

Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Факультет Факультет низькотемпературної техніки та інженерної механіки  
Кафедра Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту  
Ступінь вищої освіти Бакалавр  
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
Освітня програма Енергетична безпека та енергетичний менеджмент виробництв



### ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему Розробка опріснювача блочного виморожування.  
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Густ С.А.  
(прізвище, ініціали)

курсу ГМ-40 групи

Керівник доц. Мординський В.П.  
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р., протокол № \_\_\_\_.

Завідувач(ка) кафедри ПОтаЕМ Олег Бурдо  
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Одеса - 2024 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

<b>Факультет</b>	Факультет низькотемпературної техніки та інженерної механіки
<b>Кафедра</b>	Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту
<b>Ступінь вищої освіти</b>	Бакалавр
<b>Спеціальність</b>	133 «Галузеве машинобудування»
<b>Освітня програма</b>	Енергетична безпека та енергетичний менеджмент виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заві. кафедри \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_  
" \_\_\_\_\_ 2024 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Густ Сергія Андрійовича

1. Тема проекту (роботи) «Розробка опріснювача блочного виморожування.»

Затверджені наказом ОНТУ від "03.10.23" № 575-03

2. Строк подання студентом проекту (роботи): 10.05.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): продуктивність. 2,5 кг/год.

початкова солоність морської води  $\omega_1=17$  гр/дм<sup>3</sup>,

кінцева солоність питної води –  $\omega_2=10$  гр/дм<sup>3</sup>

4. Переліки питань, які потрібно розробити):

Анотація; вступ; опис технологічної лінії, опис процесу опріснення огляд

існуючого обладнання; патентний пошук; опис конструкції машини;

вимоги до сировини технологічний розрахунок; силовий розрахунок; охорона

праці та правила експлуатації машини; вибір додаткового обладнання,

список літератури.

5.Перелік графічного матеріалу

(з точним зазначенням обов'язкових креслень):

A1 загальний вигляд лист 1 шт.;

A1 лист деталювання 5;

### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
БЖД	Всеволодов О.М, доц. каф. ПОтаЕМ	3.04.2024	

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_  
 Керівник \_\_\_\_\_ ПІБ  
 Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ ПІБ

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Вступ та анотація до проекту	18.02.2024.	
	Опис технологічного процесу, Вимоги до сировини	25.02.2024	
	Способи реалізації технологічного процесу і машинне оформлення	03.03.2024	
	Огляд існуючого обладнання; патентний пошук	14.03.2024	
	Технічний проект; технологічний розрахунок	14.04.2024	
	Охорона праці та правила експлуатації машини; цивільний захист	25.04.2024	
	Список літератури; додатки	1.05.2024	
	Креслення загального вигляду машини	14.05.2024	
	Креслення листів деталювання	24.05.2024	
	Оформлення проекту та отримання рецензії.	до 10.06.2024.	

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ ПІБ  
 Керівник роботи \_\_\_\_\_ ПІБ

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ. Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ ПІБ Підпис

## ЗМІСТ:

Анотація	5
1. ВСТУП	6
Розділ 1 Опис технологічного процесу опріснення води	7
Розділ 2. Вимоги до сировини	11
Розділ 3. Огляд існуючого обладнання, патентний пошук	15
3.1 Устаткування для отримання питної води виморожуванням	
3.1.1. Кристалізатори.	15
3.1.2. Сепаратори льоду та розчину.	22
3.1.3. Метод блочного виморожування	25
3.2. Фізичні основи поділу виморожуванням	27
3.3. Патентний пошук	30
Розділ 4. Технологічний розрахунок опріснювача блочного виморожування	37
4.1. Визначення поверхні кристалізаторів	37
4.2. Тепловий баланс.	37
4.3 Розрахунок на міцність	42
4.3.1 Розрахунок апаратів що знаходяться під дією внутрішнього тиску	42
4.3.2 Розрахунок плоских днищ апаратів [8].	49
4.4.1 Визначення товщини стінок кристалізатора	51
4.4.2. Розрахунок плоского днища кристалізатора	54
4.5. Гідравлічний розрахунок.	55
Розділ 5 Автоматизація технологічного процесу виморожування	57
Розділ 6. Інструкція з охорони праці під час роботи блочного виморожувача	63
Розділ 7. Висновки.	64
Список літератури:	65
Специфікації	66

## Анотація

**Актуальність роботи.** В Україні вже давно назріває проблема питної води, оскільки за запасами доступних до використання водних ресурсів країна належить до малозабезпечених. У маловодні роки на території України формується лише 52,4 км<sup>3</sup>/рік стоку, тобто на одну людину припадає близько 1 тис. м<sup>3</sup>. Тим часом, за визначенням Європейської економічної комісії ООН, держава, водні ресурси якої не перевищують 1,7 тис. м<sup>3</sup> стоку на рік на одну людину, вважається незабезпеченою водою. Серед 152 країн світу Україна за цим показником посідає 111 місце. У загальносвітовому обсязі водозабір з річок, озер, водоймищ становить 11,3 млрд. м<sup>3</sup>, підземних джерел — 2,5 млрд. м<sup>3</sup>, безпосередньо з морів — 0,9 млрд. м<sup>3</sup>. На жаль, продукти людського господарювання у вигляді стічних вод уже дісталися навіть підземних горизонтів.

**Мета досліджень** – розробити установку для блочного виморожування морської води для побутового використання.

Наукова робота викладена на 65 сторінках і складається з вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг роботи - 65 сторінки, включаючи 14 рисунків, 2 таблиць, список літературних джерел зі 9 найменувань (на 1 сторінці).

*Ключові слова: питна вода, опріснення, виморожування.*

## 1. ВСТУП

Загальносвітовий дефіцит води являє собою велику проблему для людства змушуючи шукати рішення в будівництві нових станцій опріснення води.

У світі більше мільярда людей не мають доступу до безпечних джерел питної води. Особливо це спостерігається в малонаселених частинах планети, де відсутня або слабо виражена інфраструктура і йде щоденна боротьба за виживання.

Більше 97% всієї води на Землі є океанічної, тому у людей обмежений доступ до прісної рідини, всього близько 0.014% міститься в озерах, річках і струмках ще близько 0.592% знаходиться в ґрунтових водах.

З кожним роком чисельність населення на планеті збільшується, що спричиняє збільшення споживання прісної рідини, з 1940 року чисельність населення на Землі збільшилася в три рази.

Всі країни, що розвиваються, особливо відчувають дефіцит питної рідини.

Згідно зі статистикою ООН, щорічно на планеті вмирає близько 1.8 мільйона людей із-за нестачі і вживання забрудненої рідини.

Опріснювальні станції можуть забезпечити загальносвітовий брак живлющої вологи.

Виробництво питної вологи з морської стає доступним рішенням при відсутності надійних джерел водопостачання.

На додаток до видалення мінералів, видаляються органічні та біологічні сполуки.

Весь Світ потребує якісної питної рідини, і високопродуктивні опріснювальні станції побудовані в: Саудівської Аравії, Індії, Ізраїлі, Дубай, Австралії перероблюють тонни морської та океанічної рідини.

## Розділ 1

### ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОПРІСНЕННЯ ВОДИ.

В даний час опріснення води можливо дистиляцією, виморожуванням та за допомогою мембранних технологій. Розглянемо докладніше кожен із перерахованих способів.

Дистиляція. Випарювання відбувається в об'ємі розчину, коли тиск парів розчинника дорівнює загальному тиску надрозчинному просторі.

Цей спосіб заснований на закипанні і паротворенні. Морську воду нагрівають до утворення пари, яка вилучається і охолоджується, як наслідок - вода придатна до вживання. Величезним недоліком цього методу є залишковий соляний розчин високої концентрації. Але для того, щоб він не приводив в непридатність трубопровід і сам дистилятор, використовують багатоканальні дистилятори, і частково опріснену воду з соляним розчином скидають в море. Дуже важливим моментом є очищення морської води перед і після методу дистиляції. Недоліком цього методу є великі енергозатрати за рахунок

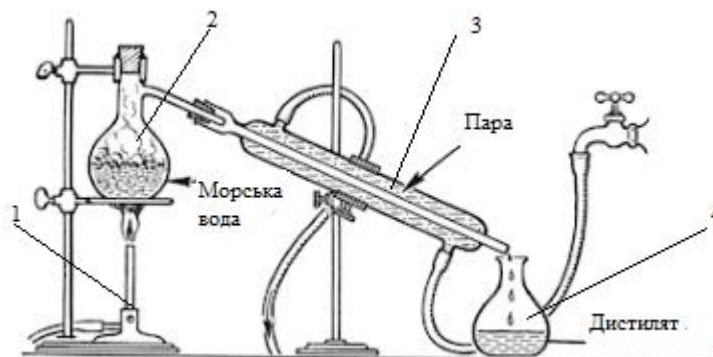


Рис 1.1. Дистилятор

1 – джерело енергії, 2 – дистилятор, 3 – конденсатор, 4 – ємність для дистиляту

Мембранні технології. Серед мембранних процесів, які можна, певною мірою, віднести до фільтраційних методів поділу рідких систем, відомі: зворотний осмос, ультрафільтрація, мікрофільтрація та електродіаліз.

Основним мембранним способом, що застосовується для опріснення води є зворотний осмос.

Явище осмосу полягає в тому, що розчинник походить через напівпроникну мембрану та розбавляє розчин. Однак перехід розчинника в розчин не буде продовжуватися нескінченно. Він відбувається до певної межі, при якій гідростатичний тиск розчину стає рівним осмотичного тиску. Якщо на розчин, що знаходиться в стані рівноваги з водою, чинити тиск, що перевищує осмотичний, то вода з розчину буде схожа через мембрану у воду, що знаходиться за перегородкою. На цьому принципі і заснований зворотний чи реверсивний осмос.

При опрісненні цим способом через мембрану проходить майже чиста вода, у результаті концентрація оброблюваного продукту підвищується. У консервній промисловості зворотний осмос застосовується для концентрування овочевих та фруктових соків, а в молочній промисловості – для концентрування молочної сироватки, питного молока та пахти. До переваг зворотного осмосу відносяться: низькі енергетичні витрати; покращення якості концентрату, внаслідок низької температури процесу; Хороші санітарні умови виробництва.

Максимально зворотним осмосом можна досягти концентрації 30-40% сухих речовин. Більш високої концентрації домагатися неефективно, тому що при цьому необхідні високі тиски для подолання осмотичного тиску, висока витрата електроенергії та встановлення великих розмірів. Також низьке впровадження мембранних технологій пов'язане з недостатнім асортиментом і якістю мембран, апаратів і установок для мембранних процесів, що випускаються промисловістю. Важливим фактором, що гальмує впровадження мембранної технології, є недосконалість мембран, її складність та висока вартість. Недосконалі та дорогі також і мембранні установки, що використовуються у харчовій промисловості.

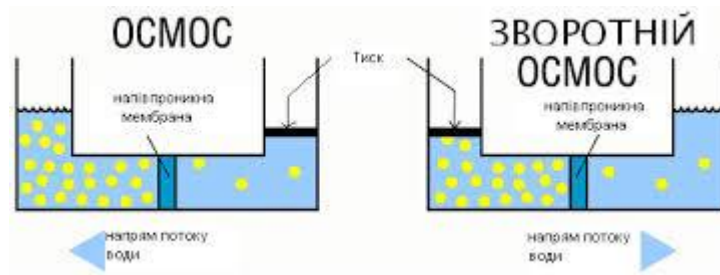


Рис. 1.2. Зворотній осмос

Недоліком зворотного осмосу є необхідність високих тисків (до 10 МПа). Складність у виготовленні та виробництві мембран, їх висока ціна. Концентрація одержуваного продукту обмежена збільшенням тиску ультрафільтрації.

Опріснення виморожуванням. Для опріснення води перспективними є технології, засновані на низькотемпературному зневодненні продуктів – опрісненню виморожуванням.

Опріснення морської виморожуванням засноване на охолодженні продукту нижче за температуру його замерзання. При цьому частина води вимерзає і у вигляді кристалів льоду відокремлюється від концентрату.

Метод опріснення виморожуванням заснований на тому явищі, що дрібні кристали льоду мають у розчині нижчу температуру плавлення, ніж великі. Тому при перемішуванні дрібних і великих кристалів в суспензії середня температура її буде між нижчою точкою плавлення дрібних кристалів і вищою точкою плавлення великих. Оскільки ця середня температура вища за рівноважну температуру дрібних кристалів, останні плавляться. Великі кристали, своєю чергою, збільшуються у розмірах.

Концентрування виморожуванням рідких харчових продуктів, особливо термолабільних, або містять велику кількість ароматичних речовин, забезпечує найбільш повне збереження вихідних властивостей продукту. Це зумовлюється тим, що процес ведеться за низьких температур і сировина зазнає мінімальних якісних змін.

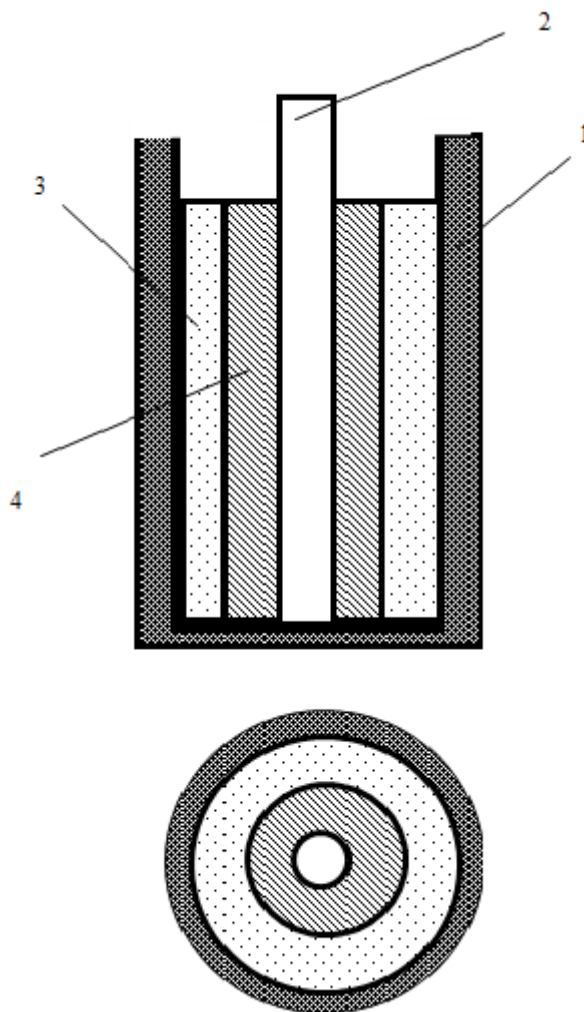


Рис 1.3. Опріснення виморожуванням

1 – концентратор, 2 – кристалізатор, 3 – морська вода, 4 – пористий блок льоду.

Перевагами низькотемпературного опріснення є низькі енергозатрати, які майже в 20 раз менші ніж при дистиляції.

## РОЗДІЛ 2

### ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ

Вимоги до показників якості питної води, призначеної для споживання людиною згідно з ДСТУ 7525:2014 ВИМОГИ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

Вимоги та нормативи складу і властивостей питної води визначають придатність її для задоволення фізіологічних, санітарно-гігієнічних, побутових і господарських потреб людини та охоплюють: безпеку води в епідемічному відношенні, нешкідливість хімічного складу, сприятливі органолептичні властивості, токсикологічну й радіаційну безпеку.

Перелік показників і нормативів якості питної води базують на принципі неперевищення нормативних величин і значень фізичних, органолептичних, хімічних, мікробіологічних, токсикологічних радіаційних показників для питних вод, установлених у цьому стандарті та у ДСанПіН 2.2 4-171

Перелік показників якості питної води, призначеної для споживання людиною, визначають у цьому стандарті залежно від джерела водопостачання, вторинного забруднення внаслідок застосування реагентів у процесі водопідготування, оцінювання рівня токсичності води нецентра- лізованого питного водопостачання Для води нецентралізованого питного водопостачання фасованої зберігається такий самий перелік показників, як і для води нецентралізованого питного водопостачання нефасованої.

Вимоги щодо якості води централізованого та нецентралізованого питного водопостачання охоплюють 82 показники і подано 10 окремими групами: 1 група — 8 мікробіологічних показників; 2 група — 1 вірусологічний показник; 3 група — 2 паразитологічних показники; 4 група — 1 мікологічний показник; 5 група — 4 показники рівня токсичності, 6 група — 2 показники радіаційної безпеки; 7 група — 4 органолептичних показники, 8 група — 17 хімічних показників якості, що впливають на органолептичні властивості питної води; 9 група — 30 токсикологічних показників нешкідливості хімічного складу (з них 22

неорганічних, б органічних компонентів і 2 інтегральних показники); Ю група — 13 речовин, що утворюються і надходять у питну воду під час водопідготування.

За мікробіологічними, вірусологічними й паразитологічними показниками питна вода має відповідати вимогам, наведеним у таблицях 2.1 і нормам ДСзнПіН 2.2 4-171.

Таблиця 2.1 — Мікробіологічні показники якості питної води

№ п/п	Назва показника	Одиниці вимірювання	Норматив, не більше ніж	
			Вода систем централізован ого питного водопостачан ня	Вода нецентралізованог о питного водопостачання (нефасована. фасована)
1	Число бактерій в 1 см <sup>3</sup> води, що досліджують (ЗМЧ) за 37 °С	КУО/см <sup>3</sup>	100	20
2	Число бактерій о 1 см <sup>3</sup> води, що досліджують (ЗМЧ) за 22 °С	КУО/см <sup>3</sup>	Не визначають	20
3	Число бактерій групи кишкових паличок (коліформних мікро-організмів) в 1 дм <sup>3</sup> води, що досліджують (індекс БГКП)	КУО/дм <sup>3</sup>	3	Відсутність
4	Число термостабільних кишкових паличок (фекальних колі-ферм — індекс ФК) у 100 см <sup>3</sup> води, що досліджують	КУО/100см <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність

5	Число патогенних мікроорганізмів з 1 дм <sup>3</sup> води, що досліджують	КУО/дм <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність
6	Число коліфагіз з 1 дм <sup>3</sup> води, що досліджують	ЕУО/дм <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність
7	Спори сульфиторедукувальних клостридій	Наявність (чисельність)/ 20 см <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність
8	Синьогнійча паличка ( <i>Pseudomonas aeruginosa</i> )	КУО/дм <sup>3</sup>	Не визначають	Відсутність

За хімічними показниками якості, що впливають на органолептичні властивості, питна вода має відповідати нормативам, наведеним у таблиці 2.2, і нормам ДСанПіН 2.2.4-171.

Таблиця 2.2 Хімічні показники якості, що впливають на органолептичні властивості питної води

№ п/п	Назва показника	Одиниці вимірювання	Норматив, не більше ніж	
			Вода систем централізованого питного водопостачання	Вода нецентралізованого питного водопостачання (нефасована, фасована)
1	Водневий показник (рН), у межах	Одиниці рН	6,5-8,5	6.5—8,5
2	Сухий залишок (мінералізація загальна)	мг/дм <sup>3</sup>	1000(1500)	1000 200—500

	оптимальний вміст, у межах			
3	Жорсткість загальна оптимальна величина, у межах	ммоль/дм <sup>3</sup>	7 (10)	7 1.5—7
4	Лужність загальна оптимальна величина, у межах	ммоль/дм <sup>3</sup>	Не визначають	6,5 0,5-6,5
5	Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	250 (500)	150
6	Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	250 (35)	150
7	Залізо загальне (Fe)	мг/дм <sup>3</sup>	0.2 (1.0)	Відсутність
8	Марганець (Mn)	мг/дм <sup>3</sup>	0.05 (0.5)	Відсутність
9	Мідь (Cu)	мг/дм <sup>3</sup>	1	Відсутність
10	Цинк (Zn)	мг/дм <sup>3</sup>	1	Відсутність
11	Кальцій (Ca) оптимальний вміст, у межах	мг/дм <sup>3</sup>	Не визначають	130 25—75
12	Магній (Mg) оптимальний вміст, у межах	мг/дм <sup>3</sup>	Не визначають	80 10-50
13	Натрій (Na) оптимальний зміст, у межах	мг/дм <sup>3</sup>	200	200 2—20
14	Калій (K) оптимальний вміст, у межах	мг/дм <sup>3</sup>	Не визначають	20 2—20
15	Нафтопродукти	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	Відсутність
16	Феноли леткі	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	Відсутність
17	Хлорфеноли	мг/дм <sup>3</sup>	0,0003	Відсутність

## РОЗДІЛ 3

### ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ, ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

#### 3.1 Устаткування для отримання питної води виморожуванням

##### 3.1.1. Кристалізатори.

При концентруванні рідких харчових продуктів застосовують, в основному, апарати з відведенням теплоти кристалізації через охолоджувану поверхню, на якій утворюється тверда фаза.

Слід зазначити, що специфіка роботи кристалізатора концентруючої установки полягає в перетворенні на кригу тільки частини води, що міститься в концентрованому продукті. При цьому для нормальної експлуатації кріоконцентруючої установки, необхідно, щоб в апараті забезпечувався режим роботи без захоплення внутрішньою структурою льоду цільових компонентів продукту. Для скорочення витрат на поділ льоду та концентрату, одержувані в апараті кристали мають бути досить великими та з малою дисперсією за розміром.

У холодильній техніці з кристалізаторів безпосереднього охолодження киплячим холодильним агентом найбільш поширені льодогенератори барабанного типу, в яких крига утворюється на поверхні теплообміну у вигляді тонкого шару, безперервно зрізаного ножом. Отриманий лід придатний для наступного відділення від концентрату.

Перші апарати барабанного типу виготовлялися з розсольним охолодженням. Схема барабанного кристалізатора з розсольним охолодженням використаного в кріоконцентраторах Краузе-Лінді та Хейса-Нейєрбурга представлений на рис. 3.1. Подібні апарати можуть бути і з безпосереднім охолодженням киплячим холодильним агентом. Модифікація такого апарату вертикального виконання з притискними кюветами запропонована [2]. Принципова її конструкція запропонована на рис.3.2. Як зазначалося раніше,

технологічний процес повинен забезпечувати отримання льоду, вільного від включення інших компонентів продукту. Тут швидкість льодоутворення лімітується як процесами тепловіддачі, а й масопереносу. Розглянуті барабанні льодогенератори, дозволяючи здійснювати досить інтенсивне теплоперенесення, не забезпечують високої швидкості масопереносу. Це призводить до необхідності зменшення теплового потоку в апараті до значень, що забезпечують масообмін без захоплення льодом компонентів, що викликає збільшення габаритів апарату.

Кращі умови льодоутворення при концентруванні досягаються в апараті вогаторного типу фірми Фріго-Доброн [2]. Вихідний продукт надходить у резервуар 1 (рис.3.3.), охолоджений холодильним агентом, що кипить у сорочці 2. Утворюється лід видаляється з охолоджуваної поверхні скребками 3. Можлива конструкція апарата з кільцевими камерами без їх притиску при спіральному рух. Інтенсифікація процесу масопереносу в даних апаратах забезпечується за рахунок збільшення швидкості пригоди рідини вздовж охолоджуючої поверхні, а також завдяки тому, що ножі виконують роль мішалки. Однак, раціональні швидкості видалення льоду з поверхні та перемішування різні. Тому доцільніші конструкції, що дозволяють їх незалежно варіювати. У цих цілях може бути використане кілька рішень.

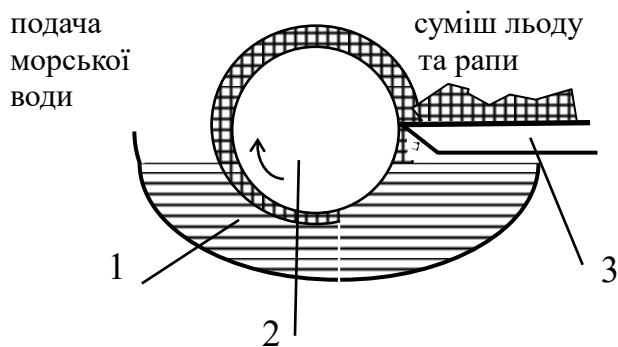


Рис. 3.1. Схема барабанного кристалізатора обертового типу з внутрішнім охолодженням: 1-поддон для морської води, 2-охолоджувальний барабан, 3-ніж и транспортер суміші льоду і рапи.

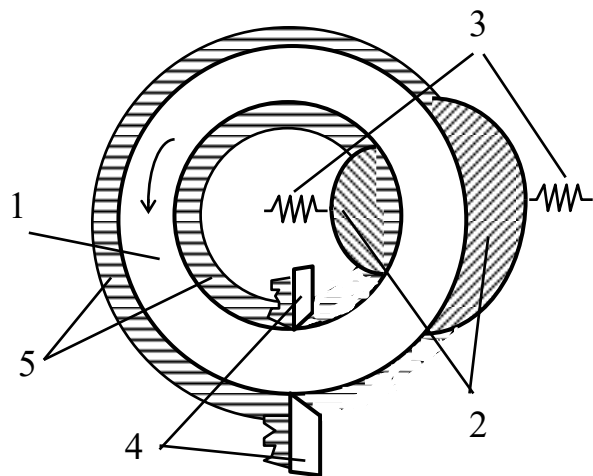


Рис. 3.2. Схема барабанного кристалізатора з двосторонньою охолоджуваною поверхнею: 1-охолоджуваний барабан, 2-камери, 3-пружини камер, 4-ножі, 5-наморожений шар льоду.

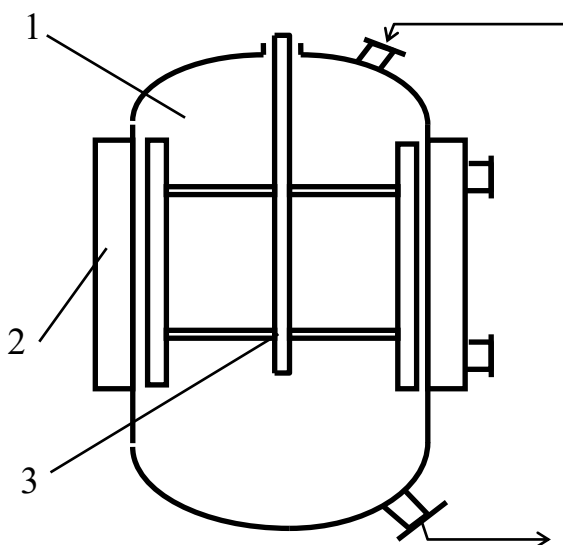


Рис. 3.3. Схема кристалізатора вататорного типу: 1-резервуар, 2-сорочка охолодження, 3-скребки.

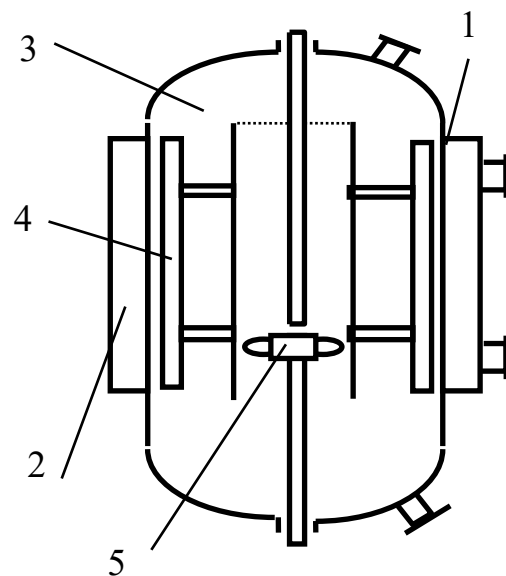


Рис. 3.4. Схема кристалізатора вататорного типу з незалежним пристроєм, що перемішує і ножовим: 1.- поверхня теплообміну; 2 - сорочка, що охолоджується; 3-резервуар; 4 – ножі, 5 – мішалка.

Перше їх наведено на рис. 3.4. Льодогенератор складається з ємності для розчину 3 з поверхнею теплообміну 1, що охолоджується киплячим в сорочці 2 холодильним агентом; обертових ножів 4, що приводяться в обертання редуктором, і пристрою, що переміщує 5. Вихідний розчин подається в нижню частину резервуара 3. При інтенсивному перемішуванні відбувається часткове виморожування води з розчину, як на поверхні теплообміну, так і в обсязі продукту. Лід із поверхні теплообміну зрізається ножами 4 і змішується з основним розчином. Суміш льоду та розчину відводиться з апарата на подальший поділ. Такий апарат має ряд переваг у порівнянні з описаними вище, тому що в ньому значно покращені умови масообміну і можливе незалежне варіювання як швидкістю перемішування, так і зрізана швидкістю льоду. Це дозволяє організувати сприятливі умови кристалізації як поверхні теплообміну, а й обсязі апарату.

Ефекту турбулізації можна добитися також в апаратах барабанного і вортаторного типу зміною перерізу потоку, однак при цьому скорочується час перебування кристалів в апараті та зменшуються їх середні розміри. І тут виникає необхідність вирощувати кристали додатковому апараті. Таке рішення часто використовується для організації процесів кристалізації, коли зони охолодження та вирощування кристалів розділені.

Для кріоконцентруючих установок таке рішення використано фірмою "Гренко". Блок кристалізації кріоконцентрату фірми "Гренко" представлено на рис.3.5. За схемою вихідний продукт після змішування з концентратом надходить в скребковий кристалізатор - охолоджувач 1. Отриманий переохолоджений розчин з дрібними кристалами направляється в рекристалізатор 2 з турбінною мішалкою 3, нестійких при переохолодженні в апараті. Концентрат на рециркуляцію відбирається через фільтруючу поверхню 4 насосом 5. При використанні схеми досягається максимальне переохолодження потоку в апараті 1 при порівняно малому переохолодженні в апараті 2, що покращує об'ємну кристалізацію розчину і якість одержуваних кристалів.

У апаратах, показаних на рис. 3.4. та 3.5. можуть використовуватися різні пристрої, що перемішують, ефективні для здійснення процесів тепломасообміну з дисперсною фазою. Зазначимо, що розглянуті апарати мають малорозвинену питому поверхню. У той же час, її збільшення призводить до зменшення енерговитрат на криоконцентрування та покращення кінетики льодоутворення.

Заслужують на увагу дискові кристалізатори, що мають значно більшу поверхню в одиниці об'єму апарату, схема якого представлена на рис. 3.6. Він складається з набору пустотілих дисків 1, усередині яких циркулює однофазний охолоджувач або киплячий холодильний агент, що рухається послідовно від диска до диска. У просторі між дисками розташовані ножі 2, що приводяться в обертання валом 3. Апарат має дві торцеві кришки 4, які стягують весь пакет і мають патрубки для подачі розчину, а також виходу суміші льоду та концентрату. Потік суміші льоду та розчину з однієї порожнини до іншої здійснюється через отвори в дисках.

До апаратів прямого охолодження (вакуумні кристалізатори) відноситься апарат, досліджений у роботі [2] (рис.3.7). У ньому випаровування розчину відбувається, в основному, з поверхні розділу пароподібної та рідкої фази при розбризкуванні вихідного розчину в пристрої 1. Транспортування суміші льоду та розчину в апараті проводиться за допомогою мішалки 2.

Однак, перелічені кристалізатори разом зі своїми перевагами мають ряд недоліків. Порівняльна характеристика кристалізаторів різних видів наведена в табл. 3.1.

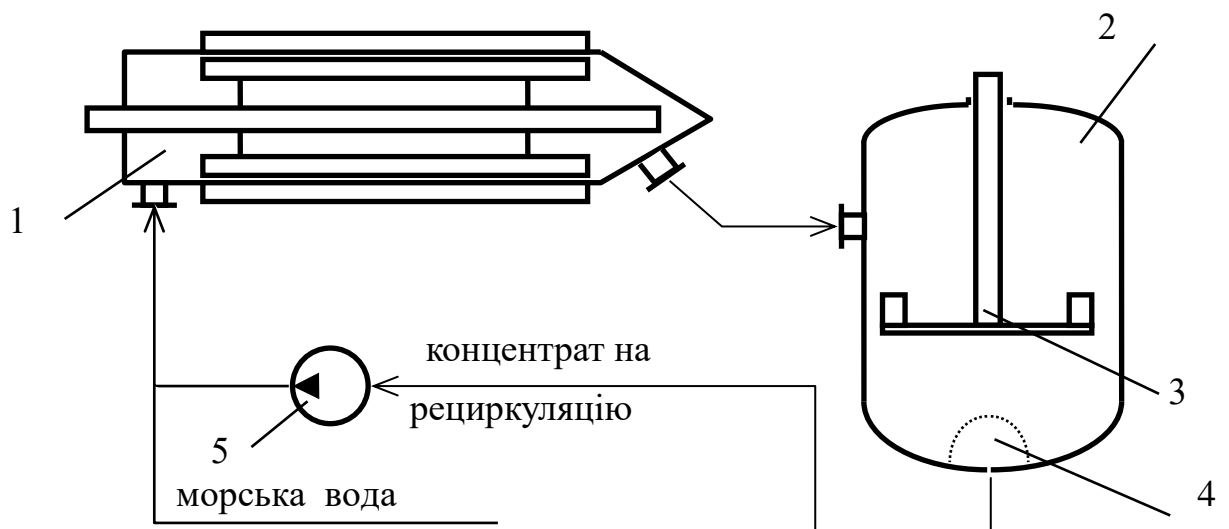


Рис.3.5. Схема блоку кристалізації з роздільними зонами охолодження та вирощування кристалів: 1 кристалізатор – охолоджувач, 2 рекристалізатор, 3-мішалка, 4-фільтруюча поверхня, 5-насос.

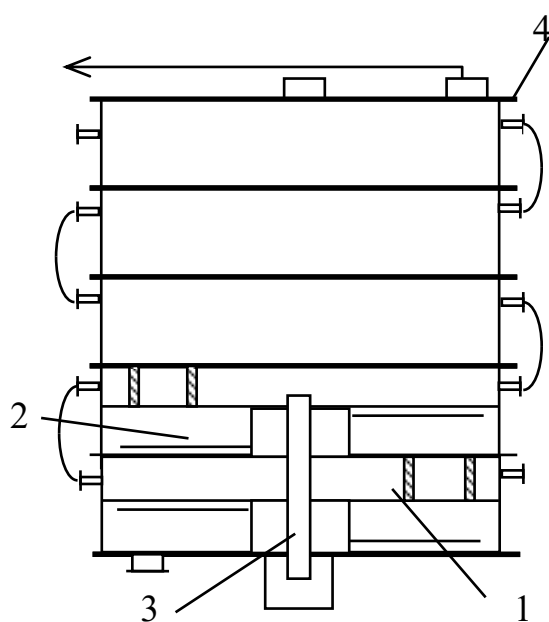


Рис. 3.6. Схема дискового кристалізатора: 1-диски, 2- ножі, 3- вал, 4- кришки.

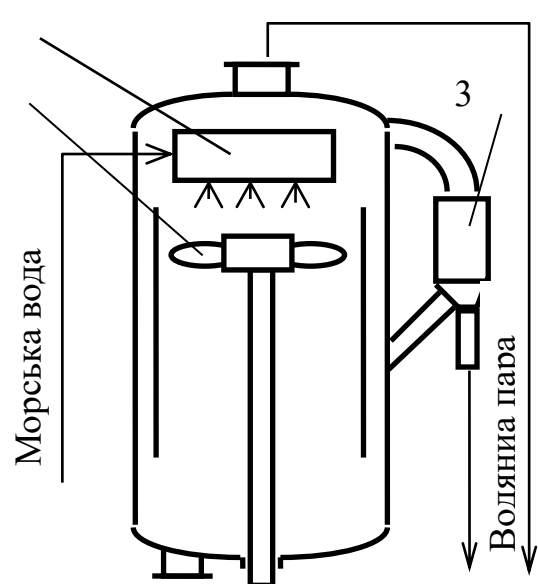


Рис.3.7. Схема кристалізатора вакуумної виморожуючої установки: 1.-розбризувальний пристрій, 2- мішалка, 3-розділювач.

Таблиця 3.1

## Характеристики кристалізаторов

Тип кристалізатора	Переваги	Недоліки
Барабаний з внутрішнім охолодженням	Одержувана суспензія “кристали - продукт” мають вищу концентрацію кристалів льоду.	Великі витрати холоду. Складність підведення холодильного агента. Маленькі розміри одержуваних кристалів. (0,1мм.). Додаткові витрати видалення шару льоду. Необхідність рекристалізатора.
Вотаторний	Одержувані кристали значних розмірів (1-3мм). Простота підведення холодильного агента.	Низька концентрація льоду суспензії “кристали - продукт”. Додаткові витрати видалення шару льоду.
Барабаний із зовнішнім охолодженням	Простота конструкції та підведення холодильного агента.	Низька концентрація льоду суспензії “кристали - продукт”. Невеликі розміри одержуваних кристалів (0,1мм.). Додаткові витрати видалення шару льоду. Необхідність рекристалізатора.
Дисковий	Добре розвинена поверхня теплообміну.	Складність конструкції. Низька концентрація льоду суспензії “кристали - продукт”. Маленькі розміри одержуваних кристалів. (0,1мм.). Додаткові витрати видалення шару льоду. Необхідність рекристалізатора.
Прямого охолодження	Простота конструкції. Одержувані кристали значних розмірів.	Необхідність у наявності вакуум-насоса. Складність поділу водяної пари та повітря.

### 3.1.2. Сепаратори льоду та розчину.

Класифікація способів поділу льоду та розчину була наведена вище. В даний час для цього застосовують центрифуги, пресові сепаратори, промивні колони та сепаратори примусового миття поршневого типу, представлені на рис.3.8. Суміш льоду та розчину подається через порожнистий вал (1) поршня, що рухається зворотно-поступально. Коли поршень знаходиться у крайньому нижньому положенні, суміш надходить у зону 4, обсяг якої визначається ходом та площею поршня.

При ході поршня вгору розчин видаляється через сітку на днище поршня, а лід спресовується, утворюючи зону щільного шару 3. Вода, що подається у верхню зону, промиває лід у верхній частині зони 3, проходячи через перфорацію ножа, що обертається 2, а очищений від концентрату лід зрізується ножом і видаляється з потоком прісної води.

Поршневі сепаратори мають простішу конструкцію, але порівняно великі втрати сухих речовин, ніж промивні колони. Схему поршневого сепаратора наведено на рис 3.9.

Поділ суспензії на кристали льоду і концентрат відбувається таким чином: коли поршень 1 знаходиться в крайньому лівому положенні, через патрубок подається суміш у циліндр. При русі поршня вперед суспензія ущільнюється. Під впливом тиску концентрат переміщається між кристалами льоду у напрямку фільтру 2, після проходження якого виводиться з апарату. Під дією тиску кристали льоду спресовуються в щільну масу, яка видавлюється з апарату через звужену частину конуса. Виступаючий кінець спресованого льоду безперервно розмелюється ножами, що обертаються 3. Частотою обертання ножа регулюється тиск і, відповідно, якість поділу суспензії.

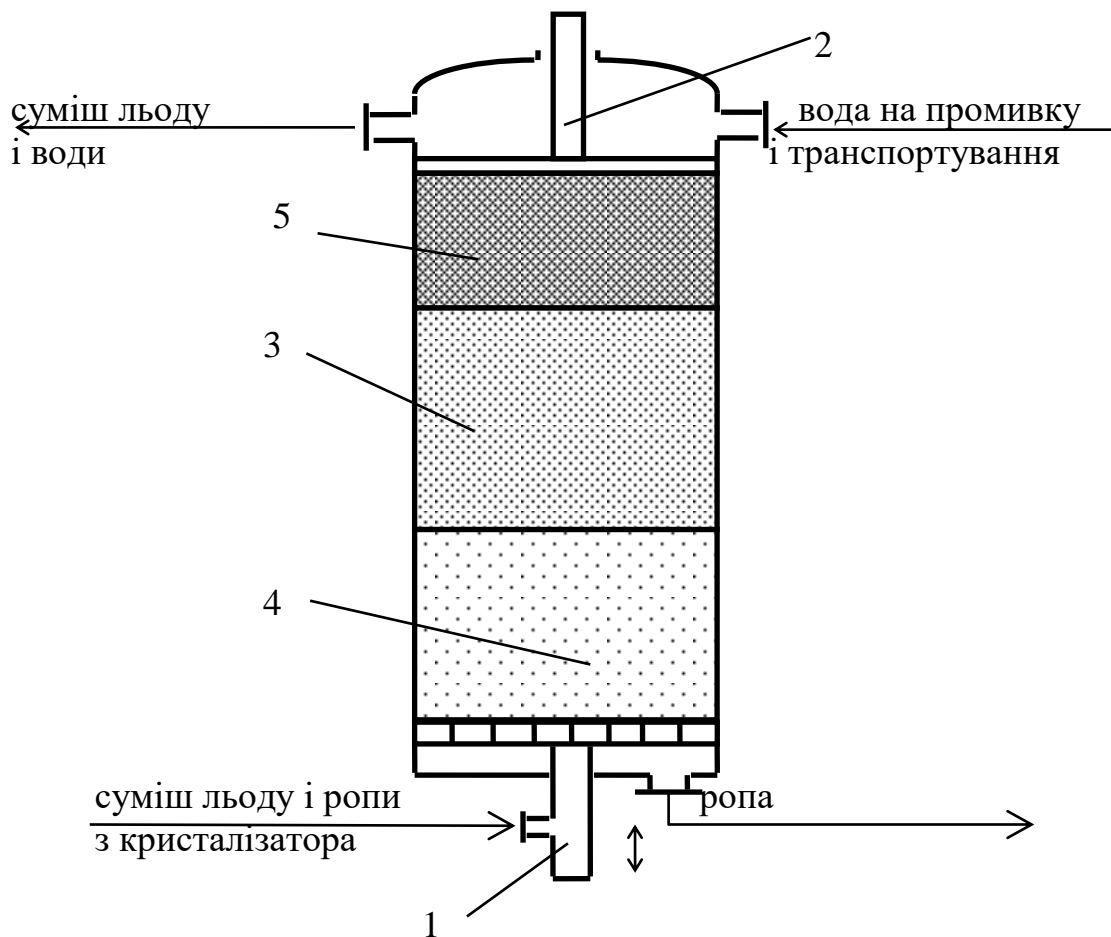


Рис. 3.8. Схема сепаратора примусового промивання поршневого типу: 1 - порожнистий вал, 2 - обертовий ніж, 3 - зона щільного шару, 4 - зона ходу поршня, 5 - зона промивання.

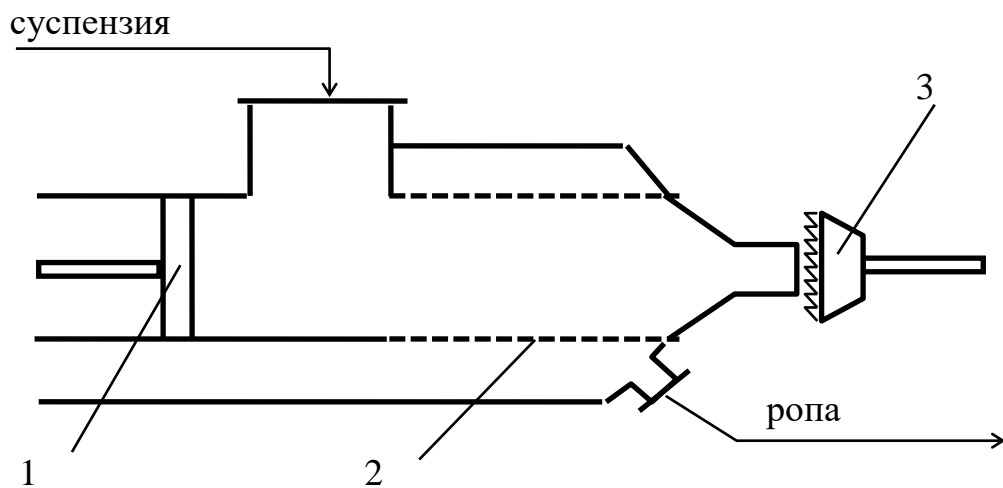


Рис. 3.9. Схема поршневого сепаратора льоду: 1- поршень, 2- фільтрувальна перегородка, 3- ніж.

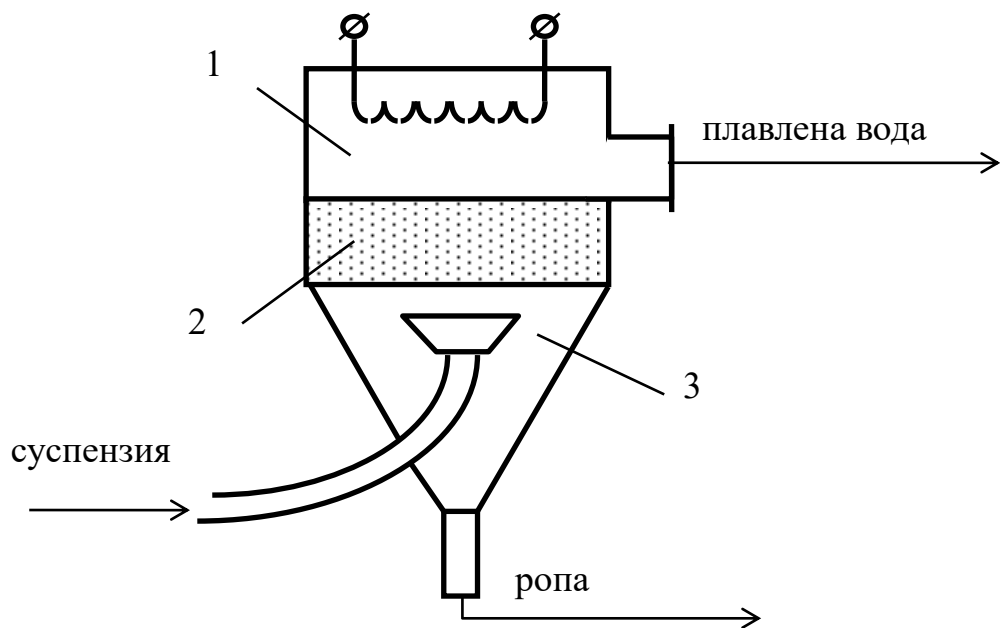


Рис. 3.10. Схема промивної колони: 1 – нагрівач; 2 – зона льоду.  
3 – зона ропи.

Процес сепарування в колоні для промивання складається з двох етапів: відділення ропи від кристалів льоду і промивання ущільненого шару проточною водою. Відділення ропи від кристалів льоду засноване на різниці питомої ваги двох компонентів суспензії і проходить під дією гравітації.

Схема промивної колони представлена на рис.3.10. Суспензія накопичується в колону промивання знизу. Так як питома вага кристалів менша, вони розташовуються зверху. Досягаючи нагрівального пристрою, крига розплавляється. Частина розплавленого льоду залишає колону, що залишилася - стікає вниз по крижаному шару і безперервно обмиває кристали льоду, витягаючи з них частинки концентрату.

Однак описане вище обладнання має ряд недоліків. Насамперед - це його складність, що зумовлює великі капітальні витрати на виготовлення. Для нормальної роботи даного обладнання необхідно, щоб обслуговуючий та ремонтний персонал мав високу кваліфікацію, що є неприйнятним для фермерських та малих підприємств. Використання сепараторів призводить до збільшення капітальних витрат на додаткове обладнання, таке як центрифуги,

поршневі сепаратори, промивні колони. Те, що після кристалізації кристали льоду мають малий розмір (0,2 -1 мм), призводить до втрати частини кристалів льоду в потоці суспензії при транспортуванні на операцію поділу. Додаткові втрати льоду відбуваються при сепаруванні.

### 3.1.3. Метод блочного виморожування.

Багатьох із перерахованих недоліків можна уникнути, застосувавши спосіб блочного виморожування. Цей метод, як і всі методи концентрування виморожуванням, складається з етапів кристалізації та сепарування. Суть етапу кристалізації в методі блочного виморожування полягає в отриманні пористого блоку льоду з включенням до його структури деякої частини концентрату. Етап сепарації у цьому методі відбувається без додаткових витрат енергії. Сепарація у разі відбувається під впливом гравітаційних сил.

Схема установки для блочного виморожування наведено на рис.3.11. В ізолювану ємність 1 з продуктом 4 поміщаються кристалізатори 2, які приєднані до холодильної машини. При кипінні холодильного агента кристалізаторах за рахунок переохолодження продукту на них утворюються блоки льоду 3, що складаються з кристалів води і частиною захопленого в нього продукту. Кількість продукту, що міститься в блоці льоду, пропорційна температурі кристалізатора. Чим вище температура кристалізатора, тим нижче вміст продукту в блоці. Після досягнення блоком льоду певних розмірів кристалізатори разом з льодом витягуються з ємності. Для зняття льоду з кристалізаторів сепаратор подають пари холодильного агента. В результаті цього кристалізатори подаються пари холодильного агента, які, конденсуючись, виділяють тепло і підвищують температуру на поверхні випарника. Блок льоду, що оплавився, під дією сили тяжіння витягується з кристалізатора.

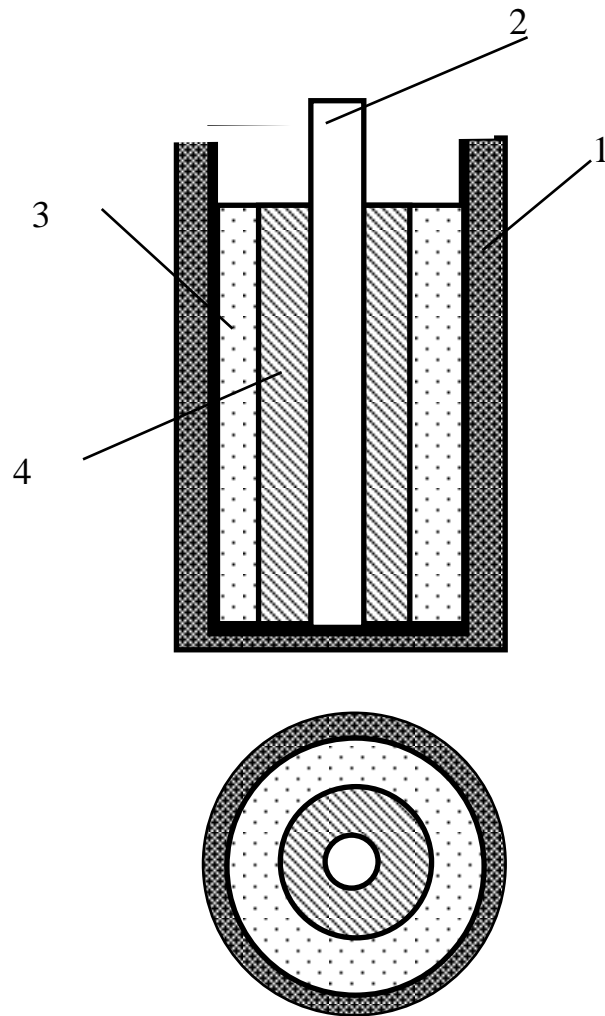


Рис. 3.11. Схема установки для блочного виморожування зі стрижневим кристалізатором: 1 – ізольована ємність, 2 – кристалізатор, 3 – розчин, 4 – блок льоду.

### 3.2. Фізичні основи поділу виморожуванням

Принципи поділу виморожуванням ґрунтуються на зміні умов фазової рівноваги при охолодженні або нагріванні. Тому характеристики оброблюваних середовищ повинні відображати особливості цих середовищ як термодинамічної системи: її фазовий склад; якісний та кількісний склад компоненти у межах аналізованої фази та системи в цілому; показники термодинамічної рівноваги системи. Найбільш зручно зображати ці параметри у фазових діаграмах.

Схематичний вигляд фазової діаграми зображено на рис. 3.12.

Основна лінія АВ діаграми відповідає рівновазі фаз лід - розчин. При охолодженні маси розчину  $M_p$  від точки 1 до точки 2, розчин не міняє свого фазового складу, а при температурі  $T_2$  - стає насиченим. Подальше зниження температури без зміни фазового складу для термодинамічної рівноваги системи неможливо. При  $T < T_2$  рівноважна концентрація розчину на лінії АВ  $\xi_2 > \xi_1$ . Збільшення концентрації розчину при температурі  $T < T_2$  досягається перетворенням частини води на лід. При температурі  $T_3 < T_2$  рівноважна концентрація у рідкій фазі становитиме  $\xi_3$ , а кількість льоду та розчину визначиться з балансу маси:

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{лз}} \cdot \xi_0 + M_{\text{рз}} \cdot \xi_3 \quad (3.1)$$

Індекси відповідають точкам на діаграмі. Так як концентрація вихідної суміші змінюється, і крига не містить неводних компонентів, то

$$\xi_0 = 0; M_{\text{рз}} = M_{\text{пр}} \cdot \xi_1 / \xi_3; M_{\text{лз}} = M_{\text{пр}} (\xi_3 - \xi_1) / \xi_3 \quad (3.2)$$

В результаті охолодження вихідного розчину отримана суміш льоду і більш концентрованого розчину. Якщо при температурі  $T_3$  розділити тверду та рідку фази суміші та підвести до них теплоту, то після плавлення льоду та нагрівання води та розчину до вихідної температури  $T_1$  отримаємо

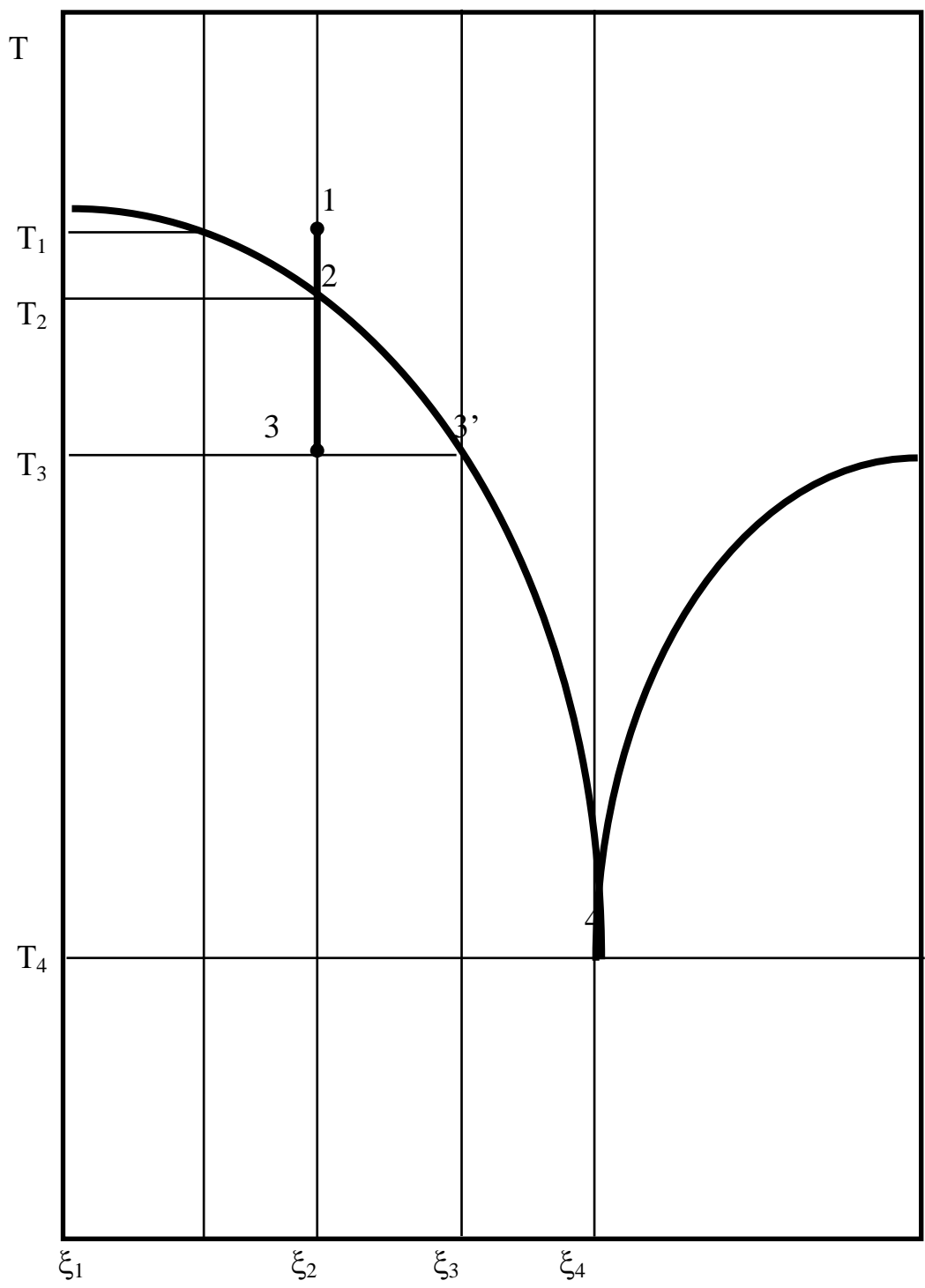


Рис 3.12. Реальний процес однократної кристалізації бінарної суміші.

більш концентрован розчин  $\xi_1$  ( точка 1б ) і чисту воду  $\xi_2$  ( точка 1а ).

Технологія поділу, що базується на розглянутих фізичних процесах, включає три етапи: охолодження вихідного розчину з частковою кристалізацією з нього льоду; поділ льоду та більш концентрованого розчину; нагрівання продуктів поділу до температури вихідного розчину.

Таку технологію застосовують для концентрування різних рідких харчових продуктів та для опріснення води. Її відмінною особливістю є утворення при концентруванні лише однієї твердої фази – льоду. Такий спосіб концентрування можливий при охолодженні суміші до евтектичної температури  $T_e = T_4$ , а максимально досяжна концентрація розчину дорівнює  $\xi_3 = \xi_4$ . Кількості льоду та розчину, які будуть отримані при охолодженні розчину від температури  $T_2$  до температури  $T_E$  и балансу мас складає:

$$M_{p4} = M_{пр4} \cdot \xi_1 / \xi_4 \quad (3.3)$$

Теоретичний (рівноважний) процес поділу передбачає, що на стадії кристалізації досягається фазова рівновага, а при поділі отриманої суспензії матковий розчин повністю відокремлюється від твердої фази. У реальних процесах концентрація кристалічної фази вища за рівноважну, внаслідок захоплення маткового розчину твердою фазою, який знаходиться в тріщинах льоду, пористому кристалічному шарі і т.д.

Для характеристики реальних процесів виморожування використовують коефіцієнт ефективності поділу:

$$\varepsilon = \frac{\xi_3 - \xi_i}{\xi_3 - \xi_0} \quad (3.4)$$

Захоплення сухих речовин твердою фазою характеризується коефіцієнтом захоплення маткового розчину:

$$\eta = \frac{\xi_i - \xi_0}{\xi_3 - \xi_0} \quad (3.5)$$

### 3.3. Патентний пошук

На корисну модель UA № 140228 від 09.07.2019 року [3]: Спосіб опріснення солоних водних розчинів багатоступеневим виморожуванням включає послідовну подачу вихідного водного розчину через теплообмінники розсолу кожного ступеня проти ходу опріснення в перший ступінь виморожування, генерування льоду і ріст кристалів льоду в кожному ступені на поверхнях випаровувачів-кристалізаторів, очищення зростаючого льоду від домішок шляхом циркуляції водного розчину в кожному ступені на поверхнях випаровувачів-кристалізаторів. Сконцентрований розсіл з ступеня виморожування скидають на вхід попереднього ступеня виморожування за ходом опріснення. Сформований чистий лід через сепаратор виводять в конденсатор-плавильник, розплавляють, і розплав цього льоду після виходу з першого ступеня подають на наступний ступінь виморожування і послідовно знесолюють вихідний солоний водний розчин та отримують опріснену талу воду заданої концентрації. Вихідний солоний розчин морської води подають паралельно в усі ступені виморожування через теплообмінники розсолу.

Послідовність операцій опріснення морської води виморожуванням в типовому ступені така: в окремі ємності 5 провідного 6 і веденого 7 блоків подається порція вихідної морської води, насосами 8 вона прокачується через теплообмінники 9, встановлені в ємностях 10 збору холодного сконцентрованого розсолу, в якому вона попередньо охолоджується для заощадження енерговитрат перед вводом в вертикальні випаровувачі-кристалізатори 11. Операція зменшення вмісту важкої води у вихідному продукті, генерування, ріст і очищення кристалів льоду від механічних і розчинних домішок проводиться одночасно на випаровувачах-кристалізаторах 11 в кожному блоку виморожування шляхом циркуляції порції забрудненої води. Компресор 3 холодильної машини опріснювача підключається на час виморожування порції води, до кожного блоку, а формування циклу виморожування виконується дросельними 12 і

перемикальними 13 і 14 вентилями під керуванням промислового контролера 1 опріснювача, який формує програму регулювання швидкості руху фронту заморожування льоду на поверхнях випаровувачів-кристалізаторів 11 роздільно для провідного 6 і веденого 7 блоків, а також в подальшому вводу через клапан 15 розплавленої води в ведений 7 блок від датчиків рівня 16 і 25 чистоти 17 води установлених в загальній ємності 18, концентрат розсолу з провідного блока 6 скидають в каналізацію, а з веденого блока 7, до часу заповнення загальної ємності 18, також скидають в каналізацію, а після заповнення повертають на виморожування в провідний 6 блок через триходовий клапан 19. Знезаражування води здійснюється джерелом ультрафіолетового випромінювання 20 (бактерицидною лампою) при її циркуляції тонким шаром по поверхні випаровувачів-кристалізаторів 11 і діє протягом циклу виморожування. В сепараторах 21 виконується переміщення льоду в загальну ємність 18 і скидання через вентилі 22 залишків сконцентрованого розсолу в ємності 10 і каналізацію. Видалення важкої води і сконцентрованого розсолу виконується з ємностей 10 і через триходовий клапан 19 з веденого блока 7 в каналізацію. Досягнення заданої концентрації води в загальній ємності 18 контролюється датчиком чистоти 17, а контролер 1 через вентиль 26 виводить її з типового ступеня. Плавлення виготовленого льоду конденсаторами-плавильниками 23 холодильної машини 3 виконується так, що роздільно отримують в окремі ємності лід 24 і воду 25.

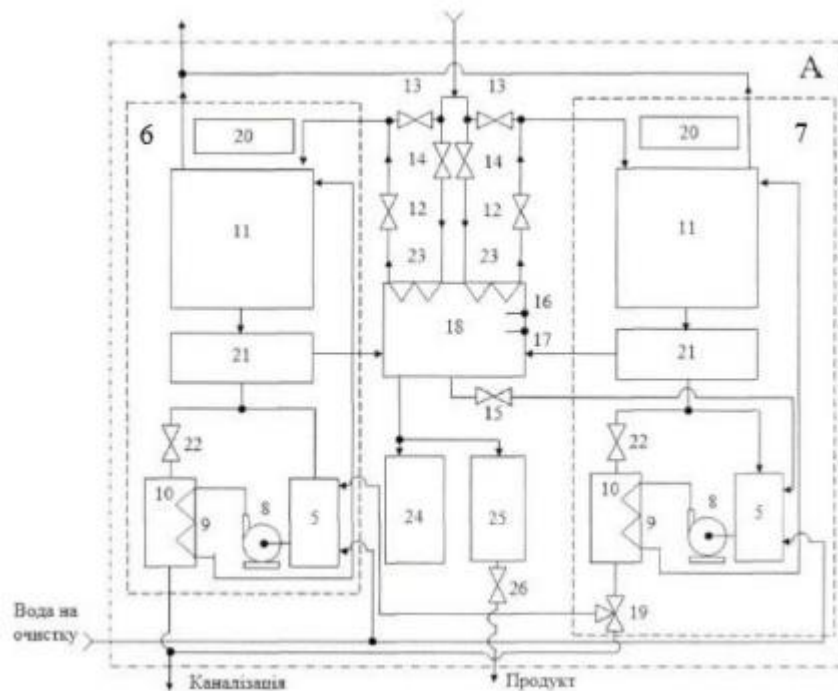


Рис. 3.13. До корисної моделі № 140228

На корисну модель UA № 82486 від 12.08.2013 року [4]: Установа для опріснення води містить ємність зі стрижневими робочими органами, з'єднаними з холодильною системою, на яких наморожуються блоки льоду. Додатково містить циркуляційний насос, теплообмінник, ресивер, виконавчий механізм, блок управління і датчик температури, встановлений на вході ємності зі стрижневими робочими органами. сягається, можна пояснити наступним.

Процес опріснення розчину можна розділити на три періоди, які мають свої особливості (Фіг. 1). На першому відрізку (період I) відбувається охолодження розчину до температури кристалізації води в розчині, яка нижче рівноважної температури замерзання розчину на величину  $2...5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в залежності від концентрації. В момент утворення на охолоджуваній поверхні кристалічної структури температуру холодоносія піднімають до величини, яка забезпечує переохолодження розчину у двофазній зоні на рівні  $0,6...1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (період II). У зв'язку з тим, що в результаті опріснення утворюється тверда фаза з меншим вмістом сухих речовин, ніж у розчині, концентрація якого в процесі

підвищується, це призводить до пониження температури замерзання. Ще одним фактором, який впливає на необхідність більшого зниження температури холодоносія для підтримання необхідного переохолодження є ріст блока льоду, а разом з цим і термічного опору на ділянці "холодоносії - двофазна зона". Тому, подальше виморожування проводять постійно понижуючи температуру холодоносія (період III). Установа для опріснення води зображена на кресленні, де: фіг. 2 - схема установки; фіг. 3 - вигляд ємності з робочими органами.

Установа містить теплообмінник 1, ресивер 2, триходовий клапан 3, вентиль 4, установлений на байпасній магістралі (окремою позицією не показана), циркуляційний насос 5, стрижневі робочі органи 6, ємність 7, вентиль ручний 8, датчик температури 11, установлений на вході в стрижневі робочі органи 6; виконавчий механізм 9 сполучений з триходовим клапаном 3; блок управління 10. Перелічені вузли й елементи сполучені між собою за такою схемою. Вихід пластинчатого теплообмінника 1 сполучений з входом ресивера 2, вихід якого через триходовий клапан 3 сполучений з циркуляційним насосом 5. Вихід циркуляційного насоса 5 сполучений з входом стрижневих робочих органів 6. Вихід стрижневих робочих органів 6 сполучений з триходовим клапаном 3 і входом в теплообмінник 1. На ділянці трубопроводу, який з'єднує вихід стрижневих робочих органів 6 з пластинчатим теплообмінником 1 установлений вентиль (ручний) 8. На ділянці трубопроводу, що з'єднує циркуляційний насос 5 зі стрижневими робочими органами 6, установлений датчик температури 11, безпосередньо на вході в стрижневі робочі органи 6. Вихід блока управління 10 сполучений з виконавчим механізмом 9 з'єднаним з триходовим клапаном 3, а вхід - з датчиком температури 11, установленим на вході в стрижневі робочі органи 6.

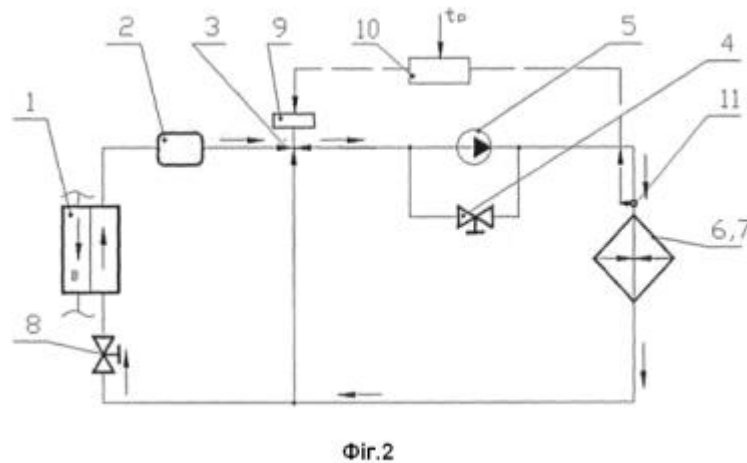


Рис. 3.14. До корисної моделі № 82486

На корисну модель UA № 81626 від 10.07.2013 року [5]: Апарат для опріснення води містить циліндричну ємність, яка складається з першої верхньої секції обладнаної кришкою з центральним вхідним патрубком, обладнаним корковим краном і перегородкою із центральним напівкульовим заглибленням. Перегородка забезпечена патрубком з кульовим клапаном на кінці. Секція утворена конусною оболонкою. По краях центрального отвору перегородки жорстко закріплена третя воронкоподібна секція, стінки якої в нижній частині переходять в трубопровід, нижній кінець якого переходить в перегородку, що обладнана трубопроводом в четвертій секції і з'єднана з патрубком з корковим краном за межами днища. Днище обладнано центральним патрубком з корковим краном, а стінка другої секції перфорована отворами нижче шайбоподібної перегородки, над якою розміщені півкільцеві трубопроводи з електронагрівальними приладами. Перегородки зі стінкою ємності і конусною оболонкою утворюють п'яту секцію, а днище установки розміщене на опорах.

Майданчики для заморожування бунтів льоду представляють собою басейн глибиною 50-60 см з дном, який має нахил до випускного патрубка. Над дном басейну на висоті 20-30 см розміщується дірчасте дно із залізобетонних

колесників або дощок, укладених на ребро. Дірчасте дно дозволяє стікати розсолу і воді з бунта в басейн, а з нього в резервуар прісної води або в накопичувач розсолу. В стінках басейну мають місце вікна, які закриваються, для вентиляції піддренажного простору і подачі теплого повітря для прискорення танення льоду. Над басейном монтуються труби з отворами або форсунками, які забезпечують розподіл і розбризкування соленої води під час заморожування бунта льоду. Недоліком цієї установки є: сезонне використання холоду в зимовий період; низька продуктивність при зайнятості великої площі; не може бути використана в південних районах, де порівняно коротка зима з низькими температурами. Відома також установка безперервної дії з виморожуванням соленої води штучним холодом (Б.С. Колычев. Атом утоляет жажду. - М., Атомиздат, 1970г.). Солену воду до того, як надійти в апарат для виробництва льоду, охолоджується холодним розсалом, який утворюється при розтаванні, а також самим льодом. Охолодившись в теплообміннику, вона надходить в генератор, по змішувачах якого тече рідина з низькою температурою з холодильної установки. В генераторі утворюється суспензія льоду. Така концентрація досягається, коли 1/3 соленої води перетворюється в лід. Одержаний уже частково лід разом з незамерзлим розсалом, який залишився, через розвантажувальний люк попадає на сітчастий транспортер. Після відділення незамерзлого розсолу в першій частині конвеєра лід надходить в камери танення, де обдувається теплим повітрям, яке подається компресором. Лід частково розтає, і з утворюваним розсалом виходить ще значна частина солі. Одержаний на першій і останній частині конвеєра розсіл надходить в теплообмінник, де проходить попереднє охолодження вихідною соленою водою. Лід, який залишається, утримує уже тільки 0,5 г/л солі і відповідає нормі для питної води. Опріснений лід зсипається в ізольовану частину теплообмінника, через яку проходять трубопроводи з вихідною соленою водою, де і тане.

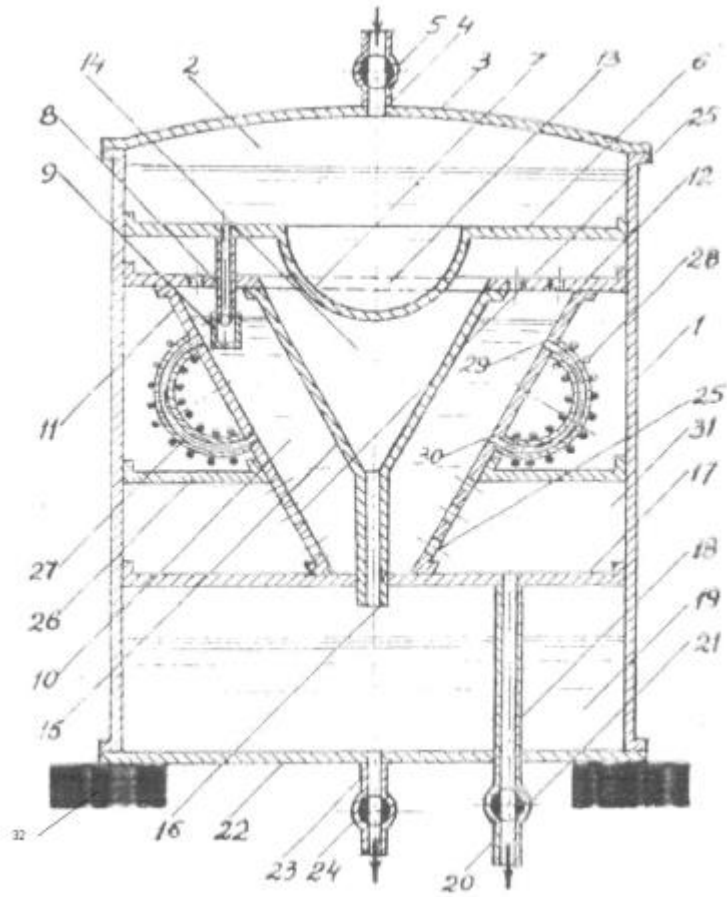


Рис. 3.14. До корисної моделі № 81626

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОПРІСНЮВАЧА БЛОЧНОГО ВИМОРОЖУВАННЯ.

Метою технологічного розрахунку є визначення витрат енергії на опріснення та поверхні кристалізаторів.

Початковими даними для розрахунку є

Продуктивність по виморожені воді –  $G_1=2,5$  кг/год= $6,25 \cdot 10^{-4}$  кг/с

Початкова солоність морської води –  $\omega_1=17$ г/дм<sup>3</sup>.

Кінцева солоність прісної води –  $\omega_2=1$  г/дм<sup>3</sup>.

#### 4.1. Визначення поверхні кристалізаторів.

Поверхню кристалізаторів визначаємо з рівняння теплопередачі.

$$Q = k \cdot F \Delta t_{\text{сер}}, \text{ Вт} \quad (4.1)$$

Звідкіля

$$F = \frac{Q_k}{k \cdot \Delta t_{\text{сер}}}, \text{ м}^2$$

де:  $Q_k$  – тепловий потік до кристалізатора, Вт,

$k$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>К,

$F$  – поверхня теплообміну, м<sup>2</sup>.

$\Delta t_{\text{сер}}$  – температурний напір.

#### 4.2. Тепловий баланс.

Загальні витрати теплової енергії при сушінні визначається з рівняння теплового балансу [2].

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{\text{втр}}, \text{ Вт} \quad (4.2)$$

де:  $Q_{\text{заг}}$  – загальний тепловий потік, Вт

$Q_1$  – витрати теплової енергії на охолодження морської води до кріоскопічної температури, Вт

$Q_2$  – витрати теплової енергії на заморожування морської води, Вт

$Q_3$  – витрати теплової енергії на охолодження льоду до температури кристалізатора, Вт

$Q_{\text{втр}}$  – витрати теплової енергії на компенсацію втрат в навколишнє середовище, Вт

Витрати теплової енергії на охолодження визначається з рівняння

$$Q_1 = G_1 \cdot c(t_{\text{п}} - t_{\text{кр}}) = 6,25 \cdot 10^{-4} \cdot 4077(20 - (-1)) = 53,5 \text{ Вт} \quad (4.3)$$

де:  $c=4077$  Дж/(кг К) – питома теплоємність продукту [6].

Витрати теплової енергії на заморожування морської визначаємо за рівнянням

$$Q_2 = W \cdot r = 6,25 \cdot 10^{-4} \cdot 332 \cdot 10^3 = 207,5 \text{ Вт} \quad (4.4)$$

де:  $r = 332 \cdot 10^3$  Дж/кг – питома теплота кристалізації води. [6]

Витрати теплової енергії на охолодження льоду до температури кристалізатора визначають з рівняння

$$Q_3 = G_{\text{л}} c_{\text{л}}(t_{\text{кр}} - t_{\text{к}}) = 6,25 \cdot 10^{-4} \cdot 2140 \cdot (-1 - (-8)) = 9,36 \text{ Вт} \quad (4.5)$$

де:  $c_{\text{л}}=2140$  Дж/(кг К) – питома теплоємність льоду [6].

Таким чином загальний тепловий потік складає

$$Q_{\text{заг}} = 1,04 \cdot (53,5 + 207,5 + 9,36) = 281 \text{ Вт}$$

Вибираємо компресорно – конденсаційний агрегат Tecumseh Europe AEZ 4425ZH потужністю 316 Вт при температурі кипіння –  $10^{\circ}\text{C}$ , температурі конденсації  $55^{\circ}\text{C}$ , холодоагент – R-404.

Для визначення температурного напору будемо температурну епюру.

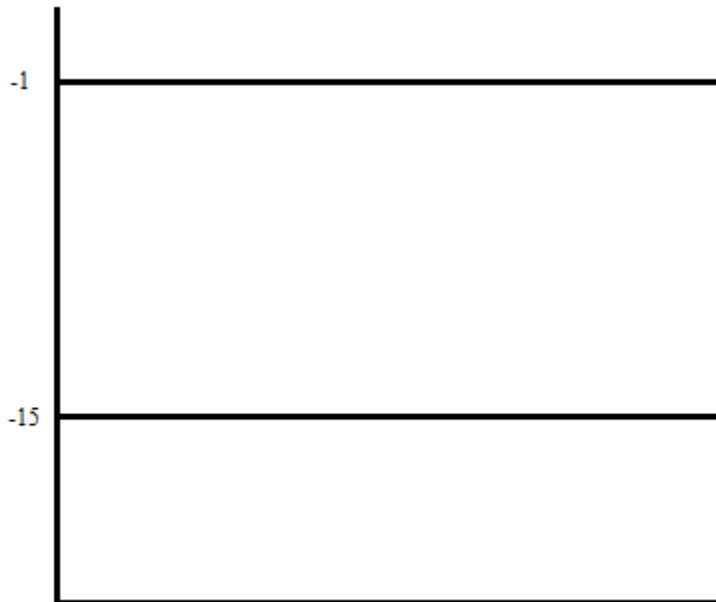


Рис.4.1.

Температурна епюра кристалізатора.

З епюри видно, що  $\Delta t_{\text{сер}} = -1 - (-15) = 14 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо з наступної формули

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{л}}}{\lambda_{\text{л}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.6)$$

де:  $\alpha_1, \alpha_2$  – відповідно коефіцієнти тепловіддачі від гарячого теплоносія до поверхні теплообміну, і від поверхні теплообміну до холодного теплоносія.

Визначення коефіцієнту тепловіддачі від гарячого теплоносія до поверхні теплообміну

Тепловіддача при вільному русі рідини (вільна конвекція) для вертикальних поверхонь (плоских та циліндричних) визначається з рівнянь

при  $10^3 < Gr Pr < 10^9$

$$Nu = 0,76(GrPr)^{0,25}(Pr/Pr_{\text{ст}})^{0,25} \quad (4.7)$$

при  $Gr Pr > 10^9$

$$Nu = 0,15(GrPr)^{0,33}(Pr/Pr_{ст})^{0,25} \quad (4.8)$$

де: Критерій Нусельта

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (4.9)$$

Критерій Прандтля характеризує фізичні властивості рідини і може бути представлений комплексами таких величин

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} \quad (4.10)$$

Критерій Грасгофа характеризує гідродинамічний режим потоку рідини в умовах природної конвекції, що відбувається під впливом різниці густини нагрітої та холодної рідини:

$$Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} \quad (4.11)$$

в цих критеріях:

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$l$  – визначальний розмір, м;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності теплоносія, Вт/(мК);

$c$  – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг К);

$\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості (Па с);

$g$  – прискорення вільного падіння м/с<sup>2</sup>;

$\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення, К<sup>-1</sup>;

$\Delta t$  – різниця між температурами теплоносія і стінки °С;

$\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості м<sup>2</sup>/с.

Ці параметри приймаємо за температурою кристалізації морської води яка складає  $-1^{\circ}\text{C}$ .

За цією температурою визначаємо теплофізичні властивості морської води як розчин хлористого натрію [6].

Густина –  $\rho=1010 \text{ кг/м}^3$ .

Коефіцієнт теплопровідності –  $\lambda=0,578 \text{ Вт/мК}$ .

Динамічна в'язкість –  $\mu= 1430 \cdot 10^{-6} \text{ Па с}$

Питома теплоємність –  $c=4077 \text{ Дж/(кгК)}$

Коефіцієнт динамічної в'язкості –  $\mu=17,85 \cdot 10^{-4} \text{ (Па с)}$ ;

Коефіцієнт об'ємного розширення –  $\beta = 0,64 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ ;

Коефіцієнт кінематичної в'язкості –  $\nu = 1,717 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

Прискорення вільного падіння –  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;

Різниця між температурами теплоносія і стінки –  $\Delta t=6^{\circ}\text{C}$ ;

Знаючи ці параметри розраховуємо відповідні критерії

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} = \frac{4077 \cdot 17,85 \cdot 10^{-4}}{0,578} = 12,6$$

$$Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 0,2^3 \cdot 0,64 \cdot 10^{-4} \cdot 6}{(1,717 \cdot 10^{-6})^2} = 10222323$$

Тоді

$$Gr \cdot Pr = 10222333 \cdot 12,6 = 1,28 \cdot 10^8 > 10^3$$

Таким чином

$$\begin{aligned} Nu &= 0,76(GrPr)^{0,25}(Pr/Pr_{ст})^{0,25} = \\ &= 0,76 \cdot (1,28 \cdot 10^8)^{0,25} \cdot \left(\frac{12,6}{13,2}\right)^{0,25} = 79,9 \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} = \frac{79,9 \cdot 0,578}{0,2} = 230 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Визначення коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2$  від стінки до холодного теплоносія (холодоагент R404a) не можливо, у зв'язку з відсутністю даних по теплофізичні

властивості холодильного агента. Тому з літератури [7] приймаємо коефіцієнт тепловіддачі для занурювального випарника  $\alpha_2=800$  Вт/(м<sup>2</sup>К).

Тоді коефіцієнт теплопередачі буде

$$k = \frac{1}{\frac{1}{230} + \frac{0,001}{360} + \frac{0,005}{2,33} + \frac{1}{800}} = 129,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхня теплообміну

$$F = \frac{270,4}{129,1 \cdot 14} = 0,149 \text{ м}^2$$

Довжина труб конденсатора

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_B} = \frac{0,149}{3,14 \cdot 0,019} = 2,5 \text{ м}$$

Кількість кристалізаторів:

$$n = \frac{2,5}{0,2} = 12,5, \text{ приймаємо кількість кристалізаторів} - 12$$

Уточнюємо робочу довжину кристалізаторів

$$l = \frac{2,5}{12} = 0,208 \text{ м}$$

#### 4.3 Розрахунок на міцність.

4.3.1 Розрахунок апаратів що знаходяться під дією внутрішнього тиску газу, з врахуванням сполучення оболонок [7]

Загальні положення

Товщину стінок циліндричних деталей апаратів знаходять за формулою

$$\delta = \frac{p \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \beta[\sigma] - p} + \delta_c \quad (4.12)$$

де  $p$  – внутрішній тиск газу в апараті;

$D_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр циліндричної оболонки;

$[\sigma]$  — допустима напруга при розтягуванні для матеріалу стінки апарата;

$\beta$  – коефіцієнт міцності, зварних з'єднань,  $\delta c$  – збільшення на корозію до товщини стінки апарата (від 1 до 4 мм і більше).

У місцях сполучення або закріплення оболонок апарату крім меридіональних та кільцевих зусиль, що визначаються за безмоментною теорією розрахунку оболонок, виникають ще й додаткові навантаження. Вони обумовлені взаємним впливом оболонок, кожна з яких заважає деформуватись іншою. Враховуючи симетричність деформацій щодо осі симетрії апарату, вважають, що деформації оболонок викликаються рівномірно розподіленими по краях (по колам) радіальними крайовими силами  $P_0$  і меридіональними крайовими моментами  $M_0$ .

Крайові сили та моменти виникають у таких випадках:

сполучні оболонки мають різну жорсткість - оболонки виконані з одного матеріалу, але мають різні товщини стінок;

сполучні оболонки мають однакові товщини стінок, але виконані з різних матеріалів;

край оболонки має жорстке загортання;

на край оболонки насаджений бандаж.

При поєднанні оболонок під кутом у стиковому перерізі з'являються ще й рівномірно розподілені по колу стику розпирні зусилля  $P$ , які визначаються як проекції меридіональних сил (від внутрішнього тиску газу) на площину перетину стику, взятих зі зворотним знаком. Вони належать до заданих навантажень.

Крайові сили і моменти, що виникають у перерізах обох оболонок, повинні бути рівні за величиною і зворотні у напрямку. Розпирні сили входять у крайові як складові елементи, які впливом геть деформації і внутрішні сили оболонок враховуються в неявному вигляді. Так, наприклад, якщо на краю оболонки діють крайові сили  $P_0$  та розпирні сили  $P$ , то деформації і внутрішні сили оболонки знаходять за значенням різниці сил  $P_0 - P$

Так як безперервність апарату в перерізі стику не повинна порушуватись, то в результаті спільної дії всіх сил (заданих і крайових) краю сполучених

оболонки здійснюють однакові лінійні (радіальні)  $\Delta$  та кутові  $\Theta$  переміщення (деформації). Ця умова реалізується в рівняннях спільності деформацій

$$\Delta_K^p + \Delta_K^{p_0} + \Delta_K^{M_0} = \Delta_D^p + \Delta_D^{p_0-p} + \Delta_D^{M_0} \quad (4.13)$$

$$\Theta_K^p + \Theta_K^{p_0} + \Theta_K^{M_0} = \Theta_D^p + \Theta_D^{p_0-p} + \Theta_D^{M_0} \quad (4.14)$$

Нижні індекси у знаків деформацій вказують на тип оболонки, до якої вони відносяться (к - корпус, д - днище), а верхня - на вигляд навантаження, що викликає цю деформацію. Для циліндричної оболонки кутова деформація від тиску газу і розпірна сила дорівнюють нулю.

При складанні рівнянь спільності деформацій слід враховувати знаки деформацій:

радіальні переміщення вважаються позитивними, якщо вони спрямовані до осі симетрії оболонки, і негативними, якщо вони спрямовані навпроти;

кутові переміщення вважаються позитивними, якщо вони спрямовані проти обертання годинникової стрілки, та негативними при направленні їх за годинниковою стрілкою.

З розв'язання рівняння спільності деформацій знаходять крайові сили та моменти.

Внутрішні питомі навантаження; меридіональне зусилля  $S$ ; кільцеве зусилля  $T$  меридіональний момент  $M$ ; кільцевий момент  $K$  - визначають від кожного виду зовнішнього навантаження окремо (внутрішнього тиску газу, крайових сил, крайових моментів), а потім підсумовують їх. Наприклад, сумарні зусилля та моменти в циліндричній оболонці записуються наступним чином:

$$\begin{cases} S_{\square} = S_{\square}^p + S_{\square}^{p_0} + S_{\square}^{M_0} \\ T_{\square} = T_{\square}^p + T_{\square}^{p_0} + T_{\square}^{M_0} \\ M_{\square} = M_{\square}^p + M_{\square}^{p_0} + M_{\square}^{M_0} \\ K_{\square} = K_{\square}^p + K_{\square}^{p_0} + K_{\square}^{M_0} \end{cases} \quad (4.15)$$

Знаючи сумарні внутрішні навантаження, обчислюють меридіональні та кільцеві напруги за формулами

$$\sigma_s = S/\delta \pm 6 \cdot M/\delta^2 \quad \sigma_t = T/\delta \pm 6 \cdot K/\delta^2 \quad (4.16)$$

Знаки напруг вигину вказують, що на внутрішній поверхні оболонки волокна розтягнуті, але в зовнішньої – стиснуті. При негативних моментах картина змінюється на зворотний.

Оскільки нормальними зусиллями нехтують, умова міцності оболонки апарата записують виходячи з плоского напруженого стану. Наприклад, для еластичних матеріалів, до яких відноситься більшість вуглецевих і легованих сталей, найбільш застосовна четверта енергетична теорія міцності. Тому еквівалентна напруга визначають із виразу

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_1^2 - \sigma_2 \cdot \sigma_1} \leq [\sigma] \quad (4.17)$$

Деформації оболонок також визначають від кожного виду навантаження окремо, а потім їх підсумовують.

Для апарату, навантаженого внутрішнім тиском газу без обліку крайових сил і моментів, меридіональні та кільцеві зусилля, лінійні деформації в площині стику оболонок, кутові деформації для оболонок різної форми будуть визначатися такими залежностями:

для циліндричних оболонок:

$$\begin{cases} S_{\text{ц}}^p = 0,5 \cdot p \cdot r; & T_{\text{ц}}^p = p \cdot r \\ \Delta_{\text{к}}^p = -(2 - \mu)p \cdot \frac{r^2}{2 \cdot \delta \cdot E} & \Theta_{\text{ц}}^p = 0 \end{cases} \quad (4.18)$$

Для вільного краю конічної оболонки

$$\begin{cases} S_{\text{к}}^p = 0,5 \cdot p \cdot r_0 / \cos \alpha; & T_{\text{к}}^p = p \cdot r_0 / \cos \alpha \\ \Delta_{\text{к}}^p = -(1 - \mu)p \cdot \frac{r_0^2}{\delta \cdot E \cdot \cos \alpha} \\ \Theta_{\text{к}}^p = -(p \cdot r_0)(1 - \mu) / (\delta \cdot E \cdot \cos \alpha) \end{cases} \quad (4.19)$$

Для вільного краю сферичної оболонки

$$\begin{cases} S_c^p = T_c^p = 0,5 \cdot p \cdot R \\ \Delta_c^p = -0,5 \cdot (1 - \mu) p \cdot R^2 (\sin \varphi_0) / (\delta \cdot E) \end{cases} \quad (4.20)$$

У наведених формулах:

$r$  – радіус серединної площини циліндричної оболонки;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона;

$E$  – модуль пружності першого роду матеріалу оболонки;

$\alpha$  – кут напіврозтину конічної оболонки;

$r_0$  – найбільший радіус конічної оболонки;

$\varphi_0$  – кутова характеристика сферичної оболонки;

$R$  – радіус сферичної оболонки.

Особливістю напруженого стану матеріалу стін оболонки, викликаного крайовими навантаженнями, є зміна значень спричинених ними сил, моментів, напруг і деформацій у міру віддалення від краю оболонки по швидко затухаючій знакозмінній хвилеподібній кривій, що характеризується коефіцієнтом згасання. Для циліндричної та сферичної оболонки коефіцієнти згасання дорівнюватимуть:

$$k_{ц} = \sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2) / \sqrt{r \cdot \delta}} \quad (4.21)$$

$$k_{с} = \sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2) / \sqrt{R / \delta}} \quad (4.22)$$

Оскільки дія крайових навантажень поширюється на незначну область у зоні сполучення оболонок, напруги та деформації від них визначають, по-перше, безпосередньо у зоні сполучення ( $x = 0$ ) і, по-друге, на відстані  $x = x_1 = \pi / (4k)$  від зони сполучення ( $k$  - коефіцієнт загасання).

Нижче наводяться вирази визначення сил, моментів та деформацій для найважливіших форм оболонок, навантажених по краю рівномірно розподіленими крайовими силами і моментами. Циліндрична оболонка навантажена по краю силами  $P_0$ . Внутрішні сили, моменти та деформації будуть визначатися такими виразами:

на краю ( $x = 0$ )

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{ц}}^{p_0} = 0; \quad T_{\text{ц}}^{p_0} = 2 \cdot k_{\text{ц}} \cdot r \cdot P_0; \quad M_{\text{ц}}^{p_0} = K_{\text{ц}}^{p_0} = 0; \\ \Delta_{\text{ц}}^{p_0} = -2 \cdot k_{\text{ц}} \cdot r^2 \cdot P_0 / (\delta \cdot E); \quad \Theta_{\text{ц}}^{p_0} = 2 \cdot k_{\text{ц}}^2 \cdot r^2 \cdot P_0 / (\delta \cdot E); \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

На відстані  $x_l$  від краю

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{ц}1}^{p_0} = 0; \quad T_{\text{ц}1}^{p_0} = 0,322 \cdot T_{\text{ц}}^{p_0}; \quad M_{\text{ц}1}^{p_0} = 0,322 \cdot P_0 / k_{\text{ц}}; \\ K_{\text{ц}}^{p_0} = \mu \cdot M_{\text{ц}1}^{p_0}; \quad \Delta_{\text{ц}1}^{p_0} = 0,322 \cdot \Delta_{\text{ц}}^{p_0}; \quad \Theta_{\text{ц}1}^{p_0} = 0,645 \cdot \Theta_{\text{ц}}^{p_0}; \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

Конічна оболонка замкнута внизу та навантажена по вільному краю радіальними рівномірно розподіленими силами  $P_0 - P$ . Розпірна сила, внутрішні сили та моменти, лінійна деформація краю в площині перпендикулярної осі оболонки, і кутова деформація вільного краю дорівнюватиме

$$\left. \begin{aligned} P = -S_{\text{к}}^p \cdot \sin\alpha; \quad S_{\text{к}}^{p_0-p} = -(P_0 - P) \cdot \sin\alpha; \\ T_{\text{к}}^{p_0-p} = -2 \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} \sqrt{\left(\frac{r_0}{\delta}\right) \cos\alpha} (P_0 - P) \\ M_{\text{к}}^{p_0-p} = 0; \quad K_{\text{к}}^{p_0-p} = 0 \\ \Delta_{\text{к}}^{p_0-p} = \left[ 2 \cdot r_0 \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} / (\delta \cdot E) \right] \sqrt{(r_0/\delta) \cos\alpha} (P_0 - P) \\ \Theta_{\text{к}}^{p_0-p} = \left[ 2 \cdot r_0 \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} / (\delta^2 \cdot E) \right] (P_0 - P) \end{aligned} \right\} \quad (4.25)$$

Конічна оболонка замкнута внизу і навантажена по вільному краю радіальними рівномірно розподіленими моментами  $M_0$ . Внутрішні сили та моменти, лінійна деформація краю в площині перпендикулярної осі оболонки, і кутова деформація краю дорівнюватиме:

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{к}}^{M_0} = 0; \quad T_{\text{к}}^{M_0} = 2 \cdot M_0 \sqrt{3(1-\mu^2)} / \delta; \quad M_{\text{к}}^{M_0} = M_0; \\ K_{\text{к}}^{M_0} = \mu \cdot M_0; \quad \Delta_{\text{к}}^{M_0} = -2 \cdot r_0 \cdot M_0 \sqrt{3(1-\mu^2)} / (\delta^2 \cdot E) \\ \Theta_{\text{к}}^{M_0} = -4 \cdot M_0 \left[ \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} \right]^3 \sqrt{r_0 / (\delta \cos\alpha)} / (\delta^2 \cdot E) \end{aligned} \right\} \quad (4.26)$$

Сферична оболонка навантажена по вільному краю радіальними рівномірно розподіленими силами  $(P_0 - P)$ .

Внутрішні сили та моменти, лінійна деформація краю в перпендикулярній до осі оболонки площині та кутова деформація краї будуть рівні

$$\left. \begin{aligned} P &= -S_c^p \cos \varphi_0; \quad S_c^{p_0-p} = -(P_0 - P) \cdot \cos \varphi_0; \\ T_c^{p_0-p} &= -2 \cdot k \cdot (P_0 - P) \cdot \sin \varphi_0; \\ \Delta_c^{p_0-p} &= (2/\delta)(k_c/E)(P_0 - P) \cdot R \cdot \sin^2 \varphi_0; \\ \Theta_c^{p_0-p} &= (2/\delta)(k_c^2/E)(P_0 - P) \cdot \sin \varphi_0; \\ M_c^{p_0-p} &= 0; \quad K_c^{p_0-p} \approx -(D/R) \cdot \Theta_c^{p_0-p} \operatorname{ctg} \varphi_0; \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

де  $D$  - Циліндрична жорсткість сферичної оболонки.

Сферична оболонка навантажена вільному краю радіальними, рівномірно розподіленими моментами  $M_0$ . Внутрішні сили та моменти, лінійна деформація краю у перпендикулярній до осі оболонки площині та кутова деформація краю дорівнюватимуть:

$$\left. \begin{aligned} S_c^{M_0} &= 0; & T_c^{M_0} &= 2k_c^2 M_0/R; & M_c^{M_0} &= M_0; \\ \Delta_c^{M_0} &= -[2k_c^2/\delta \cdot E]M_0 \sin \varphi_0; & \Delta_c^{M_0} &= -[4k_c^3/(\delta \cdot E \cdot R)]M_0; \end{aligned} \right\} \quad (4.28)$$

З вирішення рівнянь спільності деформацій циліндричної та сферичної оболонок крайові сили та моменти будуть мати наступні залежності:

$$P_0 = \frac{p[1-\mu-(2-\mu)\sin \varphi_0]}{4k_{ц}(1+\sqrt{\sin \varphi_0})\sin \varphi_0} - \frac{pr}{2} \cdot \frac{\sqrt{\sin \varphi_0}}{1+\sqrt{\sin \varphi_0}} \operatorname{ctg} \varphi_0; \quad (4.29)$$

$$M_0 = \frac{p \cdot r}{4k_{ц}} \cdot \frac{\sqrt{\sin \varphi_0}}{1+\sqrt{\sin \varphi_0}} \operatorname{ctg} \varphi_0 \quad (4.30)$$

У разі сполучення циліндричного корпусу та напівсферичного днища крайові сили та крайові моменти дорівнюватимуть:

$$P_0 = -\frac{p}{8k_{ц}}; \quad M_0 = 0; \quad (4.31)$$

У разі сполучення циліндричного корпусу та плоского масивного днища:

$$P_0 = -\frac{p(2-\mu)}{2k_{ц}}; \quad M_0 = -\frac{p(2-\mu)}{4k_{ц}^2}; \quad (4.32)$$

У разі сполучення циліндричного корпусу та плоского днища з шарнірною його закладенням для визначення крайового моменту необхідно попередньо знайти кут повороту краю плоского днища, потім скласти рівняння сумісності кутових деформацій корпусу апарату та днища, з якого знайти крайовий момент.

#### 4.3.2 Розрахунок плоских днищ апаратів [8].

Плоскі днища апаратів зустрічаються у вигляді круглих пластин постійної товщини з вільним (шарнірним) або жорстким закріпленням по зовнішньому контуру. При деформації пластинки товщиною  $h$  і діаметром  $2R$  під дією деякого зовнішнього навантаження кільцевий переріз пластинки, розташований на поточному значенні радіусу від центру пластинки, повертається на кут  $\varphi$  до осі симетрії пластинки і прогинається на величину  $f$ . При цьому на кожен елемент пластинки діють: по торцевих гранях — рівномірно розподілені по всій довжині грані в окружному напрямку питомі радіальні моменти  $M_r$  і сили, що перерізують  $Q$  по бокових гранях — рівномірно розподілені по всій довжині грані в радіальному напрямку питомі кільцеві моменти  $M_t$ .

Питомі сили, що перерізують, зазвичай знаходять з умови рівноваги центральної частини пластинки, вирізаної циліндричним перерізом, співвісним з віссю симетрії пластинки і розташованим від неї на поточному значенні радіуса.

Для пластинок, навантажених рівномірно розподіленим по всій площі тиском  $p$ , питомі сили, що перерізують, рівні

$$Q = 0,5 \cdot p \cdot r \quad (4.33)$$

Це значення  $Q$  входить у розрахункові формули параметрів пластини.

Для пластин із зазначеним навантаженням розрахункові параметри визначають спочатку у центрі пластини (де вони найбільші), а потім на зовнішньому контурі.

У центрі пластини матимемо:

при шарнірному закріпленні пластини за зовнішнім контуром

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= 0; \quad M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} p R^2 (3 + \mu); \\ f_0 &= 1,56 \cdot 10^{-2} p R^4 (5 + \mu) / [D(1 + \mu)]; \end{aligned} \right\} \quad (4.34)$$

при жорсткому закріпленні пластини за зовнішнім контуром

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= 0; \quad M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} p R^2 (1 + \mu); \\ f_0 &= 1,56 \cdot 10^{-2} p R^4 / D; \end{aligned} \right\} \quad (4.35)$$

На контурі пластини матимемо: при шарнірному її закріпленні по зовнішньому контуру

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R &= -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^3 / [D(1 + \mu)]; M_{rR} = 0; \\ M_{tR} &= -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2 \cdot (1 - \mu); f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.36)$$

при жорсткому її закріпленні за зовнішнім контуром

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R &= 0; M_{rR} = -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2; \\ M_{tR} &= -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2 \cdot \mu; f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.37)$$

На мінус вказує на те, що нижня частина пластинки в цьому випадку відчуває стиснення.

Максимальний кут повороту нормального перерізу пластини, жорстко заробленою по зовнішньому контуру, дорівнюватиме

$$\varphi_{max} = 2,41 \cdot 10^{-2} p \cdot R^3 / D \quad (4.38)$$

У наведених формулах  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона;  $D$  - жорсткість пластини, Н м:

$$D = (E \cdot h^3 / 12) / (1 - \mu^2) \quad (4.39)$$

де:  $E$  - модуль пружності першого роду матеріалу пластини Па.

Напруги відповідно в радіальних та окружних перерізах на відстані  $\pm h/2$  від серединної площини, де вони досягають своїх максимальних значень, визначаються за виразами

$$\sigma_r = \pm 6M_r / h^2; \quad \sigma_t = \pm 6M_t / h^2; \quad (4.40)$$

Знак (+) вказує на розтяг нижніх шарів, знак (-) - на стиснення верхніх.

Рекомендується, щоб відношення прогину пластини до її товщини задовольняло умові:  $f_0/h < (0,2 - 0,5)$

За ГОСТ 14249-80 товщину плоскої круглї пластинки (без отворів), виконаної з листового матеріалу і що знаходиться під дією рівномірно розподіленого по всій площі тиску, рекомендується розраховувати за формулою

$$h = 2 \cdot R \cdot K \sqrt{p / [\sigma]}, \quad (4.41)$$

де:  $K$  - коефіцієнт, що залежить від способу кріплення днища ( $K = 0,38 - 0,50$ );

$[\sigma]$  – допустима напруга при розтягуванні,  $[\sigma] = \sigma / n_b$   $\sigma$  – межа міцності,  $n_b$  – коефіцієнт запасу міцності

4.4.1 Визначення товщини стінок кристалізатора, що працює при внутрішньому тиску.

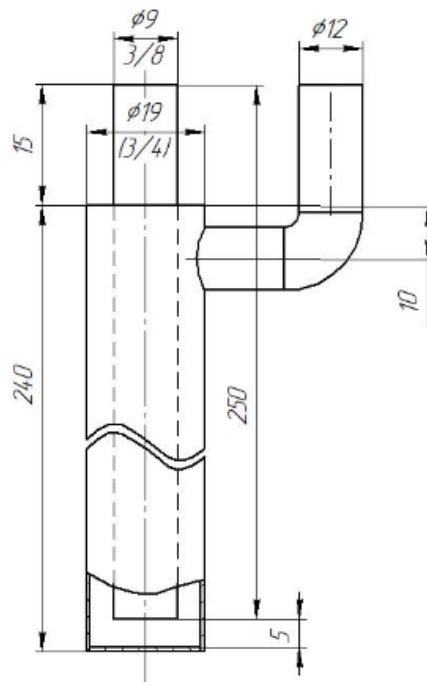


Рис. 4.2. Кристалізатор.

Розміри кристалізатора приведені на рис 4.2.

Матеріал – мідь, який має наступні властивості:

Межа міцності  $\sigma = 200$  МПа,

Модуль пружності  $E = 1,1 \cdot 10^5$  МПа,

Коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,31$

Коефіцієнт запасу міцності  $n_b = 3,8$ .

Тиск всередині кристалізатора при роботі в режимі розморожування складає  $P = 1,5$  МПа.

Допустима напруга для міді при розрахунку даного апарату дорівнюватиме

$$[\sigma] = \sigma / n = 200 \cdot 10^6 / 3,8 = 52,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Товщина стінки мідної труби за формулою (4.12) дорівнюватиме (без урахування набавки на корозію)

$$\delta = \frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,017}{2 \cdot 52,6 \cdot 10^6 - 1,5 \cdot 10^6} = 0,000246 \text{ м.}$$

Згідно сортаменту товщина стінки – 0,001 м.

Коефіцієнт згасання для циліндричної оболонки та залежності (4.21) дорівнюватиме

$$k_{\text{ц}} = \sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,37^2) / \sqrt{0,0095 \cdot \delta}} = 412$$

Сили на краях защемлення визначають з рівняння (4.27) (4.28)

$$P_0 = \frac{1,5 \cdot 10^6 [1 - 0,38 - (2 - 0,38)] \cdot 1}{4 \cdot 412(1 + 1) \cdot 1} = -910 \text{ Н}$$

Розраховуємо навантаження та деформації циліндричної оболонки:

при навантаженні її тиском газу за формулами (4.18)

$$S_{\text{ц}}^p = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,0095 = 7125 \text{ Н/м}$$

$$T_{\text{ц}}^p = 1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,0095 = 14250 \text{ Н/м}$$

$$\Delta_{\text{к}}^p = -(2 - 0,38) \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,0095^2}{2 \cdot 0,001 \cdot 1,1 \cdot 10^{11}} = -9,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

при навантаженні її крайовими силами (4.23)

$$T_{\text{ц}}^{p_0} = -2 \cdot 412 \cdot 0,0095 \cdot 910 = -7123 \text{ Н/м}$$

$$\Delta_{\text{ц}}^{p_0} = -2 \cdot 412 \cdot 0,0095^2 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^6}{0,001 \cdot 1,1 \cdot 10^{11}} = 0,00101 \text{ м}$$

$$\theta_{\text{ц}}^{p_0} = 2 \cdot 412^2 \cdot 0,0095^2 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^6}{0,001 \cdot 1,1 \cdot 10^{11}} = 0,417$$

Визначаємо сумарні навантаження та деформації за рівняннями (4.15), (4.13), (4.14).

Меридіальне зусилля  $S_{\text{ц}} = 7125 \text{ Н/м}$

Кільцеві зусилля  $T_{\text{ц}} = 14250 - 7123 = 7127 \text{ Н/м}$

Лінійні деформації  $\Delta_{\text{с}} = -9,9 \cdot 10^{-7} + 0,00101 = 0,00101 \text{ м}$

Меридіональні та кільцеві напруги за формулами дорівнюватимуть:

$$\sigma_s = 7125 / 0,001 = 7,125 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad \sigma_t = 7127 / 0,001 = 7,127 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Допустима напруга складає 52,6 МПа, що менше допустимого.

Визначаємо потім напруги в циліндричній оболонці на відстані напівхвилі  $x = 3,14 / (4 \cdot 412) = 0,0019$  м (від краю).

Внутрішні зусилля від тиску розраховуємо за залежністю (4.18)

$$S_{ц}^p = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,0095 = 7,25 \cdot 10^3 \text{ Н/м};$$

$$T_{ц}^p = 1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,0095 = 14,3 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$$

Внутрішні навантаження від крайових сил визначаємо за формулами (4.24)

$$S_{ц1}^{p_0} = 0;$$

$$T_{ц1}^{p_0} = 0,322 \cdot 14,3 \cdot 10^3 = 4,60 \cdot 10^3 \text{ Н/м};$$

$$M_{ц1}^{p_0} = 0,322 \cdot 910/412 = 0,711 \text{ Н} \cdot \text{м/м};$$

$$K_{ц}^{p_0} = \mu \cdot M_{ц1}^{p_0} = 0,31 \cdot 0,711 = 0,22 \text{ Н} \cdot \text{м/м};$$

Сумарні зусилля і моменти

$$S_{ц1} = 7,25 \cdot 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

$$T_{ц1} = 14,3 \cdot 10^3 + 4,60 \cdot 10^3 = 18,9 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$M_{ц1} = 0,711 \text{ Н} \cdot \text{м/м};$$

$$K_{ц1} = 0,22 \text{ Н} \cdot \text{м/м};$$

Напруги визначаємо за формулами (4.16)

$$\sigma_s = \frac{7250}{0,001} \pm \frac{6 \cdot 0,711}{0,001^2} = \begin{cases} 2,98 \cdot 10^6 \text{ Па} \\ 11,5 \cdot 10^6 \text{ Па} \end{cases}$$

$$\sigma_t = \frac{18,9}{0,001} \pm \frac{6 \cdot 0,22}{0,001^2} = \begin{cases} 1,30 \cdot 10^6 \text{ Па} \\ 1,34 \cdot 10^6 \text{ Па} \end{cases}$$

Еквівалентна напруга дорівнює

для внутрішніх волокон

$$\sigma_e = \sqrt{1,30 \cdot 10^6^2 + 2,98 \cdot 10^6^2 - 1,30 \cdot 10^6 \cdot 2,98 \cdot 10^6} = 2,58 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

для зовнішніх волокон

$$\sigma_e = \sqrt{1,34 \cdot 10^6^2 + 11,5 \cdot 10^6^2 - 1,34 \cdot 10^6 \cdot 11,5 \cdot 10^6} = 10,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

У перерізі  $x_1$  значення напруг знаходяться в допустимих межах.

#### 4.4.2. Розрахунок плоского днища кристалізатора.

Матеріал – мідь, який має наступні властивості:

Діаметр днища –  $d=0,019$  м,

Межа міцності  $\sigma=200$  МПа,

Модуль пружності  $E=1,1 \cdot 10^5$  МПа,

Коефіцієнт Пуассона  $\mu=0,31$

Коефіцієнт запасу міцності  $n_B=3,8$ .

Тиск всередині кристалізатора при роботі в режимі розморожування складає  $P= 1,5$  МПа.

Допустима напруга для міді при розрахунку даного апарату дорівнюватиме

$$[\sigma] = \sigma/n = 200 \cdot 10^6/3,8 = 52,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Орієнтовна товщина днища за формулою (4.41) дорівнює:

$$h = 2 \cdot 0,0095 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{1,5 \cdot 10^6/52,6 \cdot 10^6} = 0,00128$$

Приймаємо  $h=0,002$  м

Максимальні моменти і напруга буде в центрі стінки. За формулами 4.35 і 4.40 вони будуть дорівнювати

$$M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,0095^2(3 + 0,31) = 28 \text{ Н}$$

$$\sigma_r = 6 \cdot 28/0,002^2 = 42 \cdot 10^6 \text{ Па} < 52,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Визначаємо жорсткість днища з формули 4.39.

$$D = (1,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,002^3/12)/(1 - 0,31^2) = 81,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Прогинання пластини в центрі буде:

$$f_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,0095^4(5+0,31)}{[81,1(1+0,31)]} = 9,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Відношення прогину пластини до її товщини задовольняло умові:

$$9,52 \cdot 10^{-6}/0,002 = 0,04 < 0,5$$

#### 4.5. Гідравлічний розрахунок.

Метою гідравлічного розрахунку є визначення діаметрів труб для подачі пари та відводу конденсату.

Схема трубопроводів для подачі холодильного агента приведено на рис. 4.3

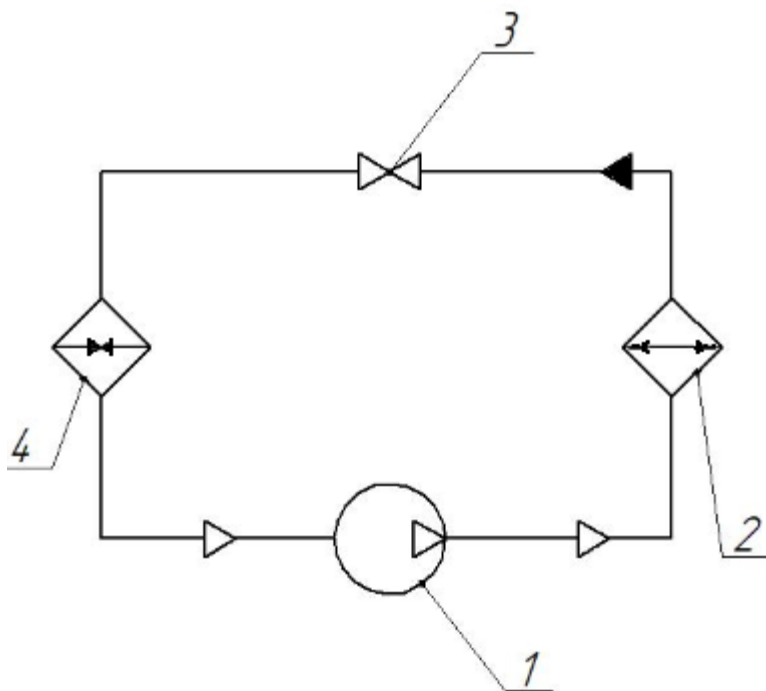


Рис. 4.3. Гідравлічна схема сушарки.

1 – компресор, 2 – конденсатор, 3 – дросельний вентиль, 4 – випарник.

Діаметр трубопроводу визначають з рівняння витрат.

$$G = \omega \cdot f \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot \omega \cdot \rho, \text{ кг/с} \quad (4.23)$$

де:  $\rho$  – густина теплоносія,  $\text{кг/м}^3$ .

густину холодильного агента R404a визначаємо по , приймаємо в залежності від тиску холодильного агента в кожній точці системи та його агрегатного стану,

$\omega$  – швидкість руху теплоносія , м/с

швидкість руху пари приймаємо в межах 30-50м/с,

швидкість руху конденсату приймаємо в межах 0,5-1 м/с,

Масові витрати пари і конденсату визначаємо з теплового балансу.

$$G = \frac{q}{s_{\text{п}} - s_{\text{к}}}, \text{ кг/с} \quad (4.24)$$

де:  $s_{п}$ ,  $s_{к}$  – ентальпія відповідно конденсату і пари, які визначається по T-s діаграмі для R404a. За температурою випаровування  $t_{в} = -15^{\circ}\text{C}$   $s_{п}=1621$  Дж/кг,  $s_{к}=923$  Дж/кг,

$$G = \frac{281}{1621 - 923} = 0,403 \text{ кг/с}$$

Діаметр трубопроводу від компресора до конденсатора (парова фаза при тиску  $P=1,5$  МПа, густина якої складає  $\rho_{п1} = 79,4$  кг/м<sup>3</sup>) дорівнює

$$d_{вн1}^{п} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,403}{\pi \cdot 50 \cdot 79,4}} = 0,011 \text{ , м}$$

Діаметр трубопроводу від конденсатора до дросельного вентиля (рідка фаза при тиску тиску  $P=1,5$  МПа, густина якої складає  $\rho_{п1} = 943$  кг/м<sup>3</sup> дорівнює

$$d_{вн2}^{к} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,403}{\pi \cdot 5 \cdot 934}} = 0,00705 \text{ , м}$$

Діаметр трубопроводу від випарника до компресора (парова фаза при тиску  $P=0,364$  МПа, густина якої складає  $\rho_{п1} = 18,2$  кг/м<sup>3</sup>) дорівнює

$$d_{вн3}^{п} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,403}{\pi \cdot 100 \cdot 18,2}} = 0,017 \text{ , м}$$

## РОЗДІЛ 5

### АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИМОРОЖУВАННЯ.

Робота холодильної установки протікає за нестационарних умов теплового навантаження на апарати холодильної машини. Тому цікавість у відповідь питання, якою мірою параметри процесів, які у холодильній машині, здатні до відновлення вихідного стану. Це дає можливість у процесах, що протікають при змінних умовах, знайти закономірності, що дозволяють встановити напрямок зміни параметрів, що прагнуть деяких рівноважних станів, полегшує регулювання цих параметрів, а в ряді випадків дозволяє відмовитися від їх регулювання.

Автоматизація холодильних установок передбачає оснащення їх автоматичними пристроями (приладами та засобами автоматизації), за допомогою яких забезпечуються безпечна робота та проведення виробничого процесу або окремих операцій без безпосередньої участі обслуговуючого персоналу або з частковою його участю.

Об'єкти автоматизації разом із автоматичними пристроями утворюють системи автоматизації з різними функціями: контролю, сигналізації, захисту, регулювання та управління. Автоматизація підвищує економічну ефективність роботи холодильних установок, оскільки зменшується чисельність обслуговуючого персоналу, знижується витрата електроенергії, води та інших матеріалів, збільшується термін служби установок внаслідок підтримки автоматичними пристроями оптимального режиму їх роботи. Автоматизація вимагає капітальних витрат, тому проводити її треба, ґрунтуючись на результатах техніко-економічного аналізу.

Холодильне обладнання можна автоматизувати частково, повністю або комплексно. На холодильних установках великої потужності САЗ виконують так, щоб після спрацьовування реле захисту автоматичний пуск елемента, що відмовив, без усунення причини, що викликала зупинку, був неможливий. На

невеликих холодильних установках, наприклад, на підприємствах торгівлі, де аварія не може призвести до тяжких наслідків, немає постійного обслуговування, об'єкт включається автоматично, якщо величина контрольованого параметра повертається в допустиму область.

Різновидом захисту можна вважати блокування, коли, наприклад, компресор може бути включений тільки якщо включений хоча б один водяний насос, що подає воду конденсатор і розсільний насос для систем з проміжним холодоносієм.

Найбільше видів захисту мають компресори, оскільки з досвіду експлуатації 75% всіх аварій на холодильних установках трапляються саме з ними.

Число параметрів, контрольованих САЗ, залежить від типу, потужності компресора та виду холодильного агента

Види захисту компресорів:

від неприпустимого підвищення тиску нагнітання - запобігає порушенню щільності сполук або руйнування елементів;

неприпустимого зниження тиску всмоктування - запобігає підвищенню навантаження на сальник компресора, спінювання масла в картері, замерзання холодоносія випарнику (реле високого та низького тиску, оснащують практично всі компресори);

зменшення різниці тисків (до і після насоса) в масляній системі запобігає аварійному зносу деталей, що труться, і заклинювання механізму руху компресора, реле різниці тисків контролює різницю тисків на стороні нагнітання та всмоктування масляного насоса;

неприпустимого підвищення температури нагнітання - запобігає порушенню режиму мастила циліндра і аварійний знос деталей, що труться;

підвищення температури обмоток вбудованого електродвигуна герметичних та безсальникових хладонових компресорів - запобігає перегріву обмоток, заклинювання ротора та роботу на двох фазах;

Часткова автоматизація передбачає обов'язкову для всіх холодильних установок автоматичний захист, а також контроль, сигналізацію та нерідко керування.

Обслуговуючий персонал регулює основні параметри (температура та вологість повітря в камерах, температура кипіння та конденсації холодильного агента і т.д.)

Відхилення їх від заданих значень та порушення роботи обладнання, про що інформують системи контролю та сигналізації, а деякі допоміжні періодичні процеси (відтавання інею з поверхні охолоджуючих приладів, видалення масла з системи) виконуються вручну.

Повна автоматизація охоплює всі процеси, пов'язані з підтримкою необхідних параметрів в приміщеннях, що охолоджуються, і елементах холодильної установки.

Для забезпечення роботи установки блочного виморожування вибираємо наступне обладнання:

1. Реле тиску, яке виконує функцію захисту холодильної машини від гранично низького тиску в лінії всмоктування при зменшені кількості холодильного агента в системі, або гранично високого тиску в лінії нагнітання у випадку виходу з ладу вентилятора конденсатору або забрудненню самого конденсатора. Тип вибраного реле залежить від рівня тиску в системі.

2. Оглядове вікно, яке дозволяє візуально контролювати наявність та кількість фреону в системі.

3. Програмоване реле часу, яку регулює час роботи холодильної машини, час сепарування, час розморожування.

4. Датчики рівня води в концентраторах.

5. Датчики температури, які дозволяють контролювати режими роботи холодильної машини.

## РОЗДІЛ 6

### ІНСТРУКЦІЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС РОБОТИ БЛОЧНОГО ВИМОРОЖУВАЧА

1. До обслуговування блочного виморожувача допускаються особи, вік яких відповідає встановленим законодавством, які пройшли медичний огляд в установленому порядку і не мають протипоказань до виконання даного виду робіт, що пройшли виробниче навчання за відповідною програмою, перевірку теоретичних знань і практичних навичок безпечних способів роботи і допущені до самостійної роботи в установленому порядку.

Перед допуском до самостійної роботи по суті (надалі - «робочий») повинен пройти стажування протягом перших 2-14 змін (залежно від характеру роботи та кваліфікації працівника) під керівництвом спеціально призначеної особи.

2. Періодичний медичний огляд робочий проходить в порядку, встановленому Міністерством охорони здоров'я.

3. Періодичну перевірку знань з питань охорони праці робітник повинен проходити не рідше одного разу на 12 місяців.

Позачергову перевірку знань з питань охорони праці робітник проходить в наступних випадках:

при перерві за спеціальністю більше одного року;

при переході з одного підприємства на інше;

на вимогу вищого органу, відповідальних осіб підприємства;

на вимогу органів державного нагляду і контролю;

при введенні в дію нових або перероблених нормативних правових актів (документів) з охорони праці;

при введенні в експлуатацію нового обладнання або впровадження нових технологічних процесів.

4. Робочий повинен пройти інструктажі з охорони праці:

при прийомі на роботу - вступний і первинний на робочому місці;

в процесі роботи не рідше одного разу в 6 місяців - повторний;  
при введенні в дію нових або перероблених нормативних актів (документів) з охорони праці або внесення змін до них; зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструменту, сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на охорону праці; порушення робочим нормативних правових актів (документів) з охорони праці, які могли привести або привели до травмування, аварії або отруєння; на вимогу державних органів нагляду і контролю, вищого органу, відповідальних осіб підприємства; при перервах в роботі більш ніж 6 місяців; По прибутті інформаційних матеріалів про аварії та нещасні випадки, що трапилися на аналогічних виробництвах - позаплановий.

5. Робочий повинен мати чітке уявлення про небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язаних з виконанням робіт, і знати основні способи захисту від їх впливу. Основні шкідливі і небезпечні фактори:  
недостатня освітленість робочої зони, підвищена або знижена температура повітря робочої зони, підвищена температура поверхонь обладнання, можливість ураження електричним струмом, гострі кромки, задирки і шереховатість інструментів і обладнання, підвищена запиленість повітря в робочій зоні.

6. Робочий повинен:  
знати вимоги електро- і пожежовибухобезпеки при виконанні робіт і вміти користуватися засобами пожежогасіння;  
користуватися при виконанні робіт засобами індивідуального захисту, що видаються відповідно до Типових галузевих норм видачі робітникам і службовцям спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту.

7. Робочий не повинен наражатися на небезпеку і перебувати в місцях виконання робіт, які не належать до безпосередньо виконуваних робіт.

8. Про кожний нещасний випадок на виробництві потерпілий або очевидець негайно повинен повідомити безпосереднього керівника робіт, який зобов'язаний:

організувати першу допомогу потерпілому і його доставку до медичного пункту;  
повідомити про те, що трапилося керівнику робіт підрозділу;  
зберегти до початку роботи комісії з розслідування обстановку на робочому місці і стан обладнання таким, якими вони були в момент події, якщо це не загрожує життю і здоров'ю оточуючих працівників і не призведе до аварії.

9. Про всі помічені несправності обладнання сушильного відділення робітник повинен повідомити безпосереднього керівника робіт, зробити запис у змінному журналі і до їх усунення до роботи не приступати. Сприяти і співпрацювати з наймачем у справі забезпечення здорових і безпечних умов праці, негайно сповіщати свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу наймача про несправності устаткування, інструменту, пристосувань, транспортних засобів, засобів захисту, про погіршення свого здоров'я.

10. Робочий несе відповідальність за:

виконання вимог технологічних інструкцій, інструкцій заводів-виготовлювачів по експлуатації сушильних установок та інструкції з охорони праці, правил електро- і пожежовибухобезпеки;

дотримання встановленого порядку виконання робіт, ведення змінного журналу;

дотримання внутрішнього трудового розпорядку;

справність та збереження устаткування, що експлуатується сушильного відділення і приладів;

аварії, нещасні випадки та інші порушення, причиною яких стали дії робітника, що порушує вимоги технологічних інструкцій, інструкцій заводів-

виготовлювачів по експлуатації сушильних установок і інструкцій з охорони праці.

11. За порушення трудової дисципліни, недотримання вимог нормативно-технічних документів з охорони праці робітник притягується до дисциплінарної відповідальності відповідно до Трудового кодексу.

12. Робочий, що з'явився на роботі в нетверезому стані, в стані наркотичного або токсичного сп'яніння, не допускається в цей день до роботи. Забороняється розпивати спиртні напої, вживати наркотичні засоби, психотропні, токсичні або інші одурманюючі речовини на робочому місці або в робочий час, а також на території організації.

### 13. Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед тим як почати роботу з холодильним обладнанням слід надіти робочий одяг, при необхідності скористатися захисними засобами.

Робоче місце повинно добре освітлюватися.

Перед включенням блочного виморожувача необхідно:

помити апарат з внутрішньої сторони і з зовнішньої теплим мильно-содовим розчином, після чого чистою водою, насухо протерти м'якою тканиною, холодильник добре провітрити;

не застосовувати для миття апарату абразивні пасти, порошки і миючі засоби, в складі яких знаходяться кислоти, розчинники, а також засоби для миття посуду;

перед підключенням до електромережі блочного виморожувача необхідно провести огляд на відсутність порушення ізоляції мережевого шнура, пошкоджень штепсельних розеток і вилок, замикання струмоведучих частин на корпус холодильника, будь-які виявлені пошкодження та недоліки повинні усунутися механіком сервісної служби.

При установці блочного виморожувача слід залишати простір між стінами і холодильником для вільної циркуляції повітря не менше 5см.

Блочний виморожувач встановлюють у сухому, добре провітрюваному приміщенні, в місці, захищеному від прямих сонячних променів, на відстані не менше 0,5 м від нагрівальних приладів.

## РОЗДІЛ 7. ВИСНОВКИ.

В даному дипломному проекті розроблено опріснювач блочного виморожування для опріснення морської води.

2. Проведено технологічний розрахунок опріснювача.
3. Проведено теплових розрахунок опріснювача.
3. Проведено розрахунок на міцність опріснювача.
4. Проведено гідравлічний розрахунок опріснювача.
5. Розроблено технічну документацію.

## Список літератури:

1. ДСТУ 7525:2014 Вимоги та методи контролювання якості питної води  
[http://icewc.org.ua/docs/dstu\\_7525\\_2014.pdf](http://icewc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf)
2. Техника блочного вымораживания О.Г. Бурдо, С.И. Милинчук, В.П. Мордынский, Д.А. Харенко – Одеса « Поліграф», 2011 – 294 с. : ил., табл.
3. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 140228  
<https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=265912&chapter=description>
4. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 82486  
<https://base.uipv.org/searchINV/getdocument.php?claimnumber=u201214014&doctype=ou>
5. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 81626  
<https://base.uipv.org/searchINV/getdocument.php?claimnumber=u201214386&doctype=ou>
6. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст] : учеб. пособие / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под ред. П. Г. Романкова. — Изд. 10-е, перераб. и доп. — Л. : Химия, 1987. — 576 с.
7. Холодильные установки [Текст] : учебник / И. Г. Чумак, В. П. Чепуренко, С. Ю. Ларьяновский, Г. К. Мнацаканов ; под ред. И.Г. Чумака. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — М. : Агропромиздат, 1991. — 495 с : ил. — (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений)
8. Практикум по курсу "Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств" [Текст] : учебник / С. В. Харламов. — Л. : Машиностроение, 1971. — 200 с.
9. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів що навчаються за спец. 181 "Харчові технології", освіт.-проф. програмою "Технології зберігання, консервування та переробки м`яса", ступенем вищ. освіти – бакалавр та магістр, ден. і заоч. форм навчання / Укладач С.М. Дідух – Одеса, ОНАХТ, 2017. – 44 с.  
<http://kaf.ep.ontu.edu.ua/wp-content/uploads/diploma/metod-dp-myaso-diduh.pdf>