітря з використанням централізованих холодильних станцій.

Для осушування повітря в сховищі влаштовують конденсаційний теплообмінник з припливною шахтою, виведеною назовні безпосередньо із приміщення для зберігання. Для підігріву повітря використовують опалювальні установки з різним теплоносієм (гаряча вода, пара), а також вогняні та електричні калорифери, що відповідають вимогам пожежної безпеки. Для видалення зволоженого повітря влаштовують витяжні шахти з регульованими клапанами.

Змішувальний клапан (рисунок 3.2) кріпиться до повітропроводу припливної шахти 1 і до магістрального повітропроводу 6.

Змішувальна заслінка 5 із противагою 3 з'єднана з виконавчим механізмом 2.



Заслінка 5 може приймати одне із трьох положень, забезпечуючи при цьому змішування зовнішнього і рециркуляційного повітря з повітропроводу 4 у змішувальній камері 7, а також подачу в магістральний повітропровід тільки рециркуляційного або зовнішнього повітря.

1 – повітропровід припливної шахти; 2 – виконавчий механізм; 3 – противага; 4 – повітропровід; 5 – змішувальна заслінка; 6 – магістральний повітропровід; 7 – змішувальна камера; 8 – підігрівач.

Рисунок 3.2 – Схема змішувального клапана.

Для підтримки заданої відносної вологості повітря в сховищі застосовують зволожувачі або осушувачі повітря різних систем.

## 2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

**Умови розрахунку.** Обґрунтовується технологія зберігання і визначення інтенсивності активного вентилявання для сховища місткістю  $M$ , т, для зберігання кореневульбоплодів у контейнерах.

Сховище висотою  $h$ , м має  $n$  відділень зберігання довжиною  $L$ , м, шириною  $B$ , м, кожне і перебуває в районі з розрахунковою зимовою температурою  $t_3$ , °С.

Розрахунок проводиться за трьома або чотирма фазами охолодження. Середня температура припливного повітря (за фазами охолодження) з урахуванням підігріву у вентиляторі  $t_{n1}$ ,  $t_{n2}$ ,  $t_{n3}$ , °С, середня температура зовнішнього повітря за фазами охолодження  $t_{31}$ ,  $t_{32}$ ,  $t_{33}$ , °С, середньорічна температура зовнішнього повітря  $t_{cs}$ , °С. Вентилятор працює в добу  $\tau_d$  годин.

**Визначити.** Середні початкові і кінцеві температури та загальну фізіологічну теплоту за фазами охолодження, приведену питому площу поверхонь огорожень сховища, коефіцієнти тепловіддачі, додаткової теплоти і робочого часу вентиляторів, потрібну питому подачу вентиляваного повітря та максимальне значення питомої подачі вентиляваного повітря.

Методика теплотехнічного розрахунку системи активного вентилявання базується на термодинамічній теорії тепловологісних процесів, які протікають всередині штабеля продукції, що зберігається.

За цією методикою інтенсивність вентиляції для періоду охолодження плодів і овочів розраховують за окремими фазами з урахуванням безперервного змінення температури повітря, яке поступає в сховище і яке видаляється з нього по мірі охолодження штабеля продукції.

Звичайно значення початкової  $t_{nc}$ , і кінцевої (зберігання)  $t_{kc}$  температури визначають за графіком змінення температури зовнішнього повітря в осінні місяці (вересень-листопад) і розраховують середню температуру повітря для кожної фази охолодження. В додатку А наведені значення температур  $t_{nc}$ ,  $t_{kc}$  та тривалості повного періоду охолодження  $\tau_{нов}$  деяких продуктів при розрахунковій зимовій температурі району зберігання  $t_{p3} = -20$  °С,  $t_{p3} = -30$  °С,  $t_{p3} = -40$  °С.

Кількість і тривалість періодів охолодження  $\tau_{\phi}$  приймають за додатком А і нормативним значенням: при охолодженні овочів і фруктів  $\tau_{\phi} = 5$  діб та при охолодженні картоплі  $\tau_{\phi} = 10$  діб.

Тривалість останнього періоду не повинна бути більше двох значень  $\tau_{\phi}$  (нормативних). Так, для картоплі, при  $t_{ps} = -20^{\circ}\text{C}$  значення повного терміну  $\tau_{нов.} = 42$  доби враховуючи, що  $\tau_{\phi} = 10$  діб, маємо три періоди по 10 діб і один період з  $\tau_{\phi} = 12$  діб.

При проведенні практичних розрахунків систем вентиляції середню температуру повітря для кожної фази охолодження рослинної продукції вибирають самостійно по аналогії.

При цьому середні початкові і кінцеві температури охолодження продукції фаз охолодження розраховують за наступними формулами (умовна розбивка):

а) для 3-х фаз:

1-а фаза  $t_{11} = t_{нч}$ ,  $t_{12} = 0,7 t_{нч}$ ;

2-а фаза  $t_{21} = t_{12}$ ,  $t_{22} = 0,4 t_{нч}$ ;

3-я фаза  $t_{31} = t_{22}$ ,  $t_{32} = t_{кц}$

б) для 4-х фаз:

1-а фаза  $t_{11} = t_{нч}$ ,  $t_{12} = 0,8 t_{нч}$ ;

2-а фаза  $t_{21} = t_{12}$ ,  $t_{22} = 0,6 t_{нч}$ ;

3-я фаза  $t_{31} = t_{22}$ ,  $t_{32} = 0,4 t_{кц}$

4-а фаза  $t_{41} = t_{32}$ ,  $t_{42} = t_{кц}$

Охолодження по фазах проводять з поступовим зниженням кінцевої температури охолоджуваної продукції до температури зберігання.

Питому подачу вентиляційного повітря для заданої тривалості фази охолодження продукції визначають за формулою:

$$V = [1000 \cdot c \cdot \varepsilon_{\phi} \cdot \varepsilon_{\delta} / (\tau_{\phi} \cdot \varepsilon_p \cdot \rho_n \cdot c_n \cdot \chi)] \cdot \ln[(t_1 - t_n) / (t_2 - t_n)], \quad (3.1)$$

де  $c$  - масова теплоємність продукту, кДж/кг·К;  $\varepsilon_{\phi}$  - коефіцієнт, що враховує фізіологічну теплоту, що виділяє продукція (теплота дихання);  $\varepsilon_{\delta}$  - коефіцієнт, що враховує додаткові джерела теплоти;  $\tau_{\phi}$  - тривалість фази охолодження, год;  $\varepsilon_p$  - коефіцієнт робочого часу вентиляторів;  $\rho_n$  - щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $c_n$  - питома ізобарна теплоємність повітря, кДж/К·кг;  $\chi$  - коефіцієнт, що враховує тепловий ефект охолодження випаром;  $t_1$ ,  $t_2$  - початкова і кінцева температура фази охолодження продукту, °С;  $t_n$  - температура припливного повітря на даній фазі охолодження, °С.

Розглянемо послідовно порядок визначення складових формули (3.1):

- значення масової теплоємності  $c$  продукту за додатком Б;



- коефіцієнт, що враховує теплоту дихання, визначається за виразом:

$$\varepsilon_{\phi} = 1 + [q_{\phi} / 1000 \cdot c \cdot (t_1 - t_2)], \quad (3.2)$$

де  $q_{\phi}$  - загальна фізіологічна теплота, яка виділяється продукцією за дану фазу охолодження, кДж/кг;  $t_1, t_2$  - початкова і кінцева для даної фази температура продукції, що охолоджується °С.

- загальна фізіологічна теплота, яка виділяється продукцією, визначається за формулою:

$$q_{\phi} = 3,6[0,93 - 0,13 \cdot v \cdot (t_1 - t_2)](e^{v t_1} - e^{v t_2})q_0 \cdot \tau_{\phi} / [v \cdot (t_1 - t_2)], \quad (3.3)$$

де  $v$  - температурний коефіцієнт швидкості дихання (додаток Б);  $q_0$  - питома теплота дихання продукції при 0 °С Вт/т (додаток Б); значення  $\tau_{\phi}$  підставляється в секундах (1 доба = 86400 с).

- коефіцієнт, що враховує додаткові джерела теплоти визначається за наступним виразом:

$$\varepsilon_0 = 1 + (3,6k_0 \cdot A_0 \cdot \varepsilon_0(t_{zp} - 0,5(t_1 + t_2))\tau_{\phi} + m_m \cdot c_m(t_1 - t_2)) / 1000 \cdot c(t_1 - t_2), \quad (3.4)$$

де  $k_0$  - середньозважений коефіцієнт теплопередачі через огороження, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $A_0$  - приведена питома площа поверхонь всіх огорожень сховища, м<sup>2</sup>/т;  $\varepsilon_0 = 0,65$  - коефіцієнт теплопритоків через огороження, що показує яка частина з них переходить до вентиляційного повітря (приймають для активного вентилявання повітря за дану фазу охолодження продукції), °С;  $t_{zp}$  - середня температура зовнішнього повітря за фазами охолодження °С;  $m_m$  - питома маса тари, кг/т, (можна прийняти для дерев'яної тари  $m_m = 150$  кг/т, для металевої –  $m_m = 300$  кг/т);  $c_m$  - масова теплоємність тари, кДж/(кг·К), для дерев'яної тари цей показник  $c_m = 2,6$  кДж/(кг·К), для металевої –  $0,46$  кДж/(кг·К).

- коефіцієнт робочого часу вентиляторів, визначається як:

$$\varepsilon_p = \tau_c / 24, \quad (3.5)$$

де  $\tau_c$  - середнє число роботи вентиляторів за добу,  $\tau_c = 5...6$  год

- щільність повітря при температурі припливного повітря  $t_n$  в даній фазі охолодження визначається за формулою:

$$\rho_n = 346 / (273 + t_n). \quad (3.6)$$

- питома ізобарна теплоємність повітря при розрахунках приймається  $c_n = 1,0$  кДж/К·кг.

Приведена питома площа поверхні всіх огорожень сховища, м<sup>2</sup>/т:

$$A_0 = [2(B + L) \cdot (h/\varepsilon_u) + B \cdot L \cdot \varepsilon_n] / M, \quad (3.7)$$

де  $B, L$  - ширина і довжина сховища; м<sup>2</sup>;  $h$  - максимальна висота штабеля, м;  $\varepsilon_u$  - коефіцієнт використання висоти сховища;  $\varepsilon_n$  - коефіцієнт, що враховує теплопередачу через підлогу;  $M$  - повна місткість сховища.

При розрахунках приймається  $\varepsilon_u = 0,75 \dots 0,8$  і  $\varepsilon_n = 0,75$ .

Середньозважений коефіцієнт теплопередачі через огороження сховища визначається як:

$$k_0 = (k_{cm} \cdot A_{cm} + k_{нок} \cdot A_{нок} \cdot \varepsilon_n) / A_0, \quad (3.8)$$

де  $k_{cm}, k_{нок}$  - коефіцієнти теплопередачі через огороження відповідно стіни і покриття, Вт/(м<sup>2</sup>·К) (додаток В);  $A_{cm}, A_{нок}$  - питомі площі поверхні стін і покриття (площа стін або покриття, віднесена до одиниці маси продукції, що зберігається), м<sup>2</sup>/т.

$$A_{cm} = 2(L + B) \cdot h / M, \quad (3.9)$$

$$A_{нок} = L \cdot B / M. \quad (3.10)$$

Коефіцієнт, що враховує тепловий ефект випарного охолодження продукції (для інтервалу температур від -2 до +13 °С) визначається за наступною формулою:

$$\chi = (41,6 - \tau_n) / (24,4 - \tau_n). \quad (3.11)$$

За результатами визначення питомої подачі вентиляційного повітря проводиться подальший розрахунок системи вентиляції з визначенням конструктивних параметрів повітропроводів та вибором вентиляторів.

Розрахункову потрібну подачу вентиляторів (м<sup>3</sup>/год) визначають за максимальним значенням питомої подачі вентиляційного повітря за наступною формулою:

$$L_n = V \cdot M. \quad (3.12)$$

В залежності від значення розрахункової потрібної подачі вентиляторів і розмірів сховища приймається попередня кількість венти-

ляторів певного типорозміру. При місткості  $M \geq 800$  т приймають не менш двох вентиляторів.

Площі поперечних перерізів магістральних і розподільчих вентиляційних каналів визначають виходячи з витрат повітря і максимально допустимої швидкості його руху за формулою:

$$s = L_{нк} / 3600v, \quad (3.13)$$

де  $L_{нк}$  - подача повітря через канал, що розраховується, м<sup>3</sup>/год;  
 $v$  - швидкість руху повітря в даному каналі, м/с. В магістральних каналах значення швидкості не повинне перевищувати 8...10 м/с, в розподільних каналах – 4...5 м/с.

Розрахункове значення (Па), яке повинен розвивати вентилятор, розраховують за формулою:

$$p_e = 1,1[\sum(RI + Z) + p_{np}], \quad (3.14)$$

де  $1,1$  - запас тиску на непередбачені опори;

$\sum(RI + Z)$  - втрата тиску на тертя і в місцевих опорах у найбільш довгій гілці вентиляційної сітки, Па;

$p_{np}$  - опір насипу продукції, Па.

$$p_{np} = p'_{np} \cdot h_n, \quad (3.15)$$

де  $p'_{np}$  - питомий опір одного метра насипу продукту;  $h_n$  - висота насипу продукту або висота штабелю контейнерів, м.

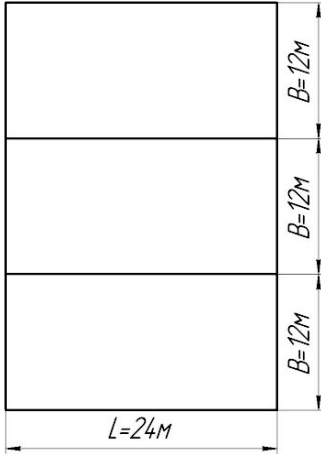
Значення питомого опору одного метра насипу продукту залежить від виду самого продукту і питомої подачі вентиляційного повітря. Цей показник визначається за відповідними нормативами.

Після розрахунку опорів конкретної мережі магістральних і розподільчих каналів остаточно приймається кількість і характеристики вентиляторів та уточнюються їх типорозміри і марки.

### 3 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

**Вихідні дані. Умови розрахунку.** Об'єкт зберігання – морква; сховище місткістю **1000 т**; спосіб зберігання – у контейнерах.

Сховище висотою  $h = 3,6$  м має **3** відділення зберігання довжиною  $L = 24$  м, шириною  $B = 12$  м кожне і перебуває в районі з розрахунковою зимовою температурою  $t_z = -20$  °С.



Розрахунок проводиться за трьома фазами охолодження.

Середня температура припливного повітря (за фазами охолодження) з урахуванням підігріву у вентиляторі  $t_{n1} = 6,2$  °С,  $t_{n2} = 3,4$  °С,  $t_{n3} = -2,2$  °С, середня температура зовнішнього повітря за фазами охолодження  $t_{z1} = -3,8$  °С,  $t_{z2} = 3,0$  °С,  $t_{z3} = 2,7$  °С, середньорічна температура зовнішнього повітря  $t_{cz} = 3,8$  °С. Вентилятор працює в добу  $\tau_0 = 6$  годин.

Рисунок 3.3 – План сховища.

**Визначити.** питому подачу вентилязованого повітря по кожній фазі охолодження, максимальне значення питомої подачі повітря та попередньо вибрати вентилятори..

#### Розрахунок

1. За додатком А по значенню розрахункової зимової температури  $t_z = -20$  °С знаходимо значення початкової і кінцевої температури продукції за повний період охолодження  $t_{нч1} = 15$  °С,  $t_2 = 0$  °С. Тривалість повного періоду  $\tau_{пов} = 16$  годин.

Тривалість кожної фази  $\tau_{ф1} = 5$  діб,  $\tau_{ф2} = 5$  діб і  $\tau_{ф6} = 6$  діб.

2. Температура початку і кінця кожної фази складає:

1-а фаза  $t_{11} = t_{нч} = 15$  °С;  $t_{12} = 0,7 t_{нч} = 0,7 \cdot 15 = 10,5$  °С;

2-а фаза  $t_{21} = t_{12} = 10,5$  °С;  $t_{22} = 0,4 t_{нч} = 0,4 \cdot 15 = 6,0$  °С;

3-я фаза  $t_{31} = t_{22} = 6,0$  °С;  $t_{32} = t_{кц} = 0$  °С.

3. Загальна фізіологічна теплота, яка виділяється продукцією, розраховується за формулою (3.3)  $\epsilon = 0,1319$  1/°C і теплота дихання при 0°C  $q_0 = 13,5$  Вт/т:

$$q_{\phi} = 3,6[0,93 - 0,13 \cdot \epsilon \cdot (t_1 - t_2)](e^{\epsilon t_1} - e^{\epsilon t_2})q_0 \cdot \tau_{\phi} / [\epsilon \cdot (t_1 - t_2)].$$

1-а фаза

$$q_{\phi 1} = 3,6[0,93 - 0,13 \cdot 0,1319 \cdot (15 - 10,5)](e^{0,1319 \cdot 15} - e^{0,1319 \cdot 10,5}) \times \\ \times 13,5 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 86400 / [0,1319 \cdot (15 - 10,5)] = 97825 \text{ кДж} / \text{кг};$$

2-а фаза

$$q_{\phi 2} = 3,6[0,93 - 0,13 \cdot 0,1319 \cdot (10,5 - 6,0)](e^{0,1319 \cdot 10,5} - e^{0,1319 \cdot 6,0}) \times \\ \times 13,5 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 86400 / [0,1319 \cdot (10,5 - 6,0)] = 54018 \text{ кДж} / \text{кг};$$

3-а фаза

$$q_{\phi 3} = 3,6[0,93 - 0,13 \cdot 0,1319 \cdot (6,0 - 0)](e^{0,1319 \cdot 6,0} - e^{0,1319 \cdot 0}) \times \\ \times 13,5 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 86400 / [0,1319 \cdot (6,0 - 0)] = 26498 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

4. Коефіцієнт, який враховує фізіологічну теплоту, що виділяє продукція (теплота дихання) за формулою (3.2) при  $c = 3,73$  кДж/(кг·К):

$$\epsilon_{\phi} = 1 + [q_{\phi} / 1000 \cdot c \cdot (t_1 - t_2)].$$

1-а фаза

$$\epsilon_{\phi 1} = 1 + [97825 / 1000 \cdot 3,73 \cdot (15 - 10,5)] = 6,83;$$

2-а фаза

$$\epsilon_{\phi 2} = 1 + [54018 / 1000 \cdot 3,73 \cdot (10,5 - 6,0)] = 4,22;$$

3-я фаза

$$\epsilon_{\phi 3} = 1 + [26498 / 1000 \cdot 3,73 \cdot (6,0 - 0)] = 2,18.$$

5. Приведена питома площа поверхні всіх огорожень сховища, м<sup>2</sup>/т розраховується за формулою (3.7) при значеннях коефіцієнтів  $\epsilon_u = 0,8$  і  $\epsilon_n = 0,75$  і урахуванням того, що сховище складається з 3-х секцій  $B = 12$  м,  $L = 24$  м:

$$A_0 = [2(B + L) \cdot (h / \epsilon_u) + B \cdot L \cdot \epsilon_n] / M,$$

$$A_0 = [2(3 \cdot 12 + 24) \cdot (3,6 / 0,8) + 3 \cdot 12 \cdot 24 \cdot 0,75] / 1000 = 1,19 \text{ м}^2/\text{т}.$$

6. Питомі площі поверхні стін і покриття (площа стін або покриття, віднесена до одиниці маси продукції, що зберігається), м<sup>2</sup>/т визначається за формулами (3.9) та (3.10):

$$A_{cm} = 2(L + 3B) \cdot h / M.$$

$$A_{cm} = 2(24 + 3 \cdot 12) \cdot 3,6 / 1000 = 0,432 \text{ м}^2/\text{т};$$

$$A_{нок} = L \cdot 3B / M.$$

$$A_{нок} = 24 \cdot 3 \cdot 12 / 1000 = 0,864 \text{ м}^2/\text{т}.$$

7. Середньозважений коефіцієнт теплопередачі через огороження сховища визначається за формулою (8) при коефіцієнтах теплопередачі через огороження  $k_{cm} = 0,4$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) та  $k_{нок} = 0,35$  Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$k_0 = (k_{cm} \cdot A_{cm} + k_{нок} \cdot A_{нок} \cdot \varepsilon_n) / A_0,$$

$$k_0 = (0,4 \cdot 0,432 + 0,35 \cdot 0,864 \cdot 0,75) / 1,19 = 0,335.$$

8. Коефіцієнт, що враховує додаткові джерела теплоти визначається за формулою (4),  $\tau_\phi$  підставляється в годинах:

$$\varepsilon_0 = 1 + (3,6k_0 \cdot A_0 \cdot \varepsilon_0(t_{зф} - 0,5(t_1 + t_2))\tau_\phi + m_m \cdot c_m(t_1 - t_2)) / 1000 \cdot c(t_1 - t_2).$$

1-а фаза

$$\varepsilon_{01} = 1 + (3,6 \cdot 0,335 \cdot 1,19 \cdot 0,65(-3,8 - 0,5(15 + 10,5)) \cdot 5 \cdot 24 + 150 \cdot 2,6(15 - 10,5)) / 1000 \cdot 3,73(15 - 10,5) = 0,99;$$

2-а фаза

$$\varepsilon_{02} = 1 + (3,6 \cdot 0,335 \cdot 1,19 \cdot 0,65(3,0 - 0,5(10,5 + 6,0)) \cdot 5 \cdot 24 + 150 \cdot 2,6(10,5 - 6,0)) / 1000 \cdot 3,73(10,5 - 6,0) = 1,07;$$

3-я фаза

$$\varepsilon_{03} = 1 + (3,6 \cdot 0,335 \cdot 1,19 \cdot 0,65(2,7 - 0,5(6,0 + 0)) \cdot 6 \cdot 24 + 150 \cdot 2,6(6,0 - 0)) / 1000 \cdot 3,73(6,0 - 0) = 1,1.$$

9. Коефіцієнт робочого часу вентиляторів за формулою (3.5):

$$\varepsilon_p = \tau_c / 24,$$

$$\varepsilon_p = 6/24 = 0,25.$$

10. Щільність повітря при температурі припливного повітря  $t_n$  в кожній фазі охолодження визначається за формулою (3.6):

$$\rho_n = 346 / (273 + t_n).$$

1-а фаза

$$\rho_{n1} = 346 / (273 + 6,2) = 1,24 \text{ кг/см}^3;$$

2-а фаза

$$\rho_{n2} = 346 / (273 + 3,4) = 1,25 \text{ кг/см}^3;$$

3-я фаза

$$\rho_{n3} = 346 / (273 + (-2,2)) = 1,27 \text{ кг/см}^3.$$

11. Коефіцієнт, що враховує тепловий ефект випарного охолодження продукції визначається за формулою (3.11):

$$\chi = (41,6 - \tau_n) / (24,4 - \tau_n).$$

1-а фаза

$$\chi_1 = (41,6 - 6,2) / (24,4 - 6,2) = 1,95;$$

2-а фаза

$$\chi_2 = (41,6 - 3,4) / (24,4 - 3,4) = 1,81;$$

3-я фаза

$$\chi_2 = (41,6 - (-2,2)) / (24,4 - (-2,2)) = 1,65.$$

12. Питома подача вентиляційного повітря для заданої тривалості фази охолодження продукції за розраховується за формулою (3.1), питому ізобарну теплоємність повітря приймаємо  $c_n = 1,0$  кДж/К·кг:

1-а фаза

$$V = [1000 \cdot c \cdot \varepsilon_\phi \cdot \varepsilon_\delta / (\tau_\phi \cdot \varepsilon_p \cdot \rho_n \cdot c_n \cdot \chi)] \cdot \ln[(t_1 - t_n) / (t_2 - t_n)];$$

$$V_1 = [1000 \cdot 3,73 \cdot 6,83 \cdot 0,99 / (5 \cdot 24 \cdot 0,25 \cdot 1,24 \cdot 1 \cdot 1,95)] \times \\ \times \ln[(15 - 6,2) / (10,5 - 6,2)] = 249 \text{ м}^3 / \text{м} \cdot \text{год};$$

2-а фаза

$$V_2 = [1000 \cdot 3,73 \cdot 4,22 \cdot 1,07 / (5 \cdot 24 \cdot 0,25 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1,81)] \times \\ \times \ln[(10,5 - 3,4) / (6,0 - 3,4)] = 246 \text{ м}^3 / \text{м} \cdot \text{год};$$

3-я фаза

$$V_3 = [1000 \cdot 3,73 \cdot 2,18 \cdot 1,1 / (6 \cdot 24 \cdot 0,25 \cdot 1,27 \cdot 1 \cdot 1,65)] \times \\ \times \ln[(6,0 - (-2,2)) / (0 - (-2,2))] = 156 \text{ м}^3 / \text{м} \cdot \text{год}.$$

13. Розрахункова потрібна подача вентиляторів визначена значенням питомої подачі вентиляційного повітря в першій фазі за формулою (3.12) складе:

$$L_n = 249 \cdot 1000 = 249000 \text{ м}^3/\text{год}.$$

У зв'язку з тим, що у завданні на розрахунок не наведені відомості про конструкцію і параметри мережі повітропроводів сховища у даному прикладі обмежимося тільки попереднім вибором вентиляторів.

Прийнявши тиск вентилятора  $p = 150$  Па за додатком Г можна вибрати 9 вентиляторів марки АФМ-800.8.34 (по три на кожен секцію сховища) з продуктивністю 28060 м<sup>3</sup>/год (28060 × 9 = 252540); потужність двигуна 3,0 кВт; маса 62 кг.

### Література

1. Глушенко Н.А., Глущенко Л.Ф. Сооружения и оборудование для хранения продукции растениеводства и животноводства. М.: КолосС, 2009. 303 с.

2. Ямпиров С.С., Хараев Г.И., Хангураев А.Г. Методическое указание по расчету систем охлаждения и вентилирования хранилищ продуктов растениеводства. Улан-Уде, 2004, 27 с.

### Додаток А (довідковий)

Температурно-часові характеристики зберігання плодів і овочів

Продукція	Розрахункова зимова температура району зберігання								
	$t_{pz} = -20$ °С			$t_{pz} = -30$ °С			$t_{pz} = -40$ °С		
	$t_{нч}$ , °С	$t_{кц}$ , °С	$\tau_{нов}$ , діб	$t_{нч}$ , °С	$t_{кц}$ , °С	$\tau_{нов}$ , діб	$t_{нч}$ , °С	$t_{кц}$ , °С	$\tau_{нов}$ , діб
Картопля	20	4	42	15	4	32	15	4	31
Коренеплоди	15	0	16	10	0	16	10	0	16
Капуста	15	0	16	10	0	16	10	0	17
Яблука:									
- літні	25	0	15	20	0	20	20	0	15
- осінні	22	0	15	18	0	18	18	0	15
- зимові	20	0	15	15	0	15	15	0	15



Додаток Б  
(довідковий)

Основні теплофізичні характеристики продуктів

Продукт	Щільність, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Питома теплоємність, $c$ , кДж/(кг·К)	Теплота дыхання, $q_0$ , Вт/т	Температурний коефіцієнт дыхання, $\nu$ , 1/°С
Картопля	1080	3,56	10,0	0,0617
Капуста	730	4,1	14,5	0,0778
Буряк	1050	3,83	19,6	0,0717
Морква	1040	3,73	13,5	0,1319
Яблука	860	3,77	12,1	0,0932

Додаток В  
(довідковий)

Значення коефіцієнта теплопередачі через огороження сховищ

Огороження	Внутрішня температура	$k_{ст}$ або $k_{нок}$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К) при $t_{cp}$		
		0 і нижче	1...8 °С	9 °С і вище
Зовнішні стіни	0	0,47	0,4	0,3
	4	0,47	0,44	0,34
Покриття	0	0,41	0,35	0,29
	4	0,41	0,35	0,29

$t_{cp}$  - середньорічна температура зовнішнього повітря

Додаток Г  
(довідковий)

Характеристика осьових вентиляторів для овочесховищ

Марка	Продуктивність, м <sup>3</sup> /год при тиску			Потужність, кВт	Маса, кг
	100 Па	150 Па	200 Па		
ASP-800-2,2	27000	24800	22320	2,2	62
ASP-800-3,0	30240	28080	25920	3,0	62
ASP-800-4,0	34300	32040	29520	4,0	62
ASP-900-2,2	29340	26630	24120	2,2	71
ASP-900-3,0	33840	31320	28800	3,0	71
ASP-900-4,0	39240	36720	34200	4,0	71
ASP-900-5,5	44280	42300	39600	5,5	71
AFM-800.8.30	27000	24800	22320	2,2	62
AFM-800.8.34	30240	28060	25920	3,0	62
AFM-800.10.37	34200	32040	29520	4,0	62
AFM-900.8.27	33840	31320	28800	3,0	71
AFM-900.8.31	39240	36720	34200	4,0	71
AFM-900.8.36	44280	42300	39600	5,5	71

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4

### РОЗРАХУНОК ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ

**Мета роботи:** вивчення методики визначення товщини теплової ізоляції камери холодильника та розрахунку всіх видів теплових навантажень на холодильну камеру.

#### 1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

##### 1.1 Відомості про теплоізоляцію стін холодильників

Будівельні конструкції, які містять, крім будівельного матеріалу, шари тепло-, паро- і гідроізоляції, називають ізоляційними конструкціями.

Основною вимогою при проектуванні ізоляційних конструкцій холодильників є забезпечення безперервності шарів тепло-, паро- і гідроізоляції. При розташуванні цих шарів у конструкції необхідно дотримуватися наступних правил:

- матеріали з високими значеннями коефіцієнта теплопровідності, щільні, малопроникні розташовують із зовнішньої (теплої) сторони огороження;

- паро- і гідроізоляційний шар поміщають з теплої сторони перед теплоізоляційним шаром і в жодному разі не всередині останнього.

Теплоізоляційними називають матеріали, які застосовують в будівництві з метою зменшення теплових втрат в навколишнє середовище.

Теплоізоляційні матеріали характеризуються пористою будовою і, як наслідок цього, малою щільністю (не більше  $600 \text{ кг/м}^3$ ) і низькою теплопровідністю (не більше  $0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ).

Теплоізоляційні матеріали класифікують за видом основної сировини, формою і зовнішнім виглядом, структурою, щільністю, твердістю та теплопровідністю.

За формою і зовнішнім виглядом розрізняють теплоізоляційні матеріали штучні жорсткі (плити, шкарлупи, сегменти, цеглини, циліндри) та гнучкі (мати, шнури, джгути), пухкі та сипучі (вата, перлітовий пісок, вермикуліт).

За структурою теплоізоляційні матеріали класифікують на волокнисті (мінераловатні, скловолокнисті), зернисті (перлітові, вермикулітні), ніздрюваті (вироби з ніздрюватих бетонів, піноскло).

За щільністю теплоізоляційні матеріали поділяють на марки: 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600.

У залежності від жорсткості (відносної деформації) розрізняють матеріали м'які (М) – мінеральна і скляна вата, вата з каолінового та базальтового волокна, напівжорсткі (Н) – плити з шпательного скловолокна на синтетичній зв'язці та ін., жорсткі (Ж) – плити з мінеральної вати на синтетичній зв'язці, підвищеної жорсткості (ПЖ), тверді (Т).

За теплопровідністю теплоізоляційні матеріали поділяються на класи: А – низької теплопровідності до  $0,06 \text{ Вт}/(\text{ м}\cdot\text{°C})$ , Б – середньої теплопровідності - від  $0,06$  до  $0,115 \text{ Вт}/(\text{ м}\cdot\text{°C})$ , В – підвищеної теплопровідності - від  $0,115$  до  $0,175 \text{ Вт}/(\text{ м}\cdot\text{°C})$ .

Теплоізоляційні матеріали повинні бути біостійкими тобто не зазнавати загнивання і псування комахами та гризунами, сухими, з малою гігроскопічністю, тому що при зволоженні їх теплопровідність значно підвищується, хімічно стійкими, а також мати тепло- і вогнестійкість.

Теплоізоляційні матеріали за видом основної сировини поділяються на неорганічні; виготовлені на основі різних видів мінеральної сировини (гірських порід, шлаків, скла, азбесту), органічні, сировиною для виробництва яких служать природні органічні матеріали (торф'яні, дереволокнисті) та матеріали із пластичних мас.

Зовнішні і внутрішні стіни, перегородки, стеля та підлога (т. з. огороження) являють собою багатошарові конструкції (див. додаток А), обов'язковим компонентом яких є теплоізоляційний шар.

Важливим інженерним завданням є правильний вибір товщини теплоізоляційного шару в огороженнях. Адже, з одного боку, якщо прийняти занадто товстий шар теплоізоляції, це приведе до істотного зростання капітальних витрат при будівництві холодильника. З іншого боку, занадто мала товщина ізоляції визначить більші теплопритоки в камери через зовнішні огороження холодильника, що спричинить різке збільшення витрат електроенергії при його експлуатації.

Теплоізоляцію слід розташовувати з більш холодної сторони, тобто з внутрішньої сторони огороження камери. Перегородки між холодними камерами виконують із твердих плиткових матеріалів або пінобетонних блоків. Перегородки із твердих плитних матеріалів по товщині бувають двошарові (100 мм), тришарові (150 мм) та чотиришарові (200 мм). Перегородки з пінобетону проектують товщиною 250, 400 мм.

Для захисту теплоізоляційних конструкцій від проникнення в них вологи застосовуються гідроізоляційні матеріали: бітум, толь, руберойд, плівки з поліетилену, поліамідні плівки та ін. матеріали.

Розрахунок теплоізоляції огорожень полягає у визначенні товщини ізоляційного шару, виходячи із установленого нормативною документацією значення коефіцієнта теплопередачі для відповідного огороження.

Товщину ізоляційного шару огороження ( $m$ ) визначають за наступною формулою 4.1:

$$\delta_{iz} = \lambda_{iz} \left[ \frac{1}{K} - \left( \frac{1}{\alpha_{zn}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) \right], \quad (4.1)$$

де  $K$  - коефіцієнт теплопередачі огороження, прийнятий залежно від характеру огороження і температур по обидві сторони від нього, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), (Додаток Б).  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  - товщина шарів конструкції огороження, м;  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  і  $\lambda_{iz}$  - коефіцієнти теплопровідності будівельних матеріалів і теплоізоляції, що входять в конструкцію огороження, прийняті по додатках А або Г, Вт/(м·К).  $\alpha_{zn}, \alpha_{вн}$  - коефіцієнти тепловіддачі з зовнішньої і внутрішньої сторони стіни, прийняті по додатку В, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Для вибору нормативного коефіцієнта теплопередачі ( $K$ ) огороження потрібно знати середньорічну температуру кліматичної зони, у якій розташоване підприємство, і розрахункову літню температуру зовнішнього повітря для даного географічного пункту (додаток Б).

Для покриттів з горіщем коефіцієнти теплопередачі приймаються на 10% більше, чим для покриттів без горіщ.

Величини  $1/\alpha$  і  $\delta/\lambda$  називаються термічними опорами(додаток В), а  $1/K$  – загальним термічним опором

Після визначення товщини теплоізоляційного шару потрібно прийняти її дійсне значення рівному або кратному значенню стандартної товщини плити або листа теплоізоляції, що застосовується.

Після цього визначається дійсне значення коефіцієнта теплопередачі огороження за формулою:

$$K_{\delta} = \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_{zn}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_{iz\delta}}{\lambda_{iz}} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right)}, \quad (4.2)$$

де  $\delta_{i\partial}$  - дійсна товщина теплоізоляції, м.

### 1.1 Теплові навантаження на холодильну камеру

Теплові навантаження на холодильну камеру поділяються на дві категорії: зовнішні і внутрішні (див. рисунок 1).



Рисунок 4.1 – Схема теплових навантажень на холодильну камеру.

Розглянемо етапи розрахунку основних видів теплових навантажень.

1.1.1 Тепловий потік через стіни, підлогу, стелю розраховується за наступними формулами:

$$\text{ - для стін} \quad Q_{ст} = K \cdot S \cdot \Delta t, \text{ Вт}, \quad (4.3)$$

де  $K$  - коефіцієнт теплопередачі стінки, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $A$  - площа поверхні стінки, м<sup>2</sup>;  $\Delta t$  – різниця температур по обидві сторони стіни, °С.

$$\text{- для стелі} \quad Q_{cl} = K \cdot S \cdot (\Delta t + t'), \quad (4.3a)$$

де  $t'$  - додаткова температура нагріву сонячною енергією, приймається в залежності від географічного положення холодильника. Для учбових цілей можна прийняти  $t' = 10 \dots 12$  °С.

$$\text{- для підлоги} \quad Q_{nl} = K \cdot S \cdot (t_n - t_k), \quad (4.3b)$$

де  $t_n$  - температура підігріву основи підлоги,  $t_n = 2$  °С;

$t_k$  - температура в камері.

Сумарний тепловий потік на камеру визначиться як:

$$Q_{сум} = \sum Q_{ст} + Q_{cl} + Q_{nl}. \quad (4.4)$$

### 1.1.2 Теплове навантаження від обмінної вентиляції

Цей вид навантаження розраховується тільки для тих камер, які мають цю вентиляцію (найчастіше в сховищах овочів і фруктів). Свіже повітря, що поступає з зовнішнього середовища повинно охолотитися від зовнішньої температури до температури в холодильній камері, а це представляє собою додаткове теплове навантаження  $Q_{вент}$ .

Це навантаження визначається за формулою:

$$Q_{вент} = G_{нов} \cdot \Delta i, \quad (4.5)$$

де  $G_{нов}$  - приток зовнішнього повітря, кг/с;  $\Delta i$  - різниця ентальпій зовнішнього повітря і повітря, що знаходиться в камері, кДж/кг.

Значення ентальпій повітря знаходяться по діаграмі вологого повітря або зі спеціальних таблиць (в даному посібнику не наводяться).

Разом з цим, цей розрахунок може бути виконаний без використання діаграми за наступною формулою:

$$Q_{вент} = 1,163 \cdot V_{кам} \cdot n \cdot q_{nm} \cdot f / 24 \text{ Вт}, \quad (4.6)$$

де  $V_{кам}$  - об'єм камери, м<sup>3</sup>;  $n$  - добова ступінь поновлення повітря в холодильній камері, доба<sup>-1</sup>;  $q_{nm}$  - питомий теплоприток у камеру (додаток Д);  $f$  - коефіцієнт інтенсивності оновлення повітря. При низькій інтенсивності  $f = 0,5$ , при нормальній  $f = 1,0$ ; при високій інтенсивності  $f = 1,8$ .

Об'єм камери визначиться по осях стін за формулою:

$$V_{\text{кам}} = L \cdot B \cdot H, \quad (4.7)$$

де  $L, B, H$  - довжина, ширина і висота камери, м.

Значення ступеню поновлення визначається як:

$$n = 70 / \sqrt{V_{\text{кам}}}. \quad (4.8)$$

### 1.1.3 Теплове навантаження внаслідок відкриття дверей

Цей вид навантаження (інфільтрація) визначається за формулою:

$$Q_{\text{инф}} = 0,577 S_{\text{дв}} \cdot \sqrt{H} \cdot (Q_s / S_{\text{дв}}) \cdot (1 / R_s) \cdot D_\tau \cdot D_f (1 - E), \quad (4.9)$$

де  $S_{\text{дв}}$  - площа дверей,  $S_{\text{дв}} = H \cdot B = 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ м}^2$ ;  $H = 2,5 \text{ м}$  - висота дверей;  $Q_s / S_{\text{дв}}$  - питомий теплотік на одиницю площі дверного прорізу,  $15 \dots 25 \text{ кВт/м}^2$ ;  $R_s$  - параметр, який характеризує теплотік з урахуванням вологості повітря (додаток Е);  $D_\tau$  - коефіцієнт, що враховує час доби, коли двері лишаються відкритими (для учбових розрахунків  $D_\tau = 0,01 \dots 0,015$ );  $D_f$  - коефіцієнт, що враховує характер повітряного потоку через двері (при різниці температур в камері і за дверима  $7 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $D_f = 1,1$ , при різниці  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $D_f = 0,8$ ;  $E$  - ступінь ефективності захисного пристрою (завіси) дверей (при відсутності захисту  $E = 0$ ; при захисті шторою  $E = 0,2$ ; для повітряної завіси  $E = 0,7$ ).

### 1.1.4 Теплові навантаження при термічній обробці продукту

Такий вид навантажень розраховується для технології, коли продукт заморожується безпосередньо в камері, в якій він буде зберігатися, для випадку зберігання продукту попередньо замороженого у швидкоморозильному апараті до температури нижчої за температуру зберігання, цей вид навантажень не враховується, тобто  $Q_{\text{прод}} = 0$ .

Для випадків, коли камера використовується не тільки в якості камери зберігання, а і як морозильник або доморожувач цей показник визначається як:

$$Q_{\text{прод}} = \frac{(m_{\text{пр}} \cdot c_1 (t_1 - t_2) + m_{\text{пр}} \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_3))}{86400}, \quad (4.10)$$

де  $m_{\text{пр}}$  - добовий вантажообіг продукту, кг;  $t_1$  - початкова температура продукту;  $t_2$  - температура верхньої точки замерзання продукту;  $c_1$  - середня питома теплоємність в інтервалі температур від  $t_1$  до

$t_2$ ;  $t_3$  - температура зберігання продукту;  $c_2$  - середня питома теплоємність в інтервалі температур від  $t_2$  до  $t_3$  [Додаток Є].

Добовий вантажообіг продукту, як правило, приймається в розмірі 10 % від повної місткості камери, яка визначиться за виразом:

$$M = S_{пл} \cdot h_{штм} \cdot \rho_{укл} \cdot \eta_o, \quad (4.11)$$

де  $S_{пл}$  - площа підлоги холодильної камери, м ;  $h_{штм}$  - максимальна висота штабелювання продуктів;  $\rho_{укл}$  - щільність укладання продуктів в камері, кг/м<sup>3</sup> (Додаток Ж);  $\eta_o$  - коефіцієнт розміщення товару на підлозі камери з урахуванням проходів (додаток З).

### 1.1.5 Теплові навантаження на дихання продукції

При зберіганні охолоджені свіжі продукти рослинного походження виділяють тепло, обумовлене біохімічними процесами, що відбуваються в них (так званим „диханням“). Цей ефект є характерним і для деяких тваринних продуктів, зокрема сирів.

При наявності таких продуктів потрібно враховувати відповідне теплове навантаження:

$$Q_{дох} = \frac{m \cdot q_{дох}}{3600}, \quad (4.12)$$

де  $m$  - маса продуктів, кг;  $q_{дох}$  – теплота дихання, Дж/(кг·год).

Теплота дихання визначається тільки для фруктів і овочів, що знаходяться в охолодженому стані, для заморожених продуктів  $Q_{дох} = 0$ .

### 1.1.6 Теплове навантаження від освітлення в камері

Номинальна освітленість камери 60...100 люкс, тому в розрахунках теплове навантаження складає, як правило, 3...6 Вт/м<sup>2</sup>.

У загальному виді теплове навантаження від освітлення розраховується за формулою:

$$Q_{ос} = A \cdot S_{пл}, \quad (4.13)$$

де  $A$  - кількість тепла, яке виділяє освітлення в од. часу на 1 м<sup>2</sup> площі підлоги, Вт/м<sup>2</sup>;  $S$  - площа камери, м<sup>2</sup>.

З урахуванням коефіцієнта одночасності вмикання приймають для складських приміщень (камер зберігання)  $A = 2,3$  Вт/м<sup>2</sup>, камер холодильної обробки, експедицій, завантажувально-розвантажувальної  $A = 4,7$  Вт/м<sup>2</sup>.



### 1.1.7 Теплове навантаження, Вт від присутності персоналу

$$Q_{перс} = \frac{n \cdot q_{перс} \cdot \tau}{24}, \quad (4.14)$$

де  $n$  - кількість персоналу, що працює в холодильній камері;  
 $q_{перс}$  - кількість теплоти, яка виділяється людиною в одиницю часу, Вт;  
 $\tau$  - щоденний час перебування одного співробітника в камері, год.

### 1.1.8 Теплове навантаження від підйомно-транспортних засобів

Найчастіше в якості підйомно-транспортних засобів використовують електронавантажувачі та навантажувачі-штабелери.

$$Q_{пнтз} = n \cdot P \cdot \tau / 24, \text{Вт} \quad (4.15)$$

де  $n$  - число транспортних засобів даного типу;  $P$  - потужність електроприводів ПТЗ, Вт;  $\tau$  - щоденний час роботи ПТЗ, год.

### 1.1.9 Теплове навантаження від інших механізмів в камері

Цей вид навантаження  $Q_{інш}$  визначається за формулою (15) з підстановкою потужності кожного механізму, що знаходиться в камері, Вт.

### 1.1.10 Проміжна холодопродуктивність холодильного обладнання

На цій стадії розрахунку визначається попереднє навантаження випарника у першому наближенні

$$Q_{пром} = \frac{24 \cdot (Q_{сум} + Q_{вен} + Q_{інф} + Q_{прод} + Q_{дих} + Q_{осв} + Q_{перс} + Q_{пнтз} + Q_{інш})}{\tau_p}, \quad (4.16)$$

де  $\tau_p$  - щоденна тривалість роботи холодильної установки, год визначається за додатком К.

### 1.1.11 Теплове навантаження від двигунів вентиляторів і нагрівачів відтавання

У сучасних холодильних камерах з метою забезпечення ефективного перемішування і циркуляції повітря всередині камери всі випарники оснащуються вентиляторами, електродвигуни яких також виділяють теплоту. Крім того при відтаванні випарювачів використовують електричні нагрівачі.

Теплове навантаження від означених пристроїв визначають на першій стадії проектування за наближеною формулою:

$$Q_{пов.ноп.} = (0,1...0,12) Q_{пром} \quad (4.17)$$

### 1.1.12 Попередня холодопродуктивність холодильної установки

$$Q_{0\text{нон.}} = Q_{\text{пром}} + Q_{\text{нов.нон.}} \quad (4.18)$$

Після визначення попередньої потрібної холодопродуктивності вибирається марка, тип і кількість повітроохолоджувачів для їх розташування в камері, розраховується уточнене теплове навантаження по якому і вибирається холодильний агрегат.

$$Q_{\text{нов}} = \frac{(n_1 \cdot P_1 \cdot \tau_{\text{вен}} + 0,3 \cdot n_2 \cdot P_2 \cdot \tau_{\text{відм}})}{\tau_p}, \quad (4.19)$$

де  $n_1$  - число електродвигунів вентиляторів;  $P_1$  - потужність електродвигунів вентиляторів, кВт;  $\tau_{\text{вен}}$  - щоденна тривалість роботи вентиляторів, год;  $n_2$  - число електричних нагрівачів;  $P_2$  - теплова потужність нагрівального елемента, кВт;  $\tau_{\text{відм}}$  - щоденна тривалість відтавання, год.;  $\tau_p$  - щоденна тривалість роботи холодильної установки, год.

## 2 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

**Умови розрахунку.** Розраховуються теплотехнічні параметри камери для зберігання відповідного продукту харчування при певних умовах: температурі  $t$ , °С і відносній вологості  $\phi$ . Наведені температурні і вологісні умови зовнішнього середовища в камерах та приміщеннях, які оточують камеру, що розраховується, на плані холодильника та характеристики стін, підлоги та стелі камери.

**Визначити.** Товщину теплоізоляції стін, підлоги, стелі; величину всіх видів теплопритоків в камері; попередню та уточнену потрібну теплопродуктивність холодильної установки.

### Порядок розрахунків

**Вихідні дані.** Розраховується камера для зберігання м'яса при температурі – 18°С і відносній вологості  $\phi = 85$  %, розміри, план розташування камери на загальному плані холодильника та умови в оточуючих приміщеннях представлені на рисунку 4.2.

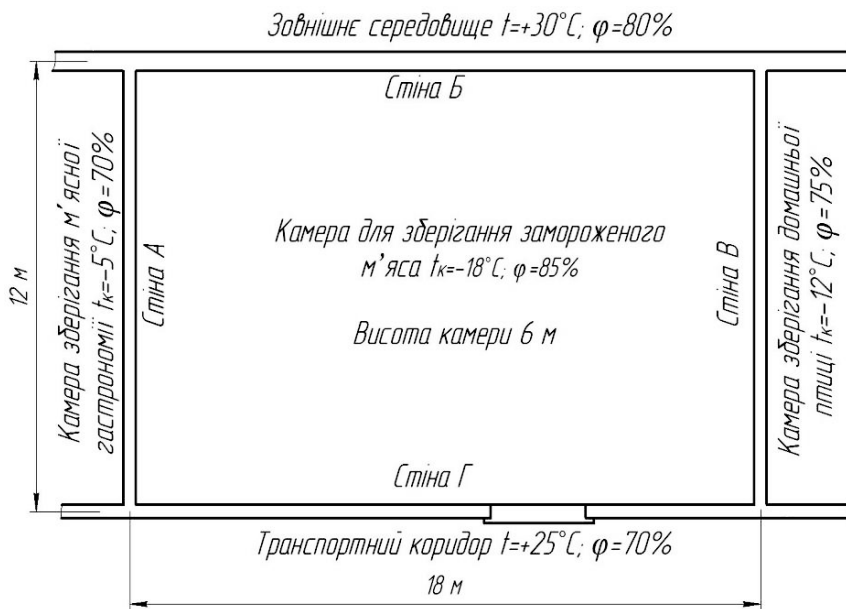


Рисунок 4.2 – План камери зберігання замороженого м'яса.

### 2.1 Характеристика огорожень холодильної камери

Приймається конструкція огорожень камери (додаток А):

- стіни А, В, Г внутрішня панель (III) має 4 шари:

1. Панель з керамзитобетону  $\delta_1 = 0,24$  м;  $\lambda_1 = 0,47$  Вт/(м·К);
2. Пароізоляція. 2 Шари гідроізолу на мастиці  $\delta_2 = 0,004$  м;  $\lambda_2 = 0,3$  Вт/(м·К);
3. Теплоізоляція. Прийняти  $\lambda$ , визначити  $\delta$
4. Штукатурка складним розчином по сітці  $\delta_4 = 0,02$  м;  $\lambda_4 = 0,98$  Вт/(м·К).

- стіна Б зовнішня цегельна стіна (I) має 6 шарів:

1. Штукатурка складним розчином по сітці  $\delta_1 = 0,02$  м;  $\lambda_1 = 0,98$  Вт/(м·К)
2. Теплоізоляція. Прийняти  $\lambda$ , визначити  $\delta$

3. Пароізоляція. 2 шари гідроізолу на мастиці  $\delta_3 = 0,004$  м;  $\lambda_3 = 0,3$  Вт/(м·К);
4. Штукатурка цементно-пісчана  $\delta_4 = 0,02$  м;  $\lambda_4 = 0,93$  Вт/(м·К);
5. Кладка цегляна  $\delta_5 = 0,38$  м;  $\lambda_5 = 0,81$  Вт/(м·К);
6. Штукатурка складним розчином  $\delta_6 = 0,02$  м;  $\lambda_6 = 0,93$  Вт/(м·К).

- покриття (стеля=дах без горіща) (IV) має 5 шарів:

1. П'ять шарів гідроізолу  $\delta_1 = 0,012$  м;  $\lambda_1 = 0,30$  Вт/(м·К);
2. Стяжка з бетону по металевій сітці  $\delta_2 = 0,04$  м;  $\lambda_2 = 1,86$  Вт/(м·К);
3. Пароізоляція (шар пергаміну)  $\delta_3 = 0,001$  м;  $\lambda_3 = 0,15$  Вт/(м·К);
4. Теплоізоляція. Прийняти  $\lambda$ , визначити  $\delta$ ;
5. Залізобетонна плита переkritтя  $\delta_5 = 0,035$  м;  $\lambda_5 = 2,04$  Вт/(м·К).

- підлога (V) має 7 шарів:

1. Монолітне бетонне покриття  $\delta_1 = 0,04$  м;  $\lambda_1 = 1,86$  Вт/(м·К);
2. Армобетонна стяжка  $\delta_2 = 0,08$  м;  $\lambda_2 = 1,86$  Вт/(м·К);
3. Пароізоляція (шар пергаміну)  $\delta_3 = 0,001$  м;  $\lambda_3 = 0,15$  Вт/(м·К);
4. Теплоізоляція. Прийняти  $\lambda$ , визначити  $\delta$ ;
5. Цементно-пісчаний розчин  $\delta_5 = 0,025$  м;  $\lambda_5 = 0,98$  Вт/(м·К);
6. Пісок ущільнений  $\delta_6 = 1,035$  м;  $\lambda_6 = 0,58$  Вт/(м·К)
7. Бетонний шар з електронагрівом – не враховується.

Приймаємо коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·°С):

Стіна А:  $K = 0,41$ ; Стіна Б:  $K = 0,22$ ; Стіна В:  $K = 0,52$ ;  
 Стіна Г:  $K = 0,25$ ; Покриття:  $K = 0,20$ ; Підлога:  $K = 0,215$ .

Коефіцієнти тепловіддачі:

Стіна А:  $\alpha_{zn} = 8$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_{вн} = 11$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);

Стіна Б:  $\alpha_{zn} = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_{вн} = 11$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);

Стіна В:  $\alpha_{zn} = 9$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_{вн} = 11$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);

Стіна Г:  $\alpha_{zn} = 8$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_{вн} = 11$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);

Стеля:  $\alpha_{zn} = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_{вн} = 11$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);

Підлога:  $\alpha_{zn} = 6$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_{вн} = 11$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);

## 2.2 Розрахунок шару теплоізоляції огорожень

Приймаємо в якості теплоізоляції Пінополістирол ПСБ-С з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda_{із} = 0,04...0,045$  Вт/(м·К) (додаток Г) За формулою (4.1) визначаємо товщину теплоізоляції:

$$\delta_{ізА} = 0,04 \left[ \frac{1}{0,41} - \left( \frac{1}{8} + \frac{0,24}{0,47} + \frac{0,004}{0,3} + \frac{0,02}{0,98} + \frac{1}{11} \right) \right] = 0,067 \text{ м};$$

$$\delta_{ізБ} = 0,04 \left[ \frac{1}{0,22} - \left( \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,98} + \frac{0,004}{0,3} + 2 \cdot \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{1}{11} \right) \right] = 0,155 \text{ м};$$

$$\delta_{ізВ} = 0,04 \left[ \frac{1}{0,52} - \left( \frac{1}{9} + \frac{0,24}{0,47} + \frac{0,004}{0,3} + \frac{0,02}{0,98} + \frac{1}{11} \right) \right] = 0,047 \text{ м};$$

$$\delta_{ізГ} = 0,04 \left[ \frac{1}{0,25} - \left( \frac{1}{8} + \frac{0,24}{0,47} + \frac{0,004}{0,3} + \frac{0,02}{0,98} + \frac{1}{11} \right) \right] = 0,129 \text{ м};$$

$$\delta_{ізС} = 0,04 \left[ \frac{1}{0,2} - \left( \frac{1}{23} + \frac{0,012}{0,3} + \frac{0,04}{1,86} + \frac{0,001}{0,15} + \frac{0,035}{2,04} + \frac{1}{11} \right) \right] = 0,191 \text{ м};$$

$$\delta_{ізП} = 0,04 \left[ \frac{1}{0,215} - \left( \frac{1}{6} + \frac{0,04}{1,86} + \frac{0,08}{1,86} + \frac{0,001}{0,15} + \frac{0,025}{0,98} + \frac{1,035}{0,58} + \frac{1}{11} \right) \right] = 0,1 \text{ м}.$$

Враховуючи, що стандартні значення товщини шару теплоізоляції 25, 30, 50 і 100 мм приймаємо дійсні значення товщини теплоізоляції: стіна А:  $\delta_{дiзА} = 75$  (50+25) мм; стіна Б:  $\delta_{дiзБ} = 160$  (100+2·30) мм; стіна В:  $\delta_{дiзВ} = 50$  мм; стіна Г:  $\delta_{дiзГ} = 130$  (100+30) мм; стеля:  $\delta_{дiзС} = 200$  (2·100) мм; підлога:  $\delta_{дiзП} = 100$  мм.

Визначається дійсне значення коефіцієнта теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·°С):

$$K_{дА} = \frac{1}{\left( \frac{1}{8} + \frac{0,24}{0,47} + \frac{0,004}{0,3} + \frac{0,075}{0,04} + \frac{0,02}{0,98} + \frac{1}{11} \right)} = 0,38 \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)};$$

$$K_{дБ} = \frac{1}{\left( \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,98} + \frac{0,16}{0,04} + \frac{0,004}{0,3} + 2 \cdot \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{1}{11} \right)} = 0,22 \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)};$$

$$K_{\text{дВ}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{9} + \frac{0,24}{0,47} + \frac{0,004}{0,3} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,02}{0,98} + \frac{1}{11}\right)} = 0,5 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)};$$

$$K_{\text{дГ}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + \frac{0,24}{0,47} + \frac{0,004}{0,3} + \frac{0,13}{0,04} + \frac{0,02}{0,98} + \frac{1}{11}\right)} = 0,25 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)};$$

$$K_{\text{дС}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + \frac{0,012}{0,3} + \frac{0,04}{1,86} + \frac{0,001}{0,15} + \frac{0,2}{0,04} + \frac{0,035}{2,04} + \frac{1}{11}\right)} = 0,2 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)};$$

$$K_{\text{дП}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{6} + \frac{0,04}{1,86} + \frac{0,08}{1,86} + \frac{0,001}{0,15} + \frac{0,1}{0,04} + \frac{0,025}{0,98} + \frac{1,035}{0,58} + \frac{1}{11}\right)} = 0,21 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)};$$

Дійсні значення коефіцієнта теплопередачі практично не відрізняються від попередньо вибраних.

### 2.3 Теплове навантаження на холодильну камеру

2.3.1 Тепловий потік через стіни, підлогу, стелю визначаємо за формулами (4.3):

- для стіни А:  $Q_{\text{смА}} = 0,38 \cdot (12 \cdot 6) \cdot (-5 - (-18)) = 328,3 \text{ Вт};$
- для стіни Б:  $Q_{\text{смБ}} = 0,22 \cdot (18 \cdot 6) \cdot (30 - (-18)) = 1140,5 \text{ Вт};$
- для стіни В:  $Q_{\text{смВ}} = 0,5 \cdot (12 \cdot 6) \cdot (-12 - (-18)) = 216,0 \text{ Вт};$
- для стіни Г:  $Q_{\text{смГ}} = 0,25 \cdot (18 \cdot 6) \cdot (25 - (-18)) = 1161,0 \text{ Вт};$
- для стелі:  $Q_{\text{сл}} = 0,2 \cdot (18 \cdot 12) \cdot (30 - (-18) + 10) = 2505,6 \text{ Вт};$
- для підлоги:  $Q_{\text{пл}} = 0,216 \cdot (18 \cdot 12) \cdot (2 - (-18)) = 933,1 \text{ Вт}.$

Сумарний тепловий потік на камеру визначається за формулою (4.4):

$$Q_{\text{сум}} = 328,3 + 1140,5 + 216,0 + 1161,0 + 2505,6 + 933,1 = 6284,2 \text{ Вт}.$$

### 2.3.2 Теплове навантаження від обмінної вентиляції

Об'єм камери визначається за формулою (4.7):

$$V_{кам} = 18 \cdot 12 \cdot 6 = 1296 \text{ м}^3.$$

Ступінь поновлення визначається за виразом (8):

$$n = 70 / \sqrt{1296} = 1,94 \text{ 1/добу}.$$

Теплоприток від вентиляції визначений за формулою (4.6) буде складати:

$$Q_{вент} = 1,163 \cdot 1296 \cdot 1,94 \cdot 33,7 \cdot 1 / 24 = 4108 \text{ Вт}.$$

2.3.3 Теплове навантаження внаслідок відкриття дверей (інфільтрація) визначається за формулою (4.9):

$$Q_{инф} = 0,577 \cdot 5 \cdot \sqrt{2,5 \cdot 20 \cdot (1/0,515)} \cdot 0,01 \cdot 0,8(1-0) = 1,42 \text{ кВт}.$$

2.3.4 Теплові навантаження при термічній обробці продукту

Повна місткість камери визначається за формулою (4.11):

$$M = 18 \cdot 12 \cdot 4,5 \cdot 300 \cdot 0,75 = 218700 \text{ кг};$$

Добовий вантажообіг продукту  $m_{пр} = 0,1 \cdot 218700 = 21870 \text{ кг}$ .

$$Q_{прод} = \frac{21870 \cdot 3,52(5 - (-1,5)) + 21870 \cdot 1,8 \cdot (-1,5 - (-18))}{86400} = 13,3 \text{ кВт}.$$

2.3.5 Теплові навантаження на дихання продукції

В зв'язку з тим, що камера призначена для заморожування і зберігання замороженого м'яса  $Q_{дох} = 0$ .

2.3.6 Теплове навантаження від освітлення визначається за формулою (4.13):

$$Q_{ос} = 4,7 \cdot 18 \cdot 12 = 1015 \text{ Вт}.$$

2.3.7 Теплове навантаження від присутності в холодильній камері персоналу визначається за формулою (4.14)

$$Q_{перс} = \frac{2 \cdot 378 \cdot 6}{24} = 189 \text{ Вт}.$$

2.3.8 Теплове навантаження від підйомно-транспортних засобів

Приймається електронавантажувач вантажопідйомністю 1 тону з потужністю двигуна 5 кВт.

Теплове навантаження визначене за формулою (4.15) складе:

$$Q_{тмз} = 1 \cdot 5 \cdot 6 / 24 = 1,25 \text{ кВт}.$$

### 2.3.9 Теплове навантаження від інших механізмів в камері

В зв'язку з тим, що в холодильній камері додаткових механізмів не передбачається то  $Q_{\text{інш}} = 0$ .

### 2.3.10 Проміжна холодопродуктивність холодильного обладнання

Попереднє навантаження випарника в першому наближенні визначається за формулою (16):

$$Q_{\text{пром}} = \frac{24 \cdot (6,28 + 4,11 + 1,42 + 13,3 + 0 + 1,02 + 0,19 + 1,25 + 0)}{18} = 36,8 \text{ кВт}$$

2.3.11 Теплове навантаження від двигунів вентиляторів і нагрівачів відтавання

Теплове навантаження від означених пристроїв визначається за формулою (4.17):

$$Q_{\text{нов.нон.}} = 0,1 \cdot 36,8 = 3,7 \text{ кВт.}$$

2.3.12 Попередня холодопродуктивність холодильної установки визначається за формулою (4.18):

$$Q_{0\text{нон.}} = 36,8 + 3,7 = 40,5 \text{ кВт.}$$

Одержане значення холодопродуктивності використовується для вибору марки, типу і кількості повітроохолоджувачів, потім розробляється схема їх розташування в холодильній камері.

За формулою (19) розраховується уточнене теплове навантаження на повітроохолоджувачі і по його значенню вибирається холодильний агрегат.

### Список літератури

1. Бараненко А.В., Куцакова В.Б., Борзенко Е.И., Фролов С.В. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Ч.3. Теплофизические основы. М.: КолосС, 2004. 249 с.

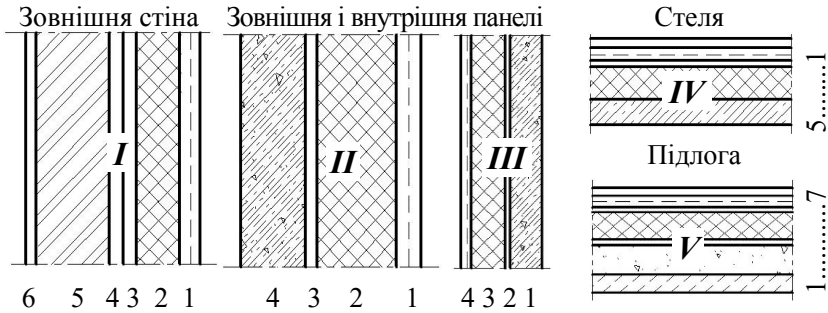
2. Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. М.: Агропромиздат, 1989. 223 с.

3. Руководство по расчету теплового баланса холодильных камер и выбору основных проектных параметров холодильных установок. М.: ЗАО Остров, 2003. 84 с.



Додаток А  
(довідковий)

Конструкції типових огорожень стаціонарного холодильника



Товщина  $\delta$ , м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$ ; тепловий опір  $R$

№ рис.	Найменування і матеріал шару	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$R = \delta/\lambda$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт
<b>I</b>	1 Штукатурка складним розчином по сітці	0,020	0,98	0,020
	2 Теплоізоляція	Прийняти $\lambda$ , визначити $\delta$ і $R$		
	3 Пароізоляція 2 шари гідроізолу на мастиці	0,004	0,30	0,013
	4 Штукатурка цементно-пісчана	0,020	0,93	0,022
	5 Кладка цегляна	0,380	0,81	0,469
	6 Штукатурка складним розчином	0,020	0,93	0,022
<b>II</b>	1 Штукатурка складним розчином по сітці	0,020	0,98	0,020
	2 Теплоізоляція	Прийняти $\lambda$ , визначити $\delta$ і $R$		
	3 Пароізоляція 2 шари гідроізолу на мастиці	0,004	0,30	0,013
	4 Зовнішній шар з важкого бетону	0,140	1,86	0,075
<b>III</b>	1 Панель з керамзитобетону	0,240	0,47	0,51
	2 Пароізоляція 2 шари гідроізолу	0,004	0,30	0,013
	3 Теплоізоляція	Прийняти $\lambda$ , визначити $\delta$ і $R$		
	4 Штукатурка складним розчином по сітці	0,020	0,98	0,020
<b>IV</b>	1 П'ять шарів гідроізолу	0,012	0,30	0,040
	2 Стяжка з бетону по мет. сітці	0,040	1,86	0,022
	3 Пароізоляція (шар пергаміну)	0,001	0,15	—
	4 Теплоізоляція	Прийняти $\lambda$ , визначити $\delta$ і $R$		
	5 Залізобетонна плита перекриття	0,035	2,04	0,017
<b>V</b>	1 Монолітне бетонне покриття	0,040	1,86	0,022
	2 Армобетонна стяжка	0,080	1,86	0,043
	3 Пароізоляція (шар пергаміну)	0,001	0,15	—
	4 Теплоізоляція	Прийняти $\lambda$ , визначити $\delta$ і $R$		
	5 Цементно-пісчаний розчин	0,025	0,98	0,026
	6 Пісок ущільнений	1,035	0,58	2,338
	7 Бетонний шар з електронагрівом	—	—	—

Додаток Б  
(довідковий)

Коефіцієнт теплопередачі **K** для зовнішніх стін (в чисельнику), покриття і підлоги(в знаменнику),  $t_{cp}$  середньорокова температура в регіоні

$t_{cp}, ^\circ\text{C}$	Значення <b>K</b> , Вт/(м <sup>2</sup> ·К) при внутрішній температурі $t_{вн}, ^\circ\text{C}$						
	-40...-30	-25...-20	-15...-10	-4	0	4	12
0 і нижче	0,21/0,20	0,26/0,24	0,33/0,30	0,47/0,40	0,52/0,44	0,58/0,47	0,70/0,52
Від 0 до +9	0,20/0,19	0,23/0,22	0,28/0,27	0,35/0,33	0,40/0,37	0,44/0,42	0,64/0,52
+9 і вище	0,19/0,17	0,21/0,20	0,23/0,23	0,28/0,26	0,30/0,29	0,35/0,33	0,52/0,47

*Прим. 1* Для горішнього перекриття значення **K** приймати на 10% більше;  
*2* Якщо покриття екранується панелями значення **K** збільшити на 20%.

Коефіцієнт теплопередачі **K** для внутрішніх стін, перегородок і міжповерхових покриттів,  $t_{мн}$  – температура більш теплого приміщення

$t_{мн}, ^\circ\text{C}$	Значення <b>K</b> , Вт/(м <sup>2</sup> ·К) при внутрішній температурі $t_{вн}, ^\circ\text{C}$ більш холодного приміщення				
	-15 і нижче	-15...-10	-10...-4	-4...0	0...+4
-15	0,58	0,52	0,41	0,35	0,35
-10	0,52	0,52	0,52	0,47	0,41
-4	0,41	0,52	0,58	0,52	0,47
0	0,35	0,47	0,52	0,58	0,58
+4	0,35	0,41	0,47	0,52	0,58
+12	0,28	0,35	0,41	0,47	0,58
+18	0,26	0,29	0,35	0,41	0,58
+20	0,26	0,28	0,34	0,40	0,58
+24	0,25	0,27	0,33	0,38	0,58
+28	0,24	0,26	0,32	0,35	0,58

Додаток В

Коефіцієнт тепловіддачі,  **$\alpha$** , Вт/(м<sup>2</sup>·К) і термічний опір  **$1/\alpha$** , м<sup>2</sup>·К/Вт

Поверхні приміщень	<b><math>\alpha</math></b> , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	<b><math>1/\alpha</math></b> , м <sup>2</sup> ·К/Вт
Зовнішні поверхні зовнішніх стін і покриття	23	0,043
Внутрішні поверхні приміщень без примусової циркуляції повітря: - стіни, - підлоги і стелі	8 6...7	0,125 0,167...0,143
Внутрішні поверхні приміщень з помірною циркуляцією повітря (зберігання охолоджених продуктів)	9	0,111
Внутрішні поверхні приміщень з посиленою циркуляцією повітря (камери охолодження і заморозки)	11	0,091

Додаток Г  
(довідковий)

Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$ , Вт/(м·К)  
для основних будівельних та теплоізоляційних матеріалів

Матеріал	$\lambda$ , Вт/(м·К)
Будівельний	
Кладка цегельна	0,85
Бетон	1,1...1,4
Залізобетон	1,4...1,6
Асфальтобетон	0,75...0,85
Дерево	0,2...0,25
Штукатурка цементна	0,9...0,2
Лицьовальні керамічні плити на цементному розчині	0,2...0,25
Бітум	0,2
Рулонна гідроізоляція на бітумі	0,25...0,3
Гравій керамзитовий	0,45...0,5
Шлак паливний	0,2...0,25
Штукатурка гіпсова (суха)	0,12...0,35
Пісок	0,46...0,58
Туф	0,46...0,58
Ґрунт рослинний	1,16
Теплоізоляційний	
Плити з мінеральної пробки і мінераловати	0,075...0,08
Пінополістирол ПСБ-С	0,04...0,045
Пінополіуретан	0,035...0,05
Пінопласт ПХВ	0,05...0,058
Пінополістирол ПС-БС	0,04...0,05
Пінопласт ФРП	0,065...0,07
Пінобетон	0,095...0,10
Плити перлітоцементні або перлітогельові	0,08...0,09
Парогідроізоляційні	
Пергамін та руберойд	0,14...0,18
Бітум	0,18...0,2
Гідроізол	0,30...0,35
Борулін	0,29...0,35

Додаток Д  
(довідковий)

Значення питомого теплопритоку  $q_{пт}$  ккал/м<sup>3</sup> у залежності від температури в камері  $t_{вн}$ , зовнішньої температури  $t_{зн}$  і вологості  $\varphi_{зн}$  зовнішнього повітря

$t_{зн}$ , °C	$\varphi_{зн}$ , %	Температура в камері $t_{вн}$ , °C									
		-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15
+10	40	16,00	13,90	11,70	9,80	7,30	5,20	2,70	0,00	0,00	0,00
	50	16,70	14,50	12,30	10,20	7,90	5,60	3,10	0,40	0,00	0,00
	60	17,20	15,00	12,80	10,70	8,40	6,20	3,50	0,90	0,00	0,00
	70	17,70	15,50	13,30	11,20	8,90	6,80	3,90	1,40	0,00	0,00
	80	18,20	16,00	13,80	11,70	9,40	7,40	4,30	1,90	0,00	0,00
+15	40	19,20	17,00	14,80	12,70	10,20	8,00	5,40	2,70	0,20	0,00
	50	20,20	17,90	15,70	13,50	11,20	8,80	6,20	3,50	1,00	0,00
	60	21,10	18,80	16,60	14,40	12,00	9,70	7,00	4,30	1,80	0,00
	70	22,00	19,70	17,50	15,30	12,90	10,60	7,80	5,10	2,60	0,10
	80	22,90	20,60	18,40	16,20	13,80	11,50	8,60	5,90	3,40	0,90
+20	40	22,40	20,10	17,90	15,60	13,10	10,80	8,10	5,50	2,90	0,30
	50	23,70	21,30	19,10	16,80	14,30	12,00	9,30	6,60	4,00	1,40
	60	25,00	22,60	20,40	18,10	15,50	13,20	10,50	7,70	5,10	2,50
	70	26,30	23,90	21,70	19,40	16,70	14,40	11,70	8,80	6,20	3,60
	80	27,00	25,20	23,00	20,70	17,90	15,60	12,90	9,90	7,30	4,70
+25	40	26,00	23,60	21,30	19,00	16,50	14,10	11,40	8,60	6,00	3,40
	50	27,80	25,30	23,00	20,70	18,10	15,70	12,90	10,20	10,20	4,60
	60	29,50	27,00	24,70	22,30	19,70	17,30	14,50	11,70	11,70	6,10
	70	31,20	28,70	26,40	23,90	21,30	18,90	16,10	13,20	10,40	7,60
	80	32,90	30,40	28,10	25,50	22,90	20,50	17,70	14,70	11,90	9,10
+30	40	30,20	27,70	25,40	23,00	20,40	18,00	15,10	12,30	9,50	6,70
	50	32,50	30,00	27,60	25,20	22,50	20,10	17,20	14,40	11,50	8,60
	60	35,00	32,40	30,00	27,50	24,80	22,30	19,40	16,50	13,60	10,70
	70	37,50	34,80	32,40	29,80	27,10	24,50	21,60	18,60	15,70	12,80
	80	40,00	37,20	34,80	32,10	29,40	26,70	23,80	20,70	17,80	14,90
+35	40	35,00	32,40	30,00	27,50	24,80	22,30	19,40	16,50	13,60	10,70
	50	38,40	35,70	33,20	30,70	27,90	25,30	22,40	19,40	16,50	13,60
	60	41,60	38,80	36,30	33,70	30,80	28,20	25,20	22,20	19,20	16,20
	70	44,80	41,90	39,40	36,70	33,70	31,10	28,00	25,00	21,90	18,80
	80	48,00	45,00	42,50	39,70	36,60	34,00	30,80	27,80	24,60	21,40
+40	40	41,00	38,30	35,70	33,20	30,30	27,70	24,0	21,70	18,70	15,70
	50	45,20	42,40	39,80	37,10	34,20	31,50	28,40	25,40	22,30	19,20
	60	49,50	46,70	43,90	41,20	38,20	35,50	32,30	29,20	26,00	22,80
	70	53,80	51,00	48,00	45,30	42,20	39,50	36,20	33,00	29,70	26,40
	80	58,10	55,30	52,10	49,40	46,20	43,50	40,10	36,80	33,40	30,00

Додаток Е  
(довідковий)

Значення параметра  $R_s$  в залежності від зовнішньої температури і вологості зовнішнього повітря та температури в камері (таблиця не повна – тільки для  $t_{zn} = 20\text{ }^\circ\text{C}$ )

$t_{zn}$ , °C	$\varphi_{zn}$ %	Температура в камері при відносній вологості 90%								
		-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
20	100	0,62	0,60	0,57	0,55	0,53	0,50	0,44	0,44	0,41
20	80	0,67	0,65	0,63	0,61	0,58	0,56	0,53	0,51	0,48
20	60	0,73	0,71	0,69	0,68	0,65	0,63	0,61	0,60	0,59
20	40	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,73	0,73	0,76
20	20	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,80	0,93	–

Додаток Є

Теплофізичні характеристики і умови зберігання продуктів

$t_{замерз}$  - точка замерзання;  $c_1$ ,  $c_2$  – питома теплоємність до і після заморозки;

$t_{збсв}$  і  $\varphi_{збсв}$  – температура і вологість зберігання свіжої продукції;

$t_{зам}$  і  $t_{збзам}$  – температура заморожування і зберігання продукту.

Найменування продукту	$t_{замерз}$ °C	$c_1$	$c_2$	$t_{збсв}$ °C	$\varphi_{збсв}$ %	$t_{зам}$ °C	$t_{збзам}$ °C
		кДж/кг·К					
Яловичина жирна	-1,5	2,93	1,59	0... -1	85...90	-25	-15
Яловичина пісна	-1,5	3,52	1,8	0... -1	85...90	-25	-15
Баранина	-1,5	3,06	1,72	0...+1	85...90	-24	-18
Свинина	-1,5	2,3	1,38	-1...-1,5	85...90	-25	-18
Крольчатина	-3,25	3,1	1,67	0... -1	85...90	-25	-15
Птиця, дичина	-1,7	3,35	1,67	0	85...90	-24	-18
Риба жирна	-2,2	2,93	1,59	0... -1,5	90	-30	-18
Риба пісна	-1,5	3,60	1,88	0... -1	90	-25	-18
Молоко	-0,56	3,85	1,93	0,5	85...90	–	–
Масло вершкове	-5,6	2,3	1,42	0	80...85	-25	-18
Сири	-8,5	2,93	1,88	4	Змінна	–	–
Морозиво	-2,0	3,85	1,93	–	–	-30	-25
Абрикоси	-1,05	3,68	1,93	-0,5	90	–	–
Вишня	-2,0	3,64	1,84	0... -1	85...90	-25	-18
Суниця	-1,16	3,89	1,93	0	85...90	-30	-18
Персики	-1,1	3,77	1,93	-1...+1	85...90	-30	-18
Капуста білокачанна	-0,5	3,89	1,97	0	95	–	–
Горошок зелений	-1,1	3,31	1,76	0...0,5	85...90	-30	-18
Цибуля ріпчаста	-1,2	3,77	1,93	0	70...75	–	–
Картопля	-1,5	3,43	1,8	+4...+10	85...90	–	–
Шпинат	-0,75	3,94	2,01	0... -0,5	90...95	-25	-18

Додаток Ж

Щільність укладання продуктів в холодильній камері

Продукти	Упаковка	$\rho_{укл}$ , кг/м <sup>3</sup>
М'ясо морожене	навалом	300...350
Масло вершкове	барильця	650
	коробки картонні	1000
Риба в розсілі	бочки	350
Оселедці	бочки	800
Сири	ящики	500
Капуста	швидка упаковка	610
Цибуля ріпчаста	мішки	450

Додаток З  
(довідковий)

Коефіцієнт розміщення товару на підлозі холодильної камери залежно від типу складованих продуктів

Тип складованого товару		$\eta_0$
Охолоджені товари на піддонах	мала швидкість обороту	0,65...0,70
	велика швидкість обороту	0,45...0,50
Заморожені товари на піддонах	мала швидкість обороту	0,75...0,80
	велика швидкість обороту	0,50...0,60

Додаток І  
(довідковий)

Тепловиділення в одиницю часу від однієї людини, яка перебуває в холодильній камері, при його середній активності

Температура в камері, °С	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
Тепловиділення, Вт	180	200	210	240	270	300	330	360	390	420

Додаток К

Рекомендована тривалість роботи  $\tau_p$  і відтавання  $\tau_{відт}$  холодильної установки для різних типів холодильних камер, год

Тип холодильної камери	$\tau_p$	$\tau_{відт}$
Зберігання неупакованих заморожених продуктів	18	4
Зберігання упакованих заморожених продуктів	20	2
Зберігання молочних продуктів	21	1
Зберігання овочів і фруктів	20	2
Охолодження	20	4
Заморожування, заморожування і зберігання	18	6
Дозрівання сиру, сушіння ковбас, засолювання, тощо	20	2

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5

### РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІДВІСНОГО КОНВЕЄРА

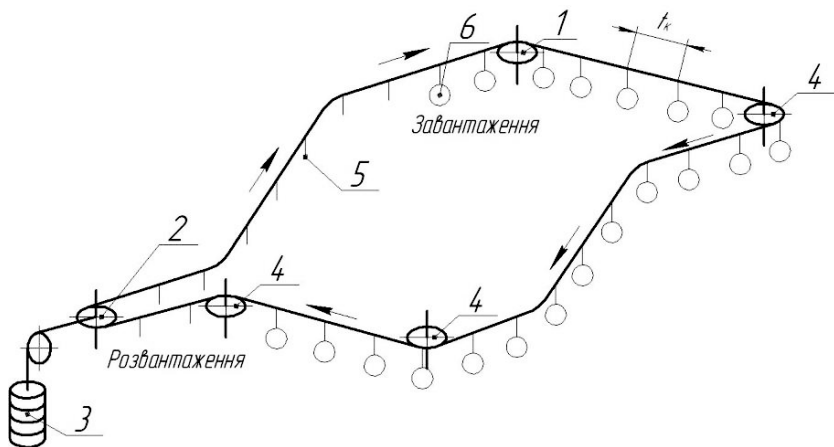
**Мета роботи:** вивчення основних видів підвісних конвеєрів і оволодіння методикою практичного розрахунку.

#### 1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

##### 1.1 Відомості про підвісні конвеєри складів та сховищ

*Підвісний конвеєр* – це конвеєр, на якому вантажі, що транспортуються, розташовуються на підвісках і рухаються разом з ходовою частиною по підвісній монорейці, як правило, складного замкненого контуру.

За профілем траси підвісні конвеєри бувають одноплощинні горизонтально замкнені, контур траси яких розташовується в одній горизонтальній площині та просторові, які мають повороти як у горизонтальній, так вертикальній площинах, що розташовані на різних рівнях у просторі. Повороти в горизонтальній площині здійснюються за допомогою поворотних пристроїв, а у вертикальній – за допомогою поворотів підвісного шляху.



1 – привідна зірочка; 2 – натяжна зірочка; 3 – натяжний пристрій;  
4 – напрямні зірочки; 5 – підвіска; 6 – вантаж.

Рисунок 5.1 – Просторова схема підвісного конвеєра.

За способом з'єднання тягового органа з вантажем, що транспортується, і за характером переміщення вантажів підвісні конвеєри під-розділяються на вантажонесучі, вантажоштовхаючі та комбіновані.

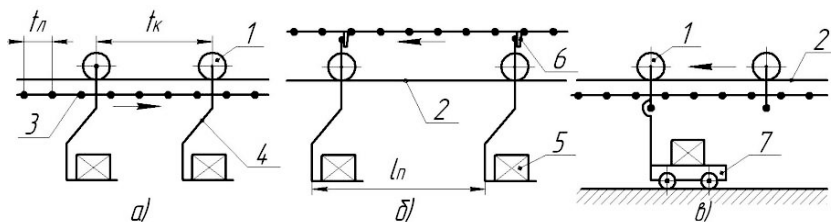
За кількістю приводів, які одночасно приводять у рух загальний замкнений контур тягового органа, бувають конвеєри одноприводні (з однодвигунним приводом) та багатоприводні (з багатодвигунним приводом). Вибір типу привода залежить від довжини конвеєра і маси вантажу. Довжина одноприводних конвеєрів становить в середньому близько 500 м; при більшій довжині застосовуються багатоприводні конвеєри.

Слід зазначити, що всі типи підвісних конвеєрів мають багато загального в конструкціях окремих елементів. Усі типи конвеєрів мають тяговий орган, привод, поворотні і натяжні пристрої. Істотну відмінність мають ходові шляхи, візки та ряд специфічних складальних одиниць та елементів.

Підвісні конвеєри застосовують для безперервного переміщення різноманітних штучних (рідше сипучих) затарених вантажів по транспортно-або технологічному процесу в виробничих і складських приміщеннях.

Цей вид конвеєрів має широкий діапазон продуктивності (від 100 до 6000 шт./год), швидкості транспортування (від 0,01 до 0,70 м/с) та маси вантажу (від 1 до 8000 кг).

На рисунку 5.2 показані схеми основних типів підвісних конвеєрів, які відрізняються способами переміщення вантажу.



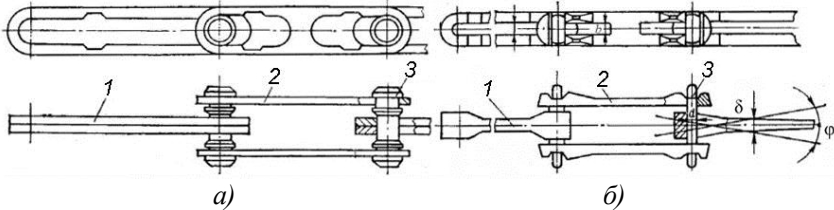
а) вантажонесучий; б) вантажоштовхаючий; в) вантажотягнучий;  
 1 – каретка; 2 – рейка; 3 – ланцюг; 4 – підвіска; 5 – вантаж; 6 – палець;  
 7 – візок.

Рисунок 5.2 – Схеми різних типів підвісних конвеєрів.

Для конвеєрів, що розташовані в одній горизонтальній площині, тяговим органом може бути ланцюг або канат. Для конвеєрів з просторовою трасою застосовуються спеціальні ланцюги (рисунок 5.3), які мають можливість повертатися як у горизонтальній, так і вертикальній



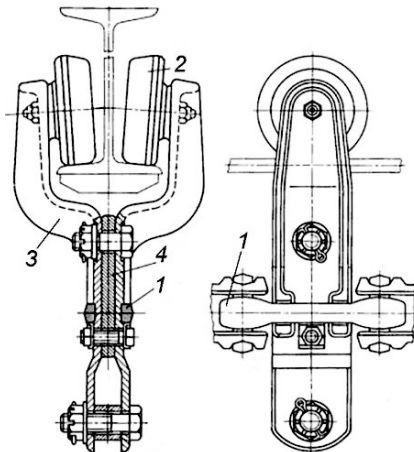
площинах. До розбірних ланцюгів відносять ланцюги типу Р1 з обертовими валіками і холодноштампованими ланками та типу Р2 з фіксованими валіками і гарячештампованими ланками. Обидва типи мають однакові розміри. Кут повороту ланок у площині поздовжніх осей шарнірів ланцюга становить не менше ніж  $3^\circ$  (найбільший  $12^\circ$ ).



а) з фіксованими валіками; б) з криволінійними пластинами; 1 і 2 – пластили; 3 – валік.

Рисунок 5.3 – Розбірні холодноштамповані ланцюги.

Вантажонесучі елементи підвісного конвеєра – каретки: вантажні (одинарні і траверсні) служать для кріплення підвіски з вантажем і переміщення їх по підвісних шляхах; опорні (підтримуючі) встановлюють між вантажними та служать для підтримування ланцюга і зменшення його прогину. Конструкція каретки залежить від типу напрямних шляхів, по яких вона переміщається.



Каретка (рисунок 5.4) складається з двох катків із консольними осями і підшипниками, кронштейнів та прокладки.

Катки кареток – безребордні, профіль обода катка залежить від профілю шляху.

Найбільш доцільним виконанням каретки є конструкція катка-підшипника зі сфероконічним ободом (як єдиний комплект), що забезпечує високу надійність.

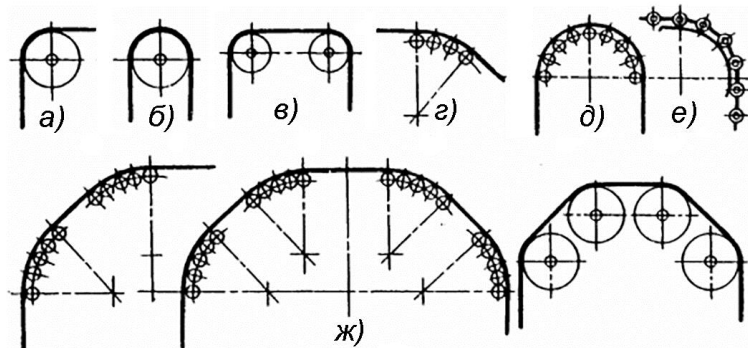
1 – ланцюг; 2 – каток; 3 – кронштейн; 4 – прокладки.

Рисунок 5.4 – Каретка підвісного вантажонесучого конвеєра.

Кронштейни кареток повинні мати високу міцність і жорсткість при мінімальній масі.

Для конвеєрів з вертикальними перегинами крок кареток встановлюють  $t_k = (4...10) t_n$  при більшому значенні кроку встановлюють додаткові проміжні каретки для попередження надмірного провисання ланцюга.

Для змінення напрямку руху тягового органа на горизонтальних поворотах служать поворотні пристрої (рисунок 5.5), вибір типу яких залежить від конструкції тягового органа, його натягу, радіуса та кута повороту.



а), б), в) – блоків або зірочок; г), д) – роликів батарей; е) – напрямних шляхів; ж) – кількох батарей, блоків, зірочок.

Рисунок 5.5 – Горизонтальні повороти траси конвеєра за допомогою.

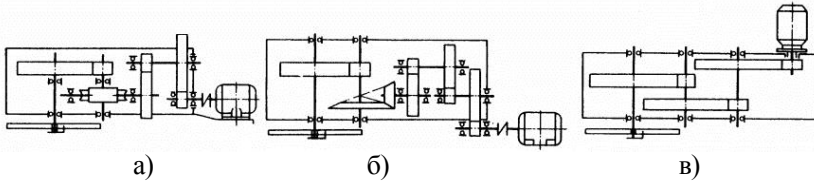
Приводи підвісних конвеєрів за характером змінення швидкості руху тягового органа поділяють на приводи з постійною швидкістю та швидкостями, що плавно або ступінчасто змінюють. Плавне змінювання швидкості досягається за допомогою застосування варіатора швидкості, гідромотора або електродвигуна постійного струму. Ступінчасте змінювання швидкості можливе за допомогою набору змінних передач редуктора або багатошвидкісного електродвигуна.

За способом передачі тягового зусилля розрізняють приводи з передачею зусилля зачепленням за допомогою зуба зірочки або штовхальника приводного ланцюга та фрикційні (для каната і круглоланкового ланцюга).

За кількістю приводних елементів приводи бувають одинарні – з однієї приводної зірочки або об'єднані з однієї трансмісією на дві - три приводні зірочки. За кількості приводних двигунів приводи поді-

ляють на приводи з одним або кількома двигунами.

На рисунку 5.6 показані кінематичні схеми основних видів редукторних приводів.



а) циліндрично-черв'ячний; б) конічно-циліндричний; в) циліндричний.

Рисунок 5.6 – Кінематичні схеми редукторних приводів конвеєрів.

Для конвеєрів низької продуктивності і конвеєрів одиничного або малосерійного виробництва застосовують мотор-редуктори, часто планетарної або хвильової конструкції.

## 2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

**Умови розрахунку.** Розраховуються основні параметри горизонтального підвісного ланцюгового конвеєра. Задаються: загальна довжина траси  $L$ , м; довжина ділянок траси  $l_1, l_2, l_3 \dots l_n$ ; планова продуктивність конвеєра  $Q_n$  шт./год; швидкість ланцюга конвеєра  $v$ , м/с; завантаження і розвантаження підвісок – ручне; маса підвіски  $m_n$  кг; число вантажів на підвісці  $i$ , шт.; маса вантажу  $m_v$ , кг; розміри вантажу (висота  $h_v$ , ширина  $b_v$ , довжина  $l_v$ ), м; режим роботи конвеєра – легкий, середній, важкий; умови роботи – легкі, середні, важкі.

**Визначити.** Параметри кареток, погонні навантаження, натяг ланцюгів, значення опорів руху на ділянках траси, уточнену продуктивність і тягові характеристики конвеєра, параметри привода і натяжного пристрою.

### 2.1 Порядок розрахунку

#### 2.1.1 Визначення кроку підвісок і кареток.

В якості тягового елемента конвеєра може бути обраний ланцюг або канат. Для конвеєрів із просторовою трасою застосовують спеціальні розбірні ланцюги, які мають можливість повертатися в горизонтальній та

вертикальній площині. Найбільше поширення мають розбірні ланцюги із кроком ланки  $t_l$  в межах **80...160** мм (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Технічна характеристика розбірних ланцюгів

Тип ланцюга	Крок ланок, $t_l$ , мм	Діаметр валика $d$ , мм	Ширина ланки $B$ , мм	Крок зацеплення $t$ , мм	Довжина валика $l$ , мм	Відстань між зовнішніми ланками, мм	Руйнівне навантаження, $F_{руй}$ , кН	Маса 1 м ланцюга, кг
P2-80-106	80	12	30	160	48	21	106	3,2
P2-100-220	100	16	37	200	60	27	220	5,2
P2-160-400	160	24	59	320	92	42	400	9,1

Для змінення напрямку руху тягового елемента на горизонтальних поворотах служать поворотні пристрої, вибір яких залежить від конструкції тягового елемента, його натягу, радіуса та кута повороту.

При виборі поворотного обладнання (тип поворотного пристрою - тип тягового ланцюга - діапазон радіусів повороту - область застосування) слід керуватись наступними рекомендаціями:

- зірочки - ланцюг пластинчастий, розбірний, секційний - радіус повороту 0,20...0,85 м - повороти на кут до 180° з підвищеним натягом ланцюга (до 60 % від допустимого);

- блоки з гладким ободом або з виїмкою в ободі блоку - ланцюг пластинчастий, розбірний, кругло ланковий; канат - радіус 0,18...0,80 м - повороти на кут до 180° зі зниженим натягом ланцюга (до 60 % від допустимого при відсутності виїмки і до 80 % – при наявності виїмки в ободі);

- роликів батареї - ланцюг пластинчастий, розбірний, секційний - повороти на 15, 30, 45, 90 і 180°з великим радіусом при зниженому натягу (до 50 % від допустимого);

- напрямні шляхи - ланцюг двохшарнірний ланковий - радіус повороту 0,5...2,0 м - повороти на кут до 180° у межах навантаження, що допускається, на катки ланцюга.

Основні розміри поворотних пристроїв з зірочкою і блоками наведені в таблиці 5.2. Найбільш простим і довговічним є пристрій з поворотним блоком, саме він рекомендується для широкого застосування.

Таблиця 5.2 – Основні параметри поворотних пристроїв на зірочках і блоках підвісних конвеєрів з розбірним ланцюгом

Крок ланки ланцюга $t_l$ , мм	Число зубів зірочки $z$ , шт.	Діаметр ділильного кола зірочки $D_z$ , мм	Діаметр блоку $D_{бл}$ , мм	Радіус горизонтального повороту $R_n, R_o$ мм
80	8	413,5	377	203
	10	514,9	479	254
	13	667,7	633	331
	16	820,6	787	408
	20	1022,0	989	509
100	6	390,7	–	189
	8	516,9	–	253
	10	643,6	600	318
	13	834,6	792	414
	16	1025,7	984	510
	20	1277,5	1238	637
160	6	625,7	–	302
	8	827,1	–	406
	10	1029,8	965	509
	13	1335,4	1273	663
	16	1641,2	1581	817

Розрахунковий крок підвісок визначається за формулою:

$$t = 3600v \cdot i / Q_n, \quad (5.1)$$

де  $v$  - швидкість ланцюга конвеєра, м/с;  $i$  - число вантажів на підвісці, шт.;  $Q_n$  - планова продуктивність конвеєра, шт./год.

Крок підвісок  $t$  перевіряють на прохідність вантажу при огинанні зірочок за умовою:

$$t > t_{min}, \quad (5.2)$$

де  $t_{min}$  - мінімальний крок, при якому підвіски не зачіпають одна одну при обході зірочок, м (рисунок 5.1);

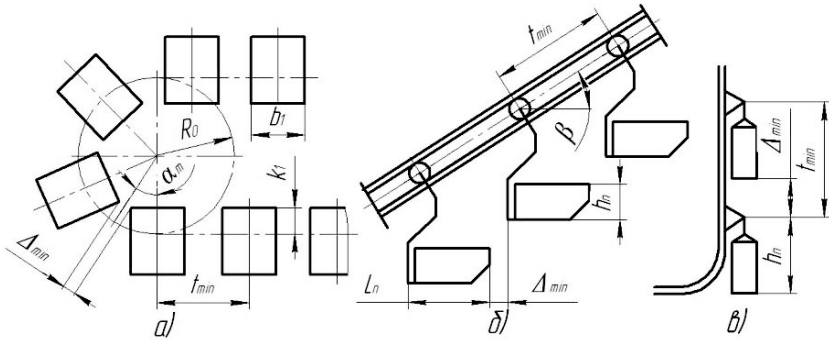
$$t_{min} = 2R_0 \cdot \alpha_m, \quad (5.3)$$

де  $R_0$  - радіус ділильної окружності зірочки, м;  $\alpha_m$  - половина кута між підвісками.

Цей кут можна визначити за виразом:

$$\operatorname{tg} \alpha_m \approx \frac{b_1 + 1,5 \Delta_{min}}{2(R_0 - k_1)}, \quad (5.4)$$

де  $b_n$  - ширина підвіски з вантажем уздовж осі ланцюга, м;  $\Delta_{min}$  - мінімальний зазор між вантажами, що виключає можливість їх контакту, м; для вантажонесучих конвеєрів  $\Delta_{min} > 0,15...0,2$  м; для конвеєрів, що штовхають  $\Delta_{min} > 0,2...0,3$  м;  $k_1$  - відстань від краю підвіски до осі ланцюга, м.



1 – горизонтальній; 2 – нахилений; 3 – вертикальній.

Рисунок 5.7 – Схеми для розрахунку кроку підвісок на характерній ділянці.

Найменший крок між осями підвісок  $t_{min}$  визначається прохідністю вантажу найбільших габаритних розмірів:

- на нахилених ділянках траси конвеєра (рисунок 5.1, б)

$$t_{min} \geq (l_n + \Delta_{min}) / \cos \beta, \quad (5.5)$$

де  $l_n$  - найбільша габаритна довжина вантажу і підвіски в площині руху конвеєра, м;  $\beta$  - найбільший кут нахилу конвеєра, град.

- на вертикальних ділянках (рисунок 5.1, в)

$$t_{min} \geq h_n + \Delta_{min}, \quad (5.6)$$

де  $h_{max}$  - найбільша габаритна висота вантажу з підвіскою, м.

Прийнятий розрахунковий крок підвісок повинен бути кратним двом крокам ланок розбірного ланцюга, тобто задовольняти умові

$$t_n = 2n \cdot t_d \geq t_{min}, \quad (5.7)$$

де  $n$  - коефіцієнт, що залежний від довжини вантажу ( $n = 1...10$ ).

Крок кареток приймається  $t_k = t$ , якщо  $t < 900$  мм. При цьому крок підвісок  $t$  повинен бути кратним подвоєному кроку  $t_l$  розбірного ланцюга.

При наявності вертикальних перегинів підвісного шляху крок кареток або підвісок не повинен перевищувати  $10 t_l$ .

Якщо  $t > 900$  мм, то встановлюються проміжні каретки із кроком  $t_k$ , кратним подвоєному кроку ланцюга, але не більш ніж  $900$  мм.

Попередньо параметри каретки вибираються за таблицею 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні параметри кареток конвеєрів з розбірним ланцюгом і ходовим шляхом із двотаврової балки.

Крок ланки ланцюга, $t_l$ , мм	Гранична вантажність каретки $Q_k$ , кН	Номер котка підшипника	Маса каретки $m_k$ , кг	Номер профілю шляху	Діаметр катка $D_k$ , мм	Каток	
						Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм
80	2,5	260703	3,0	10	62	75	125
100	5,0	260805	5,5	14	83	105	155
160	8,0	260905	13,0	16	125	125	200

Крок кареток вибирається за наступним нормальним рядом:

$$t_l = 80 \text{ мм}; \quad t_k = 160^*; 320; 480; 640; 800 \text{ мм};$$

$$t_l = 100 \text{ мм}; \quad t_k = 200^*; 400; 600; 800; 1000 \text{ мм};$$

$$t_l = 160 \text{ мм}; \quad t_k = 320^*; 640; 960; 1000; 1280 \text{ мм}.$$

Значення, позначені зірочкою, застосовують для траверсних кареток.

### 2.1.2 Визначення погонних навантажень.

Погонне навантаження від маси холостої (зворотної) гілки без урахування пропускання нерозвантажених підвісок, Н/м:

$$q_x = \left( \frac{m_n}{t} + \frac{m_k}{t_k} + m_l \right) g, \quad (5.8)$$

де  $m_n$  - маса підвіски, кг;  $m_k$  - маса каретки, кг (таблиця 5.3);

$m_l$  - маса 1 м ланцюга, кг.

Погонне навантаження від маси холостої гілки з урахуванням пропуску на зворотну гілку нерозвантажених підвісок, Н/м:

$$q'_x = q_x + k_{np} \cdot q_a, \quad (5.9)$$

де  $k_{np} = 0,08...0,12$  - коефіцієнт пропуску нерозвантажених підвісок на зворотну галузь;  $q_e$  - погонне навантаження від маси вантажу, що транспортується, Н/м.

Погонне навантаження від маси вантажу визначається як:

$$q_e = m_e \cdot g / t, \quad (5.10)$$

$m_e$  - маса вантажу, кг;  $g$  - прискорення вільного падіння, м<sup>2</sup>/с.

Погонне навантаження (Н/м) від маси навантаженої гілки визначається:

$$q = q_x + q_e. \quad (5.11)$$

### 2.1.3 Максимальний і мінімальний натяг ланцюгів

На всьому контурі траси конвеєра тяговий ланцюг повинен бути натягнутим (тобто навантажена зусиллям розтягу, тому що ланцюг на стиск не може працювати) і мінімальний натяг  $S_{min}$  не повинен бути нижче заданих меж: для вантажонесучого конвеєра  $S_{min} \geq 500...1000$  Н, для штовхаючого і вантажоведучого конвеєрів  $S_{min} \geq 1500...3000$  Н.

Максимальний натяг (Н) тягового ланцюга складе:

$$S_{max} \approx S_0 \cdot k_m + c(q \cdot L_z + q_x \cdot L_x)(1 + k_k \cdot k_m) + q_e \cdot H, \quad (5.12)$$

де  $S_0$  - попередній натяг ланцюга,  $S_0 = S_{min} = 500...1000$  Н;

$k_m$  - сумарний коефіцієнт місцевих опорів;  $c$  - коефіцієнт опору руху кареток на прямолінійній ділянці на трасі конвеєра (див. таблицю 5.4);  $L_e$  і  $L_x$  - горизонтальні проекції довжини завантаженої та холостої гілок відповідно, м;  $k_k = 0,2...0,4$  - коефіцієнт концентрації місцевих опорів;  $H$  - загальна висота підйому вантажу на трасі конвеєра, м.

Коефіцієнт місцевих опорів визначається за формулою:

$$k_m = \varphi^x \cdot \xi^y \cdot \lambda^\theta, \quad (5.13)$$

де  $\varphi, \xi, \lambda$  - відповідно коефіцієнти опору руху каретки на вертикальному повороті, горизонтальному повороті на зірочці або блоці і на роликівій батареї (таблиця 5.5);  $x, y, \theta$  - кількість вертикальних поворотів, горизонтальних поворотів на зірочці або блоці і на роликівій батареї відповідно.

Типорозмір ланцюга вибирається по максимальному розрахунковому натягу з умов міцності, витривалості і зношування. Вибір типорозміру ланцюга повинен задовольняти наступні умові:



$$S_{руйн} \geq S_{max} \cdot n_n, \quad (5.14)$$

де  $S_{руйн}$  - руйнівне навантаження ланцюга, кН;  $S_{max}$  - максимальний розрахунковий натяг, кН;  $n_n$  - коефіцієнт запасу міцності на розтяг.

Таблиця 5.4 – Коефіцієнти опору руху кареток на катках з кульковими підшипниками на прямолінійних ділянках траси підвісних конвеєрів з розбірними ланцюгами і ходовим шляхом із двотавра.

Умови роботи конвеєра	Значення розрахункового коефіцієнта при масі вантажу, підвішеного на каретці, кг			
	До 50	51-70	71-100	Більш 100
Гарні	0,020	0,018	0,014	0,012
Середні	0,026	0,024	0,020	0,016
Важкі	0,032	0,028	0,025	0,020
Робота в опалювальних приміщеннях при температурі вище 0				
Середні	0,038			
Важкі	0,045			

Таблиця 5.5 – Коефіцієнти опору руху на поворотних пристроях і вертикальних поворотах траси підвісних конвеєрів.

Умови роботи конвеєра	Поворотних зірочок і блоків $\zeta$		Роликових батарей $\lambda$						Вертикальних поворотів $\varphi$		
	при кутах повороту, град.										
	90	180	до 30	45	60	90	180	до 20	35	45	
Робота в приміщеннях, що опалюються при температурі вище 0											
Гарні	1,020	1,030	1,020	1,025	1,030	1,040	1,07	1,010	1,015	1,025	
Середні	1,025	1,035	1,025	1,030	1,040	1,050	1,09	1,012	1,020	1,030	
Важкі	1,035	1,050	1,030	1,040	1,045	1,060	1,10	1,015	1,025	1,035	
Робота в неопалюваних приміщеннях взимку при температурі до $-20^{\circ}\text{C}$ ;											
Середні	1,040	1,050	1,035	1,040	1,045	1,065	1,10	1,025	1,035	1,045	
Важкі	1,055	1,065	1,040	1,050	1,055	1,070	1,15	1,030	1,040	1,050	

Коефіцієнт запасу міцності на розтяг визначається за виразом:

$$n_n = n'_{n_{ном}} / (k_p \cdot k_m \cdot k_o \cdot k_{дин}), \quad (5.15)$$

де  $n'_{n_{ном}}$  - номінальний коефіцієнт запасу міцності для ланцюга з термообробленими деталями;  $k_p$  - коефіцієнт режиму роботи конвеєра;  $k_m$  - коефіцієнт конфігурації траси конвеєра;  $k_o$  - коефіцієнт ослаблення розрахункового перетину деталей ланцюга;  $k_{дин}$  - коефіцієнт динамічних навантажень.

При розрахунку коефіцієнт запасу міцності на розтяг його складові приймаються:

- значення  $n'_{n_{ном}} = 5$  при розрахунках по навантаженнях і рухові, що встановився;  $n'_{n_{ном}} = 3$  при перевірочних розрахунках по пускових навантаженнях;

- значення  $k_p = 1,2$  при надлегкому режимі;  $k_p = 1,1$  при легкому;  $k_p = 1,0$  при середньому;  $k_p = 0,9$  при важкому і  $k_p = 0,8$  при надважкому.

- значення  $k_m$  для горизонтальної  $k_m = 1$ ; для похилої прямолінійної  $k_m = 0,9$ ; для похило-горизонтальної  $k_m = 0,85$ ;

- значення  $k_o = 0,8 \dots 0,9$  при гранично допустимому зносі;

- значення  $k_{дин}$  приймається залежно від швидкості (при  $V < 0,1$  м/с  $k_{дин} = 1,0$ ; при  $V = 0,1 \dots 0,3$  м/с  $k_{дин} = 0,9$ ; при  $V > 0,3$  м/с  $k_{дин} = 0,8$ ).

Допустимий натяг гарячештампованих розбірних ланцюгів за довговічністю на основі рекомендованих значень тисків у шарнірі ланцюга подані в таблиці 6 для середнього режиму роботи конвеєра.

Для інших режимів роботи величини, що наведені в таблиці 5.4. необхідно помножити на коефіцієнт режиму роботи. Для ланцюгів без термообробки, допустимі натяги за довговічністю приблизно у два рази нижчі за значення, наведені в таблиці 5.6.

Допустимий натяг ланцюга за умовою міцності складає:

$$S_{д.н} = S_{руін} / n_n \geq S_{max}. \quad (5.16)$$

Виходячи з умов необхідно вибрати ланцюг по таблиці додатка А.

При проектуванні конвеєрів використовують типові або стандартні каретки із заданим статичним розрахунковим навантаженням  $F$ , рівним граничній вантажопідйомності (таблиця додатка Б).

Розрахункове статичне навантаження на каретку,  $N$  визначиться як:

$$F_p = t_k \left( \frac{S_{max}}{R_\theta} + q_l \cdot g \right) + m_k \cdot g. \quad (5.17)$$

Вибір типорозміру каретки повинен задовольняти наступній умові міцності:

$$F_p \leq [F]. \quad (5.18)$$

Таблиця 5.6 – Допустимі натяги за довговічністю термічно оброблених гарячештампованих розбірних ланцюгів для середнього режиму роботи конвеєра.

Умови роботи конвеєра	Швидкість ланцюга V, м/с	Допустимий натяг $S_{d,n}$ , кН, ланцюга з кроком ланки $t_l$ , мм					
		80		100		160	
		Конфігурація траси					
		проста	складна	проста	складна	проста	складна
Гарні	$\leq 0,15$	10	9	15	13	35	32
	$0,16 \dots 0,3$	9	8	13	12	32	30
	$> 0,3$	8	7	12	11	28	26
Середні	$< 0,15$	9	8	13	12	32	30
	$0,16 \dots 0,3$	8	7	12	11	28	26
	$> 0,3$	7	6	10	9	23	21
Важкі	$< 0,15$	8	7	12	11	27	25
	$0,16 \dots 0,3$	7	6	10	9	23	21
	$> 0,3$	6	5	9	8	20	18

*Примітка.* Конфігурація траси: проста – з загальною кількістю поворотів у горизонтальній і вертикальній площинах не більш 20; складна – з кількістю більш ніж 20 поворотами.

#### 2.1.4 Перевірочний розрахунок

Після вибору ланцюга проводиться перевірочний розрахунок, у якому виконуються докладні обчислення опорів руху на всіх ділянках траси на основі попереднього розрахунку.

Опір ходових катків, Н:

$$W_k = q \cdot L \cdot c, \quad (5.19)$$

де  $q$  - погонне навантаження від маси навантаженої гілки, Н/м.

Опір підшипників відхиляючих зірочок, Н:

$$W_o = 2,15S_{max} \cdot \omega_o \cdot \sin(\alpha_n/2), \quad (5.20)$$

де  $\omega_o$  - коефіцієнт опору підшипників зірочок, при підшипниках кочення,  $\omega_o = 0,002...0,008$ ; при підшипниках ковзання  $\omega_o = 0,015...0,025$ ;  $\alpha_n$  - кут перегину ланцюга, град.

Опір підшипників приводної зірочки, Н,

$$W_{np} = (S_{max} - S_o) \cdot \omega_o \cdot \sin(\alpha_n/2). \quad (5.21)$$

Опір відхиляючих зірочок, Н:

$$W_{e.3} = \omega_o \cdot S_{max}, \quad (5.22)$$

де  $\omega_o$  - умовний коефіцієнт опору залежно від кута повороту тягового елемента,  $\omega_o = 0,03...0,1$ .

Опір приводної зірочки, Н,

$$W_{np.3} = \omega_o (S_{max} + S_o). \quad (5.23)$$

Опір від перегину ланцюга на відхиляючій зірочці, Н:

$$W_{e.3} 2,1f_2 \cdot d_2 \cdot S_{max} / D_o, \quad (5.24)$$

де  $f_2$  - коефіцієнт тертя в шарнірах (таблиця 7);  $d_2$  - діаметр валика ланцюга, м;  $D_o$  - діаметр початкової окружності зірочок або номінальний діаметр блоків, м.

Таблиця 5.7 – Коефіцієнт тертя  $f_2$  у шарнірах ланцюга.

Умови роботи конвеєра	Змащення		
	рідке	консистентне	без змащення
Гарні	0,10...0,15	0,15...0,20	0,25
Середні	0,15...0,20	0,20...0,25	0,35
Важкі	0,20...0,25	0,25...0,30	0,45

Тягове зусилля на зірочці, Н:

$$F_o = \sum W_i, \quad (5.25)$$

де  $\sum W_i$  сума опорів конвеєра, Н:

$$\sum W_i = W_{\kappa} + 3W_o + W_{np} + 3W_{e.3} + W_{np.3} + 3W_{e.3}. \quad (5.26)$$

### 2.1.5 Уточнення продуктивності конвеєра.

Продуктивність може бути штучною або масовою. Штучна розрахункова продуктивність визначається як:

$$Q_p = Q_n \cdot k_{pz} / (k_g k_2) = 3600i \cdot v / t, \quad (5.27)$$

де  $Q_n$  - планова програма випуску вантажів (виробів), шт./год;  
 $k_{pz}$  - коефіцієнт резерву і нерівномірності завантаження  
 $k_{pz} = 1,1 \dots 1,2$ ;  $k_g$  - коефіцієнт використання конвеєра за часом  
 $k_g = 0,85 \dots 0,9$ ;  $k_2$  - коефіцієнт готовності конвеєра  $k_2 = 0,96$ .

По обчисленій розрахунковій продуктивності остаточно встановлюється крок підвісок і швидкість їх руху:

$$t = 3600i \cdot v / Q_p. \quad (5.28)$$

$$v = Q_p \cdot t / 3600 \cdot i. \quad (5.29)$$

У таблиці 5.8 дані рекомендовані кроки підвісок і штучна продуктивність при швидкості  $V = 0,1$  м/с і кількості вантажу на підвісці  $i = 1$ .

Таблиця 5.8 – Продуктивність конвеєра при різних кроках підвісок.

Крок підвіски $t$ , м	Значення коефіцієнта $n$ при $t$ , мм			Продуктивність $Q$ , шт.	Крок підвіски $t$ , м	Значення коефіцієнта $n$ при $t$ , мм			Продуктивність $Q$ , шт.
	80	100	160			80	100	160	
0,32	4	-	-	1125	1,60	20	16	10	225
0,48	6	-	-	750	1,76	22	-	-	204,5
0,60	-	6	-	600	1,80	-	18	-	200
0,64	8	-	4	562,5	1,92	24	-	12	187,5
0,80	10	8	-	450	2,00	-	20	-	180
0,96	12	-	6	375	2,40	30	24	-	150
1,00	-	10	-	360	2,56	32	-	16	140,6
1,12	14	-	-	321,4	3,20	40	32	20	112,5
1,20	-	12	-	300,0	3,36	42	-	-	107,1
1,28	16	-	8	281,2	3,40	-	34	-	105,9
1,40	-	14	-	257,1	3,52	44	-	22	102,3
1,44	18	-	-	250,0					

Масова розрахункова продуктивність

$$Q_{mp} = Q_p \cdot m_g / 1000 = 3,6m_g \cdot v / t, \quad (5.30)$$

де  $m_e$  - маса одного вантажу, кг.

### 2.1.6 Уточнений тяговий розрахунок конвеєра.

Уточнений докладний тяговий розрахунок виконують шляхом послідовного підсумовування лінійних і місцевих опорів на окремих ділянках траси конвеєра, починаючи із точки найменшого натягу (рисунки 5.8). Початковий натяг ланцюга вантажонесучого конвеєра звичайно приймають  $S_o = S_{min} = 500 \dots 1000$  Н.

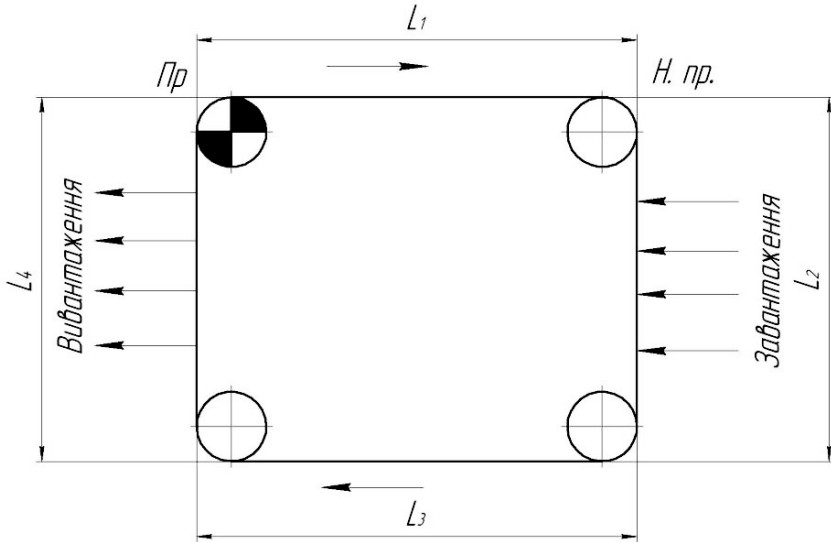


Рисунок 5.8 – Схема траси підвісного конвеєра.

Для горизонтальної прямолінійної ділянки:

$$S_n = S_{n-1} + \omega \cdot q' \cdot l. \quad (5.31)$$

для поворотної зірочки або блоку:

$$S_n = \zeta \cdot S_{n-1}. \quad (5.32)$$

для роlikової батареї:

$$S_n = \lambda \cdot S_{n-1}. \quad (5.33)$$

для вертикального перегину

$$S_n = \varphi(\varphi \cdot S_{n-1} + \omega \cdot q' \cdot l \pm q' \cdot h), \quad (5.34)$$

де  $S_n$  і  $S_{n-1}$  - натяг на кінці і початку розглянутого ділянки, Н;  $q'$  - лінійне навантаження, Н/м (для завантаженої гілки  $q' = q$ , для зворотної гілки  $q' = q_0$ ;  $l$  - довжина горизонтальної проекції ділянки траси, м;  $h$  - різниця висотних оцінок на кінці і початку ділянки, м.

Знак „+“ у формулі використовується на ділянках підйому, знак „-“ на ділянках спуску вантажу. Коефіцієнти опору для формул (5.32 – 5.34) вибираються за таблицею 5.3.

### 2.1.7 Вибір елементів привода

Колове зусилля на приводних зірочках визначається як:

$$W_o = S_{n\bar{o}} - S_{c\bar{o}} + (S_{n\bar{o}} + S_{c\bar{o}})(\xi - 1). \quad (5.35)$$

Необхідна потужність двигуна визначиться за виразом:

$$P = v \cdot k_3 \cdot W_o / 1000\eta, \quad (5.36)$$

де  $k_3 = 1,1 \dots 1,35$  - коефіцієнт запасу;  $W_o$  - колоне зусилля на приводних зірочках, Н;  $\eta = 0,9$  - ККД приводу конвеєра.

За значенням  $P$  з каталогу вибирається двигун з потужністю  $P_\delta \geq P$ , кВт, і частотою обертання  $n$ , об/хв.

Частота обертання приводного вала, об/хв:

$$n_{np} = \frac{60v}{\pi \cdot D_o}, \quad (5.37)$$

де  $v$  - швидкість тягового органа, м/с.

Необхідне передаточне число привода

$$U = n_\delta / n_{np}. \quad (5.38)$$

За значенням передаточного числа вибирається редуктор привода з урахуванням передачі потужності  $P_{ред} > P_\delta$ .

Статичний гальмівний момент визначиться з виразу:

$$M_{m.c} = 9550P/n. \quad (5.39)$$

Гальмівний момент:

$$M_{m.p} = k_m \cdot M_{m.c}, \quad (5.40)$$

де  $k_m$  - коефіцієнт запасу гальмування,  $k_m = 1,5 \dots 1,75$ .

### 3 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

**Вихідні дані.** Розраховується підвісний несучий конвеєр з горизонтальною трасою для переміщення ящиків з овочами між ділянками сховища.

Загальна довжина траси  $L = 50$  м; довжина ділянок траси показана на рисунку 2; планова продуктивність конвеєра  $Q_n = 1200$  шт./год; швидкість ланцюга конвеєра  $v = 0,4$  м/с; завантаження і розвантаження підвісок – ручне; маса підвіски  $m_n = 10$  кг; число вантажів на підвісці 1, шт.; маса вантажу  $m_g = 25$  кг; розміри вантажу (висота  $h_g = 0,3$  м; ширина  $b_g = 0,55$  м; довжина  $b_l = 0,55$  м); режим роботи конвеєра – середній; умови роботи – середні.

**Визначити.** Параметри кареток, погонні навантаження, натяг ланцюгів, значення опорів руху на ділянках траси, уточнену продуктивність та тягові характеристики конвеєра, параметри привода і гальма.

#### Розрахунок

В якості тягового органа приймаємо попередньо (таблиця 5.1) ланцюг розбірний **P2-100-220**, кроком  $t_l = 100$  мм; руйнівним навантаженням  $F_{руйн} = 220$  кН; масою 1 м ланцюга **5,2** кг.

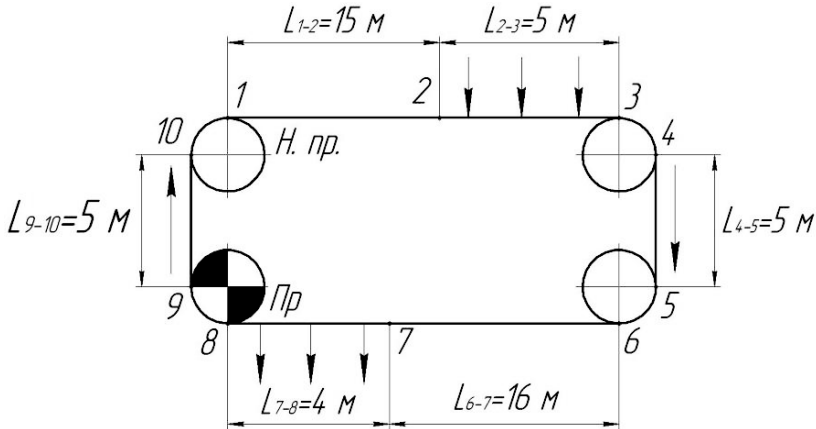


Рисунок 5.9 – Розрахункова схема підвісного конвеєра.

За таблицею 5.2 попередньо вибираємо зірочки конвеєра:

Число зубів  $z = 16$ ; діаметр  $D_3 = 1025,7$  мм; радіус горизонтального повороту  $R_n = R_o = 510$  мм.



Розрахунковий крок підвісок визначаємо за формулою (5.1):

$$t = 3600 \cdot 0,4 \cdot 1 / 1200 = 1,2 \text{ м.}$$

Половина кута між підвісками визначається за виразом (5.4) при значенні  $k_1 = 0,325$  м:

$$\operatorname{tg} \alpha_m \approx \frac{0,55 + 1,5 \cdot 0,1}{2(0,51 - 0,325)} = 1,86,$$

що відповідає куту  $61,7^\circ$  або  $1,08$  рад.

Мінімальний крок, при якому підвіски не зачіпають одна одну при обході зірочок визначається за формулою (5.3)

$$t_{\min} = 2 \cdot 0,51 \cdot 1,08 = 1,1 \text{ м,}$$

Для дотримання співвідношення  $t > t_{\min}$  приймаємо у відповідності до рекомендацій  $t = 1,2$  мм.

За таблицею 5. 3 приймаємо каретку з граничною вантажопідйомністю  $[F] = 5$  кН; масою  $m_k = 5,5$  кг; ходовий шлях – двотавр №14. Крок кареток за рекомендованим нормальним рядом  $t_k = 600$  мм.

Погонне навантаження від маси холостої гілки без урахування пропускання нерозвантажених підвісок визначається за формулою (5.8):

$$q_x = \left( \frac{10}{1,2} + \frac{5,5}{0,6} + 5,2 \right) \cdot 9,81 = 222,7 \text{ Н/м.}$$

Погонне навантаження від маси вантажу визначається за виразом (5.10):

$$q_e = 25 \cdot 9,81 / 1,2 = 204,3 \text{ Н/м.}$$

Погонне навантаження від маси холостої гілки з урахуванням пропуску на зворотну гілку нерозвантажених підвісок за формулою 9:

$$q'_x = 222,7 + 0,12 \cdot 204,3 = 247,2 \text{ Н/м.}$$

Погонне навантаження від маси навантаженої гілки визначається по (11):

$$q = 222,7 + 204,3 = 427,0 \text{ Н/м.}$$

Коефіцієнт місцевих опорів визначається за формулою (5.13) при наявності тільки чотирьох горизонтальних поворотів  $\xi = 1,025$  і  $y = 4$ :

$$k_m = 1,025^4 = 1,104.$$

Максимальний натяг (Н) тягового ланцюга обчислюємо за формулою (5.12):

$$S_{max} \approx 1000 \cdot 1,104 + 0,026(427 \cdot 30 + 222,7 \cdot 20)(1 + 0,2 \cdot 1,104) = 1652 \text{ Н}$$

Коефіцієнт запасу міцності на розтяг обчислюємо за виразом (5.15):

$$n_n = 5 / (1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,8) = 7,8.$$

Умова міцності визначається за виразом (14):

$$S_{руйн} = 220 \cdot 10^3 \geq 1652 \cdot 7,8 = 12,9 \cdot 10^3 \text{ Н. Умова виконується.}$$

Розрахункове статичне навантаження на каретку обчислюємо за формулою (5.17):

$$F_p = 0,6 \cdot \left( \frac{1652}{0,51} + 5,2 \cdot 9,81 \right) + 5,5 \cdot 9,81 = 2028 \text{ Н.}$$

Вибір типорозміру каретки задовольняє умові міцності (5.18):

$$2028 \leq [5000] \text{ Н.}$$

Опір ходових катків визначаємо за формулою (5.19):

$$W_k = 427 \cdot 50 \cdot 0,026 = 555,1 \text{ Н.}$$

Опір підшипників відхиляючих зірочок визначається за виразом (5.20):

$$W_o = 2,15 \cdot 1652 \cdot 0,002 \cdot \sin(90^\circ/2) = 5,0 \text{ Н.}$$

Опір підшипників приводної зірочки обчислюємо за формулою (5.21):

$$W_{np} = (1652 - 1000) \cdot 0,002 \cdot \sin(90^\circ/2) = 0,92 \text{ Н.}$$

Опір відхиляючих зірочок знаходимо за виразом (5.22):

$$W_{в.з} = 0,03 \cdot 1652 = 49,6 \text{ Н.}$$

Опір приводної зірочки визначений за формулою (5.23):

$$W_{np.з} = 0,03(1652 + 1000) = 79,6 \text{ Н.}$$

Опір від перегину ланцюга на відхиляючій зірочці розраховуємо за виразом (5.24):

$$W_{в.з} = 2,1 \cdot 0,2 \cdot 0,016 \cdot 1652 / 1,0257 = 10,8 \text{ Н.}$$

Тягове зусилля на зірочці визначаємо за формулами (5.25) і (5.26):

$$F_o = 555,1 + 3 \cdot 5,0 + 0,92 + 3 \cdot 49,6 + 79,6 + 3 \cdot 10,8 = 831,8 \text{ Н.}$$

Штучна розрахункова продуктивність обчислюється за формулою (5.27):

$$Q_p = 1200 \cdot 1.1 / (0.9 \cdot 0.96) = 1527 \text{ шт./год.}$$

Швидкість ланцюга для досягнення цієї продуктивності знаходиться за формулою (5.29):

$$v = 1527 \cdot 1.2 / 3600 \cdot 1 = 0.51 \text{ м/с.}$$

Натяг ланцюга по всьому контуру траси проводимо шляхом послідовного сумування сил опору руху на окремих ділянках траси, починаючи з точки 1 – мінімального натягу  $S_{min}$ .

- за напрямом руху:

$$S_1 = S_{min} = 1000 \text{ Н;}$$

$$S_2 = S_1 + c \cdot q_x \cdot l_{1-2} = 1000 + 0.026 \cdot 222.7 \cdot 15 = 1086.9 \text{ Н;}$$

$$S_3 = S_2 + c \cdot q \cdot l_{2-3} = 1086.9 + 0.026 \cdot 427 \cdot 5 = 1142.4 \text{ Н;}$$

$$S_4 = \xi \cdot S_3 = 1.025 \cdot 1142.4 = 1171 \text{ Н;}$$

$$S_5 = S_4 + c \cdot q \cdot l_{4-5} = 1171 + 0.026 \cdot 427 \cdot 5 = 1226.5 \text{ Н;}$$

$$S_6 = \xi \cdot S_5 = 1.025 \cdot 1226.5 = 1257.2 \text{ Н;}$$

$$S_7 = S_6 + c \cdot q \cdot l_{6-7} = 1257.2 + 0.026 \cdot 427 \cdot 16 = 1434.8 \text{ Н;}$$

$$S_8 = S_7 + c \cdot q' \cdot l_{7-8} = 1434.8 + 0.026 \cdot 427 \cdot 4 = 1479.2 \text{ Н.}$$

- проти напрямом руху:

$$S_{10} = S_1 / \xi = 1000 / 1.025 = 975.6 \text{ Н;}$$

$$S_9 = S_{10} - c \cdot q_x \cdot l_{9-10} = 975.6 - 0.026 \cdot 222.7 \cdot 5 = 946.6 \text{ Н.}$$

Значення  $S_8 = 1479.2 \text{ Н}$  відрізняється від  $S_{max} = 1652 \text{ Н}$  на 10,5 %, що підтверджує правильність вибору типорозміру тягового ланцюга.

Колове зусилля на приводній зірочці визначається за виразом (5.35):

$$W_o = 1479.2 - 946.6 + (1479.2 + 946.6)(1.025 - 1) = 593.2 \text{ Н}$$

Необхідна потужність двигуна визначиться за виразом (5.36):

$$P = 0.4 \cdot 1.3 \cdot 593.2 / 1000 \cdot 0.9 = 0.34 \text{ кВт}$$

Частота обертання приводного валу обчислюється за формулою (5.37):

$$n_{np} = 60 \cdot 0.4 / 3.14 \cdot 1.0257 = 7.44 \text{ об/хв.}$$

Обертаючий момент на приводній зірочці визначиться як:

$$T = 0,5W_o \cdot D_3 = 0,5 \cdot 593,2 \cdot 1,0257 = 304,5 \text{ Нм.}$$

Приймається [3] мотор-редуктор хвильовий *ЗМВ-100* з частотою обертання веденого вала  $n_a = 7,1$  об/хв та допустимий обертаючий момент  $T_{вих} = 350$  Нм. Відхилення частоти обертання від потрібної **4,5%**.

У зв'язку з застосуванням хвильового мотор-редуктора гальмівний пристрій не застосовуємо.

### Список літератури

1. Барышев А.И., Будишевский В.А. и др. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия. Донецк, 2005, 689 с.
2. Мусяченко Е.В. и др. Расчет и проектирование машин непрерывного транспорта. [Электронный ресурс]: Красноярск: 2009. 102 с.
3. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х томах. Т.3 М.: Машиностроение. 2001. 858 с.

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6**

### **РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ КАМЕРИ ОХОЛОДЖЕННЯ М'ЯСА В НАПІВТУШАХ**

**Мета роботи:** вивчення методики визначення основних параметрів камери охолодження м'яса, яка обладнана комбінованою повітряно-радіаційною системою.

#### **1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА**

##### **1.1 Відомості про камери холодильної обробки м'яса**

На сучасних м'ясопереробних підприємствах все м'ясо та види м'ясопродуктів, що виробляється, піддається тому або іншому способу холодильної обробки.

Поняття „холодильна обробка“ включає в себе проведення процесів охолодження, підморожування і заморожування, розморожування і напівтуш м'яса, а також їх доохолодження, доморожування або доотеплення з вирівнюванням температури по всьому об'єму.

Для цього застосовують камери (або тунелі) для холодильної обробки м'яса, які можуть бути циклічної або безперервної дії. Ємність камер циклічної дії (наприклад, для м'ясокомбінатів) розраховується не більше як на напівзмінну продуктивність цеху первинної переробки худоби, а безперервного – на всю обробку м'яса за зміну. Завдяки постійному завантаженню та розвантаженню камер і безперервній роботі приладів охолодження температурні режими в камерах безперервної дії більш стабільні, чим в камерах циклічної дії.

Температура та швидкість руху повітря в камерах холодильної обробки м'яса повинні бути рівномірні по всій площі.

Найбільш поширений спосіб розміщення напівтуш тварин в камері – на підвісних шляхах, м'ясопродуктів – в різноманітній тарі. У невеликих за об'ємом камерах м'ясо також розміщують на рамах.

Завантаження м'яса на підвісні шляхи камер роблять за допомогою конвеєрів або вручну – циклічно або безупинно, з одночасним підсортуванням напівтуш за категоріями угодованості та масі.

На кожний підвісний шлях розміщують при можливості туші та напівтуші однієї категорії з приблизно однаковою масою. Великі напівтуші розміщують у зоні з мінімальною температурою та найбільш інтенсивним рухом повітря.

М'ясо на підвісних шляхах і рамах розміщують з інтервалами

між сусідніми напівтушами або тушами в 30...50 мм.

На погонному метрі підвісного шляху розміщують по 2-3 яловичих, 3-4 свинячих напівтуші або раму з баранячими тушами. Навантаження на один погонний метр шляху становить для яловичини близько 250 кг, для свинини і баранини – 200 кг.

Вивантаження м'яса з камер холодильної обробки проводять за допомогою розвантажувального конвеєра або вручну.

При циклічній роботі камер у повний цикл входить час, витрачений на завантаження, холодильну обробку, вивантаження і підготовку камер для наступного циклу. Тривалість завантаження і вивантаження встановлюється в паспорті підприємства залежно від графіка роботи первинної переробки худоби, засобів механізації вантажних робіт та ємності камер.

На м'ясокомбінатах при безперервній роботі камер для охолодження парного м'яса, або для його заморожування однофазним способом, завантаження м'яса ведеться по окремих нитках підвісних шляхів, в строгій послідовності їх розташування в камерах за графіком, тобто поточно і по можливості синхронно з роботою конвеєра обробки туш (боєнського конвеєра). Вивантаження м'яса з підвісних шляхів проводиться в тій же послідовності, що й завантаження; у першу чергу вивантажується м'ясо, яке було завантажене першим.

У цих випадках для зручності вантажних робіт вивантаження м'яса повинне випереджати завантаження на 1...2 нитки підвісних шляхів, які постійно тримаються вільними від м'яса. Безперервна робота рекомендується в камерах, що мають не менше 10 ниток підвісних шляхів.

Залежно від призначення охолоджуваних приміщень, заданих температурно-вологісних режимів зберігання швидкопсувних вантажів, їх характеру, способів упакування і строків зберігання проектують батарейне, повітряне або змішане охолодження камер.

Батарейне охолодження рекомендується для камер зберігання неупакованих морожених продуктів на розподільних та виробничих холодильниках. Батарейні застосовують також для охолодження камер малих холодильників, а також для невеликих приміщень допоміжного призначення розподільних холодильників (накопичувальних, розвантажувальних при камерах заморожування, приміщення для зберігання некондиційних вантажів та ін.).

Повітряне охолодження широко використовується в камерах інтенсивної холодильної обробки продуктів (охолодження, заморожу-

вання), камерах зберігання охолоджених вантажів, камерах зберігання упакованих морожених продуктів, допоміжних камерах виробничих холодильників (експедиції та ін.). Практично підтверджена доцільність повітряного охолодження низькотемпературних камер зберігання неупакованих продуктів (м'ясо, риба та ін.) при режимі мінус 28 - 30° С. При цьому природні втрати продуктів не перевищують норм, встановлених для неупакованих продуктів, які зберігаються при мінус 18°... 20 °С у камерах з батарейним охолодженням.

Перевагами повітряного охолодження є рівномірність розподілу температури повітря за об'ємом камер; мала металоемність устаткування камер; прискорення процесів холодильної обробки продуктів при менших масових втратах; виключення ручної праці при відтаванні устаткування; можливість повної автоматизації роботи камер зберігання; прискорення і здешевлення монтажних робіт.

В камерах охолодження і камерах заморожування повинна бути забезпечена інтенсивна циркуляція повітря в зоні знаходження продукту при швидкості 1,0 - 2,0 м/с, швидкість повітря в зоні продукту повинна бути мінімальною (не більше 0,1 - 0,2 м/с). При повітряному охолодженні затрачається енергія для привода вентиляторів повітроохолоджувачів. Цей недолік окупається перевагами способу.

Змішаний спосіб охолодження, полягає у використанні повітроохолоджувачів і батарей, які застосовують для камер розподільних холодильників з універсальним температурним режимом (наприклад, 0 мінус 20°С).

При змішаному способі охолодження використовують стельові і пристінні батареї та повітроохолоджувачі або вентилятори.

Найбільш повноцінним за поживними і смаковими якостями є охоложене м'ясо. М'якість, соковитість і аромат охолодженого м'яса обумовлені процесом, який називається дозріванням. Тривалість дозрівання залежить від температури зберігання м'яса: чим вища температура, тим скоріше завершується процес.

У даній практичній роботі наводиться приклад розрахунку камери холодильної обробки м'ясних напівтуш охолодженням. Передбачається охолоджувальне обладнання, що працює за змішаним способом і складається з ребристих батарей, розташованих між рядами напівтуш, і вентиляційної системи з осьовими вентиляторами над підвісною стелею камери.

## 2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

### 2.1 Вихідні дані

*Об'єкти охолодження* – напівтуші, підвішені на підвісному шляху, система охолодження комбінована (повітряно-радіаційна) з міжрядними радіаційними батареями, продуктивність камери  $Q$ , т/добу, швидкість руху повітря в зоні розташування стегнової частини напівтуші  $w_0$ , м/с, температура повітря в камері  $t_{nm}$ , °С.

*Потрібно визначити:* тривалість циклу охолодження  $\tau$ , місткість і розміри камери, об'ємну подачу повітря, теплове навантаження на камерне холодильне устаткування і площу поверхні охолоджуючих пристроїв, виконати компонування устаткування камери, а також розрахувати втрати напору при русі повітря в циркуляційному кільці, а також потужність електродвигунів вентиляторів.

### 2.2 Порядок розрахунку

Для більшої наочності розрахунок проводимо у числовій формі  $Q = 32$  т/добу,  $w_0 = 1,5$  м/с,  $t_{nm} = -4$  °С.

Тривалість охолодження напівтуші м'яса в камері при вимушеному русі повітря можна визначити за формулою з довідника [1]

$$\tau = 0,0962 c_0 \cdot \rho \cdot \delta [(t_{над} - t_{nm}) / (t_{вип} - t_{nm})]^{1,5} / \alpha_{np}, \quad (6.1)$$

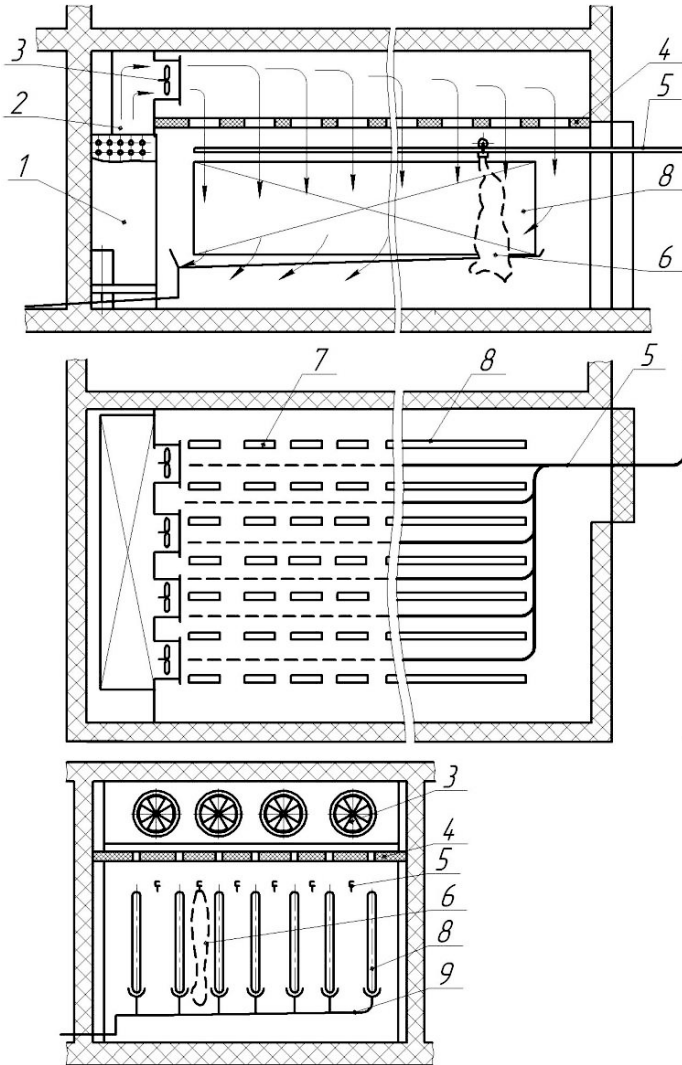
де  $c_0$  - теплоємність охолодженого м'яса,  $c_0 = 3300$  Дж/(кг·К);  $\rho$  - щільність м'яса,  $\rho = 1050$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta$  - товщина стегнової частини напівтуші, м (для напівтуші масою 85 кг товщина стегнової частини  $\delta = 0,2$  м);  $\alpha_{np}$  - приведений коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_{над}$  - температура м'яса при надходженні в камеру,  $t_{над} = 39$  °С;  $t_{вип}$  - температура м'яса при випуску з камери,  $t_{вип} = -4$  °С (температура надходження і випуску приймається згідно з технологічними даними).

Наведений коефіцієнт тепловіддачі для камер охолодження з міжрядними радіаційними батареями (радіаційна і повітряно-радіаційна системи охолодження) визначають за рівнянням

$$\alpha_{np} = \alpha_k + \alpha_e + \alpha_s, \quad (6.2)$$

де  $\alpha_k, \alpha_e, \alpha_s$  - коефіцієнти тепловіддачі, відповідно, конвективний, при випарі вологи з поверхні напівтуші і радіаційний, Вт/(м<sup>2</sup>·К).





1 – повітроохолоджувач; 2 – повітропровід; 3 – вентилятор;  
 4 – фальшива стеля; 5 – підвісний шлях; 6 – напівтуша; 7 – сопл  
 о; 8 – охолоджуюча батарея; 9 – система зливу відталोї води.

Рисунок 6.1 – Схема камери для охолодження м'яса.

Конвективний коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_k$  можна обчислити з рівняння подоби [2]

$$Nu = 0,33 Re^{0,28}, Nu = \alpha_k \cdot \delta / \lambda_n, \quad (6.3)$$

де  $Nu$  - число Нуссельта;  $\lambda_n$  - теплопровідність повітря, Вт/(м·К);  $Re$  - число Рейнольдса.

Число Рейнольдса визначається при  $t_{\text{вн}} = -4$  °С і кінематичному коефіцієнті в'язкості повітря  $\nu_n = 12,94 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с (додаток А)

$$Re = w_6 \cdot \delta / \nu_n. \quad (6.4)$$

$$Re = 1,5 \cdot 0,2 / 12,94 \cdot 10^{-6} = 23183.$$

Число Нуссельта буде дорівнювати

$$Nu = 0,33 \cdot 23183^{0,28} = 112,3.$$

З вище наведеної критеріальної залежності конвективний коефіцієнт тепловіддачі, враховуючи теплопровідність повітря,  $\lambda_n = 0,024$  Вт/(м·К) при температурі повітря в камері  $t_{nm} = -4$  °С (див. додаток А), буде складати:

$$\alpha_k = 112,3 \cdot 0,024 / 0,2 = 13,47 \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}.$$

Радіаційний коефіцієнт тепловіддачі для камер охолодження з міжрядними радіаційними батареями визначаємо із залежності

$$\alpha_s = 3,7 \cdot \theta_p, \quad (6.5)$$

де  $\theta_p$  - коефіцієнт, що залежить від температурного режиму роботи камери охолодження,

$$\theta_p = [(0,01T_m)^4 - (0,01T_6)^4] / (t_m - t_6), \quad (6.6)$$

$T_6$ ,  $T_m$  - температура, відповідно, поверхні стегової частини напівтуші і міжрядних радіаційних батарей, К;  $t_6$ ,  $t_m$  - температури, відповідно, поверхні стегової частини напівтуші і міжрядних радіаційних батарей, °С.

Температура поверхні стегнової частини напівтуші за цикл охолодження в камерах з радіаційними батареями становить  $t_M = 4...6$  °С, тоді в Кельвінах:

$$T_M = t_M + 273,$$

$$T_M = 5 + 273 = 278 \text{ К}$$

Температуру поверхні міжрядних радіаційних батарей (додаток Б), покритих інеєм товщиною 5...7 мм, можна розрахувати по залежності:

$$t_{\theta} = t_0 + (2...3), \quad (6.7)$$

де  $t_0$  - температура кипіння холодоагенту, °С.

Температуру кипіння холодоагенту в батареях приймаємо:

$$t_0 = -17 \text{ °С.}$$

У цьому випадку температура поверхні міжрядних радіаційних батарей складе:

$$t_{\theta} = -17 + 2 = -15 \text{ °С}; \quad T_{\theta} = -15 + 273 = 258 \text{ К.}$$

Звідси

$$\theta_p = [(0,01 \cdot 278)^4 - (0,01 \cdot 258)^4] / (5 - (-15)) = 0,776.$$

Одержуємо радіаційний коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha_s = 3,7 \cdot 0,776 = 2,93 \text{ Вт/(м}^2\text{·К).}$$

Згідно експериментальним даним у камерах охолодження м'яса з повітряно-радіаційною системою коефіцієнт тепловіддачі випаром орієнтовно становить  $\alpha_g = 1,4...1,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Прийmemo  $\alpha_g = 1,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Наведений коефіцієнт тепловіддачі від поверхні м'яса, що охолоджується, складе:

$$\alpha_{np} = 13,47 + 1,5 + 2,93 = 17,9 \text{ Вт/(м}^2\text{·К).}$$

Тривалість охолодження за формулою (6.1)

$$\tau = \frac{0,0962 \cdot 3300 \cdot 1050 \cdot 0,2 [(39 - (-4)) / (4 - (-4))]^{1,5}}{17,9} = 47160 \text{ с.}$$

що в годинах складе  $\tau = 13,1$  год.

Якщо прийняти, що камера охолодження працює з періодичним завантаженням і вивантаженням м'яса, то тривалість робочого циклу охолодження складе

$$\tau_{\text{ц}} = \tau + \tau_{3.6}, \quad (6.8)$$

де  $\tau_{3.6}$  - тривалість завантаження і вивантаження м'яса (у подібних камерах за дослідними даними становить 2...4 год).

Приймаємо  $\tau_{3.6} = 2$  год. У цьому випадку тривалість робочого циклу охолодження м'яса складе:

$$\tau_{\text{ц}} = 13 + 2 = 15 \text{ год.}$$

Тоді місткість камери охолодження визначиться як:

$$M = G \cdot \tau_{\text{ц}} / 24. \quad (6.9)$$

$$M = 32 \cdot 15 / 24 = 20 \text{ т.}$$

Будівельна площа камери охолодження м'яса визначається виходячи з норми навантаження на виробничу площу

$$S = M / g_i, \quad (6.10)$$

де  $g_i$  - норма навантаження для камер з розміщенням вантажу на підвісних шляхах  $g_i = 0,225...0,250$  т/м<sup>2</sup>.

$$S = 20 / 0,24 = 83,3 \text{ м}^2.$$

Камеру охолодження м'яса розташовуємо в будівельному прямокутнику з розмірами  $B = 6$  м і  $L = 18$  м, беручи до уваги, що частину будівельної площі камери буде займати сухий стаціонарний повітроохолоджувач.

$$S_{\phi} = 6 \cdot 18 = 108 \text{ м}^2.$$

Довжину підвісних шляхів, на яких перебуває м'ясо у процесі його охолодження в камері, визначають також з норми навантаження:

$$l_{\text{ш}} = M / g_l, \quad (6.11)$$

$g_l$  - норма навантаження від напівтуш м'яса на погонний метр підвісного шляху  $g_l = 0,25...0,3$  т/м.

$$l_{\text{ш}} = 20 / 0,28 = 71,4 \text{ м.}$$

Прийmemo, що в камері розміщено шість ниток підвісного шляху довжиною по  $l_{\text{нит}} = 12$  м кожна; тільки при цій умові одержимо розраховану довжину підвісних шляхів  $l_{\text{шф}} = 6 \cdot 12 = 72$  м. Відстань між нитками підвісного шляху приймаємо **800...900** мм.

У якості системи повітрярозподілу в камері охолодження приймається систему фальшивої підвісної стелі (див. рисунок 6.1).

У камеру повітря попадає через щілинні сопла, утворені підшивкою фальшивої підвісної стелі. Сопла розташовуються уздовж ниток підвісного шляху.

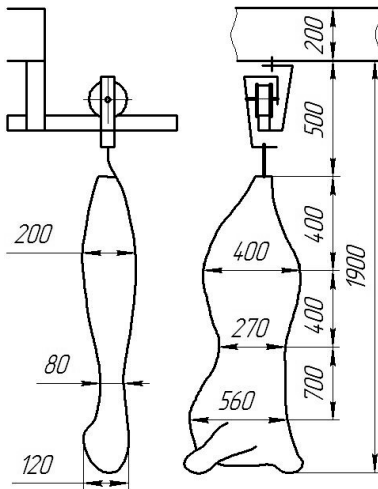


Рисунок 6.2 – Розташування напівтуші м'яса на підвісному шляху.

У камері сопла виконані у фальшивій стелі, розташованій на кріпленнях підвісного шляху, тому найбільш товста частина напівтуші (стегонова), виходячи з конструктивних особливостей, перебуває на відстані  $l_0 = 200 + 500 + 400 = 1100$  мм від них (рисунок 6.2).

Ширину сопла (щілини у стелі) приймаємо рівною  $2b_0 = 40$  мм, довжину сопла  $l_s = 600$  мм, а проміжок між соплами  $l_p = 300$  мм (див. рисунок 6.3).

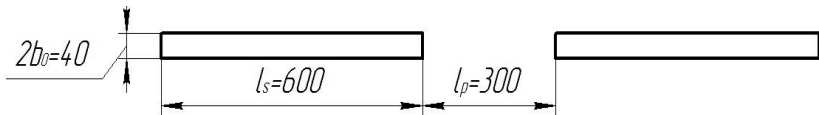


Рисунок 6.3 – Розміри сопел в фальшивій стелі.

Початкову швидкість руху повітря на виході із сопла можна знайти з формули для вільних струменів. При розрахунках урахує-

мо, що в зоні розташування стегової частини потрібно забезпечити швидкість руху повітря  $w_0 = 1,5$  м/с.

Тоді початкова швидкість руху повітря на виході із сопла буде визначатися як:

$$w_0 = w_0 (\alpha_m \cdot l_0 / b_0 + 0,41)^{0,5} / 0,82, \quad (6.12)$$

де  $\alpha_m$  - коефіцієнт турбулентної структури струменя повітря, для плоского струменя  $\alpha_m = 0,12$ .

$$w_0 = 1,5(0,12 \cdot 1,1/0,02 + 0,41)^{0,5} / 0,82 = 4,84 \text{ м/с.}$$

У камері конструктивно передбачаємо сім рядів сопел (при шести нитках підвісного шляху). Кожний ряд сопел розташований на ділянці довжиною 12 м, на якому при довжині сопла  $l_s = 600$  мм і розриві між ними  $l_p = 300$  мм можна розмістити  $12000/(600 + 300) = 13$  шт сопел. Загальна кількість сопел у камері складе  $n_s = 13 \cdot 7 = 91$  шт. Площа перетину одного сопла складе:

$$S_{s1} = l_s \cdot 2b_0. \quad (6.13)$$

$$S_{s1} = 0,6 \cdot 2 \cdot 0,02 = 0,024 \text{ м}^2.$$

Сумарна площа перетину всіх сопел (щілин) камери

$$S_s = n_s \cdot S_{s1}. \quad (6.14)$$

$$S_s = 91 \cdot 0,024 = 2,18 \text{ м}^2.$$

Об'ємна подача повітря через щілини становить

$$V_0 = w_0 \cdot S_s. \quad (6.15)$$

$$V_0 = 4,84 \cdot 2,18 = 10,6 \text{ м}^3/\text{с} = 38054 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Теплове навантаження на холодильне устаткування камери визначають за рівнянням

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (6.16)$$

де  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  - теплопритоки, відповідно, через огороження камери, від м'яса, яке охолоджується, при вентиляції приміщення і експлуатації охолоджуваного м'яса, експлуатаційні.

Теплоприток через огороження визначається за залежністю

$$Q_1 = \sum k_i \cdot S_i \cdot \Delta t_i, \quad (6.17)$$

де  $k_i$  - коефіцієнт теплопередачі кожного огороження, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $S_i$  - площа огороження, м<sup>2</sup>;  $\Delta t_i$  - різниця температур зовні камери і всередині приміщення, що охолоджується, °С.

Вважаємо (див. рисунок 1), що три стіни камери і верхнє перекриття граничать із приміщеннями, температура в яких дорівнює  $t_{nm} = 0$  °С, а одна стіна є зовнішньою, орієнтованою на північ. Температура зовнішнього повітря  $t_{3,n} = 30$  °С. Підлога лежить на ґрунті.

Коефіцієнт теплопередачі кожної внутрішньої стіни становить **0,58** Вт/(м<sup>2</sup>·К), а зовнішньої – **0,35** Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Площа торцевої стіни камери при будівельній висоті приміщення  $H = 4,8$  м складе:

$$S_{m.c} = B \cdot H. \quad (6.18)$$

$$S_{m.c} = 6 \cdot 4,8 = 28,8 \text{ м}^2.$$

Площа бічної стіни камери визначиться як:

$$S_{b.c} = L \cdot H. \quad (6.19)$$

$$S_{b.c} = 18 \cdot 4,8 = 86,4 \text{ м}^2.$$

Площа перекриття камери  $S_{n.к} = S_{\phi} = 108 \text{ м}^2$ .

Тоді теплоприток через огороження складе згідно (6.17):

$$Q_1 = 0,58(2 \cdot 86,4 + 28,8 + 108) \cdot 4 + 0,35 \cdot 28,8 \cdot 34 = 1061 \text{ Вт}.$$

Теплоприток від охолоджуваного в камері м'яса

$$Q_2 = M \cdot K(i_{надх} - i_{вип}) / \tau, \quad (6.20)$$

де  $i_{надх}, i_{вип}$  - питома ентальпія, відповідно, м'яса, що надходить на охолодження і охоложеного м'яса (додаток В);  $K$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність теплового навантаження у процесі охолодження м'яса в камерах з періодичним завантаженням  $K = 1,3$ .

$$Q_2 = 20000 \cdot 1,3(358,6 - 245,5) / 47160 = 62,35 \text{ кВт}.$$

Теплоприток на вентиляцію приймається  $Q_3 = 0$ .

Експлуатаційний теплоприток від електродвигунів вентиляторів у камері холодильної обробки орієнтовно становить:

$$Q_4 = 0,1 \cdot Q_2. \quad (6.21)$$

$$Q_4 = 0,1 \cdot 62,35 = 6,24 \text{ кВт.}$$

Теплове навантаження на холодильне устаткування камери:

$$Q_0 = 1,06 + 62,35 + 0 + 6,24 = 69,65 \text{ кВт.}$$

Теплове навантаження на холодильне устаткування камери, оснащеної повітряно-радіаційною системою охолодження, частково поділяється міжрядними радіаційними батареями, а частково – повітроохолоджувачами.

Приймаємо, що міжрядні радіаційні батареї, встановлені в камері, монтуються з листоканальних панелей довжиною по 2 м і висотою 1,25 м (додаток Б). Панелі встановлені по висоті в один ряд (можливий і дворядний варіант розміщення панелей).

По довжині однієї нитки підвісного шляху  $l_{\text{шл}} = 12$  м з урахуванням відступів для руху напівтуш по поперечних підвісних шляхах можна розмістити  $n_6 = (12 - 1)/2 = 5$  шт, батарей.

При шести нитках підвісного шляху в камері можна встановити  $n_p = 6 + 1 = 7$  рядів радіаційних батарей загальною довжиною:

$$l_{3.6} = n_6 \cdot n_p \cdot l_6. \quad (6.22)$$

$$l_{3.6} = 5 \cdot 7 \cdot 2 = 70 \text{ м.}$$

Теплопередаюча площа поверхні всіх батарей буде дорівнювати

$$S_{3.6} = l_{3.6} \cdot S_{n.6}, \quad (6.23)$$

де  $S_{n.6}$  - погонна площа панельної батареї, м /пог. м (додаток Б).

$$S_{3.6} = 70 \cdot 2,5 = 175 \text{ м}^2.$$

Теплове навантаження, що відводиться міжрядними радіаційними батареями, визначається за залежністю:

$$Q_6 = S_{3.6} \cdot q_s. \quad (6.24)$$



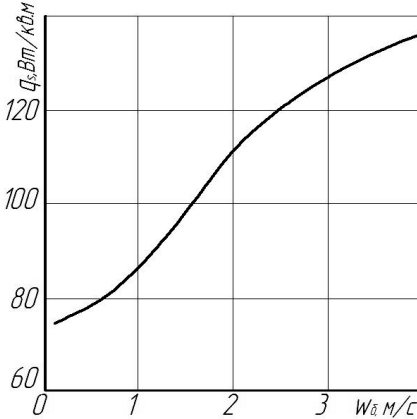
де  $q_s$  - щільність теплового потоку міжрядних радіаційних батарей, Вт/м (рисунок 6.3).

$$Q_0 = 175 \cdot 102 = 17850 \text{ Вт.}$$

Теплове навантаження, що доводиться на повітроохолоджувач, становить:

$$Q_{no} = Q_0 - Q_0', \quad (6.25)$$

$$Q_{no} = 62,65 - 17,85 = 44,8 \text{ кВт.}$$



Теплопередаючу площу поверхні повітроохолоджувача розраховують за формулою:

$$S_{no} = Q_{no} / (k_0 \cdot \theta), \quad (6.26)$$

де  $k_0$  - коефіцієнт теплопередачі повітроохолоджувача, Вт/(м<sup>2</sup>·К) (додаток Г);  $\theta$  - середній логарифмічний температурний напір між повітрям, яке проходить через повітроохолоджувач та холодоагентом, який кипить, К. Для учбових розрахунків приймається  $\theta = 10 \dots 15$  К.

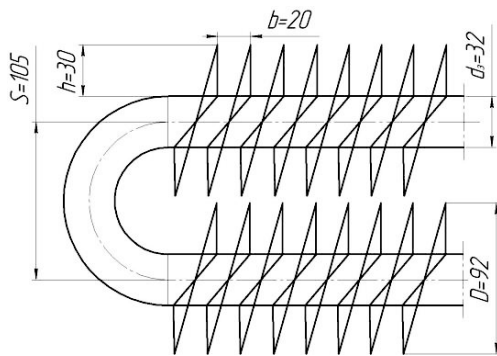
$$S_{no} = 44800 / (10 \cdot 13) = 344,6 \text{ м}^2.$$

Приймаємо для камери односекційний повітроохолоджувач індивідуального виготовлення з оребрених труб діаметром  $d_3 = 32$  мм. Оребрення труб виконане спіральною стрічкою товщиною  $\delta_p = 1$  мм і висотою  $h = 30$  мм при крокові оребрення  $t_p = 20$  мм. Площа поверхні теплообміну 1 м такої оребреної труби становить  $S_{mp} = 0,69$  м<sup>2</sup> (додаток Д). Тоді довжина труб у секції повітроохолоджувача складе:

$$L_{mp} = S_{no} / S_{mp}. \quad (6.27)$$

$$L_{mp} = 344,6 / 0,69 = 499 \text{ м.}$$

Секція повітроохолоджувача компонується з відрізків (додаток Г і рисунок 6.4), з'єднаних напівкільцями (калачами) труб.



У зв'язку з тим, що прийнято сім рядів сопел з розміром між їх рядами 0,9 м, то відстань між крайніми рядами сопел у камері буде складати  $(7 - 1) \cdot 0,9 = 5,4$  м. Задаємо довжиною відрізка труби таким чином, щоб вона була дещо більша відстані між крайніми рядами сопел.

Тоді довжина відрізка труби дорівнює:

$$l_{np} = 5,4 + 2 \cdot 0,05 = 5,5 \text{ м.}$$

Рисунок 6.4 – Схема з'єднання оребрених труб.

Загальне число відрізків труб у секції повітроохолоджувача складе:

$$n_{np} = L_{np} / l_{np} \quad (6.27)$$

$$n_{np} = 499 / 5,5 = 91 \text{ шт}$$

Конструктивні розміри секції повітроохолоджувача залежать від площі поверхні живого перетину каналу. Площу живого перетину каналу визначають за формулою:

$$S_k = V_0 / w_n \quad (6.28)$$

де  $w_n$  - швидкість потоку, що набігає (швидкість потоку в каналі при відсутності ребер), звичайно приймається в інтервалі 2-3 м/с.

$$S_k = 10,6 / 2,5 = 4,24 \text{ м}^2.$$

Довжина каналу визначиться як:

$$L_{кан} = l_{np} + 2l_{з1} \quad (6.29)$$

де  $l_{з1}$  - зазор між трубами секції і торцевими стінками каналу, приймається  $l_{з1} = 0,075$  м.

$$L_{кан} = 5,5 + 2 \cdot 0,075 = 5,65 \text{ м.}$$

Ширина каналу

$$B_{кан} = S_k / L_{кан} \quad (6.30)$$

$$B_{кан} = 4,24 / 5,65 = 0,75 \text{ м}^2.$$

На цій ширині каналу можна розмістити:

$$n_{ш} = \frac{B_{кан}}{S} - 1, \quad (6.31)$$

де  $S$  - відстань між осями по ширині каналу, конструктивно приймаємо  $S = 0,105$  м.

$$n_{ш} = \frac{0,75}{0,105} - 1 \approx 6 \text{ рядів труб.}$$

Уточнюємо ширину каналу (мм):

$$B_{кан} = S(n_{ш} - 1) + d + 2h + 2l_{32}, \quad (6.32)$$

де  $d$  - зовнішній діаметр труби, мм;  $h$  - висота ребра оребрення, мм;  $l_{32}$  - зазор між ребрами труб і стінками каналу, мм;  $l_{32} = 10$  мм.

$$B_{кан} = 105(6 - 1) + 32 + 2 \cdot 30 + 2 \cdot 10 = 637 \text{ мм}$$

Уточнена площа живого перетину каналу складає:

$$S_{кан} = L_{кан} \cdot B_{кан}, \quad (6.33)$$

$$S_{кан} = 5,65 \cdot 0,637 = 3,6 \text{ м}^2.$$

Дійсна швидкість потоку, що набігає

$$w_{наб} = V_0 / S_{кан}, \quad (6.34)$$

$$w_{наб} = 10,6 / 3,6 = 2,94 \text{ м/с.}$$

Довжина труб в одному горизонтальному ряді секції повітроохолоджувача

$$L_{тп.с} = n_{ш} \cdot l_{тп}. \quad (6.35)$$

$$L_{тп.с} = 6 \cdot 5,5 = 33 \text{ м.}$$

Число рядів труб по висоті повітроохолоджувача

$$n_{м.в} = n_{тп} / n_{ш}. \quad (6.36)$$

$$n_{м.в} = 91 / 6 = 15,2 \approx 16.$$

Висота секції з оребрених труб

$$H_c = s_2(n_{м.в} - 1) + d + 2h, \quad (6.37)$$

де  $s_2$  - відстань між осями труб по висоті секції, м; приймаємо цю відстань  $s_2 = 0,115$  м.

$$H_c = 0,115(16 - 1) + 0,032 + 2 \cdot 0,03 = 1,82 \text{ м.}$$

Компонування обладнання камери з міжрядними радіаційними батареями показано на рисунку 6.1.

Вентилятори для камери охолодження м'яса вибираються за значеннями потрібної об'ємної подачі повітря  $V_0 = 10,6$  м/с та втрати напору на шляху руху повітря та визначаються за формулою:

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_n + \Delta p_{вх} + \Delta p_{вих} + \Delta p_n + \Delta p_{тр}, \quad (6.38)$$

де  $\Delta p_c$  - статичний напір перед соплами;  $\Delta p_n$  - втрати напору в батареї повітроохолоджувача;  $\Delta p_{вх}$  - втрати напору на вході у повітроохолоджувач;  $\Delta p_{вих}$  - втрати напору на виході повітря з вентиляторів в канал над фальшивою стелею;  $\Delta p_n$  - втрати напору на чотирьох поворотах потоку повітря;  $\Delta p_{тр}$  - втрати напору на тертя при рухові повітря в каналі над підвісною стелею.

Всі складові загальної втрати напору визначаються за відповідними залежностями.

З метою деякого спрощення розрахунку визначення сумарної втрати напору не проводимо і рекомендуємо для учбових розрахунків прийняти цей показник у межах  $\Delta p = 100...150$  Па.

Для наведеного розрахунку при втратах  $\Delta p = 125$  Па і значенні об'ємної подачі  $V_0 = 38054$  м<sup>3</sup>/год. приймаємо (додаток Е) чотири вентилятора серії **ВО 06-300 №6,3** з діаметром крильчатки **630** мм, потужність електродвигуна **1,1** кВт при його частоті обертання **1500** об/хв.

Фактичний теплоприток від електродвигунів вентиляторів складе:

$$Q_{4ф} = V_0 \cdot \Delta p / \eta_{вен}, \quad (6.39)$$

де  $\eta_{вен}$  - ККД вентилятора, приймається  $\eta_{вен} = 0,3...0,4$ .

$$Q_{4ф} = 10,6 \cdot 125 / 0,3 = 4416 \text{ Вт} \approx 4,4 \text{ кВт}$$

Ця розрахункова величина теплопритку менша, чим попередньо прийнята ( $Q_4 = 6,24$  кВт), на **1,84** кВт, що в сумарному тепловому навантаженні на холодильне обладнання **69,65** кВт) не перевищує **4** %. Отже, коректувати площу поверхні повітроохолоджувача в цьому випадку не потрібно.

## Література

1. Бараненко А.В., Куцакова В.Б., Борзенко Е.И., Фролов С.В. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Ч.3. Теплофизические основы // М.: КолосС, 2004. 249 с.
2. Быкова А.В. Проектирование холодильных сооружений. Справочник. М.: Пищевая промышленность, 1978. 254 с.
3. Курылев Е.С., Герасимов Н.А. Примеры, расчеты и лабораторные работы по холодильным установкам. /Л.: Машиностроение, 1971, 256 с.

### Додаток А (довідковий)

Коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_n$  і кінематичної в'язкості повітря  $\nu_n$   
при різних температурах

$t, ^\circ\text{C}$	-20	-10	-5	0	5	10	20
$\lambda_n, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	0,0228	0,0236	0,0240	0,0244	0,0248	0,0251	0,0259
$\nu_n, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	11,79	12,43	12,86	13,28	13,72	14,16	15,06

### Додаток Б (довідковий)

Ентальпія деяких харчових продуктів, кДж/кг

Температура $^\circ\text{C}$	Продукти			
	Яловичина, птиця	Свинина	Риба	Ковбаса варена
-25	-11	-10	-12	221
-20	0	0	0	233
-15	13	12	11	246
-10	30	29	33	265
-5	57	54	62	299
-2	99	92	106	454
0	232	212	249	471
5	247	226	265	489
10	264	242	284	504
15	280	257	301	522
20	297	273	318	543
25	312	288	325	561
30	329	302	–	581
40	361	332	–	616

Додаток В  
(довідковий)

Тип панелі	Довжина, м	Ширина, м	Число каналів, шт.	Площа поверхні м <sup>2</sup> /пог.м
<p>Листоканальна</p> 	2,4	1,25	5	2,5
	2,4	0,75	3	1,5
	2,0	1,25	5	2,5
	2,0	0,75	3	1,5
	1,8	1,25	5	2,5
	1,8	0,75	3	1,5
	1,4	1,25	5	2,5
	1,4	0,75	3	1,5
	1,2	1,25	5	2,5
	1,2	0,75	3	1,5
<p>Листотрубна з круглою трубою</p> 	4,0	1,10	5	2,2
	3,5	1,10	5	2,2
	3,0	1,10	5	2,2
	2,4	1,10	5	2,2
	3,6	2,50	7	5,0
<p>Листотрубна з квадратною трубою</p> 	3,0	1,74	7	3,5
	3,0	1,24	5	2,5
	3,0	0,74	3	1,5
	2,4	1,24	5	2,5
	2,4	0,74	3	1,5

Додаток Г  
(довідковий)

Коефіцієнт теплопередачі повітроохолоджувачів  $k_0$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К)  
при температурному напорі  $\theta = 10$  К\*

Повітроохолоджувач	$k_0$ при температурі холодоагенту				
	-40°C	-30°C	-20°C	-15°C	0°C
З оребрених труб					
- аміачний з нижньою подачею	11,6	12,2	13,2	14,0	17,0
- аміачний з верхньою подачею	10,4	11,0	11,8	12,6	15,3
- з проміжним холодоносієм	10,4	11,0	11,8	12,6	15,3
- хладоновий	17,5	18,4	19,3	21,0	23,3
Аміачний з гладких труб	30,0	32,0	35,0	40,0	45,0

\* Прим. При значеннях температурного напору відмінного від 10 К, коефіцієнт теплопередачі слід помножити на поправку  $(\theta / 10)^{0,22}$

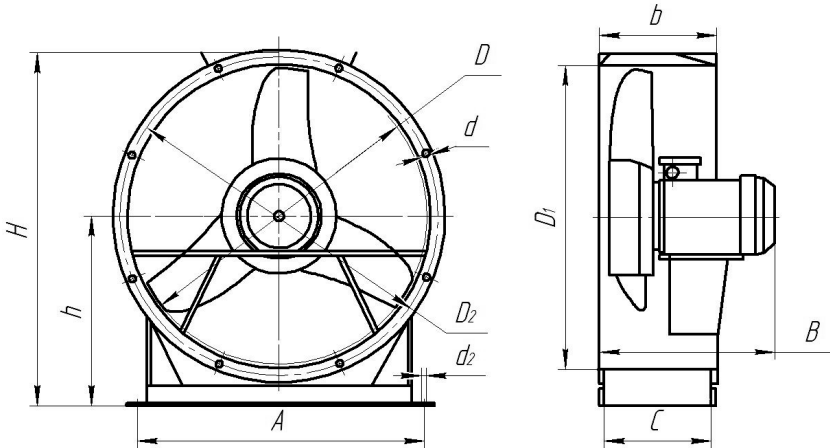
Додаток Д  
(довідковий)

Характеристика труб охолоджуючих батарей

	Діаметр × товщину стінки, мм	Крок ребер, мм	Площа теплообмін, м <sup>2</sup> /пог.м	Внутрішній об'єм · 10 <sup>-3</sup> на 1 пог.м	Маса, кг/пог.м
Гладка:					
- сталевая	25×1,6	—	0,08	0,37	0,92
- сталевая	32×2,0	—	0,10	0,62	1,48
- сталевая	38×2,0	—	0,12	0,91	1,78
- сталевая	38×2,5	—	0,12	0,85	2,19
- скляна	67×5,0	—	0,21	2,55	2,3
Оребрена сталевая					
	16×2,0	12	0,51	0,11	0,96
	16×2,0	20	0,33	0,11	0,86
	22×2,0	12	1,07	0,25	1,63
	22×2,0	20	0,67	0,25	1,40
	32×2,0	20	0,69	0,62	9,39
	38×2,5	20	1,33	0,86	9,39
	38×2,5	30	0,93	0,86	6,99
	38×2,5	13,3	1,08	0,86	7,40
	38×2,5	20	0,76	0,86	5,80

Додаток Е  
(довідковий)

Осьові вентилятори типу ВО 06-300



Технічні характеристики вентиляторів осьових ВО 06-300

№ вентилят.	Електродвигун			Параметри в робочій зоні		Маса, кг
	Марка	Потужність кВт	Частота обертання, об/хв	Подача, $10^3 \cdot \text{м}^3/\text{год}$	Повний тиск Па	
3,15	АИР56В4	0,18	1500	2,0...2,8	50...10	11,5
4	АИР56А4	0,12	1500	2,0...3,2	90...25	13,5
	АИР63А4	0,25	1500	2,0...3,2	90...25	15,5
	АИР71А2	0,75	3000	4,2...6,8	410...110	18,4
5	АИР63В4	0,37	1500	4,8...7,1	128...62	20,7
	АИР71А4	0,55	1500	4,8...7,1	128...62	22,5
6,3	АИР80А4	1,1	1500	9,6...15	213...110	34,5
	АИР80А6	0,75	1000	6,4...10	96...50	35
8	АИР80А6	0,75	1000	13,9...18,3	121...81	59,8
	АИР100С4	3,0	1500	21,4...28,2	296...185	75,0
10	4АМ112А6	3,0	1000	28...36,9	207...136	105,5
12,5	4АМ132С8	4,0	750	41,4...54,5	186...122	214,5

Габаритні і приєднувальні розміри осьових вентиляторів  
типу ВО 06-300

№ вент.	Розміри, мм										
	<i>D</i>	<i>D<sub>1</sub></i>	<i>D<sub>2</sub></i>	<i>d</i>	<i>d<sub>2</sub></i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>h</i>
3,15	315	320	350	8	12	270	270	135	95	437	240
4	400	405	430	10	12	350	316	160	120	510	270
5	500	510	535	10	12	450	346	200	155	628	335
6,3	630	640	660	10	12	550	396	250	200	763	400
8	800	820	850	10	14	750	478	320	265	979	515
10	1000	1005	1040	14	14	900	543	400	330	1208	650
12,5	1250	1266	1310	14	14	1100	643	460	350	1444	750



## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7

### РОЗРАХУНОК ФЛЮЇДИЗАЦІЙНОГО МОРОЗИЛЬНОГО АПАРАТА

**Мета роботи:** Ознайомитись з методикою і провести практичний розрахунок основних параметрів флюїдизаційного морозильного апарата безперервної дії.

#### 1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

##### 1.1 Відомості про флюїдизаційний спосіб заморожування продуктів

Флюїдизаційні морозильні апарати призначені для заморожування продукту у висхідному потоці повітря, при цьому продукт перебуває у зваженому стані. У флюїдизаційному (псевдозрідженому) шарі можна заморожувати тільки мілкошугучні або нарізані на дрібні шматочки продукти, близькі за формою, розмірами (20...25 мм) та масі. До числа такої продукції відносяться полуниця, малина, смородина, вишня, слива, скибочки яблук або грибів, кубики моркви, кубики або бруски картоплі, зелений горошок та ін.

Відмінною рисою флюїдизаційних апаратів є порівняно невелика тривалість заморожування продукту. Так, тривалість заморожування гороху, кукурудзи, ягід становить 3...7 хв, гарнірної картоплі, овочевих і грибних напівфабрикатів, рибних паличок і креветок – 8...15 хв.

У таких апаратах продукти заморожуються не тільки швидко, але й без деформації, що важливо для вологих продуктів з ніжною консистенцією. Необхідно відзначити, що при заморожуванні ягід, наприклад чорниці, поверхня продукту повинна бути сухою, тому що навіть незначне її зволоження приводить до порушення технологічного циклу. Уже при завантаженні сировини спостерігається її примерзання до металевої поверхні всередині апарата, відбувається злипання ягід у великі конгломерати в процесі заморожування, що знижує їх якість і не створює умов для їх зберігання у вигляді сипучого матеріалу.

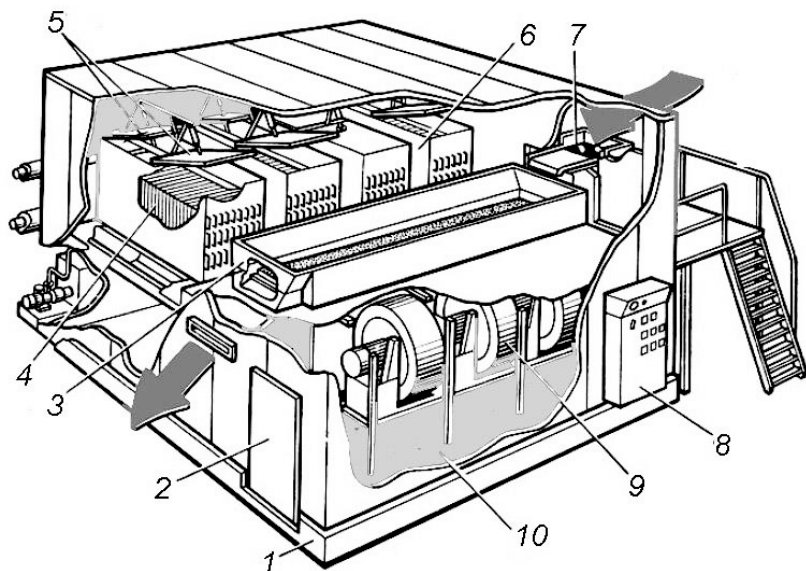
Тому при організації процесу заморожування продукції з ніжною консистенцією або вологою поверхнею (нарізані продукти) необхідно передбачити таку систему заходів, яка дозволить повністю виключити появу вологи безпосередньо перед подачею на заморожування.

При заморожуванні методом флюїдизації створюються більш сприятливі умови для механізації і автоматизації проведення процесу, а більш короткий час заморожування скорочує потребу у виробничих площах.

Залежно від системи, що забезпечує безперервне переміщення продукту в процесі заморожування, флюїдизаційні апарати підрозділяються на апарати зі стрічковим конвеєром та без нього.

У флюїдизаційних стрічково-конвеєрних морозильних апаратах конвеєрна стрічка виготовляється із дротової сітки (звичайно з неіржавіючої сталі). Продукти можуть заморожуватися в псевдозрідженому, напівзрідженому або закріпленому (фіксованому) стані. В останньому випадку продукти в морозильній камері переміщуються за допомогою стрічкового конвеєра, а не пневматично. При цьому, якщо властиво флюїдизація і відбувається, то тільки в початковій стадії проходження продуктів у морозильній камері.

На рисунку 1 представлений морозильний флюїдизаційний апарат, фірми „Фрігоскандія“ (Швеція).



1 – теплоізолювана камера; 2 – двері; 3 – перфорований лоток; 4 – батареї повітроохолоджувача; 5 – зрошувальний пристрій для відтаювання; 6 – корпус повітроохолоджувача; 7 – завантажувальний пристрій; 8 – щит керування; 9 – вентилятори; 10 – всмоктувальна камера вентиляторів.

Рисунок 7.1 – Флюїдизаційний морозильний апарат.

Повітроохолоджувачі в апараті розташовані збоку від конвеєрної частини апарата. Відцентровими високонапірними вентиляторами повітря нагнітається в напірну камеру, проходить через перфорований лоток, по якому рухається продукт, через шар продукту, далі через охолоджувальні батареї повітроохолоджувачів і вертається до всмоктувальних патрубків вентиляторів.

Температура повітря в апараті підтримується від мінус 35 до мінус 40°C. Тривалість заморожування залежить від виду продукту, його розмірів і властивостей і становить 10-20 хв.

Апарат періодично зупиняють для видалення снігової шуби з охолоджувальних батарей і санітарної обробки. Мийка та санітарна обробка конвеєрних стрічок проводяться безупинно або періодично. Час безперервної роботи апарата становить 8...10 год, а час відтавання в межах 0,5...1 год на добу.

Флюїдизаційні піддонні морозильники (без стрічкового конвеєра) забезпечують рух продукту винятково за принципом течії псевдозрідженого шару над нерухомим перфорованим дном жолоба, вхід у який розташований трохи вище, чим вихід. Якщо рух продуктів залежить від напору повітря, що подається через перфороване дно жолоба, то такі типи апаратів називають пневмотранспортуючими морозильниками. Перевагою цих апаратів є їх конструктивна простота, але область їх застосування обмежується продуктами, які піддаються псевдозрідженню в рамках технологічних параметрів процесу в апараті.

Щоб запобігти злипанню продуктів, які з труднощами піддаються псевдозрідженню, використовуються механічні перемішуючі пристрої або магнітні вібратори. Такі пристрої необхідні при заморожуванні смажених скибочок картоплі, бобів і продуктів з високим вмістом води. Товщина шару, час проходження через апарат і його продуктивність можуть регулюватися зміною швидкості подачі продуктів і висотою розвантажувального пристрою.

В деяких типах холодильного обладнання передбачається використання ефекту флюїдизаційного шару тільки для попереднього підморожування продукту, в основному, щоб попередити злипання його в конгломерати, а власне кінцеве заморожування здійснюється на швидкокоморозильних апаратах повітряного типу.

## 2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

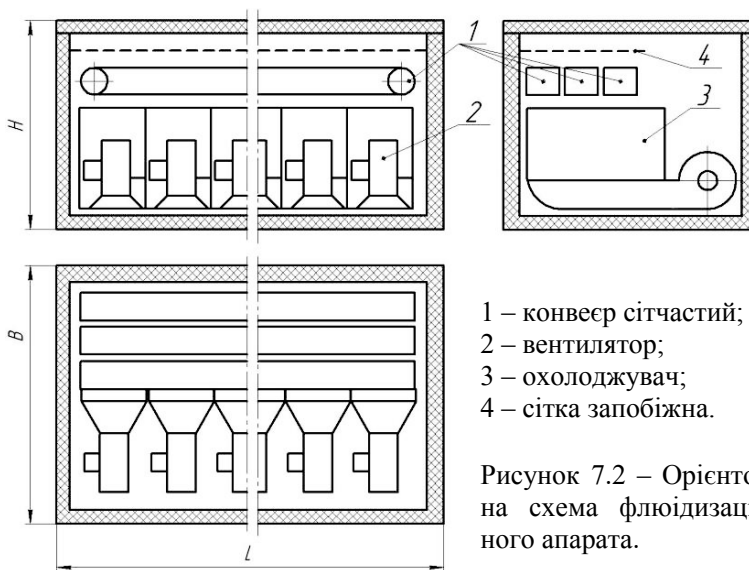
### 2.1 Вихідні дані

Умови розрахунку: Продуктивність апарата  $G$ , кг/год, кг/с; температура охолоджуючого повітря  $t_{nm}$ , °C; температура кипіння холодильного агента  $t_0$ , °C; початкова температура продукту  $t_{noc}$ , °C; кінцева температура  $t_{кин}$ , °C.

Визначити: оптимальну швидкість руху повітря в вантажному відсіку; тривалість заморожування продукту; площу решітки і її розміри; місткість апарата; коефіцієнт тепловіддачі від продукту, що заморожується, об'ємну витрату повітря через сітку, теплове навантаження на холодильне обладнання апарата, кількість повітроохолоджувачів, відповідність вентиляторів повітроохолоджувачів необхідному режиму експлуатації камери.

### 2.2 Методика розрахунку

Розрахунок проводимо з числовою підстановкою значень вихідних даних:  $G = 1000$  кг/год =  $0,278$  кг/с;  $t_{nm} = -30$  °C;  $t_0 = -40$  °C;  $t_{noc} = 10$  °C;  $t_{кин} = -20$  °C.



Усталена робота апарата забезпечується, якщо робоча швидкість повітря перевищує початкову швидкість флюїдизації, але залишається меншою за швидкість віднесення продукту з вантажного відсіку.

Початкову швидкість флюїдизації (м/с) розраховують для найбільш крупного одиничного продукту даного виду:

$$w_{\phi} = \frac{v_n \cdot Ar}{d_{e.кр}(1400 + 5,22 Ar^{0,5})}, \quad (7.1)$$

де  $v_n$  - кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, м<sup>2</sup>/с;  $Ar$  - число Архімеда;  $g$  - прискорення вільного падіння, м<sup>2</sup>/с;  $\rho_{np}$  - щільність продукту, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_n$  - щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $d_{e.кр}$  - діаметр найбільш великого одиничного продукту, м.

Для розрахунку приймається  $v_n = 10,8 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с (додаток А) при температурі  $t_{nm} = -30$ ; для продукту (сливи)  $\rho_{np} = 1030$  кг/м<sup>3</sup> (додаток Б);  $\rho_n = 1,484$  кг/м<sup>3</sup> (додаток А при температурі  $t_{nm} = -30$ );  $d_{e.кр} = 0,028$  м для сливи (додаток В).

Число Архімеда визначиться за виразом:

$$Ar = \frac{g \cdot d_{e.кр}^3 \cdot \rho_{np}}{v_n^2 \cdot \rho_n}. \quad (7.2)$$

$$Ar = \frac{9,81 \cdot 0,028^3 \cdot 1030}{(10,8 \cdot 10^{-6}) \cdot 1,484} = 1,28 \cdot 10^9.$$

Таким чином початкова швидкість флюїдизації складе:

$$w_{\phi} = \frac{10,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,28 \cdot 10^9}{0,028 [1400 + 5,22 (1,28 \cdot 10^9)^{0,5}]} = 2,62 \text{ м/с.}$$

Швидкість винесення продукту з апарата визначають для найбільш дрібного одиничного продукту в даному випадку – сливи з діаметром  $d_{e.m} = 0,016$  м (див. додаток В).

$$w_e = \frac{v_n \cdot Ar}{d_{e.m}(18 + 0,6 Ar^{0,5})}. \quad (7.3)$$

Число Архімеда для даного розміру сливи складе:

$$Ar = \frac{9,81 \cdot 0,016^3 \cdot 1030}{(10,8 \cdot 10^{-6}) \cdot 1,484} = 3,39 \cdot 10^8.$$

Після підстановки маємо:

$$w_e = \frac{10,8 \cdot 10^{-6} \cdot 3,39 \cdot 10^8}{0,016(18 + 0,6(2,39 \cdot 10^8)^{0,5})} = 17,4 \text{ м/с}.$$

Таким чином, оптимальна швидкість руху повітря у вантажному відсіку апарата  $w_o = (2...4)w_\phi = (2...4) \cdot 2,62 = 5,24...10,5 < 17,4$  м/с гарантує стійкий процес флюїдизації.

Теплоприток від сливи, що заморожується, визначається відповідно до формули:

$$Q_2 = G[c_n(t_{noch} - t_{кр}) + w \cdot \omega \cdot r + c_3(t_{кр} - t_{кін})], \quad (7.4)$$

де  $t_{кін}$  - кінцева температура сливи,  $t_{кр}$  - криоскопічна температура, для фруктів і овочів  $t_{кр} = 1...2,5$  °С;  $\omega$  - частка вимороженої води при кінцевій температурі;  $c_n, c_3$  - питома теплоємність відповідно незамороженої і замороженої сливи (додаток А), кДж/(кг·К);  $r$  - питома теплота льодоутворення, приймається 335 кДж/кг;  $w$  - вологість продукту, приймається в межах 0,85-0,9 кг/кг.

$$\omega = 1 - \frac{t_{кр}}{t_{кін}}. \quad (7.5)$$

$$\omega = 1 - \frac{-1}{-20} = 0,95.$$

Після підстановки маємо, кВт:

$$Q_2 = 0,278[3,7(20 - (-1)) + 0,85 \cdot 0,95 \cdot 335 + 2(-1 - (-20))] = 107 \text{ кВт}$$

Площа сітчастої стрічки конвеєра визначається для величини нагрівання повітря у флюїдизаційному шарі  $\Delta t_n = 3$  °С:

$$S_{\text{конв}} = \frac{Q_2}{w_0 \cdot \rho_n \cdot c_n \cdot \Delta t_n}, \quad (7.6)$$

де  $c_n$  - питома теплоємність повітря, кДж/(кг·К), (додаток А)

$$S_{\text{конв}} = \frac{107}{(5,24 \dots 10,5) \cdot 1,484 \cdot 1,013 \cdot 3} = 4,5 \dots 2,25 \text{ м}^2.$$

Приймаємо середнє  $S_{\text{конв}} = 3,5 \text{ м}^2$ .

Проектуємо апарат універсальним, тобто придатним для заморожування продуктів як у флюїдизованому шарі, так і в щільному. З цією метою виконуємо конвеєр у вигляді плетеної сітки з корозійно-стійкої сталі із гніздами розміром 3×3 мм.

Приймаємо ширину конвеєра  $b_{\text{конв}} = 0,5 \text{ м}$ . Розраховуємо довжину конвеєра:

$$l_{\text{конв}} = S_{\text{конв}} / b_{\text{конв}}. \quad (7.7)$$

$$l_{\text{конв}} = 3,5 / 0,5 = 7 \text{ м}.$$

Розраховуємо об'ємну подачу повітря через флюїдизований шар, прийнявши середнє значення  $w_0 = 8 \text{ м/с}$ :

$$V_n = S_{\text{конв}} \cdot w_0. \quad (7.8)$$

$$V_n = 3,5 \cdot 8 = 28 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Температурний напір (°С) між температурою продукту і температурою повітря в апараті

$$\theta_n = \frac{\Delta t_n}{\ln \left( \frac{t_{\text{кін}} - t_{\text{нм}}}{t_{\text{кін}} - t_{\text{н2}}} \right)}, \quad (7.9)$$

де  $t_{\text{н2}} = t_{\text{нм}} + \Delta t_n = -30 + 3 = -27 \text{ °С}$ .

$$\theta_n = \frac{3}{\ln \left( \frac{-20 - (-30)}{-20 - (-27)} \right)} = 8,4 \text{ °С}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні продукту до повітря визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{\lambda_{x,l} \cdot Nu}{d_{e,кр}}, \quad (7.10)$$

де  $\lambda_{x,l}$  - коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·К);  $Nu$  - критерій Нусельта.

Коефіцієнт теплопровідності повітря визначиться як:

$$\lambda_{x,l} = 0,024 - 0,00007t. \quad (7.11)$$

$$\lambda_{x,l} = 0,024 - 0,00007 \cdot (-30) = 0,022 \text{ Вт/(м·К)}.$$

$$Nu = 0,4 \cdot Pr^{1/3} \left( \frac{Re}{\varepsilon} \right)^{2/3}, \quad (7.12)$$

де  $Pr$  - число Прандтля  $Pr = 0,723$  (додаток А);  $Re$  - число Рейнольдса;  $\varepsilon$  - порізність псевдозрідженого шару,  $\varepsilon = 0,64$  (додаток В).

$$Re = \frac{\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}}{0,61}, \quad (7.13)$$

де  $Ar$  - число Архімеда

$$Ar = \frac{g \cdot d_e^3 (\rho - \rho_{x,l}) \rho_{x,l}}{\mu_{x,l}^2}, \quad (7.14)$$

де  $\rho$  і  $\rho_{x,l}$  - щільності часток продукту і агента псевдозрідження, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_{x,l}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с.

$$\mu_{x,l} = (1,7 + 0,004t) \cdot 10^{-5}. \quad (7.15)$$

$$\mu_{x,l} = (1,7 + 0,004 \cdot (-30)) \cdot 10^{-5} = 1,58 \cdot 10^{-5} \text{ Па·с.}$$

$$Ar = \frac{9,81 \cdot 0,028^3 (1030 - 1,4) \cdot 1,4}{(1,58 \cdot 10^{-5})^2} = 1,24 \cdot 10^9.$$

$$Re = \frac{\sqrt{1,24 \cdot 10^9 \cdot 0,64^{4,75}}}{0,61} = 2 \cdot 10^4.$$



$$Nu = 0,4 \cdot 0,723^{1/3} \left( \frac{2 \cdot 10^4}{0,64} \right)^{2/3} = 356.$$

$$\alpha = \frac{0,022 \cdot 356}{0,028} = 279,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Площа поверхні продукту, що перебуває на конвеєрі визначається :

$$S_{np} = Q_2 / (\alpha \cdot \theta_n). \quad (7.16)$$

$$S_{np} = 107 \cdot 10^3 / (279,7 \cdot 8,4) = 45,5 \text{ м}^2.$$

Місткість апарата визначається як:

$$M = S_{np} \cdot \rho_{np} \cdot d_e / 6. \quad (7.17)$$

$$M = 45,5 \cdot 1030 \cdot 0,028 / 6 = 218,7 \text{ кг}.$$

Висота насипного шару продукту (м) на стрічці конвеєра

$$H_{нас} = M / (S_{конв} \cdot \rho_{нас}), \quad (7.18)$$

де  $\rho_{нас}$  - насипна щільність продукту, для сливи  $\rho_{нас} = 640 \text{ кг/м}^3$  (див. додаток В).

$$H_{нас} = 218,7 / (3,5 \cdot 640) = 0,098 \approx 0,1 \text{ м}.$$

Висота флюїдизованого шару продукту

$$H_{\phi} = H_{нас} \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon}, \quad (7.19)$$

де  $\varepsilon_0$  - порізність насипного шару, для сливи  $\varepsilon_0 = 0,4$  (див. додаток В);  $\varepsilon$  - порізність флюїдизованого шару, для сливи  $\varepsilon = 0,64$ .

$$H_{\phi} = 0,1 \frac{1 - 0,4}{1 - 0,64} = 0,167 \text{ м}.$$

Тривалість заморожування плода сливи визначиться як:

$$\tau = \frac{q_3 \cdot \rho_{np} \cdot d_e \left( \frac{d_e}{4\lambda_3} + \frac{1}{\alpha} \right)}{6(t_{кр} - t_{nm})}, \quad (7.20)$$

де  $q_3$  - питома теплота, яка відводиться від сливи, що заморожується;  $\lambda_3$  - теплопровідність замороженої сливи (додаток Г).

$$q_3 = i_n - i_k, \quad (7.21)$$

де  $i_n, i_k$  - ентальпія при початковій і кінцевій температурі (додаток Д).

$$q_3 = 309 - 0 = 309 \text{ кДж/кг.}$$

$$\tau = \frac{309 \cdot 10^3 \cdot 1030 \cdot 0,028 \left( \frac{0,028}{4 \cdot 1,48} + \frac{1}{279,7} \right)}{6(-1 - (-30))} = 425 \text{ с} \approx 7,1 \text{ хв.}$$

Довжина апарата (м) становить:

$$L_{an} = l_{конв} + D_{\bar{o}} + 2\delta_3 + 2\delta_{i3}, \quad (7.22)$$

де  $D_{\bar{o}}$  - діаметр барабана конвєсера, м; орієнтовно  $D_{\bar{o}} = 0,3$  м;  
 $\delta_3$  - зазор між барабаном і торцевими стінками апарата,  $\delta_3 = 0,2$  м;  
 $\delta_{i3}$  - товщина стінки апарата з урахуванням теплоізоляції,  $\delta_{i3} = 0,2$  м.

Після підстановки чисельних значень маємо:

$$L_{an} = 7 + 0,3 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 = 8,1 \text{ м.}$$

Ширина апарата (м) визначається з формули:

$$B_{an} = 3b_{конв} + b_{вент} + l_{диф} + 4\delta_3 + 2\delta_{i3}, \quad (7.23)$$

де  $b_{вент}$  - розмір відцентрового вентилятора, м;  $l_{диф}$  - довжина дифузора, м.

Остаточню маємо:

$$B_{an} = 3 \cdot 0,5 + 1,0 + 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 = 4,1 \text{ м}$$

Висота апарата (м) визначається як:

$$H_{an} = 2H_{\phi} + D_{\bar{o}} + h_{no} + 2h_{кан} + 3\delta_3 + 2\delta_{i3}, \quad (7.24)$$

де  $h_{no}$  - висота повітроохолоджувача, м; приймаємо орієнтовно  $h_{no} = 1$  м;  $h_{кан}$  - висота каналу для проходу повітря, м;  $h_{кан} = 1$  м.

Після підстановки чисельних значень одержимо:

$$H_{an} = 2 \cdot 0,167 + 0,3 + 1,0 + 2 \cdot 1,0 + 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 = 4,6 \text{ м.}$$

Теплоприток через огорожувальні конструкції апарата становить:

$$Q_1 = k \cdot S(t_u - t_{nm}), \quad (7.25)$$

де  $k$  - коефіцієнт теплопередачі огорожень апарата, Вт/(м<sup>2</sup>·К); приймається  $k = 0,3$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $S$  - площа поверхні апарата;  $t_u$  - температура повітря в технологічному цеху,  $t_u = 15...18$  °С.

Площа поверхні апарата визначається за виразом:

$$S = 2(H_{an} \cdot B_{an} + H_{an} \cdot L_{an} + B_{an} \cdot L_{an}). \quad (7.26)$$

$$S = 2(4,6 \cdot 4,1 + 4,6 \cdot 8,1 + 4,1 \cdot 8,1) = 178,65 \text{ м}^2$$

$$Q_1 = 0,3 \cdot 178,65(15 - (-30)) = 2412 \text{ Вт} \approx 2,4 \text{ кВт.}$$

Експлуатаційні теплопритоки від двигунів вентиляторів приймаються орієнтовно:

$$Q_{4\text{дв}} = 0,3Q_2 = 0,3 \cdot 107 = 32,1 \text{ кВт.}$$

Експлуатаційні теплопритоки через завантажувальні і вивантажувальні вікна становлять:

$$Q_{4\text{вік}} = 0,5Q_1 = 0,5 \cdot 2,4 = 1,2 \text{ кВт.}$$

Теплове навантаження на повітроохолоджувачі визначається як:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_{4\text{дв}} + Q_{4\text{вік}}. \quad (7.27)$$

$$Q_0 = 2,4 + 107 + 32,1 + 1,2 = 142,7 \text{ кВт.}$$

Площа теплообмінної поверхні повітроохолоджувачів (м<sup>2</sup>) повинна складати:

$$S_{no} = Q_0 / (k_0 \cdot \theta_0), \quad (7.28)$$

де  $k_0$  - коефіцієнт теплопередачі повітроохолоджувача, приймається  $k_0 = 11$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) (додаток Е);  $\theta_0$  - температурний напір (приймається в межах 6...10 °С).

Після підстановки чисельних значень одержимо:

$$S_{no} = 142,7 \cdot 10^3 / (11 \cdot 10) = 1297 \text{ м}^2.$$

Приймаємо для установки в апарат шість батарей повітроохолоджувачів **GHP 065 F/28** (додаток Ж). Повітроохолоджувач має площу теплообмінної поверхні  $s_{no} = 255,2 \text{ м}^2$ , зовнішній діаметр труби  $d_3 = 0,02 \text{ м}$ , крок ребер  $t_p = 8 \text{ мм}$ , крок між трубами  $t_{mp} = 60 \text{ мм}$ . Габаритні розміри: довжина  $l_{no} = 3060 \text{ мм}$ , ширина  $b_{no} = 1212 \text{ мм}$ , висота  $h_{no} = 1040 \text{ мм}$ .

Втрати напору (Па), що створюється вентиляторами повітроохолоджувачів, складається із втрат напору у флюїдизованому шарі продукту  $\Delta p_\phi$ , втрат напору в батареї повітроохолоджувача  $\Delta p_{no}$ , втрат напору в сітчастій стрічці конвеєра  $\Delta p_c$ , втрат напору на вході повітря в вентилятор  $\Delta p_{ex}$ , втрат напору на чотирьох поворотах потоку повітря  $\Delta p_{ное}$ , втрат напору в дифузори  $\Delta p_\delta$ .

$$\Delta p = 1,1(\Delta p_\phi + \Delta p_c + \Delta p_{no} + \Delta p_{ex} + \Delta p_{ное} + \Delta p_\delta). \quad (7.29)$$

Втрати напору у флюїдизованому шарі продукту розраховується за формулою:

$$\Delta p_\phi = 1,67 \left( \frac{Re \cdot H_\phi}{d_{e.кр}} \right)^{0,2} \cdot \frac{M}{S_{конв}}, \quad (7.30)$$

де  $Re$  - критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_0 \cdot d_{e.кр}}{v_n}. \quad (7.31)$$

$$Re = \frac{8 \cdot 0,028}{10,8 \cdot 10^{-6}} = 2,07 \cdot 10^4.$$

$$\Delta p_\phi = 1,67 \left( \frac{2,07 \cdot 10^4 \cdot 0,167}{0,028} \right)^{0,2} \cdot \frac{218,7}{3,5} = 1090 \text{ Па}.$$

Втрати напору (Па) у сітчастій стрічці конвеєра із гніздами розміром  $3 \times 3$  мм і відносним живим перетином для проходження повітря  $S_{\text{відн}} = 0,308$  (для цих розмірів гнізд) можна визначити за емпіричною залежністю (враховуємо, що повітря проходить через стрічку двічі):

$$\Delta p_c = 2(13,72w_0^2 - 43,12w_0 + 116,36). \quad (7.32)$$

$$\Delta p_c = 2(13,72 \cdot 8^2 - 43,12 \cdot 8 + 116,36) = 1299 \text{ Па.}$$

Втрати напору (Па) у батареї повітроохолоджувача із пластинчастими ребрами визначається з формули:

$$\Delta p_{no} = 0,132 \frac{l_p}{d_{e.n}} (\rho_n \cdot w_{жс})^{1,7}, \quad (7.33)$$

де  $l_p$  - довжина ребра в напрямку руху повітря, м;  $l_p = 1$  м;  $d_{e.n}$  - еквівалентний діаметр звуженого перетину між трубами і ребрами, м;  $w_{жс}$  - швидкість повітря у живому перерізі батареї повітроохолоджувача, м/с.

$$d_{e.n} = \frac{2U \cdot s_p}{U + s_p}, \quad (7.34)$$

де  $U$  - відстань між ребрами „у світлі“, мм;  $s_p$  - крок між трубами, мм.

$$U = t_p - 2\delta_i - \delta_p, \quad (7.35)$$

де  $t_p$  - крок ребер, мм;  $\delta_i$  - товщина інею, приймається  $\delta_i = 1 \dots 2$  мм;  $\delta_p$  - товщина ребра,  $\delta_p = 0,5$  мм.

$$U = 8 - 2 \cdot 1 - 0,5 = 5,5 \text{ мм.}$$

$$d_{e.n} = \frac{2 \cdot 5,5 \cdot 60}{5,5 + 60} = 10,1 \text{ мм} = 0,0101 \text{ м.}$$

$$w_{жс} = \frac{\varphi \cdot V_n}{6l_{no} \cdot b_{no}}, \quad (7.36)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт стиску струменю повітря.

$$\varphi = \frac{1}{\left(1 - \frac{d_3}{s_p} \left(1 + \frac{s_p \cdot \delta_p}{U \cdot d_3}\right)\right)}. \quad (7.37)$$

$$\varphi = \frac{1}{\left(1 - \frac{0,02}{0,06} \left(1 + \frac{0,06 \cdot 0,0005}{0,0055 \cdot 0,02}\right)\right)} = 1,74.$$

$$w_{жс} = \frac{1,74 \cdot 28}{6 \cdot 3,06 \cdot 1,212} = 2,18 \text{ м/с.}$$

Таким чином

$$\Delta p_{но} = 0,132 \frac{1,0}{0,0101} (1,484 \cdot 2,18)^{1,7} = 96 \text{ Па.}$$

Об'ємну подачу повітря  $V_n = 28 \text{ м}^3/\text{с}$  можуть забезпечити 6 відцентрових вентиляторів Ц4-70 № 8 (додаток 3). Діаметр всмоктувального вікна вентилятора становить  $D = 0,82 \text{ м}$ .

Втрати напору (Па) при вході повітря у вентилятор визначається як:

$$\Delta p_{вх} = \zeta_{вх} \cdot \rho_n \frac{w_{вх}^2}{2}, \quad (7.38)$$

де  $\zeta_{вх}$  - коефіцієнт місцевого опору, приймається  $\zeta = 0,5$ ;

$w_{вх}$  - швидкість повітря на вході у вентилятор.

$$w_{вх} = \frac{4V_n}{6\pi \cdot D^2}. \quad (7.39)$$

$$w_{вх} = \frac{4 \cdot 28}{6 \cdot 3,14 \cdot 0,82^2} = 9,3 \text{ м.}$$

$$\Delta p_{вх} = 0,5 \cdot 1,484 \frac{9,3^2}{2} = 32 \text{ Па.}$$

Втрати напору (Па) на чотирьох поворотах потоку повітря розраховується за формулою:

$$\Delta p_{пов} = 4\zeta_{пов} \cdot \rho_n \frac{w_{пов}^2}{2}, \quad (7.40)$$

де  $\zeta_{нов}$  - коефіцієнт місцевого опору повороту потоку, приймається  $\zeta_{нов} = 0,3$ ;  $w_{нов}$  - швидкість повітря на поворотах, м/с.

$$w_{нов} = \frac{V_n}{(L_{ан} - 2\delta_{із})h_{ном}}, \quad (7.41)$$

$h_{ном}$  - висота потоку,  $h_{ном} = 1$  м.

$$w_{нов} = \frac{28}{(8,1 - 2 \cdot 0,2) \cdot 1} = 3,3 \text{ м/с.}$$

Тоді  $\Delta p_{нов} = 4 \cdot 0,3 \cdot 1,484 \frac{3,3^2}{2} = 9,7$  Па.

Втрати напору в дифузорі знаходяться за формулою:

$$\Delta p_{\delta} = \zeta_{\delta} \cdot \rho_n \frac{w_{вих}^2}{2}, \quad (7.42)$$

де  $\zeta_{\delta}$  - коефіцієнт місцевого опору дифузора,  $\zeta_{\delta} = 0,15$ ;

$w_{вих}$  - швидкість в вихідному вікні вентилятора, м/с.

$$w_{вих} = \frac{V_n}{6 \cdot B2^2}, \quad (7.43)$$

де  $B2$  - розмір нагнітального вікна вентилятора, м (додаток 3).

$$w_{вих} = \frac{28}{6 \cdot 0,56^2} = 14,9 \text{ м/с.}$$

Після підстановки одержимо

$$\Delta p_{\delta} = 0,15 \cdot 1,484 \frac{14,9^2}{2} = 24,6 \text{ Па.}$$

Таким чином, сумарні втрати напору становлять:

$$\Delta p = 1,1(1090 + 1299 + 96 + 32 + 9,7 + 24,6) = 2806 \text{ Па.}$$

Напір вентилятора при температурі повітря  $t = 20$  °С і щільності  $\rho_{20} = 1,2$  кг/м<sup>3</sup> розраховується за формулою:

$$\Delta p_{20} = \Delta p \cdot \frac{\rho_{20}}{\rho_n}. \quad (7.44)$$

$$\Delta P_{20} = 2806 \frac{1,2}{1,484} = 2269 \text{ Па}$$

Втрата напору відповідає характеристиці підібраного раніше вентилятора Ц4-70 № 8. Коефіцієнт корисної дії вентиляторів на даному режимі становить  $\eta = 0,75...0,85$ .

Потужність, яка споживається електродвигунами вентиляторів, розраховується за формулою:

$$P_e = \frac{V_n \cdot \Delta P}{\eta} \quad (7.45)$$

$$P_e = \frac{28 \cdot 2269}{0,8} = 79415 \text{ Вт} \approx 79,4 \text{ кВт.}$$

Загальна потужність шести попередньо вибраних вентиляторів Ц4-70 № 8 складе  $P_{3.6} = 6 \cdot 11 = 66$  кВт, що явно недостатньо і тому приймаємо ще один вентилятор того ж типорозміру.

Загальний розмір комплекту вентиляторів по довжині апарата можна розрахувати за виразом:

$$L_{к.6} = n_6 \cdot L_{max} + \delta_{3.6}(n_6 - 1), \quad (7.46)$$

де  $n_6$  - число вентиляторів;  $L_{max}$  - розмір по довжині вентилятора, м;  $\delta_{3.6}$  - зазор між вентиляторами, м.

$$L_{к.6} = 7 \cdot 1,05 + 0,05(7 - 1) = 7,65 \text{ м.}$$

Цей розмір вписується у внутрішній простір апарата.

Загальна потужність двигунів встановлених вентиляторів складе  $P_{3.6} = 77$  кВт, що дещо нижче розрахункового значення.

Перевантаження складає:

$$\Delta P = \frac{P_e - P_{3.6}}{P_{3.6}} \cdot 100 = \frac{79,4 - 77}{77} \cdot 100 = 3,1 \%,$$

що знаходиться у допустимих межах  $\Delta P = 10...15 \%$ .



Таким чином флюїдизаційний морозильний апарат комплектується шістьма повітроохолоджувачами **GHP 065 F/28** і сімома відцентровими вентиляторами **Ц4-70 № 8** з двигунами **11** кВт.

### Література

1. Бараненко А.В. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Ч.3. Теплофизические основы. / А.В. Бараненко, В.Б. Куцакова, Е.И. Борзенко, С.В. Фролов. М.: КолосС, 2004. 249 с.
2. Проектирование холодильных сооружений. Справочник. Под ред. А.В. Быкова. М.: Пищевая промышленность, 1978. 254 с.
3. Примеры, расчеты и лабораторные работы по холодильным установкам. / Е.С. Курылев, Н.А. Герасимов. Л.: Машиностроение, 1971, 256 с.

Додаток А  
(довідковий)  
Фізичні властивості сухого повітря

Температура, °С	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Питома теплоємність, кДж/кг·К	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Температуро-провідність × 10 <sup>2</sup> , м <sup>2</sup> /с	Динамічний коефіцієнт в'язкості × 10 <sup>6</sup> , Па·с	Кінематичний коефіцієнт в'язкості × 10 <sup>6</sup> , м <sup>2</sup> /с	Число Прандтля
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,484	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	11,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698

Додаток Б  
(довідковий)  
Щільність продуктів для флюїдизаційного заморожування

Продукт	Щільність продукту, кг/м <sup>3</sup>		Продукт	Щільність продукту, кг/м <sup>3</sup>	
	охолодженого	замороженого		охолодженого	замороженого
Персики	1010	950	Полуниця	900	840
Абрикоси	1030	940	Вишня	1020	990
Чорниця	1000	650	Горошок	1020	970
Смородина	1000	950	Журавлина	930	890
Слива	1030	980	Квасоля	950	890

Додаток В  
(довідковий)  
Характеристика харчових продуктів, які заморожують  
у флюїдизаційному шарі

Продукт	Маса одиниці продукту, г	Діаметр одиниці продукту, мм	Щільність продукту кг/м <sup>3</sup>	Насипна щільність кг/м <sup>3</sup>	Порізність шару	
					флюїд.	насіп.
Вишня	2,6...3,5	16...19	1030	560	0,56	0,42
Горошок	1,18	7...9	1020	750	0,55	0,41
Полуниця	8,5	20...30	900	560	0,64	0,44
Журавлина	0,7...1,0	7...10	930	500	0,40	0,36
Малина	4...5	16...19	1020	580	0,58	0,47
Смородина	0,5...1,2	6...11	1000	560	0,56	0,42
Слива	10...15	16...28	1030	640	0,40	0,40
Квасоля	1,8...2,2	14	950	660	0,70	0,44
Чорниця	1,0	7	1000	550	0,56	0,41

Додаток Г  
(довідковий)  
Питома теплоємність і теплопровідність плодів і фруктів

Продукт	Питома теплоємність $c$ , кДж/(кг·К)		Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м·К)	
	охолоджений	заморожений	охолоджений	заморожений
Полуниця	3,85	1,75	0,48	1,11
Вишня	3,34	2,52	0,52	1,34
Журавлина	3,77	2,10	0,54*	1,03*
Персик	3,81	2,13	0,55*	1,12*
Смородина	3,77	2,10	0,56*	1,56*
Слива	3,68	2,00	0,55*	1,48*

\* Для учбових розрахунків

Додаток Д  
(довідковий)

Ентальпія плодів і фруктів, кДж/кг

$t, ^\circ\text{C}$	-25	-20	-15	-12	-10	-8	-5	-3	-2	-1	0
$i, *$	-17	0	21	38	50	76	116	202	217	233	236
$i, **$	-14	0	17	25	38	56	83	139	206	268	272
$t, ^\circ\text{C}$	0	2	4	8	10	12	15	20	25	30	35
$i, *$	236	240	250	268	272	279	290	307	326	343	361
$i, **$	171	271	287	302	309	313	328	340	366	285	403

Прим. \* Виноград, абрикоси, вишня; \*\* Інші плоди.

Додаток Е  
(довідковий)

Коефіцієнт теплопередачі повітроохолоджувачів  
при температурному напорі  $\theta_{no} = 10\text{K} *$

Повітроохолоджувач	$k_0$ при температурі холодоагента				
	-40 $^\circ\text{C}$	-30 $^\circ\text{C}$	-20 $^\circ\text{C}$	-15 $^\circ\text{C}$	0 $^\circ\text{C}$
З оребрених труб					
- аміачний з нижньою подачею	11,6	12,2	13,2	14,0	17,0
- аміачний з верхньою подачею	10,4	11,0	11,8	12,6	15,3
- з проміжним холодоносієм	10,4	11,0	11,8	12,6	15,3
- хладоновий	17,5	18,4	19,3	21,0	23,3
Аміачний з гладких труб	30,0	32,0	35,0	40,0	45,0

\* Прим. При значеннях температурного напору відмінного від 10 К, коефіцієнт теплопередачі слід помножити на поправку  $(\theta_0 / 10)^{0,22}$

Додаток Ж  
(довідковий)

Характеристики повітроохолоджувачів GHP

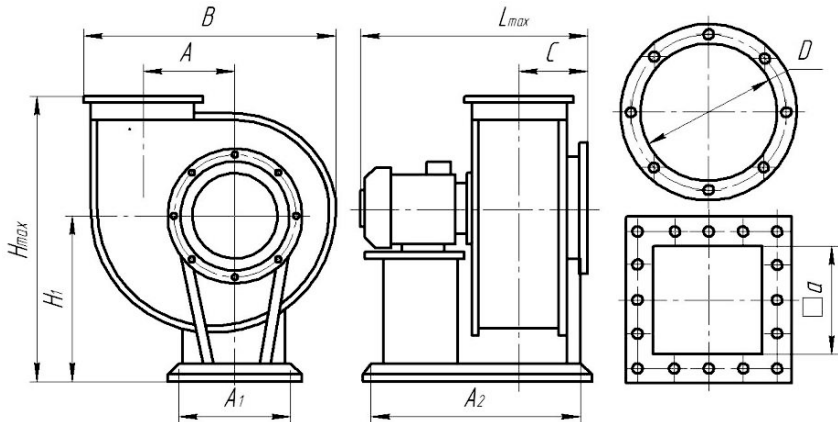
Марка	Крок між ребрами, $t_p$ , мм	Площа поверхні, $S_{no}$ , $\text{M}^2$	Об'ємна подача $V_{no}$ , $\text{M}^3/\text{ГОД}$	$P_{вент}$ кВт	Габарити $l \times b \times h$	Маса, кг
1	2	3	4	5	6	7
045E/18	8	36,5	4800	0,55	1210×790×765	158
050E/18	8	60,7	6800	0,55	1410×836×783	236

Продовження додатку Ж

1	2	3	4	5	6	7
065E/18	8	102,1	8700	0,75	1860×992×1023	406
080E/18	8	131,2	18300	1,5	2260×1236×1263	510
080G/18	8	218,7	17000	1,5	2260×1456×1280	767
065F/112	12	88,7	8700	0,75	1860×1236×1040	428
080C/112	12	123,5	16200	1,5	1960×1236×1236	526
080D/112	12	148,2	15800	1,5	1960×1436×1280	528
080H/112	12	182,4	17000	1,5	2260×1436×1200	739
065E/116	16	55,4	9100	0,75	1860×992×1023	323
080B/116	16	77,1	16900	1,5	1960×1236×1263	416
080D/116	16	115,6	16200	1,5	1960×1456×1280	571
080H/116	16	143,3	17300	1,5	2260×1456×1280	670
050F/28	8	151,8	13200	1,1	2490×1178×800	536
065E/28	8	204,2	17400	1,5	3060×992×1033	755
065F/28	8	255,2	17000	1,5	3060×1212×1040	928
050F/212	12	105,6	13600	1,1	2490×1178×800	454
065F/212	12	177,4	17400	1,5	3060×1236×1263	790
080D/212	12	296,4	31600	3,0	3260×1460×1280	1163
080B/216	16	154,2	33800	3,0	3260×1236×1263	763
080C/216	16	192,8	33200	3,0	3260×1436×1263	889
080D/216	16	231,2	32400	3,0	3260×1456×1280	1051

Додаток З  
(довідковий)

Характеристики відцентрових вентиляторів марки ВЦ-4-70



Технічна характеристика вентиляторів ВЦ-4-70

Позн.	Встановлена потужність, кВт	Частота обертання об/хв	Продуктивність тис.м <sup>3</sup> /год	Тиск, Па	Маса, кг
ВЦ 4-70 №4	0,75	1500	2,2-4,1	500-300	51,5
	1,1	1500	2,0-4,2	560-330	54,8
	4,0	3000	2,8-7,5	2060-1275	72,0
	5,5	3000	4,3-8,3	2200-1250	72,2
	7,5	3000	4,3-8,8	2850-1800	89,8
ВЦ 4-70 №5	0,75	1000	2,8-5,6	340-215	95
	1,1	1000	3,0-5,6	460-315	96
	1,5	1500	4,5-5,3	700-680	101
	2,2	1500	4,3-5,6	810-500	107
	3,0	1500	4,7-7,3	380-750	144
ВЦ 4-70 №6,3	2,2	1000	5,6-11,3	750-530	180
	3,0	1000	6,2-11,2	885-780	160
	4,0	1500	7,2-12,3	1320-1250	179
	5,5	1500	8,6-12,0	1320-800	200
	7,5	1500	8,6-17,5	1750-1200	201
ВЦ 4-70 №8	11,0	1500	9,5-17,8	717-680	257
	3,0	750	7,56-10,6	717-680	257
	4,0	1000	9,5-17,0	640-570	277
	5,5	1000	12,0-17,0	950-880	293
	7,5	1000	12,0-23,0	950-680	337
ВЦ 4-70 №10	11,0	1000	13,0-24,0	1280-900	466
	11,0	750	16,6-35,2	1059-570	533
	15,0	1000	19,5-40,2	1517-774	568
	18,5	1000	11,1-25,0	1834-800	643
ВЦ 4-70 №12,5	22,0	1000	12,8-26,0	1800-1007	770
	11,0	750	22,0-45,0	700-250	1090
	15,0	750	25,8-51,5	880-680	1110
	18,5	750	27,0-57,0	1150-840	1180
	22,0	750	27,0-57,0	1150-880	1240
	30,0	750	31,0-63,5	1450-1120	1270

Розміри вентиляторів ВЦ-4-70, мм

Марка	<i>A</i>	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>L</i> <sub>max</sub>	<i>H</i> <sub>max</sub>	<i>H</i> <sub>1</sub>	<i>D</i>	<i>a</i>	<i>C</i>
ВЦ 4-70-4	260	290	500	640	810	520	403	280	252
ВЦ 4-70-5	324	410	480	730	990	650	510	350	292
ВЦ 4-70-6,3	410	460	550	910	1140	720	640	440	308
ВЦ 4-70-8	520	606	650	1050	1438	905	820	560	378
ВЦ 4-70-10	650	840	1244	1500	1858	1212	1000	700	429
ВЦ 4-70-12,5	815	1260	1260	1660	2150	1350	1250	875	542

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8

### РОЗРАХУНОК ШВИДКОМОРОЗИЛЬНИХ АПАРАТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РІДКИХ ХОЛОДОНОСІЇВ

**Мета роботи:** вивчення методики визначення основних параметрів апарата для заморожування птиці в рідкому холодоносії і кріоморозильного апарата для заморожування натуральних напівфабрикатів в парах рідкого азоту.

#### 1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

##### 1.1 Відомості про заморожування з застосуванням рідких холодоносіїв і кріогенне заморожування

До обладнання для заморожування харчових продуктів відносять також апарати з непрямим контактом продукту і холодоносія. У таких апаратах тепло від продукту, що заморожується, до рідкого холодоносія передається або через металеву стрічку конвеєра або через герметичну вологонепроникну, як правило вакуумну, упаковку, яка щільно облягає (без повітряних прошарків) продукт.

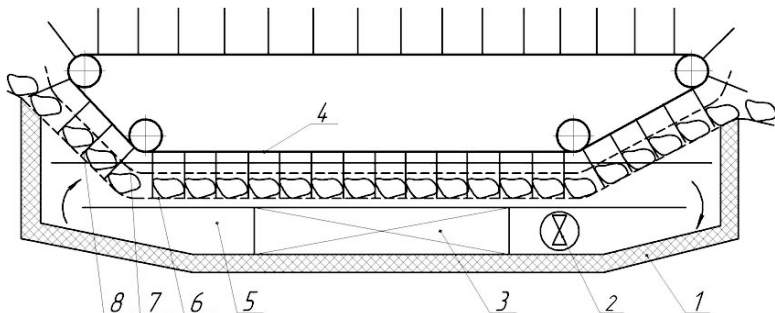
В апаратах безконтактного заморожування упаковані продукти заморожують методом занурення в охолоджувальну рідину або зрешують рідким холодоносієм на сталевій стрічці.

Заморожування продуктів при зануренні в охолоджувальну рідину характеризується більш інтенсивним відводом теплоти незалежно від їх геометричної форми, на відміну від заморожування в контакті з металеву поверхню та у потоці повітря.

У рідкому середовищі звичайно заморожують продукти неправильної форми і значної товщини (птиця, крупношматкове м'ясо). Однак труднощі, що виникають при цьому пов'язані з небажаним прониканням охолоджувальної рідини в продукт, дотриманням санітарно-гігієнічних вимог і підтримкою на необхідному рівні концентрації охолоджувальної рідини, обмежують застосування таких апаратів.

В якості охолоджувальних рідин застосовують органічні і неорганічні речовини (водні розчини вуглеводів, хлориду натрію, хлориду кальцію, пропіленгліколю, етиленгліколю, спирту, суспензії водного льоду та ін.), дозволені до застосування органами охорони здоров'я.

Схема імерсійного апарата показана на рисунку 8.1. У нижній частині теплоізольованого корпусу апарата розташований бак з випарником холодильної установки, заповнений водним розчином охолоджувальної рідини, який перемішується мішалкою.



1 – теплоізоляційне огороження; 2 – мішалка; 3 – випарювач; 4 – конвеєр; 5 – бак з холодоносієм; 6 – нижня сітчаста перегородка; 7 – верхня сітчаста перегородка; 8 – решітчасті пластини конвеєра.

Рисунок 8.1 – Схема імерсійного морозильного апарата.

Нижче рівня рідини в баку над випарником розташовані дві сітчасті перегородки, які утворюють канал, по якому рухається продукт, що заморожується. У верхній частині апарата над баком знаходиться конвеєр, тягові ланцюги якого обладнані поперечно часто розташованими вертикальними пластинами, які при просуванні між сітчастими перегородками транспортують продукт у бак.

Продукт, наприклад шматки м'яса товщиною 25...50 мм або птиця, упаковані в полімерну плівку під вакуумом, подаються з пакувального автомата через завантажувальне вікно в апарат.

Продукт надходить у канал, що утворений двома сітчастими перегородками, захоплюється пластинами конвеєра і транспортується повністю зануреним в охолоджувальну рідину, тому що верхня перегородка перешкоджає його спливанню. Не доходячи до краю бака, продукт виводиться з холодоносія для стікання з його поверхні охолоджувальної рідини. Залишки рідини видаляються при зрошенні водою у конвеєрній мийній машині.

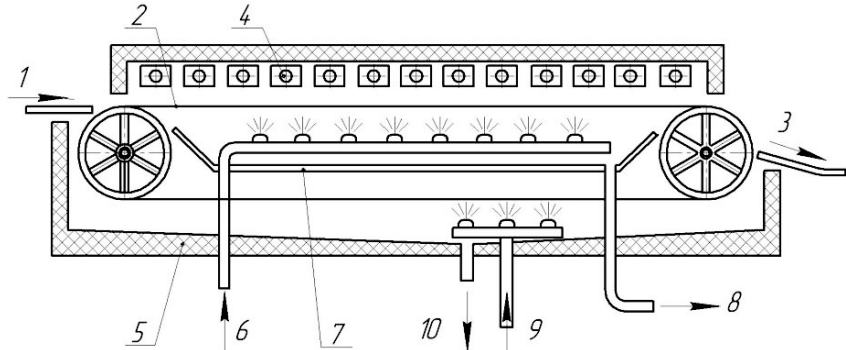
Додавання до охолоджувальної рідини мілкодисперсного водного льоду може суттєво поліпшити роботу апарата, тому що в результаті збільшення інтенсивності тепловіддачі від продукту до рідини скорочується час заморожування. Метод заморожування в дисперсному розчині водного льоду називається гідрофлюїдизаційним.

Апарати для заморожування продуктів на сталевій стрічці, яка зрошується рідким холодоносієм, застосовують для заморожування



готових блюд, шматкових м'ясних і рибних продуктів, фаршу, рідких і напіврідких продуктів.

В них можна заморожувати як упаковані, так і неупаковані продукти. Схема апарата такого типу, представлена на рисунку 8.2, складається з конвеєра, стрічка якого виконана з неіржавіючої сталі, зрошувальних трубопроводів з форсунками, піддона, натяжного пристрою та теплоізолюваного корпусу.



1 – подача продукту; 2 – сталева стрічка; 3 – вихід; 4 – конвективний повітроохолоджувач; 5 – термоізоляція; 6 – подача розсолу; 7 – колектор розсолу; 8 – вихід розсолу; 9 – пристрій обмивки стрічки; 10 – випуск води.

Рисунок 8.2 – Морозильний апарат зі сталеву стрічкою.

На стрічці конвеєра через вікно завантаження продукт подається в вантажний відсік апарата, де за допомогою форсунок зрошувальних трубопроводів знизу обмивається холодоносієм і заморожується. Отоплений у вантажному відсіку холодоносієм збирається в піддон, з якого насосом подається у випарник холодильної установки для охолодження. На виході з апарата заморожений продукт знімають зі стрічки.

Перед завантаженням на конвеєр чергової партії продукту проводиться санітарна обробка його стрічки. Для цього стрічку нагрівають, зрошують водою і підсушують.

В морозильних апаратах зі сталеву стрічкою, у яких в якості охолоджувальної рідини застосовуються розчини хлориду кальцію або пропіленгліколю, підтримується температура холодоагенту від  $-35$  до  $-40$  °С. В такому апараті рибне філе товщиною 13...15 мм заморожується за 10 хв.

В апаратах подібного типу тільки одна сторона продукту перебуває в контакт з металеву поверхнею, тому додатковий відвід тепла з

поверхні продукту, що не контактує з металевою стрічкою, здійснюється за рахунок інтенсифікації конвективного теплообміну між охолодженим повітрям і поверхнею продукту, який перебуває на конвеєрі.

У цьому випадку час заморожування продуктів товщиною 20...25 мм становить близько 30 хв. Рідкі і напіврідкі продукти (соки, пюре, бульйони) заморожуються в спеціальних жолобах на сталевій стрічці, зрощуваній рідким холодоносієм, або у формах, які занурюють у ванну з холодоносієм.

Кріогенні апарати це апарати, у яких продукт заморожується при безпосередньому контакті з речовинами, які змінюють свій фазовий стан (киплять, сублімують) при криогенній (у цьому випадку більш низькій у порівнянні з іншими) температурі. У результаті високої інтенсивності тепловідводу продукт у них заморожується швидко (5...10 хв), що забезпечує гарний товарний вид і малі втрати маси (до 0,5%).

Такі апарати прості по конструкції і в обслуговуванні, компактні (площу займають в 6 раз меншу, чим повітряні), споживають мало електроенергії (в 10 разів менше), швидко виходять на заданий режим роботи.

Однак цим апаратам властиві більші експлуатаційні недоліки, пов'язані з втратою в атмосферу відпрацьованого агента часом з більшим холодильним потенціалом і неможливістю його повторного використання як охолоджувального середовища, що погіршує характеристики апаратів такого типу.

Тому криогенні апарати доцільно застосовувати для заморожування тих продуктів, природні властивості яких можна зберегти тільки при високій швидкості заморожування, наприклад рослинні продукти з ніжною консистенцією (малина, полуниця, шматочки цитрусових), продукти з панірованою поверхнею. В таких апаратах заморожують і інші продукти: курчат, м'ясні напівфабрикати і готові блюда, сосиски, бекон, гідробіонти, пироги, хлібобулочні вироби та ін.

В якості охолоджувальних речовин застосовують рідкі азот і діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ). Рідкий азот при атмосферному тиску кипить при температурі  $-195,8\text{ }^\circ\text{C}$ , має приховану теплоту пароутворення  $199,8\text{ кДж/кг}$ . Діоксид вуглецю при атмосферному тиску сублімує при температурі  $-78,5\text{ }^\circ\text{C}$ , має приховану теплоту сублімації  $574\text{ кДж/кг}$ . Рідкий азот і діоксид вуглецю є природними речовинами, інертними відносно інших продуктів і конструкційних матеріалів. Однак  $\text{CO}_2$ , має деякі переваги, у порівнянні з рідким азотом.

Так, діоксид вуглецю можна зберігати без втрат внаслідок випару і повертати повторно в роботу до 80% від витрати шляхом конденсації. Він має бактерицидну дію в газоподібному стані і є більш дешевим холодоагентом.

Існують різні типи азотних апаратів, які відрізняються призначенням, способами заморожування і продуктивністю. Більша частина апаратів, що випускаються, є універсальною. Заморожування продуктів в цих апаратах здійснюється такими способами: зануренням у рідину, зрошуванням, у потоці газоподібного азоту або при їх комбінації.

Заморожувати продукт при дуже великій різниці температур недоцільно з термодинамічної точки зору. Крім того, при заморожуванні в таких умовах велика ймовірність розтріскування і деформації продукту внаслідок внутрішніх напружень, які виникають через нерівномірний об'єм льодоутворення. Якщо охолоджувати продукт тільки рідиною, то охолоджувальна здатність азоту реалізується приблизно на 50%, тому що корисно використовується тільки прихована теплота пароутворення, а витрата азоту на 1 кг продукту, що заморожується, може досягати 2 кг і більше.

Більш економічно заморожувати продукт у дві стадії: попередньо за допомогою газоподібного азоту і доморожувати у рідкому азоті. При цьому витрата рідкого азоту зменшується, а довжина апарата збільшується приблизно в 2 рази.

В основу конструкції апарата, в якому продукт заморожується у газоподібному потоці і шляхом зрошення, закладена тризонна система холодильної обробки: **I** - зона попереднього охолодження виробів парами азоту, **II** - зона заморожування, **III** - зона вирівнювання температури виробів по їх об'єму.

В **I** зоні використовуються холодні пари азоту, що надходять із зони заморожування і зони вирівнювання температур, що скорочує витрати рідкого кріоагенту. Заморожування продуктів у кріогенному швидкоморозильному апараті відбувається завдяки подачі рідкого азоту через систему форсунок в **II** зону – зону заморожування. Пари азоту циркуляційними осьовими вентиляторами направляються в зону попереднього охолодження продукту. Співвідношення між тривалістю перебування продукту в зоні охолодження і заморожування становить приблизно 7:1.

Робоча камера апарата являє собою теплоізолюваний тунель, всередині якого конвеєром (стрічковим або спіральним) продукт транспортується через всі температурні зони. Система охолодження скла-

дається з ємностей для зберігання рідкого азоту, розподільних форсунок, посудини для збирання рідкого азоту і насоса.

В апараті передбачена система видалення відпрацьованого газоподібного азоту.

Основні переваги азотних швидкоморозильних апаратів полягають у простоті конструкції і експлуатації апарата, швидкому виході на режим (не більше 4 хв при високій початковій температурі продукту), високій швидкості заморожування і мінімальних втратах маси виробів через усушку. Універсальність апарата, обумовлена можливістю його використання для заморожування різноманітного асортименту харчових продуктів різної геометричної форми і розмірів без змін, в конструкції апарата, екологічній безпеці та ін.

Крім азотних, для заморожування практично всіх видів продуктів (городини, фрукти, м'ясо, птиця, риба, напівфабрикати і готові блюда) у діапазоні температур до  $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$  застосовують діоксидовуглецеві морозильні апарати.

Апарати, які охолоджуються  $\text{CO}_2$  мають несучий каркас, теплоізоляційне огородження з панелей типу „сендвич“, конвеєри для транспортування продукту, обладнання завантаження і розвантаження, системи охолодження і газорозподілу.

Система охолодження складається з ємностей для зберігання рідкого  $\text{CO}_2$  та розподільних форсунок. Діоксид вуглецю транспортують і зберігають у рідкому стані в теплоізованих посудинах при температурах  $-18\text{...}-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  і тиску 1,4...2,1 МПа. В результаті виключаються втрати  $\text{CO}_2$  при зберіганні та спрощується його подача в охолоджуваній об'єм, оскільки використовується природня різниця тисків. Рідкий агент подають із посудини, що розташована по можливості ближче до апарата, через форсунки в охолоджуваній об'єм.

При дроселюванні у форсунках утворюються газ і тверда фаза у вигляді снігу, який звичайно осаджується і накопичується на продукті та елементах конструкції апарата, утворюючи щільний шар. Щільний шар  $\text{CO}_2$ , небажаний навіть на поверхні продукту, тому що газовий прошарок у зоні контакту з продуктом знижує інтенсивність тепловідводу. Цю проблему вирішують двома методами: продукт заморожують у контакт із твердою фазою, перемішуючи суміш продукту і снігу для збільшення інтенсивності тепловідводу, або в газоподібній фазі з температурою вище  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$  (звичайно  $-60\text{...}-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), при якій тверда фаза перетворюється в газоподібну. Перший метод реалізується в апаратах для заморожування продуктів (м'ясо, птиця), якість яких не змінюється при перемішуванні (наприклад, шнеком) та в процесі замо-

рожування, а другий – в універсальних апаратах великої продуктивності,

наприклад зі стрічковим або спіральним конвеєром.

Заморожування продуктів у таких апаратах відбувається достатньо швидко, наприклад рублені котлети заморожуються 7 хв, а порційні шматки м'яса в плівці – 12 хв. Витрата  $\text{CO}_2$  при заморожуванні залежить від багатьох факторів, але в середньому становить не більше 1 кг на 1 кг продукту.

## 2 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

### 2.1 Розрахунок апарата для заморожування в рідкому холодоносії

**Умови розрахунку.** Апарат, який призначений для заморожування попередньо охолодженої, упакованої в поліетиленову плівку птиці. Продуктивність  $G$  кг/год (кг/с). Початкова температура продукту  $t_{\text{поч}}$ , кінцева  $t_{\text{кін}}$  °С. В якості холодоносія використовують розчин хлориду кальцію при його середній температурі  $t_{\text{ср}}$  °С. Схема апарата наведена на рисунку 8.3.

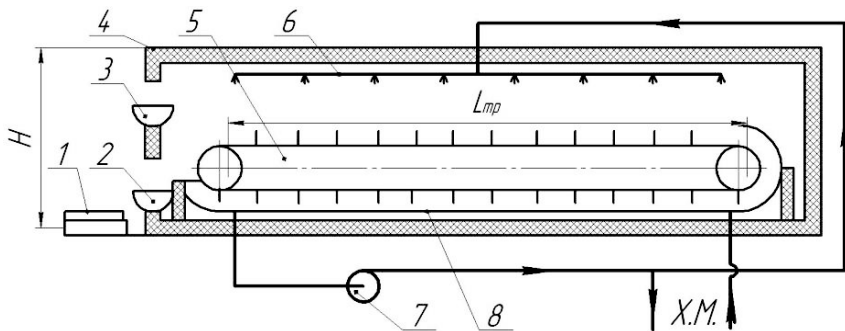
**Визначити** тривалість заморожування птиці, місткість і орієнтовні розміри апарата, теплове навантаження на випарник, а також підібрати холодильну машину для забезпечення роботи апарата.

#### Методика розрахунків

Об'єкт заморожування – попередньо охолоджені, упаковані в поліетиленову плівку тушки курей;  $G = 300$  кг/год =  $0,083$  кг/с; температура  $t_{\text{поч}} = 5$  °С,  $t_{\text{кін}} = -18$  °С; холодоносієм –  $29\%$  розчин хлористого кальцію, його температура  $t_{\text{ср}} = -35$  °С.

Тривалість заморожування для даної задачі можна застосовуючи формулу Планка для кулі.

Еквівалентний діаметр кулі визначається з тих міркувань, що маса тушки курки становить звичайно  $g_{\text{шт}} = 1,0 \dots 1,3$  кг, а щільність м'яса  $\rho_{\text{шт}} = 1050$  кг/м<sup>3</sup>.



1 – розвантажувальний конвеєр; 2 – розвантажувальний пристрій з гідрозатвором; 3 – завантажувальний пристрій з гідрозатвором; 4 – корпус апарата; 5 – вантажний конвеєр; 6 – колектор з форсунками; 7 – ванна з холодоносієм; 8 – насос холодоносія; ХМ – холодильна машина.

Рисунок 8.3 – Схема апарата для заморожування птиці в рідкому холодоносії.

Об'єм однієї тушки курки масою  $g_{nm} = 1,2$  кг буде дорівнювати  $w_m = g_{nm} / \rho_{nm} = 1,2 / 1050 = 0,00114$  м<sup>3</sup>. Тоді куля, що має такий об'єм, повинна мати діаметр:

$$d_e = (6w_{nm} / \pi)^{0,33}. \quad (8.1)$$

$$d_e = (6 \cdot 0,00114 / 3,14)^{0,33} = 0,124 \text{ м.}$$

Число Рейнольдса при рухові птиці, зануреної в рідкий холодоносій, конвеєром з перегородками повинен урахувувати порозність (відношення вільного від птиці об'єму секції (кишені) конвеєра до його повного геометричного об'єму продукту). Для апаратів подібної конструкції порозність перебуває в межах  $\varepsilon = 0,4 - 0,6$ .

Середня швидкість руху холодоносія у ванні апарата практично визначається швидкістю конвеєра і становить  $w_{nm} = 0,003 - 0,007$  м/с. Кінематична в'язкість хлористого кальцію  $\nu_s = 13 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с при середній температурі  $t_{s, cp} = -35$  °С.

Тоді 
$$Re = w_{nm} d_e / (\varepsilon \cdot \nu_s),$$

$$Re = 0,005 \cdot 0,12 / (0,5 \cdot 13 \cdot 10^{-6}) = 92.$$

Це значення показує, що течія має ламінарний режим, для якого число Грасгофа можна визначити за залежністю:

$$Gr = g \cdot d_e^3 \cdot \Delta T / (\beta_s \cdot \nu_s^2), \quad (8.2)$$

де  $\beta_s$  - коефіцієнт об'ємного розширення холодоносія, приймається  $\beta_s = 1/240$  °C;  $\Delta T$  - різниця температур продукту і охолоджувального середовища (величина перемінна в різних частинах апарата), у першому наближенні приймається  $\Delta T = 10$  °C.

$$Gr = 9,81 \cdot 0,12^3 \cdot 10 / (240(13 \cdot 10^{-6})^2) = 4,2 \cdot 10^6.$$

Число Прандтля для хлористого кальцію при  $t_{cp} = -35$  °C дорівнює  $Pr = 95$  (додаток А).

Для умови  $Gr \cdot Pr = 4,2 \cdot 10^6 \cdot 95 \approx 4 \cdot 10^8 > 10^5$  рівняння подоби має вигляд:

$$Nu = 0,15 Re^{0,33} \cdot Gr^{0,1} \cdot Pr^{0,43}. \quad (8.3)$$

$$Nu = 0,15 \cdot 92^{0,33} \cdot (4 \cdot 10^6)^{0,1} \cdot 95^{0,43} = 25.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні птиці до холодоносія визначається з отриманого значення числа Нусельта при теплопровідності хлористого кальцію  $\lambda_s = 0,489$  Вт/(м·К) (додаток А).

$$\alpha = Nu \cdot \lambda_s / d_e. \quad (8.4)$$

$$\alpha = 25 \cdot 0,489 / 0,12 = 102 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

При розрахунках тривалості заморожування упакованого продукту у формулу Планка вводять співвідношення  $\delta_y / \lambda_y$ , яке враховує термічний опір поліетиленової плівки. Товщина упакування  $\delta_y = 1$  мм, а теплопровідність  $\lambda_y = 0,2$  Вт/(м·К) (додаток Б).

Питома теплота заморожування птиці при заданих умовах її холодильної обробки становить  $q_3 = i_{noch} - i_{kin} = 246 - 5 = 241$  кДж/кг (додаток В). Кріоскопічна температура м'яса птиці складає  $t_{кр} = -1,5$  °C, теплопровідність замороженого м'яса птиці становить  $\lambda_3 = 1,3$  Вт/(м·К).

Тоді тривалість заморожування визначиться як:

$$\tau = q_3 \cdot \rho_{np} \cdot d_e \frac{d_e/4\lambda_3 + 1/\alpha + \delta_y/\lambda_y}{6(t_{kp} - t_s)}. \quad (8.5)$$

$$\tau = 241 \cdot 10^3 \cdot 1050 \cdot 0,124 \frac{0,124/(4 \cdot 1,3) + 1/102 + 0,001/0,2}{6(-1,5 - (-35))} = 6034 \text{ с.}$$

Місткість апарата складе:

$$M = G \cdot \tau. \quad (8.6)$$

$$M = 0,083 \cdot 6034 \approx 500 \text{ кг.}$$

У подібних апаратах використовують конвеєрні стрічки шириною 0,5 м, на яких розташовують по 4 тушки ( $n_{nm} = 4$ ) масою  $g_{nm} = 1,2$  кг. Перегородки на конвеєрній стрічці мають висоту 0,15 м та розташовані із кроком  $S_n = 0,12$  м.

Ширина апарата з урахуванням зазорів (0,02 м) і товщини теплоізоляційної конструкції (0,2 м) складе  $B_a \approx 1$  м.

Довжина конвеєра апарата визначиться як:

$$L_k = M \cdot S_n / n_{nm} \cdot g_{nm}. \quad (8.7)$$

$$L_k = 500 \cdot 0,12 / 4 \cdot 1,2 = 12.$$

Довжину апарата обчислюємо з урахуванням діаметрів приводного і веденого барабанів (0,5 м), висоти перегородки, зазорів і товщини теплоізоляційної конструкції, а також того, що конвеєр працює по двом гілкам:

$$L_{an} = (12/2) + 0,5 + 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,02 + 2 \cdot 0,2 = 7,2 \text{ м.}$$

Висоту апарата визначають враховуючи можливість зручної його експлуатації, тому орієнтовно приймаємо  $H_{an} = 1,5$  м.

Теплове навантаження на випарник холодильної машини визначається, в основному, теплопритоками від продукту, що заморожується. Тому теплоприток через конструкції, що обгороджують, апарат та експлуатаційні теплопритоки оцінимо як  $0,15 \cdot Q_2$ . У цьому випадку сумарне теплове навантаження складе:

$$Q_0 = 1,15G \cdot q_3, \quad (8.8)$$

$$Q_0 = 1,15 \cdot 0,083 \cdot 241 = 23 \text{ кВт.}$$

Об'ємна подача насоса, який забезпечує циркуляцію холодоносія, знаходиться, припускаючи нагрівання його в апараті  $\Delta t_s = 2$  °С і



враховуючи теплоємність холодоносія  $c_s = 2,8$  кДж/(кг·К) при середній температурі холодоносія  $t_s = -35$  °С:

$$V_s = \frac{Q_0}{c_s \cdot \rho_s \cdot \Delta t_s}. \quad (8.9)$$

$$V_s = \frac{23}{2,8 \cdot 1020 \cdot 2} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 14,5 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Площа теплопередаючої поверхні випарника визначається при прийнятому коефіцієнті теплопередачі випарника  $k_0 = 300$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), а температурний перепад між холодоносієм і киплячим холодильним агентом  $\theta = 5$  °С:

$$S_0 = Q_0 / (k_0 \cdot \theta). \quad (8.10)$$

$$S_0 = 23 \cdot 10^3 / (300 \cdot 5) = 15,3 \text{ м}^2.$$

За значеннями площі теплопередаючої поверхні та тепловому навантаженню вибирається випарник і холодильний апарат.

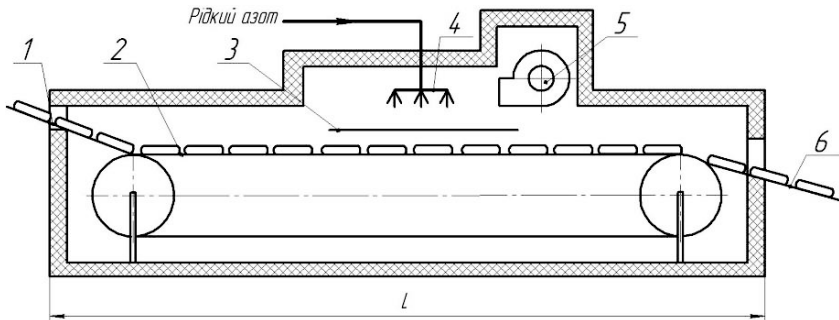
## 2.2 Розрахунок кріоморозильного апарата

*Умови розрахунку.* Кріоморозильний апарат призначений для заморожування січених напівфабрикатів за допомогою рідкого азоту, має продуктивність  $G$  кг/год (кг/с). Початкова температура продукту  $t_{\text{ноч}}$  °С, кінцева  $t_{\text{кін}}$  °С. Розміри напівфабрикатів:  $l_{\text{ин}}$ , м,  $b_{\text{ин}}$ , м,  $\delta_{\text{ин}}$ , м.

*Визначити* тривалість заморожування напівфабрикатів, місткість апарата і його габаритні розміри, швидкість руху стрічки транспортера, теплове навантаження на апарат, повну і питому витрату рідкого азоту, підібрати циркуляційний вентилятор за об'ємним потоком і напором, обрати відсмоктувальний вентилятор.

### Методика розрахунків

Об'єкт заморожування – антрекоти (з яловичини);  $G = 300$  кг/год =  $0,083$  кг/с; температура  $t_{\text{ноч}} = 20$  °С;  $t_{\text{кін}} = -20$  °С; розміри антрекотів:  $l_a = 0,2$  м;  $b_a = 0,1$  м;  $\delta_a = 0,02$  м.



1 – ділянка завантаження; 2 – вантажний конвеєр; 3 – перегородка; 4 – колектор з форсунками; 5 – вентилятор; 6 – ділянка розвантаження.

Рисунок 8.4 – Схема кріоморозильного апарата.

В апараті передбачається три зони: попереднього охолодження; заморожування та вирівнювання температур. У першій зоні апарата тепловідвідним середовищем служить газоподібний азот, що має температуру до  $t_y = -30$  °С. У практиці проектування подібних апаратів приймають, що у зоні попереднього охолодження відбувається зниження температури продукту до середньої об'ємної, що близька до 0 °С.

Питома теплота, яка виводиться з першої зони, визначається за різницею ентальпій (див. додаток В), враховуючи змінення температури антрекотів від 20 до 0 °С:

$$q_{31} = i_{20} - i_0, \quad (8.11)$$

$$q_{31} = 297 - 232 = 65 \text{ кДж/кг.}$$

Питома теплоту, яка виводиться у зоні заморожування, розраховують припускаючи, що відбувається зниження температури антрекотів до середньооб'ємної.

Приймаючи середньооб'ємну температуру кінця заморожування рівною мінус 12 °С, питома теплота складе:

$$q_{32} = i_0 - i_{-12}. \quad (8.12)$$

$$q_{32} = 232 - 22 = 210 \text{ кДж/кг.}$$

Доморожування продукту від мінус 12 до мінус 20 °С відбувається в зоні вирівнювання температури:

$$q_{33} = i_{-12} - i_{-20}. \quad (8.13)$$

$$q_{33} = 22 - 0 = 22 \text{ кДж/кг}.$$

Швидкість руху газоподібного азоту в кріоморозильному апараті рекомендується приймати при заморожуванні мілкоштучних продуктів, у діапазоні  $w_N = 10 - 15$  м/с. Виключення становить зона вирівнювання температури продукту, де рух азоту не організований.

Загальний теплоприток в апарат з урахуванням додаткових теплопритоків визначиться як:

$$Q_0 = 1,1G(q_{31} + q_{32} + q_{33}). \quad (8.14)$$

$$Q_0 = 1,1 \cdot 0,083(65 + 210 + 22) = 27,1 \text{ кВт}.$$

Питома масова холодопродуктивність азоту складається з теплоти пароутворення і теплоти перегріву пари від температури насичення ( $t_0 = -196$  °С) до температури азоту, що виходить з апарата ( $t_y = -30$  °С).

$$q_N = r + c_N(t_y - t_0), \quad (8.15)$$

де  $r$  - питома теплота пароутворення рідкого азоту, приймається  $r = 197,6$  кДж/кг.

$$q_N = 197,6 + 1,05(-30 - (-196)) = 372 \text{ кДж/кг}.$$

Витрата рідкого азоту визначається з формул:

$$G_N = Q_0 / q_N. \quad (8.16)$$

$$G_N = 27,1 / 372 = 0,073 \text{ кг/с}.$$

Питома витрата азоту на 1 кг замороженого продукту складе:

$$g_N = G_N / G. \quad (8.17)$$

$$g_N = 0,073 / 0,083 = 0,88 \text{ кг/с}.$$

Температуропровідність антрекота знаходиться за залежністю:

$$a_a = \lambda_a / (\rho_a \cdot c_a), \quad (8.18)$$

де показники антрекота (яловичина)  $\lambda_a$  - теплопровідність, Вт/(м·К);  $c_a$  - теплоємність, кДж/(кг·К);  $\rho_a$  - щільність кг/м<sup>3</sup> (додаток Г).

$$a_a = 0,5 / (1030 \cdot 3,4 \cdot 10^3) = 1,42 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Для визначення середньої температури азоту в зоні попереднього охолодження вважаємо, що азот із зони видаляється відсмоктувальним вентилятором з температурою  $t_y = -30$  °С.

Температуру азоту, що надходить у зону попереднього охолодження із зони заморожування, визначаємо з рівняння теплового балансу:

$$t_{32} = t_y - Q_{31} / (G_N \cdot c_N), \quad (8.19)$$

де  $Q_{31}$  - теплоприток у зоні попереднього охолодження, кВт;  $G_N$  - масовий потік азоту через зону попереднього охолодження, кг/с; приймаємо рівним масі рідкого азоту, який подається в апарат;  $c_N$  - теплоємність азоту при середній температурі азоту в апараті  $t_N$ .

$$Q_{31} = G \cdot q_{31}. \quad (8.20)$$

$$Q_{31} = 0,083 \cdot 63 = 5,2 \text{ кВт.}$$

$$t_N = (t_y + t_0) / 2. \quad (8.21)$$

$$t_N = (-30 + (-196)) / 2 = -113 \text{ °С.}$$

Теплоємність азоту при його температурі  $t_N = -113$  °С складе  $c_N = 1,05$  (див. додаток Д).

$$t_{32} = -30 - 5,2 / (0,073 \cdot 1,05) = -108,3 \text{ °С.}$$

Середня температура азоту в зоні попереднього охолодження визначається як:

$$t_{31} = (t_y + t_{32}) / 2. \quad (8.22)$$

$$t_{31} = (-30 + (-112)) / 2 = -71 \text{ °С.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від антрекота до циркулюючого азоту визначається, прийнявши швидкість руху азоту  $w = 10$  м/с. Теплофізичні характеристики азоту: щільність  $\rho_N = 1,6$  кг/м<sup>3</sup>; динамічний коефіцієнт в'язкості  $\mu_N = 13,6 \cdot 10^{-6}$  Па·с; теплопровідність парів азоту  $\lambda_N = 0,019$  Вт/(м·К) (додаток Д).

Число Рейнольдса при поздовжньому рухові азоту в апараті становить (визначальний розмір антрекота - його ширина,  $b_a = 0,1$  м)

$$Re = w_N \cdot b_a \cdot \rho_N / \mu_N. \quad (8.23)$$

$$Re = 10 \cdot 0,1 \cdot 1,6 / 13,6 \cdot 10^{-6} = 118000.$$

Число Прандтля при середній температурі азоту  $t_{31} = -71$  °C дорівнює **0,74** (додаток Д). Число Нуссельта для руху газу у вузькому каналі визначається за залежністю:

$$Nu = 0,03 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}. \quad (8.24)$$

$$Nu = 0,03 \cdot 118000^{0,8} \cdot 0,74^{0,43} = 311.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від продукту в зоні попереднього охолодження визначається за виразом:

$$\alpha = Nu \cdot \lambda_N / b_a. \quad (8.25)$$

$$\alpha = 311 \cdot 0,019 / 0,1 = 59,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Тоді число Біо визначиться як:

$$Bi = \alpha \cdot b_a / \lambda_a. \quad (8.26)$$

$$Bi = 59,1 \cdot 0,1 / 0,5 = 11,8.$$

Відносна температура становить:

$$\theta = 1 - ((t_k - t_{31}) / (t_n - t_{31})). \quad (8.27)$$

$$\theta = 1 - ((-2 - (-71)) / (20 - (-71))) = 0,24.$$

Тривалість охолодження поверхні антрекота до криоскопічної температури ( $t_{кр} = t_k = -2$  °C) визначиться за формулою:

$$\tau_1 = Fo \cdot \delta_a^2 / a_a, \quad (8.28)$$

де  $Fo$  - критерій Фур'є, приймаємо  $Fo = 0,001$ .

$$\tau_1 = 0,001 \cdot 0,02^2 / 1,42 \cdot 10^{-7} = 2,8 \text{ с}.$$

Тривалість зниження середньооб'ємної температури антрекота до 0 °C визначається за формулою Планка для заморожування пластини

$$\tau_2 = q_{31} \cdot \rho_a \cdot \delta_a (R \cdot \delta_a / \lambda_{acc} + P / \alpha) / (t_0 + t_{31}), \quad (8.29)$$

де  $R$  і  $P$  - коефіцієнти форми тіла, що заморожується;  $\lambda_{acc}$  - середня теплопровідність антрекота, Вт/(м·К).

$$\lambda_{acc} = (\lambda_{ox} - \lambda_z) / 2. \quad (8.30)$$

$$\lambda_{acc} = (0,5 + 1,3) / 2 = 0,9 \text{ Вт/(м·К)}.$$

$$\tau_2 = 65000 \cdot 1030 \cdot 0,02(0,3846 \cdot 0,02 / 0,9 + 0,1037 / 43) / (0 + 71) = 190 \text{ с}.$$

Тривалість перебування продукту в зоні заморожування знаходять з умови, що газоподібний азот видаляється з зони з певною тем-

пературою  $t_{32} = -108,3$  °C, а надходить із температурою на  $10$  °C вище температури насичення, тобто з  $t_3 = -186$  °C.

Тоді середня температура азоту в зоні заморожування складе  $t_3 = (t_{32} + t_0)/2 = (-108,3 + (-186))/2 = -147$  °C. По цьому значенню приймаємо теплофізичні параметри (див. додаток Д): динамічний коефіцієнт в'язкості  $\mu_N = 9,7 \cdot 10^{-6}$  Н·с/м<sup>2</sup>, щільність пари  $\rho_N = 2,7$  кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність пари  $\lambda_N = 0,013$  Вт/(м·К), число Прандтля  $Pr = 0,8$ .

Визначаємо число Рейнольдса

$$Re = w_N \cdot b_a \cdot \rho_N / \mu_N. \quad (8.31)$$

$$Re = 10 \cdot 0,1 \cdot 2,7 / 9,7 \cdot 10^{-6} \approx 278400.$$

Число Нуссельта знаходиться за формулою (14)

$$Nu = 0,03 \cdot 278400^{0,8} \cdot 0,8^{0,43} = 618.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від антрекота до азоту за формулою (8.25)

$$\alpha = 618 \cdot 0,013 / 0,1 = 80,3 \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}.$$

Тривалість перебування антрекота в зоні заморожування згідно з формулою Планка становить:

$$\tau_3 = 210000 \cdot 1030 \cdot 0,02(0,3846 \cdot 0,02 / 1,3 + 0,1037 / 80,3) / (-2 + 149) = 212 \text{ с.}$$

Тривалість перебування антрекота в зоні вирівнювання температури приймаємо рівній половині часу його знаходження в зоні попереднього охолодження:

$$\tau_4 = 0,5\tau_2 = 0,5 \cdot 190 = 95 \text{ с.}$$

Загальна тривалість знаходження продукту в апараті становить:

$$\tau = \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 190 + 212 + 95 = 497 \text{ с} \approx 8,3 \text{ хв.}$$

Місткість апарата при такій тривалості буде складати:

$$M = G \cdot \tau. \quad (8.32)$$

$$M = 0,083 \cdot 497 \approx 42 \text{ кг.}$$

Щільність завантаження продуктом, віднесена до  $1$  м<sup>2</sup> площі стрічки конвеєра при ширині стрічки  $b_{конв} = 0,6$  м та укладанню антрекотів довгою стороною вздовж стрічки, складе  $g_s = 10$  кг/м.

Довжина стрічки конвеєра визначиться як:

$$L_{\text{конв}} = M / (g_s \cdot b_{\text{конв}}) \cdot \quad (8.33)$$

$$L_{\text{конв}} = 42 / (10 \cdot 0,6) = 7 \text{ м.}$$

Швидкість руху стрічки конвеєра складе:

$$w_{\text{конв}} = L_{\text{конв}} / \tau \cdot \quad (8.34)$$

$$w_{\text{конв}} = 7 / 8,3 = 0,843 \text{ м/хв.}$$

Габарити апарата приймаються з урахуванням наступних міркувань. Довжина з урахуванням діаметра барабана конвеєра (0,4 м), розмірів двох зазорів (2·0,1 м) та товщини теплоізоляційної конструкції (2·0,3 м), а також зони вирівнювання температури (1,2 м) складе:

$$L_{\text{ан}} = 7 + 0,4 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,3 + 1,2 = 9,4 \text{ м.}$$

Ширина апарата становить:

$$B_{\text{ан}} = 0,6 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,3 = 1,4 \text{ м.}$$

Висота апарата залежить від конструктивних особливостей, зручності обслуговування, розмірів вентиляторів і необхідності створення розрахункової швидкості руху азоту вздовж конвеєра.

Об'ємний потік газоподібного азоту в зоні попереднього охолодження складе:

$$V_N = G_N \cdot v_N, \quad (8.35)$$

де  $v_N$  - питомий об'єм азоту при температурі  $t_y = -30$  °С;  
 $v_N = 1 / \rho_N = 1 / 1,36 = 0,74 \text{ м}^3/\text{кг}$  (додаток В).

$$V_N = 0,073 \cdot 0,74 = 0,054 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Необхідний перетин каналу для циркуляції азоту визначається з рівняння суцільності:

$$S_k = V_N / w_N \cdot \quad (8.36)$$

$$S_k = 0,054 / 10 = 0,0054 \text{ м}^2.$$

Порізність укладання продукту визначається як:

$$\varepsilon = 1 - g_s / (\rho_a \cdot \delta_a) \cdot \quad (8.37)$$

$$\varepsilon = 1 - 10 / (1030 \cdot 0,02) = 0,51.$$

Живий перетин для проходу азоту у шарі продукту становить:

$$S_{жс} = b_{конг} \cdot \delta_a \cdot \varepsilon. \quad (8.38)$$

$$S_{жс} = 0,6 \cdot 0,02 \cdot 0,51 = 0,0062 \text{ м}^2.$$

Необхідна висота каналу визначається за виразом:

$$h_k = \delta_a + (S_k - S_{жс}) / b_k. \quad (8.39)$$

$$h_k = 0,02 + (0,0054 - 0,0180,0062) / 0,6 = 0,0185 \text{ м}.$$

Отриманий результат неможливо здійснити конструктивно, тому  $h_k < \delta_a$ . Можна конструктивно збільшити висоту каналу на декілька міліметрів, наприклад  $h_k = 0,03$  м.

Аеродинамічний опір (Па) руху азоту в зоні заморожування складається із втрат напору на тертя об антрекоти  $\Delta p_{mp}$ , втрат напору на поворотах  $\Delta p_{нов}$ , втрат напору на вході у вентилятор  $\Delta p_{вх}$ :

$$\Delta p = 1,1 (\Delta p_{mp} + \Delta p_{нов} + \Delta p_{вх}). \quad (8.40)$$

Втрати напору (Па) при рухові азоту в каналі антрекотів:

$$\Delta p_{mp} = \zeta_a \cdot z_a \cdot \rho_N \cdot w_N^2 / 2, \quad (8.41)$$

де  $z_a$  - число антрекотів на шляху руху азоту (у зоні заморожування на довжині стрічки можна розмістити 12 антрекотів);  $\rho_N = 2,68$  кг/м<sup>3</sup> - щільність парів азоту при температурі  $-147$  °С.  $\zeta_a$  - коефіцієнт місцевого опору в продукті:

$$\zeta_a = \left( 1 - \frac{2\delta_a - \delta_a(1-\varepsilon)}{2\delta_a} \right) + \left( 1 - \frac{2\delta_a - \delta_a(1-\varepsilon)}{2\delta_a} \right)^2. \quad (8.42)$$

$$\zeta_a = \left( 1 - \frac{2 \cdot 0,02 - 0,02(1-0,51)}{2 \cdot 0,02} \right) + \left( 1 - \frac{2 \cdot 0,02 - 0,02(1-0,51)}{2 \cdot 0,02} \right)^2 = 0,3.$$

Тоді  $\Delta p_{mp} = 0,3 \cdot 12 \cdot 2,68 \cdot 10^2 / 2 = 482$  Па.

Втрати напору на трьох поворотах становить:

$$\Delta p = \zeta_{нов} \cdot n_{нов} \cdot \rho_N \cdot w_{нов}^2 / 2, \quad (8.43)$$

де  $\zeta_{нов}$  - коефіцієнт місцевого опору повороту,  $\zeta_{нов} = 1,5$ ;  $n_{нов}$  - число поворотів,  $n_{нов} = 3$ ;  $\rho_N = 2$  кг/м<sup>3</sup> при температурі  $-108,3$  °С;  $w_{нов}$  - швидкість азоту на поворотах, м/с.

$$w_{нов} = V_N / S_{нов}. \quad (8.44)$$



$S_{нов}$  - перетин елемента повороту, м<sup>2</sup>.

$$S_{нов} = (h_k - \delta_a) b_{конв}. \quad (8.45)$$

$$S_{нов} = (0,03 - 0,02) \cdot 0,6 = 0,006 \text{ м}^2.$$

$$w_{нов} = 0,054 / 0,006 = 9 \text{ м/с}.$$

$$\Delta p = 1,5 \cdot 3 \cdot 2,68 \cdot 9^2 / 2 = 354 \text{ Па}.$$

Приймаємо до установки відцентровий вентилятор марки ВЦ 4-70 № 3,15 (додаток Е). Аеродинамічний опір каналу для видалення азоту приймаємо рівним 50 Па (при довжині каналу близько 30 м).

Швидкість у вхідному вікні вентилятора ( $d_{вх} = 0,315 \text{ м}$ ) становить:

$$w_{вх} = 4V_{Nк} / \pi \cdot d_{вх}^2. \quad (8.46)$$

де  $V_{Nк}$  - об'єм азоту при температурі  $-30^\circ\text{C}$ , м<sup>3</sup>/с.  $V_{Nк} = 0,076 \text{ м}^3/\text{с}$

$$w_{вх} = 4 \cdot 0,076 / 3,14 \cdot 0,315^2 = 0,975 \approx 1,0 \text{ м/с}$$

$$\Delta p_{вх} = \zeta_{вх} \cdot \rho_N \cdot w_{вх}^2 / 2. \quad (8.47)$$

де  $\zeta_{вх} = 0,5$  - коефіцієнт місцевого опору;  $\rho_N = 1,36 \text{ кг/м}^3$  - щільність азоту при температурі  $-30^\circ\text{C}$ .

$$\Delta p_{вх} = \zeta_{вх} \cdot \rho_N \cdot w_{вх}^2 / 2. \quad (8.48)$$

$$\Delta p_{вх} = 0,5 \cdot 1,36 \cdot 1,55^2 / 2 = 0,82 \text{ Па}.$$

$$\Delta p = 1,1 (482 + 354 + 1) = 837 \text{ Па}.$$

При об'ємній подачі, рівній  $0,076 \text{ м}^3/\text{с}$  і напорі  $\Delta p = 837 \text{ Па}$  прийнятий до установки вентилятор ВЦ 4-70 № 3,15, який має коефіцієнт корисної дії  $\eta = 0,75$ , а потужність, що споживається електродвигуном

$$P_{ед} = V_{Nк} \cdot \Delta p / \eta. \quad (8.49)$$

$$P_{ед} = 0,076 \cdot 837 / 0,75 = 84,8 \text{ Вт}.$$

Вентилятор ВЦ 4-70 № 3,15 повністю відповідає умовам.

Додаток А  
(довідковий)

Теплофізичні властивості розчину  $\text{CaCl}_2$  (кальцій хлористий)

$\rho$  - щільність розчину,  $\text{кг/м}^3$ ;  $K$  - концентрація розчину, %;  $t_3$  - температура замерзання  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t$  - поточна температура  $^{\circ}\text{C}$ ;  $c$  - питома (масова) теплоємність,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ;  $\mu$  - динамічна в'язкість водяних розчинів,  $(\text{Па}\cdot\text{с})$ ;  $\nu$  - кінематична в'язкість розчину,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $a$  - коефіцієнт температуропровідності,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $Pr$  - число Прандтля.

$\rho$ , $\text{кг/м}^3$	$K$ , %	$t_3$ , $^{\circ}\text{C}$	$t$ , $^{\circ}\text{C}$	$c$ , $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	$\lambda$ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$	$\mu \cdot 10^4$ , $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6$ , $\text{м}^2/\text{с}$	$a \cdot 10^7$ , $\text{м}^2/\text{с}$	$Pr$
1220	23,8	-25,7	20	2,998	0,565	28,73	2,35	1,52	12,5
			10	2,952	0,551	38,15	3,13	1,52	20,8
			0	2,931	0,538	44,13	3,63	1,50	24,4
			-10	2,910	0,523	59,23	4,87	1,47	33,0
			-20	2,889	0,511	94,73	7,77	1,44	53,8
			-25	2,889	0,504	115,72	9,48	1,43	66,5
1240	25,7	-31,3	20	2,889	0,480	26,28	2,12	1,57	13,5
			10	2,879	0,548	32,17	2,51	1,52	16,5
			0	2,868	0,535	42,56	3,43	1,50	22,7
			-10	2,847	0,521	66,78	5,40	1,47	36,6
			-20	2,805	0,508	105,62	8,52	1,45	58,5
			-25	2,805	0,501	129,15	10,40	1,44	72,0
1260	27,5	-38,6	20	2,847	0,558	29,32	2,33	1,57	14,9
			0	2,809	0,532	48,05	3,81	1,50	25,3
			-10	2,784	0,519	75,22	5,97	1,47	40,3
			-20	2,763	0,506	118,66	9,45	1,45	65,0
			-25	2,842	0,499	147,10	11,70	1,45	80,7
			-30	2,742	0,492	171,61	13,60	1,44	95,5
1270	28,4	-43,6	20	2,805	0,557	31,38	2,47	1,56	15,8
			0	2,780	0,529	51,19	4,02	1,50	26,7
			-10	2,763	0,518	80,22	6,32	1,47	42,7
			-20	2,721	0,505	126,51	10,00	1,45	68,8
			-25	2,721	0,498	159,85	12,60	1,43	87,5
			-30	2,575	0,491	188,29	14,90	1,43	103,5
1280	29,4	-50,1	20	2,805	0,555	34,03	2,65	1,54	17,2
			0	2,755	0,528	54,92	4,30	1,50	28,7
			-10	2,721	0,516	86,30	6,75	1,48	45,4
			-20	2,680	0,504	138,27	10,8	1,46	73,4
			-30	2,659	0,490	212,80	16,6	1,44	115
			-35	2,638	0,483	254,97	19,9	1,43	139
			-40	2,624	0,477	323,62	25,3	1,41	179
			-45	2,617	0,465	402,07	31,4	1,40	223
			-50	2,617	0,464	490,33	38,3	1,30	295

Додаток Б  
(довідковий)  
Термічний опір упакування

Вид упакування	Товщина, мм	Термічний опір м <sup>2</sup> ·К/Вт
Пергамент	–	0,00191
Картон перфорований	0,625	0,01113
Картон з алюмінієвою фольгою	0,568	0,00978
Картон з целофаном	0,737	0,01264
Папір перфорований	0,475	0,07600
Целофан	0,028	0,00037
Поліетилен	0,028	0,00037
Фольга алюмінієва	0,100	0,0000006
Прошарок повітряний	0,7...0,9	0,54520

Додаток В  
(довідковий)

Ентальпія яловичини і птиці в залежності від температури, кДж/кг

<i>t</i> , °С	–25	–20	–15	–12	–10	–8	–5	–3	–2	–1	0
<i>i</i>	–11	0	13	22	30	39	57	75	99	185	232
<i>t</i> , °С	0	2	4	8	10	12	15	20	25	30	35
<i>i</i>	232	238	245	250	264	271	280	297	312	329	345

Додаток Г  
(довідковий)

Питома теплоємність і теплопровідність м'ясопродуктів та риби

Продукт	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Питома теплоємність <i>c</i> , кДж/(кг·К)		Теплопровідність <i>λ</i> , Вт/(м·К)	
		оохолодж.	заморож.	оохолодж.	заморож.
Яловичина	1000...1050	3,4	1,67	0,45-0,50	1,09-1,59
Свинина	1000...1030	2,85	1,59	0,37-0,49	0,72-1,56
Риба	1000	3,64	1,90	0,53	1,19-1,40
Птиця	1050	3,18	1,55	0,41	1,30
Ковбаса	960	2,50	–	0,44-0,50	–

Додаток Д  
(довідковий)

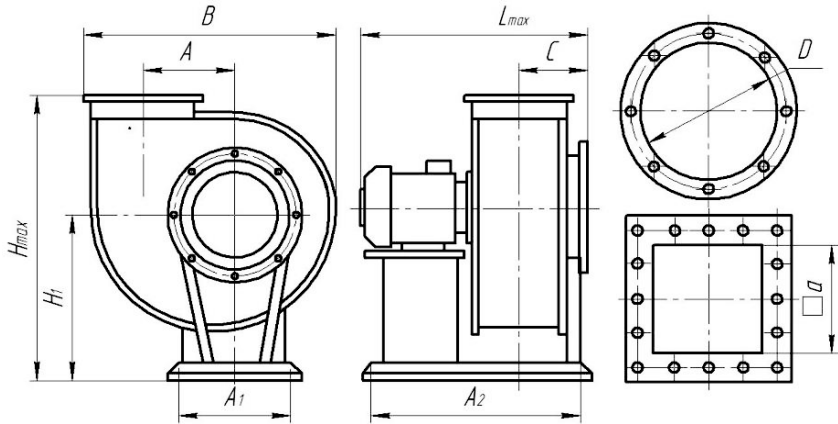
Теплофізичні властивості газоподібного азоту

$t$  - поточна температура, °С;  $\rho$  - щільність, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  - питома теплоємність, кДж/(кг·К);  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);  $\mu$  - динамічна в'язкість, Па·с;  $\nu$  - кінематична в'язкість, м<sup>2</sup>/с;  $a$  - коефіцієнт теплопропровідності, м<sup>2</sup>/с;  $Pr$  - число Прандтля.

$t$ , °С	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$c$ , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2$ , Вт/(м·К);	$\mu \cdot 10^6$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$a$ , м <sup>2</sup> /с	$Pr$
-190	3,982	1,032	0,933	7,417	1,863	0,2270	0,82
-180	3,554	1,033	1,022	8,014	2,255	0,2784	0,81
-170	3,0209	1,034	1,0109	5,590	2,677	0,3320	0,80
-160	2,925	1,035	1,194	9,149	3,128	0,3944	0,80
-150	2,687	1,036	1,278	9,692	3,607	0,4591	0,79
-140	2,485	1,037	1,361	10,22	4,113	0,5281	0,78
-130	2,311	1,038	1,442	10,74	4,645	0,6011	0,77
-120	2,160	1,038	1,522	11,24	5,204	0,6788	0,77
-110	2,028	1,039	1,601	11,74	5,788	0,7598	0,76
-100	1,910	1,040	1,679	12,22	6,397	0,8452	0,76
-90	1,806	1,041	1,756	12,70	7,091	0,9340	0,75
-80	1,713	1,041	1,833	13,166	7,688	1,0280	0,75
-70	1,628	1,042	1,908	13,626	8,369	1,1248	0,74
-60	1,552	1,043	1,983	14,079	9,073	1,2250	0,74
-50	1,482	1,043	2,057	14,525	9,800	1,3910	0,74
-40	1,419	1,044	2,131	14,964	10,549	1,4380	0,73
-30	1,360	1,044	2,204	15,398	11,921	1,5520	0,73
-20	1,306	1,045	2,276	15,826	12,115	1,6680	0,73
-10	1,257	1,045	2,347	16,249	12,930	1,7870	0,73
0	1,211	1,045	2,419	16,667	13,766	1,9120	0,72
10	1,168	1,046	2,489	16,852	14,079	2,0370	0,72
20	1,128	1,046	2,559	17,488	15,503	2,1690	0,72
30	1,091	1,046	2,629	17,891	16,402	2,3040	0,71

Додаток Е  
(довідковий)

Характеристики відцентрових вентиляторів марки ВЦ-4-70



Технічна характеристика вентиляторів ВЦ-4-70

Позн.	Встановлена потужність, кВт	Частота обертання, об/хв	Продуктивність, тис.м <sup>3</sup> /год	Тиск, Па	Маса, кг
ВЦ 4-70 №2,5	0,12	1500	0,45-0,85	170-110	20,7
	0,25	1500	0,40-0,90	177-128	27,0
	0,37	3000	0,85-1,65	490-300	31,5
	0,75	3000	0,85-1,75	720-450	22,2
ВЦ 4-70 №3,15	0,12	1500	0,76-1,15	800-540	34,5
	0,18	1500	0,76-1,82	185-170	30,0
	0,25	1500	0,85-1,84	185-110	30,0
	0,37	1500	0,90-1,95	280-170	29,9
	1,1	3000	1,65-3,80	830-480	37,0
	1,5	3000	1,80-4,00	1200-680	38,9
	2,2	3000	1,70-4,00	1350-880	40,1

Примітка: Характеристики вентиляторів №4...№12,5 наведені у додатку 3 до практичної роботи Розрахунок флюїдизаційного морозильного апарата.

Розміри вентиляторів ВЦ-4-70, мм

Марка	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	L <sub>max</sub>	H <sub>max</sub>	H <sub>1</sub>	D	a	C
ВЦ 4-70-2,5	162	220	300	480	520	320	250	175	140
ВЦ 4-70-3,15	205	220	400	530	640	410	315	220	152

Самойчук Кирило Олегович, Ялпачик Володимир  
Федорович, Кюрчев Сергій Володимирович,  
Буденко Сергій Федорович, Верхоланцева Валентина  
Олександрівна, Паляничка Надія Олександрівна,  
Циб Віктор Григорович.

**ОБЛАДНАННЯ СКЛАДІВ ДЛЯ  
ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ТА  
М'ЯСОМОЛОЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ**

*Лабораторний практикум*

Підписано до друку 21.05.2019. Формат 60x84/16.  
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 9,88.  
Наклад 100 прим. Зам. № 557.

Видавець  
ТОВ “Видавничий будинок Мелітопольської міської  
друкарні”  
72312, м. Мелітополь, вул. М. Грушевського, 5  
тел. 067-701-68-39  
[www.mmd.org.ua](http://www.mmd.org.ua)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виробників  
і розповсюджувачів видавничої продукції  
від 26.09.2003 р., серія ДК №1509

Надруковано ПП Скребейко П. В.