

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 низькотемпературного концентратора яблучного соку.  
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Тупко І.Н.  
(прізвище, ініціали)  
курсу 4 групи ГМск-40  
Керівник доц. Мординський В.П.  
(посада, прізвище та ініціали)  
Консультанти: доц. Всеволодов О.М.  
(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 ПРІЗВИЩЕ)

Одеса - 2025 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>	Енергетичний моніторинг та ІТ-сервіс обладнання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заві. кафедри \_\_\_\_\_  
" \_\_\_\_\_ 2025 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Тупко Ілля Никонович

1. Тема проекту (роботи) «Розробка низькотемпературного концентратора яблучного соку.»

Затверджені наказом ОНТУ від "25.11.24" № 738-03

2. Строк подання студентом проекту (роботи): 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): продуктивність. 10 кг/год.

початкова концентрація яблучного соку  $a=12\%$ ,

кінцева концентрація яблучного соку  $b=45\%$

4. Переліки питань, які потрібно розробити):

Анотація; вступ; опис технологічної лінії, опис процесу концентрування,

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 2 шт.;

A1 лист деталювання 4;

### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
БЖД	Всеволодов О.М, доц. каф. ПОтаЕМ	3.04.2025	

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_ Мординський В.П

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Тупко І.Н.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Вступ та анотація до проекту	18.02.2025.	
	Опис технологічного процесу, Вимоги до сировини	25.02.2025	
	Способи реалізації технологічного процесу і машинне оформлення	03.03.2025	
	Огляд існуючого обладнання; патентний пошук	14.03.2025	
	Технічний проект; технологічний розрахунок	14.04.2025	
	Охорона праці та правила експлуатації машини; цивільний захист	25.04.2025	
	Список літератури; додатки	1.05.2025	
	Креслення загального вигляду машини	14.05.2025	
	Креслення листів деталювання	24.05.2025	
	Оформлення проекту та отримання рецензії.	до 10.06.2025.	

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Тупко І.Н.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Мординський В.П.

*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 \_\_\_\_\_

## ЗМІСТ:

Анотація	5
1. ВСТУП	6
Розділ 1 Опис технологічного процесу отримання концентрованого соку	7
Розділ 2. Вимоги до сировини	11
Розділ 3. Огляд існуючого обладнання, патентний пошук	15
3.1 Устаткування для концентрування 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 концентратора 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.	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

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 66 сторінок, 2 таблиць, 12 рисунків, список використаних джерел з 10 найменувань, 1 специфікація.

Метою виконання роботи є розробка низькотемпературного концентратора для отримання концентрованого яблучного соку.

Об'єктом аналізу, є концентрований яблучний сік, предмет розробки - низькотемпературний концентратор для отримання концентрованого яблучного соку.

*Ключові слова: низькотемпературний концентратор, концентрування, кристалізатор..*

## 1. ВСТУП

За даними ООН 2021р малі фермерські господарства у Світі виробляють більше 85% обсягів агропромислової продукції, тоді як в Україні цей показник ледве досяг 10% ВВП.

Протягом останніх 20 років дрібні українські фермери залишились осторонь порядку денного аграрної політики держави. Підтримка сільського господарства у формі значних податкових пільг та субсидій була спрямована на великі підприємства, що поставило малих виробників у не вигідне положення в частині розвитку та зростання. Тому зрозуміло, що якщо ми хочемо блокувати люмпенізацію села, і витягнути агрорегіони з депресивного стану потрібна ефективна державна політика стосовно підтримки розвитку саме малого фермерства.

Основними проблемами розвитку фермерського господарства України є відставання від сучасних тенденцій запровадження інноваційних технологій ведення сільського господарства та зберігання готової продукції. Нові технології та технічне забезпечення виробничих процесів є недоступним для більшості фермерів через їх дорожнечу. Фермери мають обмежене фінансове забезпечення своєї діяльності, якого ледве вистачає для придбання необхідних ресурсів для нового циклу виробництва.

Метою роботи є створення низькотемпературного концентратора для концентрування яблучного соку для фермерського господарства сімейного типу.

## Розділ 1

### ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ КОНЦЕНТРАТІВ.

Продукт є концентрованими плодовими та ягідними соками, приготованими уварюванням натуральних соків з уловлюванням ароматичних речовин [1].

Асортименти. Неосвітлені: яблучний; освітлені вишневий, виноградний, журавлинний, яблучний.

Сировина: Свіжі, зрілі плоди та ягоди або натуральні соки, консервовані асептичним способом.

Технологічна схема: підготовка сировини та отримання соку, сепарування, підігрів, уловлювання ароматичних речовин, охолодження, обробка препаратами пектолітичних ферментів, фільтрація, уварювання, розфасовка, пастеризація, зберігання.

Підготовка сировини та отримання соку. При виробництві яблучного, вишневого, журавлинного соку ці процеси проводяться так само, як при виробництві пастеризованих плодових та ягідних соків; підготовка сировини та отримання виноградного соку проводяться так само, як при виробництві натурального освітленого пастеризованого виноградного соку; асептичне консервування соків - у великих ємностях .

Сепарування. Сік свіжоотриманий або після асептичного зберігання піддають сепаруванню на сепараторах ВСМ, Альфа Лаваль або інших систем. У разі значної каламутності яблучного соку, призначеного для виробництва неосвітленого концентрату, необхідно перед сепаруванням застосувати освітлення соку нагріванням. Для цього сік піддають миттєвому підігріву до 80-85 ° С в пластинчастому теплообміннику з витримкою при цій температурі протягом 1 хв, а потім в цьому ж теплообміннику миттєво охолоджують до 25-30 ° С і направляють на сепарування.

Підігрів. Сепарований сік нагрівають в пластинчастому або трубчастому теплообміннику до 60-65 ° С і відразу направляють в поживний бак установки

для уловлювання ароматичних речовин. Сік, що зазнав термічного освітлення, нагрівають до 55-60 °С

Уловлювання ароматичних речовин провадиться на установках фірми «Єдність» або інших типів. Установа для уловлювання ароматичних речовин складається з плівкового випарника з сепаратором, колони ректифікації, поверхневих охолоджувачів (конденсаторів) і абсорбційної колони.

Нагрітий сік з підігрівача подають у плівковий випарник, де із соку випаровується 25-30% води разом із летючими ароматичними речовинами. У випарнику установки «Єдність» повинен підтримуватись робочий вакуум у межах 8 – 15 кПа. Сік збирається в нижній частині сепаратора і виводиться з установки, а сокові пари з ароматичними речовинами надходять на подальшу переробку в колону ректифікації установки.

Кількість ароматичних речовин, що відбираються, і флегмовий потік в колоні регулюють за допомогою ротаметрів таким чином, щоб концентрація ароматичних речовин, що виходять з установки становила 1:150 або 1:200. Періодично контролюють густину ароматичних речовин, яка повинна бути в межах 0,990-0,970.

Концентровані, охолоджені ароматичні речовини збирають у продуктовому збірнику установки та періодично, у міру наповнення збірки, розфасовують у бутлі. Наповнені сулії негайно герметично закупорюють чистими лакованими кришками СКО. На пляшки наклеюють етикетки із зазначенням найменування, щільності ароматичних речовин та дати виготовлення. Бутлі направляють на зберігання у чистий прохолодний склад.

Охолодження. Деароматизований частково сконцентрований сік, що виходить з установки для уловлювання ароматичних речовин, у разі необхідності охолоджують водою в охолоджувачі до 42-45 ° С і направляють на обробку ферментами.

Обробка препаратами пектолітичних ферментів. Сік обробляють у ферментаторах очищеними пектролітичними ферментними препаратами, дозволеними органами охорони здоров'я.

Ферментний препарат вносять у сік у вигляді суспензії, Для приготування суспензії відважують необхідну кількість сухого препарату, заливають його 5-10 - кратною кількістю натурального соку, нагрітого до 40-45 °С, і витримують 1 год при періодичному помішуванні. Після настоювання суспензію ретельно перемішують та вносять у сік. Дозування препарату залежить від виду соку, що виготовляється.

При виготовленні яблучного неосвітленого концентрованого соку обробка ферментами необхідна для часткової депектинізації та зниження в'язкості соку, щоб полегшити уварювання та запобігти желюванню концентрату у процесі виробництва та зберігання. З цією метою до сіку достатньо внести 0,005-0,01% (за масою) препарату (при стандартній активності 3000 од./г). Після внесення препарату сік ретельно перемішують за допомогою мішалки і витримують 2-3 години, потім декантують з осаду і направляють на фільтрування.

При виготовленні яблучного освітленого соку обробка ферментами повинна забезпечити майже повне руйнування пектинових речовин і освітлення соку до повної прозорості. Досягнення цього дозування ферментного препарату збільшують до 0,02-0,03% до маси соку і витримують сік з препаратом 3-4 год.

Для прискорення освітлення та забезпечення повної прозорості соку обробку ферментами можна поєднувати з освітленням желатином.

Дозування желатину встановлюють експериментально. Зазвичай кількість желатину становить 0,01-0,02% маси соку.

У сік, що підлягає освітленню, спочатку завантажують суспензію ферментного препарату, а потім 1% розчин желатину. Сік

ретельно перемішують за допомогою мішалки або циркуляційного насоса з освітлювальними препаратами і витримують 1-2 години, після чого декантують з осаду і направляють на фільтрування.

Висвітлення виноградного соку можна проводити одним із наступних способів: обробкою ферментними препаратами; фільтрацією з кізельгуром; обробкою бентонітом; бентонітом та ультразвуком; бентонітом та желатином.

Крім освітлення соку для запобігання випаданню винного каменю на поверхню апаратів необхідно видаляти надлишок винного каменю за допомогою ультраохолоджувача та кристалізатора періодичної дії. Для стабілізації винного каменю, що залишився в соку, рекомендується додавати метавинну кислоту.

При переробці виноградного соку, консервованого асептичним способом і зберігався в танках до повного освітлення і випадання винного каменю, операцію освітлення соку можна проводити, а декантувати сік з осаду і спрямовувати на сепарирование і фільтрацію.

Фільтрування. Сік фільтрують на фільтр-пресах або наливних фільтрах через фільтр-картон або азбестову вату.

Неосвітлений сік після фільтрування може опалесцювати.

Сік після фільтрування повинен бути повністю прозорим. Для досягнення необхідної прозорості сік необхідно фільтрувати через два встановлені послідовно фільтри. Рекомендується також проводити фільтрування освітленого соку з кізельгуром (діатомітом).

Підготовку фільтру та фільтруючих матеріалів, зарядку фільтра та процес фільтрування проводять відповідно до технологічної інструкції з виробництва пастеризованих плодових та ягідних соків.

Уварювання. Процес проводять у безперервно діючих тонкоплівкових випарних апаратах при вакуумі не менше 700 мм рт. ст. (залишковий тиск 8 кПа). Неосвітлений сік концентрують до вмісту 55% сухих речовин. Освітлені соки концентрують до 70% СВ, за винятком журавлинного, який концентрують до 55% СВ.

Розфасовка. Концентровані соки для роздрібної торгівлі розфасовують у лаковану жерстяну та скляну тару ємністю не більше 0,6 л або алюмінієві лаковані туби ємністю 0,2 л.

Для громадського харчування та промислової переробки концентровані соки розфасовують у лаковану жерстяну або скляну тару ємністю до 10 л.

Для промислової переробки допускається також фасування концентрованого соку із вмістом 70% СВ у дерев'яні бочки з поліетиленовими вкладишами ємністю не більше 100 л.

Концентрований сік з утриманням 70% СВ, що випускається у великій тарі, щоб уникнути бактеріального псування консервують сорбіновою кислотою. Для цього до соку відразу після уварювання додають попередньо розведену в невеликій кількості гарячого соку сорбінову кислоту з розрахунку 0,05% маси концентрату.

За відсутності сорбінової кислоти концентрований сік розфасований у скляну або жерстяну тару ємністю не більше 1 л розливають гарячим або пастеризують.

Пастеризація. При гарячому розливі концентрований сік нагрівають у трубчастому пастеризаторі до 85-87 ° С і розливають у гарячі підготовлені банки або бутлі. Наповнену тару негайно закупорюють. Після закупорювання необхідно охолодити тару з соком холодним повітрям або водою з температурою, що поступово знижується.

Після охолодження сік направляють для зберігання.

Пастеризацію соку проводять за режимами (при тиску в автоклаві 130 кПа:

Бутлі 83-3 и банки № 14	$\frac{25-35-25}{90^{\circ}\text{C}}$
Банки 58-1 и пляшки 0,2 л	$\frac{15-12-15}{90^{\circ}\text{C}}$
Банки 83-1 и бутылки 58-2	$\frac{20-25-20}{90^{\circ}\text{C}}$

Після пастеризації сік охолоджують в автоклавах водою до температури охолоджувальної води 30-40 ° С.

Концентровані ароматичні речовини розфасовують у скляні пляшки чи банки. На тару наклеюють етикетки із зазначенням найменування, та щільності ароматичних речовин та дати виготовлення.

Відвантажувати в мережу громадського харчування і розливні цехи концентровані соки слід у комплекті з ароматичними речовинами в кількості 2% від обсягу концентрованого соку.

Зберігання. Концентровані соки в герметично закупореній тарі зберігають у чистих, сухих, добре вентиляованих складських приміщеннях при температурі від 0 до 20°C та відносній вологості повітря не більше 75%, концентровані соки в бочках – при температурі не вище 10°C та відносній вологості трохи більше 75%.

За дотримання зазначених умов термін зберігання концентрованих соків з дня виробітку: для пастеризованих — 2 роки, для непастеризованих — 1 рік, в алюмінієвих тубах — 1 рік.

Основні вимоги до якості плодкових і ягідних концентрованих соків (за ГОСТ 18192-72). Концентровані соки виробляють освітленими, за винятком яблучного, який виробляють освітленим і неосвітленим, з введенням або без введення ароматичних речовин.

#### Фізико-хімічні показники концентрованих соків

Показники	Норми для соків	
	Освітленого	Неосвітленого
Вміст в сокові сухих речовин, % не менше		
виноградний, вишневий	70	
журавлиновий	54	
яблучний	70	55
Кислотність, % не менше		
виноградний,	5,0	
вишневий	1,0	
журавлиновий	15,0	
яблучний	2,5	2,0
Вміст осаду білкових і пектинових речовин, % від маси не більше	0,1	0,2
Вміст сорбінової кислоти, % не більше	0,1	0,1

## Концентрований яблучний сік

Концентровані соки одержують із натуральних освітлених та неосвітлених соків (яблучний, вишневий, цитрусовий) шляхом видалення більшої частини води. Існують такі способи видалення води: випарювання, виморожування або зворотний осмос.

Випарювання проводять у випарних тонкоплівчастих вакуум-апаратах, отримуючи сік концентрацією до 72% сухих речовин. При цьому прагнуть максимально знизити негативний вплив тепла, що викликає потемніння кольору внаслідок меланоїдиноутворення та карамелізації цукрів.

Особливо чутливі до нагрівання соки з цитрусових плодів, менш чутливі до яблучного та вишневого соків, тому в процесі випарювання регулюється режим (температура та тривалість випарювання). При випарюванні разом з водою випаровуються ароматичні речовини, тому для їх уловлювання використовують спеціальні установки з конденсаторами. Концентрати ароматичних речовин додають у кількості 2% масою в соки безпосередньо перед фасуванням в дрібну тару для реалізації.

Завдяки високому вмісту сухих розчинних речовин, **концентровані соки** не піддаються при зберіганні мікробіологічної псуванню і не вимагають додаткових способів консервування. Розфасовують їх у полімерні бочки або великі резервуари. Зберігаються концентровані соки за нормальної температури 5-10°C. Підвищення температури зберігання може викликати небажані реакції, особливо у соках з підвищеним вмістом поліфенолів та антоціанів, що погіршують колір соків. Концентрати ароматичних речовин зберігають за температури не вище 0°C.

Виморожування засноване на охолодженні соків нижче за температуру його замерзання. Концентрування соків виморожуванням засноване на тому, що кристалізується розчинник (вода), а розчинені речовини (цукри, кислоти та ін.) залишаються в розчині.

Технологія концентрування виморожуванням полягає в тому, що сік, попередньо охолоджений до 2-4°C, заморожують у кристалізаторі, відводячи тепло через стінку або застосовуючи безпосередній контакт соку з нейтральним газоподібним холодоагентом (фреон, СО, та ін.). Концентрація продукту залежить від його в'язкості та кінцевої температури заморожування. Заморожений сік є кашкоподібною або снігоподібною масою з кристалами льоду, що мають сферичну форму. Лід відокремлюють від соку на центрифугі або промивної колонці. Виморожування вологи та відділення льоду повторюють 2-3 рази. Сік, концентрований виморожуванням, зберігають за низьких температур. Концентрований сік методом виморожування містить до 40-50% сухих речовин.

#### Технологія зворотний осмос

Для консервування оберненим осмосом застосовують апарат, розділений на дві частини напівпроникною мембраною, наприклад з ацетилцелюлози. З одного боку мембрани знаходиться сік під значним тиском (близько 17,5 МПа), а з іншого — вода. Мембрана являє собою гель, на поверхні якого адсорбується вода, що міститься в соку, що проходить під натиском тиску через перегородку. У цьому способі можна концентрувати соки до 30-40% сухих речовин. Цей спосіб знаходить широке застосування за кордоном.

Концентровані соки та концентрати ароматичних речовин у роздрібну торгівлю не надходять, використовуються як сировина для виготовлення натуральних соків.

Концентровані соки рекомендують зберігати за нормальної температури 5-10°C. При підвищених температурах можуть відбуватися хімічні процеси взаємодії речовин соку між собою. Особливо інтенсивні зміни можуть відбуватися у яскраво забарвлених соках, що містять антоціани, поліфенольні сполуки, які, руйнуючись, погіршують колір соків.

#### Користь та шкода концентрованих соків

Їх не можна пити, як прості свіжі соки або промислові напої. Концентрат уявляє собою речовину, в якій вміст цитрусових вище, ніж у звичайному соку, що отримується з плодів. Тому якщо випити концентрований сік у чистому вигляді, він може зашкодити організму.

Сік буде корисним на виробництві, де потрібно додавати невеликі ноти цитрусових. Наприклад, на просочення до бісквітних тортів або кремів на основі вершків.

Широко використовується концентрат у маринадах для м'яса та риби, соусах та салатах. Деякі люблять додавати кілька крапель екстракту в чай, надаючи апельсиновий смак напою.

#### Переваги концентрованого соку

Основною перевагою виробництва концентрату є те, що його легше транспортувати та зберігати, оскільки вага та обсяг продукту зменшуються. Концентрати також менш чутливі, ніж сік NFC, до мікробної псування та органолептичних змін, викликаних температурою.

До концентрованих соків не входять ні цукор, ні інші підсолоджувачі.

## РОЗДІЛ 2

### ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ

Основна вимога до якості соків — їх натуральність, вміст певної кількості сухих розчинних речовин. Крім натуральних виготовляють також соки купажовані (змішані), з цукром, цукровим сиропом, концентровані (для виготовлення різних напоїв).

Сік з недозрілих плодів містить недостатню кількість сухих розчинних речовин, а з перезрілих чи тонкоподрібнених плодів виходить маса, яка погано фільтрується, забиваючи фільтрувальний матеріал, та освітлюється і залишається каламутною. Якість соків погіршується внаслідок застосування високих доз мінеральних добрив при вирощуванні плодів, надмірних поливів або якщо плоди зібрані в дощову погоду. Тому на заводах сировину для виробництва соків приймають за такими показниками вмісту сухих розчинних речовин, %, не менше: малини, суниць, чорної смородини, чорниці — 7; терену, ожини, брусниці — 8; яблук — 9,5; слив, смородини — 10; вишні — 11; аличі, агрусу — 12; винограду — 15. При меншому або більшому вмісті в сировині сухих розчинних речовин встановлюється відповідна знижка або надбавка на масу.

В усіх видах сировини не повинно бути гнилих плодів, оскільки гниль надає готовому продукту неприємних смаку і запаху. Більш багатий на сухі речовини сік одержують з плодів і ягід середньо- та пізньостиглих сортів. Деякі сорти яблук дають високий вихід соку при технічній стиглості, а деякі — при повній. Плоди ягідних і кісточкових культур повинні бути дозрілими, але не перезрілими. Вихід соку залежить і від ступеня подрібнення сировини, стану полі-дисперсної системи (великі частинки, дрібні, колоїдні системи — з молекул пектинових та білкових речовин і молекул розчинених речовин). З великих частинок легше відділяється сік, ніж від колоїдних. Подрібнюють сировину машиною КДП-4М продуктивністю 8 т/год. Зазор між барабаном і притискними колодками регулюють залежно від виду сировини. Під час обробки вишень стежать, щоб кількість подрібнених кісточок не перевищувала 15 % (навіть якщо

під час обробки та зберігання соку відбувається гідроліз амігдаліну, концентрація продуктів розкладання не перевищуватиме небезпечні значення). Використовують також плодорізки КПІ-4, дробарки ВДВ-5 та ДДС-5.

Плоди смородини, малини, суниць не подрібнюють. Без додаткової обробки пресують плоди вишні, яблук, суниць, обліпихи, ожини, а решту сировини обробляють електроплазмолізатором для руйнування колоїдів, які утруднюють вихід соку та підвищують в'язкість подрібненої сировини, або обробляють подрібнену сировину електричними імпульсами високої частоти безпосередньо у пакетах преса після перших 10 хв пресування. Плоди кісточкових (слив, кизилу) перед пресуванням прошпарюють водяною парою. Щоб збільшити вихід соку, до мезги додають ферменти.

## РОЗДІЛ 3

### ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ, ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

#### 3.1 Устаткування для отримання концентрованих соків 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-Нейербурга 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 вотаторного 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.

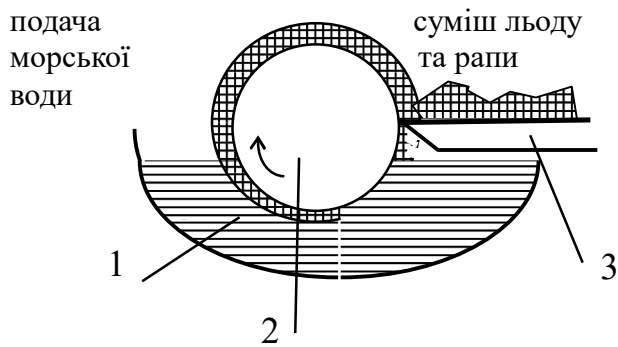


Рис. 3.1. Схема барабанного кристалізатора обертового типу з внутрішнім охолодженням: 1-поддон для морської води, 2-охолоджувальний барабан, 3-ніж и транспортер суміші льоду і рапи.

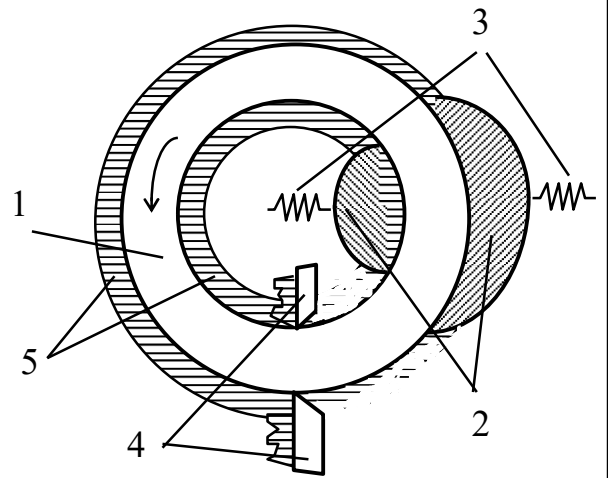


Рис. 3.2. Схема барабанного кристалізатора з двосторонньою охолоджуваною поверхнею: 1-охолоджуваний барабан, 2-камери, 3-пружини камер, 4-ножі, 5-наморожений шар льоду.

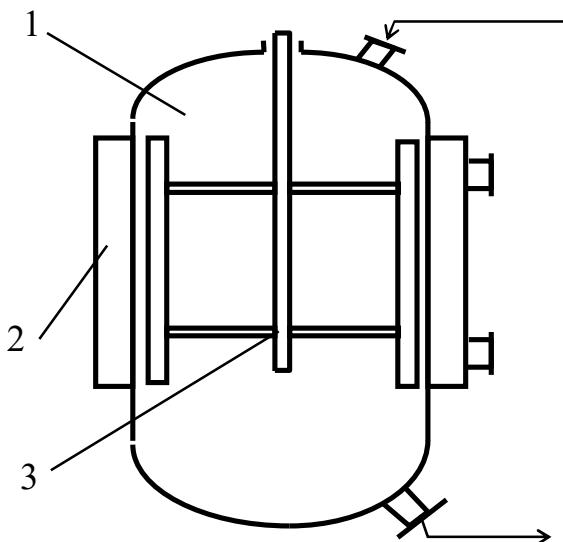


Рис. 3.3. Схема кристалізатора вататорного типу: 1-резервуар, 2-сорочка охолодження, 3-скребки.

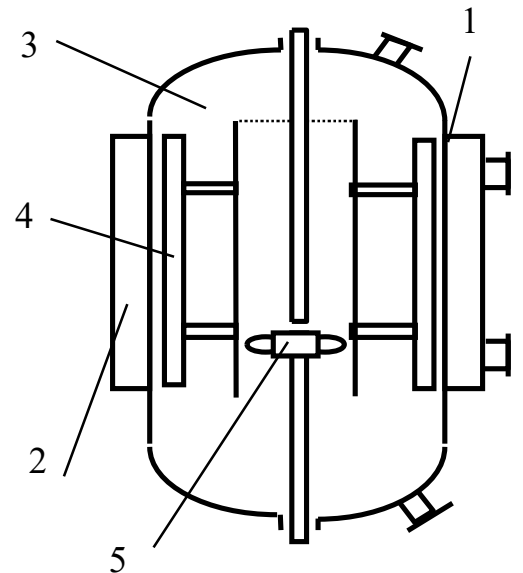


Рис. 3.4. Схема кристалізатора вататорного типу з незалежним пристроєм, що перемішує і ножовим: 1.- поверхня теплообміну; 2 - сорочка, що охолоджується; 3-резервуар; 4 – ножі, 5 – мішалка.

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 вотаторного 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 кріоконцентрування та покращення кінетики льодоутворення.

Заслуговують 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.

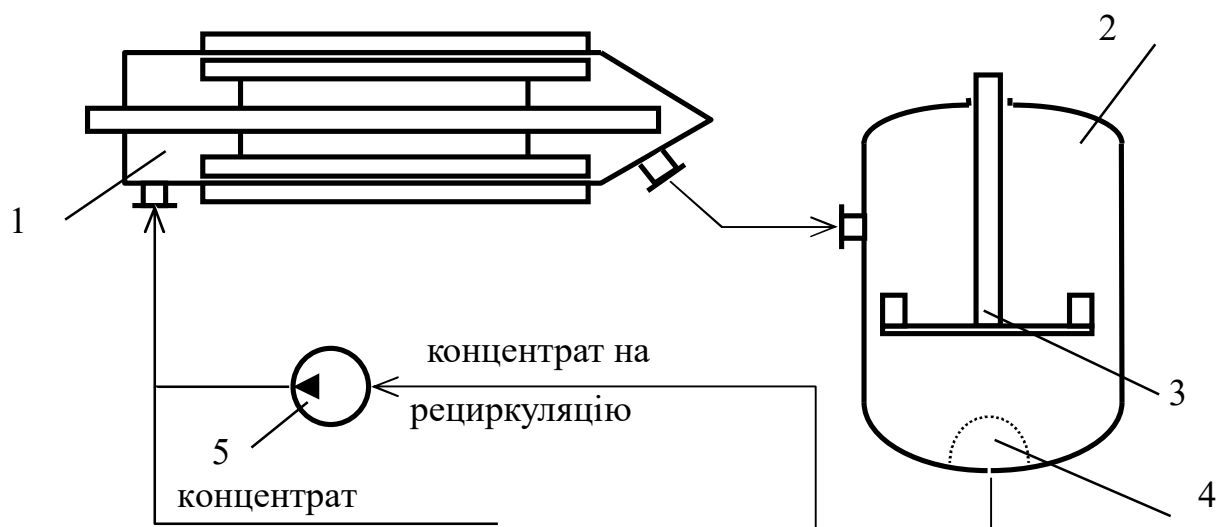


Рис.3.5. Схема блоку кристалізації з роздільними зонами охолодження та вирощування кристалів: 1 кристалізатор – охолоджувач, 2 рекристалізатор, 3-мішалка, 4-фільтруюча поверхня, 5-насос.

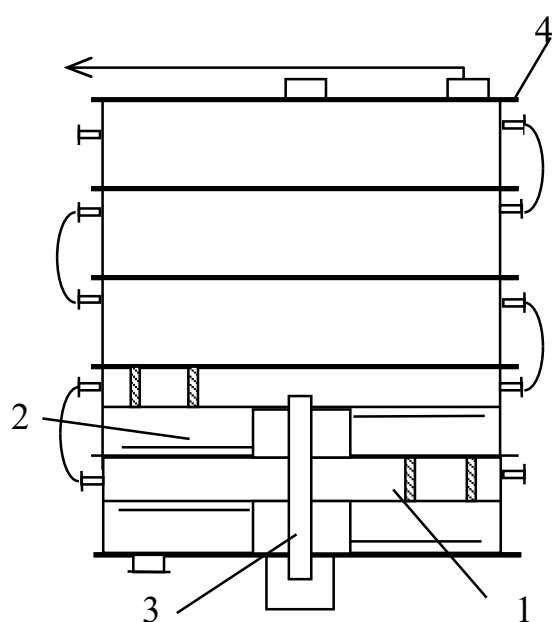


Рис. 3.6. Схема дискового кристалізатора: 1-диски, 2- ножі, 3- вал, 4- кришки.

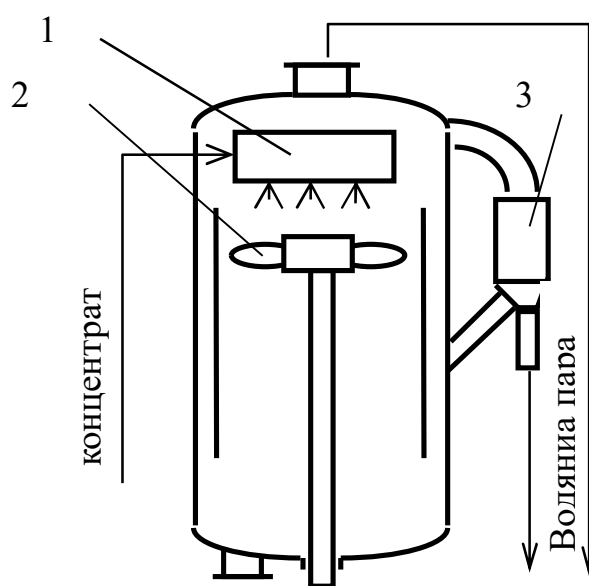


Рис.3.7. Схема кристалізатора вакуумної виморожуючої установки: 1.-розбризувальний пристрій, 2- мішалка, 3-розділювач.

Таблиця 3.1

## Характеристики кристалізаторов

Тип кристалізатора	Переваги	Недоліки
Барабанний з внутрішнім охолодженням	Одержувана суспензія “ кристали - продукт” мають вищу концентрацію кристалів льоду.	Великі втрати 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.
Барабанний 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.

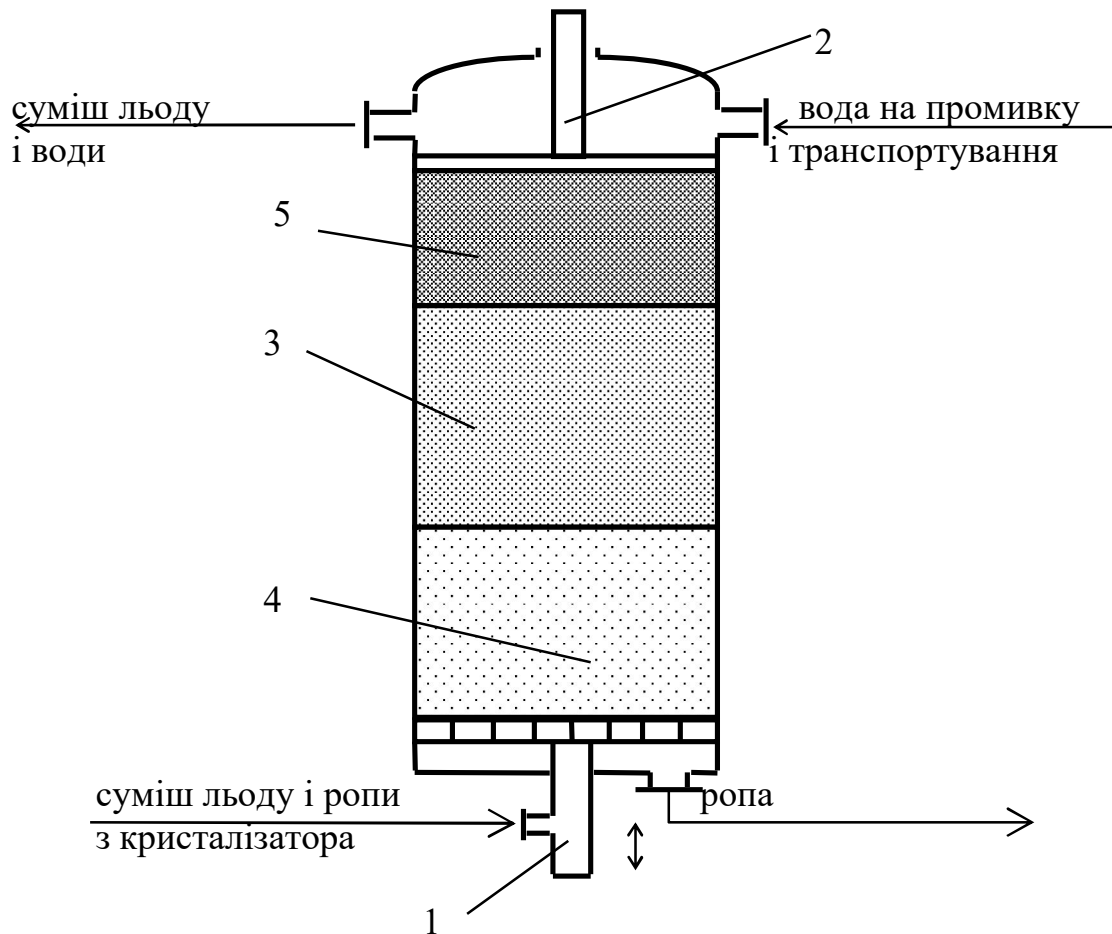


Рис. 3.8. Схема сепаратора примусового промивання поршневого типу: 1 - порожнистий вал, 2 - обертовий ніж, 3 - зона щільного шару, 4 - зона ходу поршня, 5 - зона промивання.

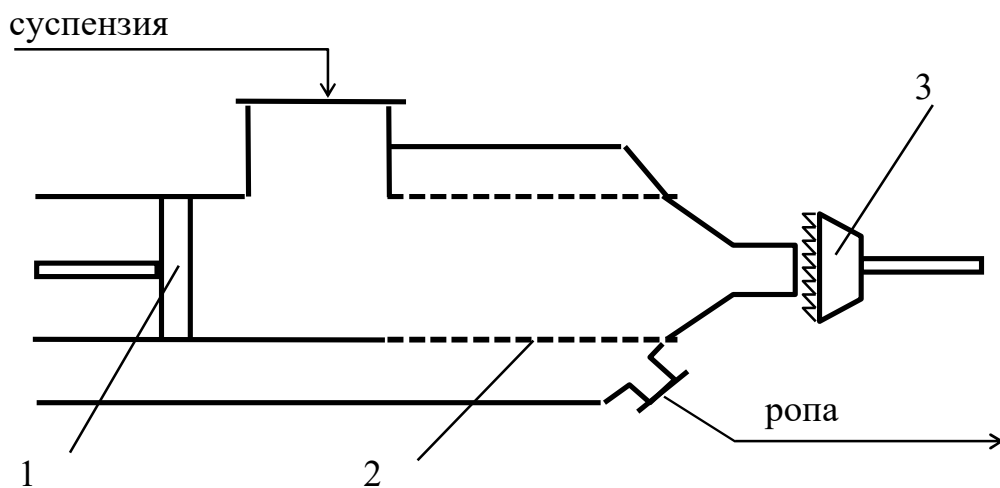


Рис. 3.9. Схема поршневого сепаратора льоду: 1- поршень, 2- фільтрувальна перегородка, 3- ніж.

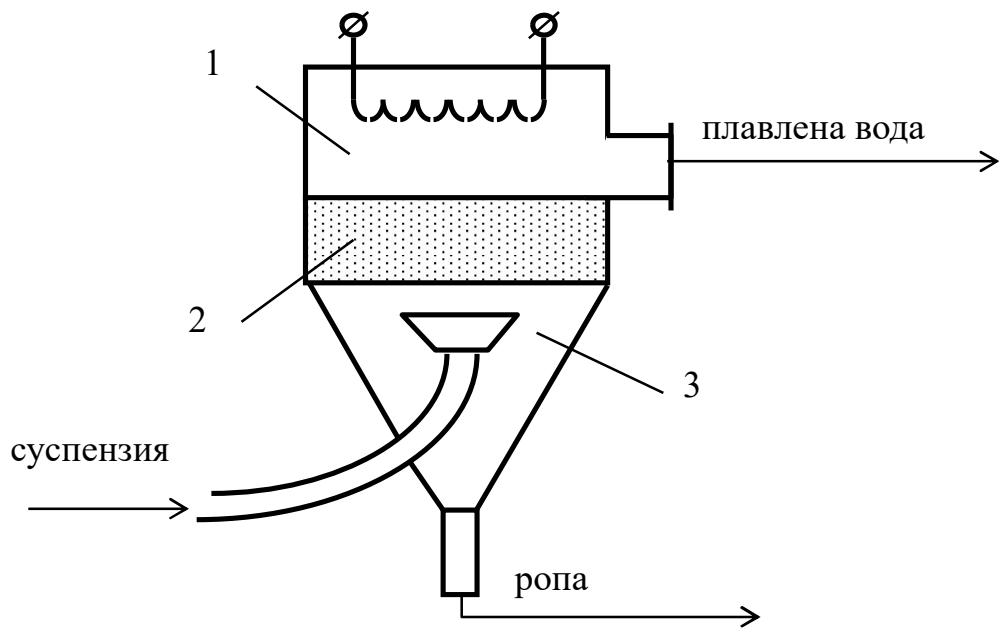


Рис. 3.10. Схема промивної колони: 1 – нагрівач; 2 – зона льоду.  
3 – зона ропи.

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.

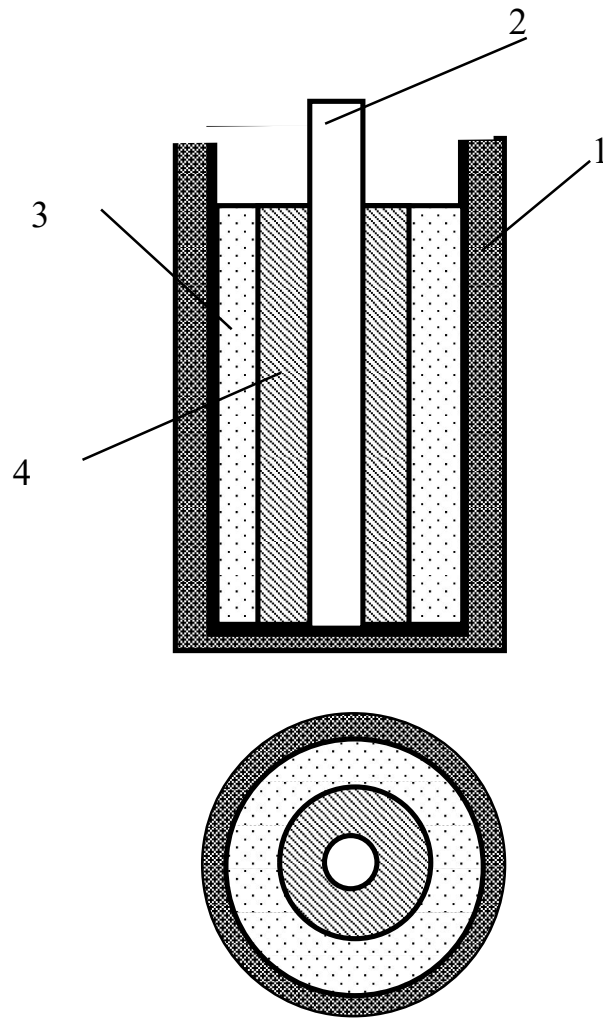


Рис. 3.11. Схема установки для блочного виморожування зі стрижневим кристалізатором: 1 – ізольована ємність, 2 – кристалізатор, 3 – розчин, 4 – блок льоду.

### 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 склади компонентів 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

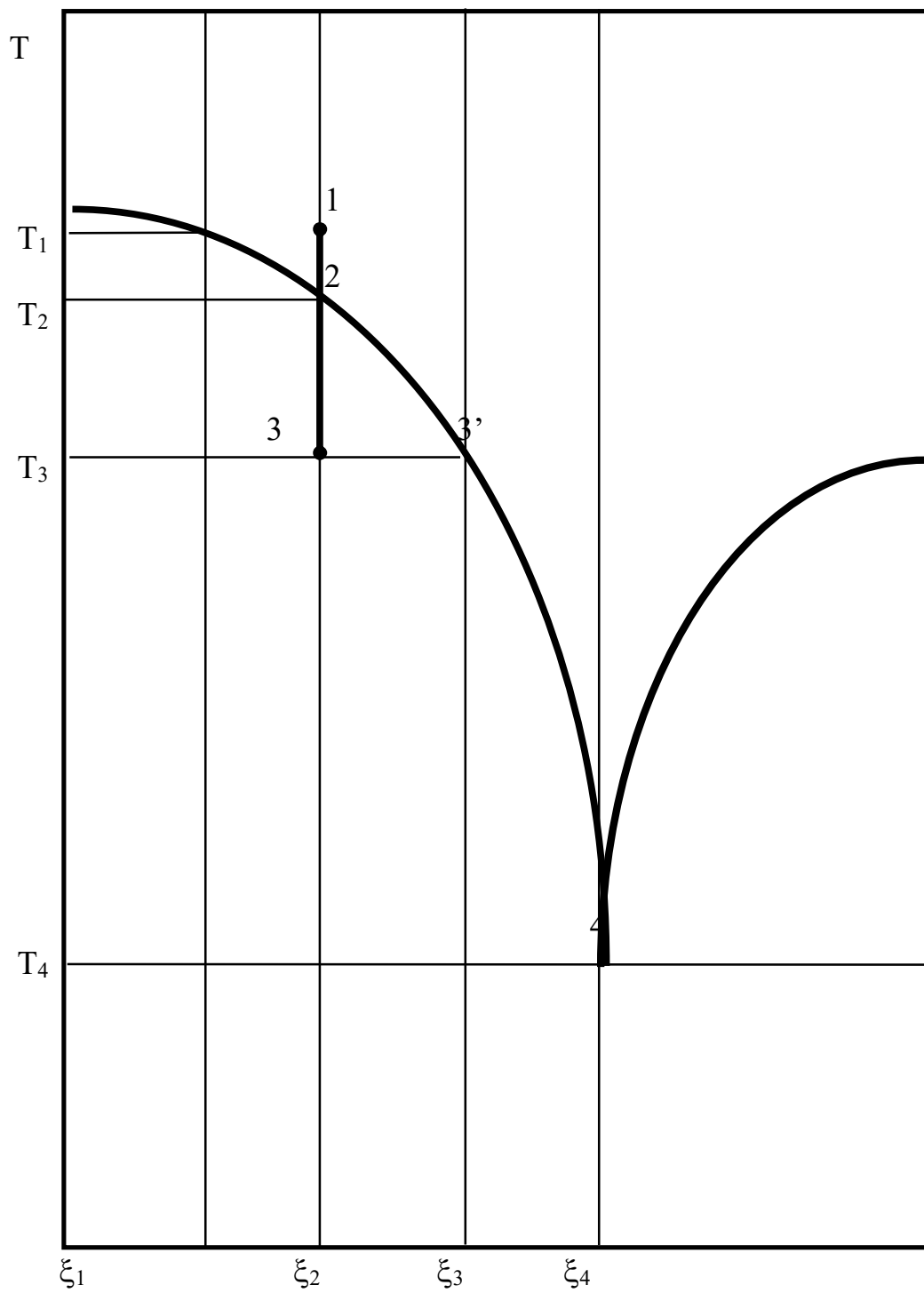


Рис 3.12. Реальний процес однократної кристалізації бінарної суміші.

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



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **123544** (13) **C2**

(51) МПК (2021.01)  
**A23L 2/10** (2006.01)  
**A23L 2/46** (2006.01)  
**B01D 1/00**  
**B01D 1/26** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ  
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
 "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ"

#### (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: <b>а 2018 01443</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>16.08.2017</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>22.04.2021</b></p> <p>(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: <b>16184961.7</b></p> <p>(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: <b>19.08.2016</b></p> <p>(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заяву: <b>EP</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: <b>10.05.2019, Бюл.№ 9</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>21.04.2021, Бюл.№ 16</b></p> <p>(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: <b>PCT/EP2017/070748, 16.08.2017</b></p>	<p>(72) Винахідник(и):  <b>Прашак Герберт (DE), Штьоссель Кай (DE)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці):  <b>ГЕА ВІГАНД ГМБХ,</b>                  Am Hardtwald 1, 76275 Ettlingen, Germany (DE)</p> <p>(74) Представник:  <b>Шляховецький Ілля Олександрович,</b>  <b>реєстр. №190</b></p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:                  DE 3443055 A1, 05.06.1986                  DE 102012203439 A1, 05.09.2013                  FR 1308700 A, 09.11.1962                  FR 2570285 A1, 21.03.1986</p>
---	---

UA 123544 C2

#### (54) УСТАНОВКА ДЛЯ КОНЦЕНТРУВАННЯ РІДКИХ ПРОДУКТІВ ТА СПОСІБ КОНЦЕНТРУВАННЯ З ЇЇ ВИКОРИСТАННЯМ

##### (57) Реферат:

Винахід стосується установки для концентрування рідких продуктів, що містять задану речовину, таку як цукор, переважно фруктових соків, та способу концентрування. Установка містить два послідовно розташовані випарні блоки (22, 52; 122), два нагрівачі (40, 56) та принаймні один фільтрувальний та/або очищувальний пристрій (34). Перший блок (22; 122) складається з кількох ступенів випарювання та призначений для концентрування рідкого продукту до заданої первинної концентрації заданої речовини, а другий (52) призначений для подальшого концентрування рідкого продукту до заданої кінцевої концентрації. Перший нагрівач (40) призначений для нагрівання першого випарного блока (22; 122), а другий (56) - для нагрівання другого випарного блока (52). При цьому принаймні перший нагрівач (40) має механічний компресор сокової пари (40), а фільтрувальний та/або очищувальний пристрій (34) встановлені на шляху потоку рідкого продукту та розташовані між двома ступенями випарювання першого блока (22; 122) випарювання, поділяючи перший блок (22; 122) випарювання на ділянку (22a; 122a) для рідини з м'якоттю та ділянку (22b; 122b) для очищеної

Цей винахід стосується установки, призначеної для концентрування рідких продуктів, що містять задану речовину, наприклад, цукор, насамперед, - для концентрування фруктових соків, наприклад, яблучного соку; ця установка включає в себе два послідовно розташовані випарні блоки (перший з яких призначений для концентрування рідкого продукту до заданої первинної концентрації заданої речовини, а другий - для подальшого концентрування рідкого продукту до заданої кінцевої концентрації заданої речовини, причому принаймні перший випарний блок складається з декількох ступенів випарювання), а також два нагрівачі (перший з яких призначений для нагрівання першого випарного блока, а другий - для нагрівання другого випарного блока, причому принаймні перший нагрівач має механічний компресор сокової пари) і принаймні один фільтрувальний та/або очищувальний пристрій.

Для економічної експлуатації установок для концентрування рідких продуктів і, насамперед, випарних установок для фруктових соків, вони зазвичай мають багатоступінчасту будову і принаймні два послідовно підключені випарні блоки, перший з яких попередньо концентрує вихідний продукт до заданої первинної концентрації, а другий додатково концентрує попередньо концентрований продукт до заданої кінцевої концентрації. При цьому випарні блоки, зазвичай, у свою чергу мають кілька ступенів випарювання. Нагрівання випарних блоків у існуючих установках відбувається за рахунок обігріву гострою парою, термічного компресора сокової пари або механічного компресора сокової пари.

Для концентрування фруктових соків часто використовують установки вищезазначеного типу, причому в таких установках дуже поширений нагрів за рахунок свіжої пари або термічного компресора сокової пари. І навпаки, установки, які оснащені механічним компресором сокової пари та використовують його для обігріву, зустрічаються дуже рідко, хоча механічна компресія сокової пари є енергетично ефективнішою і через це економічнішою в порівнянні з термічною компресією сокової пари і тим більше обігрівом гострою парою. Відмова від використання механічних компресорів сокової пари має різні причини, про які йтиметься нижче; при цьому, приймаючи будь-які економічні рішення щодо придбання та експлуатації такої установки, слід взяти до уваги, що установка зазвичай використовується лише кілька місяців на рік, оскільки її експлуатація залежить від пори року та корелює із досяганням фруктів.

По-перше, проти використання механічного компресора сокової пари у звичайних установках говорить перш за все те, що капітальні витрати при будівництві установки є відносно великими, а по-друге, відомо, що збільшення температури кипіння цукровмісного концентрату, який утворюється при концентруванні фруктових соків, унеможлиблює економічне використання механічної компресії сокової пари для досягнення бажаної кінцевої густини концентратів фруктових соків.

Крім того, у зв'язку з особливостями виробничого процесу при обробці соків, зокрема яблучного соку, завжди необхідно проводити очищення та фільтрування соку з м'якоттю. Отриманий в результаті цього очищений сік випарюється до потрібної кінцевої густини. Зазвичай процес організують таким чином, щоб попередньо концентрувати сік з м'якоттю до густини приблизно 20° Брікса, оскільки це значення відповідає концентрації, за якої можна оптимально фільтрувати сік з м'якоттю для отримання очищеного соку. Шкала Брікса співвідносить густину будь-якої рідини з густиною водного розчину сахарози, причому кількість градусів відповідає кількості грамів сахарози, що містяться у 100 г розчину. Для фруктових соків та інших цукровмісних рідин поняття "густина" та "концентрація" з точки зору шкали Брікса часто використовуються як синоніми.

У результаті фільтрування соковий потік в установці розділяється на ділянку для соку з м'якоттю до зони фільтрування та ділянку для очищеного соку після зони фільтрування, причому в існуючих установках, в тому числі у зв'язку з необхідністю розділяти сік з м'якоттю та очищений сік, вони подаються до окремих випарних блоків. Через вищезгадане збільшення температури кипіння установка зазвичай нагрівається одним термічним компресором сокової пари або одним пристроєм для обігріву гострою парою. Однак обидва ці типи нагрівання потребують дуже великої витрати енергії.

На додаток до й без того несприятливого енергетичного балансу, на ділянці для соку з м'якоттю від механічної компресії пари зазвичай відмовляються ще й через те, що для відносно енергоефективного підвищення концентрації перед фільтруванням лише до 20° Брікса необхідно ускладнювати установку, а відносно невисока економія енергії при використанні механічного компресора сокової пари не виправдовує таке ускладнення.

У зв'язку із вищезгаданими високими витратами на енергію при використанні установок зазначеного типу, метою цього винаходу є підвищення енергоефективності таких установок.

Для досягнення цієї мети необхідна установка відповідного типу, у якій фільтрувальний та очищувальний пристрій у напрямку потоку рідкого продукту розміщений між двома ступенями

випарювання першого блока випарювання, поділяючи перший блок випарювання на ділянку для соку з м'якоттю та ділянку для очищеного соку.

Таким чином в установці, яка є предметом цього винаходу, замість того, щоб рідина з м'якоттю концентрувалася до заданої густини у першому випарному блоці, потім фільтрувалася чи очищувалася, а потім додатково концентрувалася до заданої кінцевої густини у другому випарному блоці, у першому випарному блоці одночасно концентруються рідина з м'якоттю та очищена рідина, а перехід від першого до другого випарного блока визначений не проведенням фільтрування, а заданою первинною концентрацією.

У зв'язку із цим ділянка для рідини з м'якоттю та ділянка для очищеної рідини в установці розподілені не між обома випарними блоками, а між двома ступенями випарювання першого випарного блока, в результаті чого ділянка для очищеної рідини в установці займає весь другий випарний блок та частину першого випарного блока, призначену для очищеної рідини.

Оскільки перший випарний блок нагрівається механічним компресором сокової пари, а очищена рідина після фільтрування додатково концентрується у першому випарному блоці доти, доки її нагрів механічним компресором сокової пари не перестане бути ефективним через збільшення температури кипіння, і лише потім концентрується до заданої кінцевої густини у другому випарному блоці, значно більша частина процесу концентрування припадає на більш енергоефективний механічний компресор сокової пари. Це дозволяє за короткий час роботи компенсувати більші витрати на придбання установки через підвищення її складності, пов'язане з використанням двох нагрівачів, побудованих на різних принципах нагрівання, і в результаті з огляду на повний термін роботи установки її експлуатація є значно вигіднішою.

Другий випарний блок може включати в себе, наприклад, термічний компресор сокової пари або пристрій для обігріву гострою парою, які, хоч і є менш енергетично вигідними, ніж механічний компресор сокової пари, використаний у першому нагрівачеві, необхідні через вищезазначене збільшення температури кипіння висококонцентрованої рідини.

Для нагрівання першого випарного блока установи, що є предметом цього винаходу, можна використовувати лише механічний конденсатор пари або ж поєднувати його з додатковими джерелами тепла, наприклад, використовувати відхідне тепло з інших частин установки.

Зрозуміло, що рідина з м'якоттю та очищена рідина у першому випарному блоці мають бути герметично відокремлені одна від іншої, оскільки необхідно попередити змішування обох продуктів. Однак це не виключає можливості подальшого використання як сокової пари рідини з м'якоттю, так і очищеної рідини у першому випарному блоці, тому їх перемішування допустиме. У зв'язку з цим використаний термін "герметичне відокремлення" стосується лише рідини з м'якоттю та очищеної рідини.

Герметичне відокремлення обох рідин можна забезпечити за рахунок конструкції першого випарного блока, використовуючи окремий випарний корпус, що вміщує сукупно принаймні кілька зі ступенів випарювання першого випарного блока, бажано - усі ступені випарювання першого випарного блока.

Альтернативно можна використовувати кілька випарних корпусів, кожен з яких вміщує деякі зі ступенів випарювання першого випарного блока, наприклад, один випарний корпус може використовуватись для ступенів випарювання ділянки для рідини з м'якоттю, а інший - для ступенів випарювання ділянки для очищеної рідини. Відповідно до цього винаходу обидва випарні корпуси нагріватимуться від першого нагрівача з механічним компресором сокової пари.

При цьому конструкція з одним випарним корпусом має переваги завдяки більш високій термічній ефективності та меншому розміру, тоді як конструкція з кількома випарними корпусами полегшує герметичне відокремлення рідини з м'якоттю та очищеної рідини.

У залежності від типу рідкого продукту, який потрібно концентрувати, та додаткових експлуатаційних параметрів може виникати потреба в тому, щоб другий випарний блок також мав кілька ступенів випарювання.

Для вдосконалення цього винаходу у першому випарному блоці можна встановити окремий сепаратор сокової пари, під'єднаний до механічного компресора сокової пари зі сторони виходу. Це означає, що до такого сепаратора сокової пари потраплятиме сокова пара як з ділянки для рідини з м'якоттю, так і з ділянки для очищеної рідини першого випарного блока. Використання одного сепаратора спрощує конструкцію установки, що є предметом цього винаходу, однак за бажанням спеціалістів за певних умов можна використовувати окремі сепаратори сокової пари для ділянки для рідини з м'якоттю та ділянки для очищеної рідини.

Механічний компресор сокової пари зі сторони виходу можна також під'єднати як до ділянки для рідини з м'якоттю, так і до ділянки для очищеної рідини першого випарного блока, причому принаймні одне зі з'єднань може мати можливість дроселювання. Таким чином можна регулювати продуктивність обох ділянок одна відносно іншої, або, наприклад, промивати одну з

ділянок водою або розчином для очищення, доки в іншій ділянці продовжується обробка продукту. Оскільки ділянка для рідини з м'якоттю у зв'язку з особливостями виробничого процесу зазвичай потребує очищення частіше, можна, наприклад, продовжувати використовувати ділянку для очищеної рідини і водночас промивати ділянку для рідини з м'якоттю засобом для очищення.

Бажаною є конструкція, де принаймні один ступінь випарювання одного з двох випарних блоків включає в себе випарний апарат з падаючою плівкою. Використання випарних апаратів з падаючою плівкою особливо актуальне у харчовій промисловості, оскільки вони мають відносно невеликі перепади температури, і в результаті забезпечують найбільш ефективне концентрування рідких харчових продуктів. Однак за бажанням спеціалістів можливе використання й випарних апаратів інших існуючих типів.

Крім того, у першому випарному блоці можна встановити систему вловлювання ароматичних речовин, призначену для виділення ароматичних речовин, що випарюються у першому випарному блоці. Таке вдосконалення цього винаходу також у першу чергу призначене для використання у харчовій промисловості, оскільки у рідких харчових продуктах, які піддають концентруванню, часто наявні леткі ароматичні речовини, які самі є цінним продуктом та які не можна втрачати під час процесу концентрування.

Також в установці, що є предметом цього винаходу, у напрямку потоку рідкого продукту перед першим випарним блоком можна встановити принаймні один теплообмінник; бажано, щоб він був призначений для використання відхідного тепла другого випарного блока та/або системи вловлювання ароматичних речовин та/або конденсату першого випарного блока. Це дозволяє подавати рідкі продукти до першого випарного блока вже з підвищеною температурою, що забезпечує меншу витрату теплової потужності на їх обробку; при цьому використання відхідного тепла з інших компонентів установки дозволяє додатково підвищити енергоефективність усієї установки.

Крім того, у напрямку потоку рідкого продукту перед першим випарним блоком можна встановити стерилізаційну установку.

При цьому продукт, який потрібно концентрувати, подається до першого випарного блока вже стерилізованим.

Також в установці, що є предметом цього винаходу, у напрямку потоку рідкого продукту після другого блока випарювання можна встановити принаймні один охолоджувальний пристрій для охолодження кінцевого продукту, що видає установка, тобто концентрату, до помірної температури та його підготовки для подальшої обробки, наприклад, розливу. При цьому необхідно, щоб отримане охолоджувальним пристроєм тепло було частиною відхідного тепла другого випарного блока, яке подається до вищезазначеного теплообмінника для попереднього розігріву продукту перед його поданням до першого випарного блока.

Нарешті, установка, що є предметом цього винаходу, може мати вакуумний насос, призначений для створення зниженого тиску принаймні у першому випарному блоці, бажано - в обох випарних блоках.

Інший аспект цього винаходу стосується способу концентрування рідких продуктів, насамперед, концентрування фруктових соків, зокрема, яблучного соку, з використанням установки, що є предметом цього винаходу.

При цьому, якщо рідкий продукт є фруктовим соком, задана первинна концентрація може становити від 40° до 60° Брікса (рекомендоване значення - близько 50° Брікса), а кінцева концентрація - мінімум 70° Брікса. Необхідно, щоб при стандартній для фруктового соку початкової концентрації 10° Брікса об'ємний потік між входом першого випарного блока та виходом першого випарного блока знижувався майже вдесятеро, а у другому випарному блоці необхідно досягти зниження об'ємного потоку менше ніж втричі.

Ці числа показують, що механічна компресія сокової пари у першому випарному блоці фактично забезпечує виконання більшої частини процесу концентрування, в той час як значно менш енергоефективний другий випарний блок у порівнянні з іншими існуючими установками може бути значно меншим та споживати набагато менше енергії завдяки зменшеному об'ємному потоку.

Крім того, в установці, що є предметом цього винаходу, до фільтрувального та/або очищувального пристрою можна подавати напівконцентрат фруктового соку концентрацією від 15° до 25° Брікса (рекомендоване значення - близько 20° Брікса). Це значення є оптимальним для фільтрування попередньо сконцентрованого фруктового соку, оскільки забезпечує компроміс між зменшенням об'ємного потоку та недостатньою в'язкістю напівконцентрату. Слід нагадати, що завдяки попередній концентрації на ділянці для соку з м'якоттю з 10° Брікса до 20° Брікса об'ємний потік знижується приблизно вдвічі.

Крім того, перший випарний блок можна використовувати при зниженому тиску, бажано - при тиску кипіння від 250 мбар (0,25 МПа) до 1000 мбар (1,0 МПа) (рекомендоване значення - 600 мбар (0,60 МПа)). Це дозволяє досягти найбільш ефективного концентрування рідкого продукту, а також понизити точку кипіння рідкого продукту.

5 Інші переваги та особливості установки, що є предметом цього винаходу, приведені в описі нижче, що слід розглядати разом із фігурами, доданими до цього опису, на яких:

на фіг. 1 - перший варіант конструкції установки, яка є предметом цього винаходу, з одним випарним корпусом у першому випарному блоці;

10 на фіг. 2 - другий варіант конструкції установки, яка є предметом цього винаходу, з двома випарними корпусами у першому випарному блоці.

На фіг. 1 схематично показана конструкція установки для концентрування рідких продуктів, яка є предметом цього винаходу, насамперед, призначеної для концентрування фруктових соків, в цілому позначеної номером 10.

15 Продукт, який концентрується, надходить до установки 10 через пристрій 12 подання продукту, після цього потрапляє до підігрівача 14 для попереднього нагрівання, потім до описаного нижче попереднього конденсатора 24 ароматичних речовин і до першого теплообмінника 16, і врешті надходить до стерилізаційної установки 18, яка в свою чергу включає в себе два ступені теплообмінника 18а та 18b, та нагрівається першим джерелом пари 20. При цьому обидва ступені теплообмінника 18а та 18b працюють рекуперативно, щоб

20 продукт, розігрітий до температури стерилізації на другому ступені теплообмінника 18b, віддавав частину свого тепла холодному продукту, що надходить до першої ступені теплообмінника 18а (напряма позначено на фіг. 1 стрілкою 20а). Конденсат, що утворюється на другому ступені теплообмінника 18b, в подальшому надходить до описаного нижче першого випарного блока 22 (напряма позначено стрілкою 20b).

25 Після цього продукт, попередньо нагрітий описаним чином, потрапляє до першого випарного блока 22, схематично розділеного на ділянку 22а для рідини з м'якоттю та ділянку 22b для очищеної рідини, причому обидві ділянки знаходяться в одному випарному корпусі 22с. При цьому перший випарний блок 22 включає в себе кілька ступенів випарювання, окремо позначених на фіг. 1, причому частина ступенів випарювання призначена для ділянки 22а для

30 рідини з м'якоттю, а решта - для ділянки 22b для очищеної рідини. Кожен зі ступенів випарювання в цій конструкції утворений випарним апаратом з падаючою плівкою, який завдяки невеликому перепаду температури забезпечує найбільш ефективне концентрування рідин і тому є особливо придатним для концентрування рідких харчових продуктів.

35 При випарюванні рідкого продукту не лише утворюється сокова пара, а й у залежності від вихідного продукту з рідини можуть випарюватись леткі ароматичні речовини, які зріджують за допомогою вищезгаданого попереднього конденсатора 24 ароматичних речовин, та збирають в системі 26 вловлювання ароматичних речовин, після чого їх можна використовувати при подальшій обробці або розливати до тари. Як і підігрівач 14, перший теплообмінник 16 та стерилізаційна установка 18, попередній конденсатор 24 ароматичних речовин

40 використовується як ступінь попереднього нагрівання рідкого продукту, і тому він сконструйований у вигляді теплообмінника.

При проходженні рідкого продукту через ступені випарювання першого випарного блока 22, його концентрація та в'язкість постійно підвищуються. Оскільки рідини з підвищеною в'язкістю складніше фільтрувати, у відповідному місці першого випарного блока 22, що являє собою

45 перехід між ділянкою 22а для рідини з м'якоттю та ділянкою 22b для очищеної рідини, попередньо сконцентрована рідина відбирається за допомогою насоса 28 та подається до теплообмінника 30, де вона охолоджується холодною водою, що подається із джерела 32 холодної води, та описаною нижче відфільтрованою рідиною.

50 Після цього охолоджена попередньо сконцентрована рідина надходить до фільтрувальної станції 34, не зображеної на прикладених фігурах, у точці 34а. Після процесу фільтрування рідина, що тепер являє собою очищену рідину, виходить з фільтрувальної станції 34 у точці 34b і знову проходить через теплообмінник 30, де, як вже було зазначено, вона отримує частину тепла від рідини, що подається до фільтрувальної станції. Після цього очищена рідина потрапляє до ділянки 22b для очищеної рідини першого випарного блока 22, де знову

55 проходить кілька ступенів випарювання.

Все більш концентрована та в'язка очищена рідина подається між цими ступенями випарювання за допомогою відповідних насосів 36а та 36b, доки вона не досягне заданої попередньої концентрації, після чого за допомогою насоса 36с перекачується до описаного нижче другого випарного блока 52.

60 Перший випарний блок 22 має один сепаратор 38, до якого через відповідні з'єднувальні

- трубопроводи 38a та 38b надходить сокова пара як із ділянки 22a для рідини з м'якоттю, так і з ділянки 22b для очищеної рідини першого випарного блока 22, причому допускається змішування сокової пари з обох джерел. У сепараторі 38 змішана сокова пара очищується від краплинок продукту та подається до механічного компресора 40 сокової пари, який є компресором, що приводиться в дію мотором. Цей механічний компресор 40 сокової пари стискує сокову пару, підвищуючи таким чином її енергомісткість, тиск та температуру, а потім подає її через трубопроводи 42a та 42b для сокової пари до камери нагрівання ділянки 22a для рідини з м'якоттю або камери нагрівання ділянки для очищеної рідини першого випарного блока 22 для нагрівання.
- При цьому трубопровід 42a для сокової пари, що веде до ділянки 22a для рідини з м'якоттю, оснащений дросельним клапаном 44, що дозволяє регулювати співвідношення тепла, що подається до ділянки 22a для рідини з м'якоттю та до ділянки 22b для очищеної рідини. Конденсат, що утворюється у першому випарному блоці 22, подається по першому трубопроводу 46a для конденсату до бака 46 для конденсату, а звідти за допомогою насоса 48 для конденсату відкачується до вищеописаного першого теплообмінника 16 для використання частини тепла конденсату для попереднього нагріву рідкого продукту до потрапляння до першого випарного блока 22. Після виходу з теплообмінника 16 конденсат може виводитися з установки як відпрацьована вода, позначена позицією 50.
- Як було згадано вище, концентрована рідина подається з першого випарного блока 22 насосом 36с до другого випарного блока 52. Цей другий випарний блок 52 у запропонованій конструкції складається з двох ступенів 52a та 52b випарювання, через які послідовно проходить очищена рідина, причому для її перекачування між першим ступенем 52a випарювання та другим ступенем 52b випарювання використовується насос 54. Другий випарний блок 52 нагрівається термічним компресором сокової пари 56, що живиться від джерела 58 пари. Можливе виконання з нагріванням другого випарного блока безпосередньо від пари з джерела 58 пари, без використання термічного компресора 56 сокової пари.
- У термічному компресорі 56 сокової пари гостра пара, що подається від джерела 58 пари, змішується з соковою парою першого ступеня 52a випарювання другого випарного блока 52, очищеною у сепараторі 60a, а потім надходить до першого ступеня 52a випарювання для його нагрівання. Другий ступінь 52b випарювання другого випарного блока 52 нагрівається надлишковим соковим паром сепаратора 60a, що не всмоктується термічним компресором 56 сокової пари.
- Другий ступінь 52b випарювання другого випарного блока 52 також має сепаратор 60b, причому сокова пара, що утворюється в ньому, подається до вищезазначеного першого підігрівача 14 для попереднього нагріву свіжого продукту, що надходить до установки. Крім того, сокова пара зі сепаратора 60b також подається до теплообмінника 62, де конденсується з використанням холодної води, що подається від джерела 64 холодної води.
- Конденсат, що утворюється в обох ступенях 52a та 52b випарювання другого випарного блока, також подається до бака 46 для конденсату, причому слід мати на увазі, що об'ємний потік конденсату, який утворюється у другому випарному блоці 52, значно менший, ніж об'ємний потік конденсату, який утворюється у першому випарному блоці 22.
- Після концентрування рідини до заданої кінцевої концентрації у другому ступені 52b випарювання другого випарного блока 52 вона подається до теплообмінника 68 через систему насосів 66. Оскільки рідина в кінцевій концентрації дуже в'язка, при проектуванні системи насосів 66 необхідно забезпечити її придатність для рідин з високою в'язкістю.
- У теплообміннику 68 концентрована рідина віддає частину тепла холодній воді, що подається від джерела холодної води 64, та яка в подальшому виводиться з установки у точці 70 та знову потрапляє до джерела холодної води 64. Потім на другому ступені теплообмінника 68 рідина охолоджується до кінцевої температури охолоджувальним агентом, наприклад, етиленгліколем, що циркулює в контурі охолодження 72, після чого її можна виводити з установки у вигляді концентрату, позначеного позицією 74. Необхідно також вказати на наявність вакуумного насоса 76, зображений лише схематично, необхідний для підтримання зниженого тиску у випарних блоках 22 та 52, що дозволяє знизити температуру кипіння рідкого продукту у випарних блоках 22 та 52.
- Другий варіант конструкції установки, що є предметом цього винаходу, показаний на фіг. 2, у сукупності позначений позицією 100 та відрізняється від першого варіанта конструкції на фіг. 1 в основному через будову першого випарного блока, що на фіг. 2 позначений позицією 122. Усі компоненти установки 100, аналогічні компонентам установки 10 на фіг. 1, позначені такими самими позиціями, для інформації про них дивись опис компонентів на фіг. 1.
- Перший випарний блок 122 установки на фіг. 2 має два окремі випарні корпуси 122a та 122b,

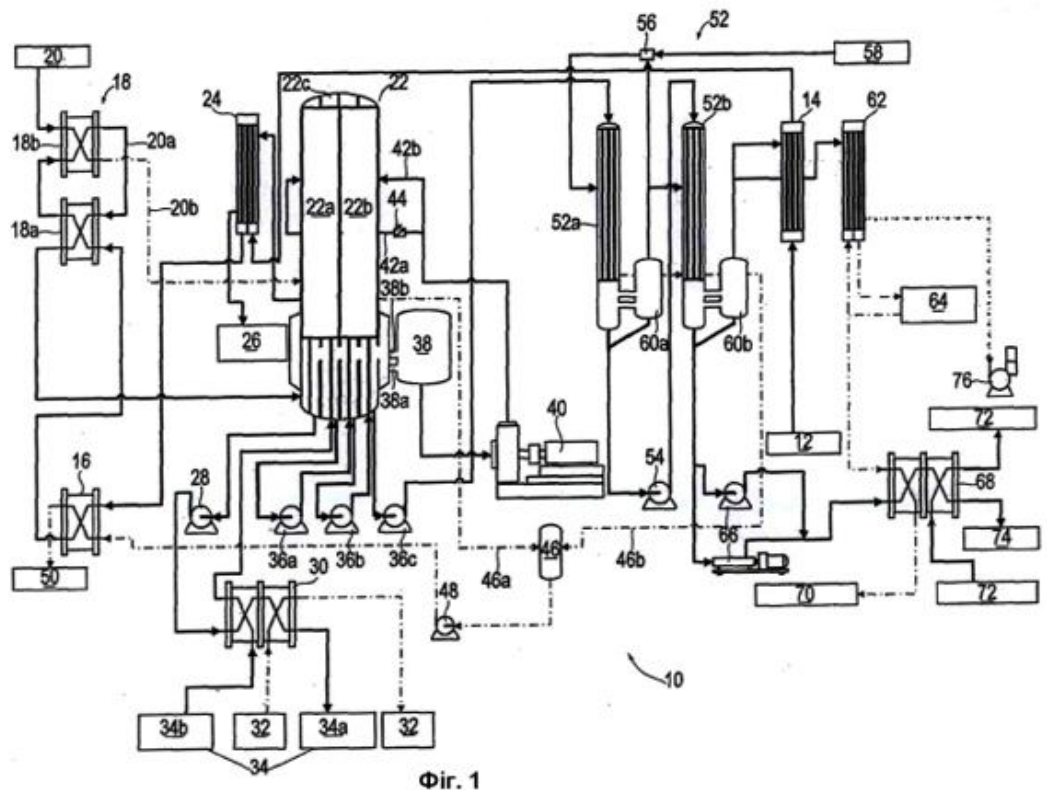
функція яких у значній мірі співпадає з функцією ділянки 22a для рідини з м'якоттю та ділянки 22b для очищеної рідини першого варіанта конструкції, однак випарні корпуси просторово відокремлені один від іншого. Обидва випарні корпуси 122a та 122b нагріваються одним механічним компресором 40 сокової пари, процес нагрівання аналогічний процесу для фіг. 1.

- 5 Однак обидва випарні корпуси 122a та 122b конструктивно відокремлені один від одного, що спрощує герметичне відокремлення рідини з м'якоттю й очищеної рідини у порівнянні з використанням загального випарного корпусу 22c.
- 10 Також необхідно зазначити, що, оскільки випарні корпуси 122a та 122b відокремлені один від іншого, вони також мають окремі сепаратори 138a та 138b сокової пари, з яких очищена сокова пара через систему клапанів 139 надходить до механічного компресора 40 сокової пари. І нарешті, слід зазначити, що установка, показана на фіг. 2, використовує насос 128 для перекачування рідини з м'якоттю всередині першого випарного корпусу 122a, а насос 136a - для перекачування попередньо сконцентрованої рідини з м'якоттю, що надходить з першого випарного корпусу 122a, через теплообмінник 30, як описано вище щодо фільтрувальної системи 34.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- 20 1. Установка для концентрування рідких продуктів, що містять задану речовину, таку як цукор, насамперед для концентрування фруктових соків, таких як яблучний сік, що включає: два послідовно розташовані випарні блоки (22, 52; 122), де перший випарний блок (22; 122) призначений для концентрування рідкого продукту до заданої первинної концентрації заданої речовини, а другий випарний блок (52) призначений для подальшого концентрування рідкого продукту до заданої кінцевої концентрації заданої речовини, при цьому принаймні перший
- 25 випарний блок (22; 122) складається з кількох ступенів випарювання; два нагрівачі (40, 56), перший з яких призначений для нагрівання першого випарного блока (22; 122), а другий - для нагрівання другого випарного блока (52), причому принаймні перший нагрівач (40) має механічний компресор сокової пари (40); і
- 30 принаймні один фільтрувальний та/або очищувальний пристрій (34), яка **відрізняється** тим, що фільтрувальний та/або очищувальний пристрій (34) встановлений на шляху потоку рідкого продукту та розташований між двома ступенями випарювання першого випарного блока (22; 122), поділяючи перший випарний блок (22; 122) на ділянку (22a; 122a) для рідини з м'якоттю та ділянку (22b; 122b) для очищеної рідини.
- 35 2. Установка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що другий нагрівач (56) має термічний компресор (56) сокової пари або пристрій для обігріву гострою парою.
3. Установка за п. 1 або п. 2, яка **відрізняється** тим, що для нагрівання першого випарного блока (22; 122) передбачений виключно механічний компресор (40) сокової пари.
4. Установка за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що принаймні декілька зі ступенів випарювання першого випарного блока (22), переважно усі ступені випарювання
- 40 першого випарного блока (22), розташовані в одному випарному корпусі (22c).
5. Установка за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що другий випарний блок (52) також має декілька ступенів (52a, 52b) випарювання.
6. Установка за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що перший випарний блок (22) має окремий сепаратор (38) сокової пари, під'єднаний до механічного компресора (40)
- 45 сокової пари зі сторони виходу.
7. Установка за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що механічний компресор (40) сокової пари зі сторони виходу під'єднаний як до ділянки (22a; 122a) для рідини з м'якоттю, так і до ділянки (22b; 122b) для очищеної рідини першого випарного блока (22; 122), причому принаймні один із трубопроводів (42a, 42b) має можливість дроселювання.
- 50 8. Установка за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що принаймні один зі ступенів випарювання одного з двох випарних блоків (22, 52; 122) включає в себе випарний апарат з падаючою плівкою.
9. Установка за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що у напрямку потоку рідкого продукту перед першим випарним блоком (22; 122) розміщений принаймні один
- 55 теплообмінник (14, 16, 24), призначений переважно для використання відхідного тепла другого випарного блока (52) та/або системи вловлювання ароматичних речовин (24, 26) та/або конденсату першого випарного блока (22; 122).
10. Установка за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що у напрямку потоку рідкого продукту перед першим випарним блоком (22; 122) передбачена стерилізаційна
- 60 установка (18).

11. Установка за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що включає в себе вакуумний насос (76), призначений для створення зниженого тиску принаймні у першому випарному блоці (22; 122).
- 5 12. Спосіб концентрування рідких продуктів, що містять задану речовину, таку як цукор, насамперед концентрування фруктових соків, таких як яблучний сік, який **відрізняється** тим, що використовують установку за пп. 1-10.
13. Спосіб за п. 12, який **відрізняється** тим, що рідкий продукт є фруктовим соком, причому задана первинна концентрація становить від 40° до 60° Брікса, переважно близько 50° Брікса, а кінцева концентрація - щонайменше 70° Брікса.
- 10 14. Спосіб за п. 13, який **відрізняється** тим, що до фільтрувального та/або очищувального пристрою подають напівконцентрат фруктового соку концентрацією від 15° до 25° Брікса, переважно близько 20° Брікса.
15. Спосіб за пп. 12-14, який **відрізняється** тим, що перший випарний блок (22; 122) використовують при зниженому тиску, переважно при тиску кипіння від 250 до 1000 мбар, більш переважно при 600 мбар.



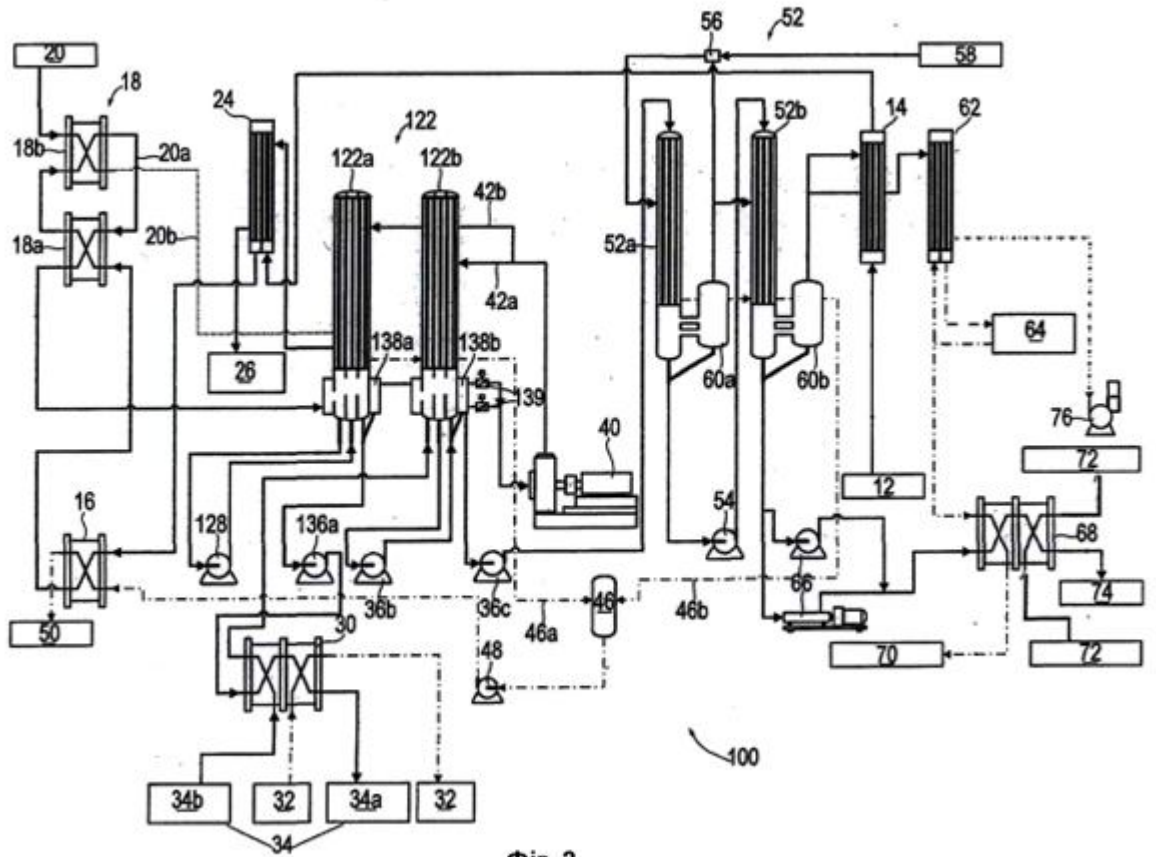


Fig. 2



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **147576** (13) **U**  
(51) МПК (2021.01)  
**B01D 9/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2021 00269</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Радовенчик Ярослав Вячеславович (UA), Гомеля Микола Дмитрович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>25.01.2021</b>	<b>(73)</b> Володілець (володільці): <b>Радовенчик Ярослав Вячеславович, вул. Л. Українки, 1-б, смт Ворзель, Київська обл., 01133 (UA), Гомеля Микола Дмитрович, вул. Закревського, 13, кв. 138, м. Київ, 02217 (UA)</b>
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>20.05.2021</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>19.05.2021, Бюл.№ 20</b>	

**(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНЦЕНТРУВАННЯ РОЗЧИНІВ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЇ РЕЧОВИН**

**(57) Реферат:**

Пристрій для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин шляхом інтенсифікації випаровування з допомогою гідрофільної тканини, натягнутої на спеціальний каркас і зануреної нижнім кінцем у рідку фазу. Поверхня випаровування сформована із кількох шарів тканини різної висоти для підвищення інтенсивності процесу випаровування, відділених один від одного непроникними для рідкої фази перегородками.

UA 147576 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до техніки проведення тепло- і масообмінних процесів, а саме випаровування рідких середовищ (розчинів, суспензій, рідин і т.і.) та кристалізації з них твердої фази, і може бути використана в хімічній, нафтохімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості, в комунальному господарстві та в інших різних технологічних процесах.

5 Традиційні способи проведення тепло- і масообмінних процесів для концентрування розчинів та кристалізації речовин включають електродіаліз, зворотній осмос, виморожування чи випаровування (Грабовська Л.Л. Методи очистки і контролю якості води [Електронний ресурс] / Л.Л. Грабовська. - Режим доступу: [http://lubbook.net/book\\_530.html](http://lubbook.net/book_530.html)). Найбільш суттєвим недоліком перерахованих способів є складність обладнання для реалізації технологічного процесу, значні витрати матеріалів та енергії в процесі експлуатації обладнання, низька продуктивність обладнання.

10 Найближчим аналогом є пристрій для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин шляхом інтенсифікації випаровування з допомогою гідрофільної тканини, натягнутої на спеціальний каркас і зануреної нижнім кінцем у рідку фазу (Михайловська М.В. Знешкодження екологічно небезпечних рідких відходів коксохімічних виробництв. - Дис. кандидата техн. наук. - К., 2010. - 164 с.). Під дією сил поверхневого натягу рідка фаза піднімається по порах, сформованих волокнами тканини, випаровується та дозволяє концентрувати розчини чи проводити кристалізацію наявних в них речовин. При цьому рівень тканини над водою визначено в 15 см, що суттєво обмежує площу випаровування та продуктивність пристрою. Така висота шару тканини зумовлена тим фактом, що навіть при температурах навколишнього середовища близько 20 °С вся рідка фаза, що забирається із ємкості, випаровується в тканині при транспортуванні по капілярах у верхню її частину.

В основу корисної моделі поставлена задача розробити ефективний, продуктивний, простий та дешевий пристрій для регулювання інтенсивності концентрування розчинів чи кристалізації наявних в них речовин.

25 Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин шляхом інтенсифікації випаровування з допомогою гідрофільної тканини, натягнутої на спеціальний каркас і зануреної нижнім кінцем у рідку фазу. Поверхня випаровування сформована із кількох шарів тканини різної висоти для підвищення інтенсивності процесу випаровування, відділених один від одного непроникними для рідкої фази перегородками.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

На фіг. 1 зображено схему багатшарового пристрою для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин.

35 На фіг. 2 зображено результат використання такого пристрою в реальних умовах.

Пристрій працює наступним чином. На каркас круглого чи квадратного перерізу 1 (фіг. 1) намотується кілька шарів гідрофільної тканини 2, розділених непроникними для рідкої фази перегородками 3. Вся конструкція нижнім кінцем встановлюється в ємність з розчином 4 чи природну водойму. Для забезпечення вільного доступу рідкої фази до кожного шару, в нижній частині шари зміщені один відносно одного. У верхній частині шари тканини також піднімаються на різну висоту, що формує зону випаровування для кожного шару. Таким чином, пори кожного шару тканини транспортують рідку фазу лише до своєї зони випаровування, що дозволяє суттєво збільшити загальну площу випаровування, а значить і інтенсивність концентрування розчинів та кристалізації речовин, що в них містяться. Зовнішній шар від навколишнього середовища не ізолюється. Інтенсивність випаровування рідкої фази можливо регулювати також за рахунок зміни товщини кожного шару тканини. При збільшенні товщини в зону випаровування буде транспортуватися більше рідкої фази, що зумовить підвищення продуктивності пристосування.

50 Приклад. Для підтвердження працездатності пристрою на пластикову трубку зовнішнім діаметром 50 мм було намотано 4 шари бавовняної тканини товщиною 1 мм. Зовнішній шар мав висоту 20 см, всі наступні - на 10 см довші. Між шарами тканини було намотано 5 шарів поліетиленової плівки товщиною 20 мкм. Таким чином загальна площа випаровування збільшувалася у 2,5 рази в порівнянні із одношаровою конструкцією. Всі шари нерухомо закріплювалися на трубці з допомогою гумових кілець. Нижній кінець пристрою занурювався у ємність з розчином хлориду натрію концентрацією 100 г/дм<sup>3</sup>. Зібрана конструкція розміщувалася в захищеному від сонця місці на відкритому повітрі. Протягом періоду випробувань (10 діб) середня добова температура змінювалася в межах 21-27 °С, середньодобова швидкість вітру - в межах 2,45-4,06 м/с. Встановлено, що у вказаному діапазоні температур та швидкостей вітру пристрій випаровував щодоби 103-240 см<sup>3</sup> розчину. В сумі за 10 діб було випаровано 1740 см<sup>3</sup>

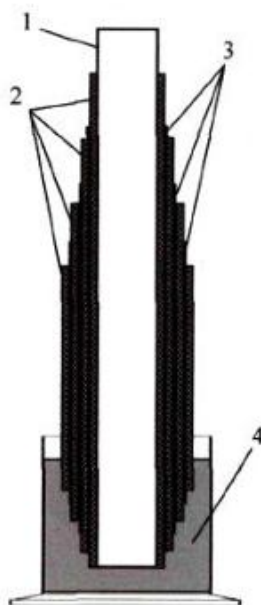
розчину і на поверхні зон випаровування кристалізувалося біля 155 г твердого хлориду натрію (фіг. 2).

Описаний пристрій дозволяє проводити ефективне випаровування рідкої фази із мінімальними капітальними та експлуатаційними затратами.

5

## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

10 Пристрій для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин шляхом інтенсифікації випаровування з допомогою гідрофільної тканини, натягнутої на спеціальний каркас і зануреної нижнім кінцем у рідку фазу, який **відрізняється** тим, що поверхня випаровування сформована із кількох шарів тканини різної висоти для підвищення інтенсивності процесу випаровування, відділених один від одного непроникними для рідкої фази перегородками.



Фиг. 1



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **127579** (13) **C2**  
(51) МПК (2023.01)  
**B01D 9/00**  
**B01D 9/02** (2006.01)  
**B01D 1/06** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2021 03143</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Радовенчик Ярослав Вячеславович (UA), Гомеля Микола Дмитрович (UA), Радовенчик Вячеслав Михайлович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>08.06.2021</b>	<b>(73)</b> Володілець (володільці): <b>Радовенчик Ярослав Вячеславович, вул. Л. Українки, 1-б, смт Ворзель, Київська обл., 01133 (UA), Гомеля Микола Дмитрович, вул. Закревського, 13, кв. 138, м. Київ, 02217 (UA), Радовенчик Вячеслав Михайлович, вул. Ростовського, 14, смт Макарів, Київська обл., 08000 (UA)</b>
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>19.10.2023</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: <b>UA 147576 U, 19.05.2021 SU 1349768 A1, 07.11.1987 CN 202715268 U, 06.02.2013 CN 2018079866 U, 19.03.2019 CN 109224500 A, 18.01.2019 CN 208031927 U, 08.07.2015</b>
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заяву: <b>11.01.2023, Бюл.№ 2</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>18.10.2023, Бюл.№ 42</b>	

**(54) МОДУЛЬ ДЛЯ КОНЦЕНТРУВАННЯ РОЗЧИНІВ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЇ НАЯВНИХ В НИХ РЕЧОВИН****(57)** Реферат:

Винахід належить до техніки проведення тепло- і масообмінних процесів, а саме випаровування рідких середовищ та кристалізації з них твердої фази і може бути використаний в хімічній, нафтохімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості, в комунальному господарстві та в інших технологічних процесах. Модуль для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин, що містить стійки, на яких встановлено верхній та нижній піддони, між якими розташовані спеціальні каркаси, на яких натягнута гідрофільна тканина, виконаний з можливістю подання рідкої фази у верхню частину гідрофільної тканини. Модуль характеризується тим, що містить капілярно-сифонний пристрій, розміщений у верхньому піддоні та виконаний у вигляді полотнища із шарів гідрофільної тканини, сформованого у П-подібній формі та приведенного в контакт з рукавом із тканини, з можливістю подання розчину на тканинне полотно, а спеціальні каркаси мають круглий переріз. Пристрій дозволяє проводити ефективно випаровування рідкої фази із мінімальними капітальними та експлуатаційними затратами та можливістю постійної регенерації тканинного полотна.

UA 127579 C2

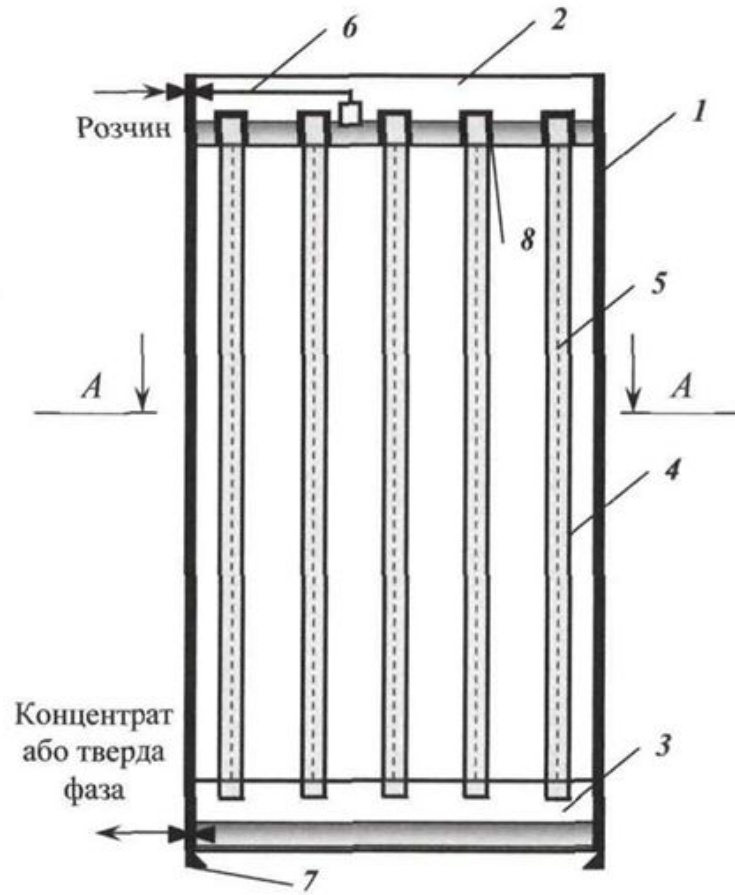


Fig. 1

Винахід належить до техніки проведення тепло - і масообмінних процесів, а саме упарювання рідких середовищ (розчинів, суспензій, рідин і т.і.) та кристалізації з них твердої фази і може бути використаний в хімічній, нафтохімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості, в комунальному господарстві та в інших технологічних процесах.

5 Традиційні способи проведення тепло- і масообмінних процесів для концентрування розчинів та кристалізації речовин включають електродіаліз, зворотній осмос, виморожування чи випарювання [Грабовська Л.Л. Методи очистки і контролю якості води [Електронний ресурс] / Л.Л. Грабовська. - Режим доступу: [http://lubbook.net/book\\_530.html](http://lubbook.net/book_530.html)]. Найбільш суттєвим недоліком перерахованих способів є складність обладнання для реалізації технологічного процесу, значні витрати матеріалів та енергії в процесі експлуатації обладнання, низька продуктивність обладнання. Останнім часом все частіше звертається увага на використання природних джерел енергії - сонячного випромінювання та вітру. Найпростішим способом реалізації такого підходу є влаштування штучних чи використання природних водойм глибиною 25-45 см та насос для перекачування розсолу [Ahmed M., Shaaya W., Hoey D. Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants/Desalination, 130, (2000) - p. 155-168]. Такі споруди досить легко облаштувати, вони потребують мінімальну кількість експлуатаційних витрат та практично не потребують складного обслуговування. Випарювання відбувається природним шляхом завдяки енергії Сонця та вітру. Простота технології, низька вартість випарювання води та можливість реалізації на її основі систем значної продуктивності роблять технологію випарювання розсолів сонячною енергією досить перспективною та популярною. Разом з тим, інтенсивність випарювання за таких умов досить низька і потужні системи потребують водойм із значною площею дзеркала.

Найближчим за технічною суттю до винаходу є модуль для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин шляхом інтенсифікації випарювання з допомогою гідрофільної тканини, натягнутої на спеціальний каркас, у верхню частину якої подається рідка фаза [Murray B., McMinn D. and Gilron J (2015) Waiv technology: An alternative solution for brine management: Results of a full-scale demonstration trial conducted at a location near Roma in Queensland. - Journal of the Australian Water Association, vol. 42 - № 5 - pp. 77-83. [https://issuu.com/australianwater/docs/water\\_journal\\_august\\_2015](https://issuu.com/australianwater/docs/water_journal_august_2015)]. Під дією сил земного тяжіння по поверхні та порах тканини рідина стікає вниз, випаровується та дозволяє концентрувати розчини чи проводити кристалізацію наявних в них речовин. При цьому для розпилювання рідини чи її зволоження необхідно витратити значну кількість енергії. Крім цього, така конструкція сприяє рознесенню потоками повітря дрібних крапель розчину на десятки метрів та забруднення ґрунтів прилеглих територій, важко піддається оперативному регулюванню та відрізняється значною парусністю.

В основу винаходу поставлена задача розробити ефективний, продуктивний, простий та дешевий модуль для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин з можливістю простого оперативного регулювання кількості рідини, що надходить до тканини, відсутністю виносу крапель розчину за межі модуля і низькою парусністю.

40 Поставлена задача вирішується тим, що в модулі для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин шляхом інтенсифікації випарювання з допомогою гідрофільної тканини, натягнутої на спеціальний каркас, у верхню частину якої подається рідка фаза, для забезпечення простого оперативного регулювання кількості рідини, що надходить до тканини, попередження виносу крапель розчину за межі модуля і підтримання низької парусності розчин подається на тканинні полотна з допомогою капілярно-сифонного пристрою, а тканина натягнута на спеціальні каркаси круглого перерізу.

Заявлений модуль для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин шляхом інтенсифікації випарювання з допомогою гідрофільної тканини, натягнутої на спеціальний каркас, зображений на кресленнях, де:

50 - на фіг. 1 зображено конструкцію модуля для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин, відповідно до якої 1 - стійки; 2 - верхній піддон; 3 - нижній піддон; 4 - рукав із тканини; 5 - каркас із пластикової сітки; 6 - поплавковий кран; 7 - опори з можливістю регулювання; 8 - регулятор швидкості рідини.

55 - на фіг. 2 зображено поперечний переріз модуля для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин.

- на фіг. 3 зображено конструкцію регулятора швидкості рідкої фази у випарювачі.

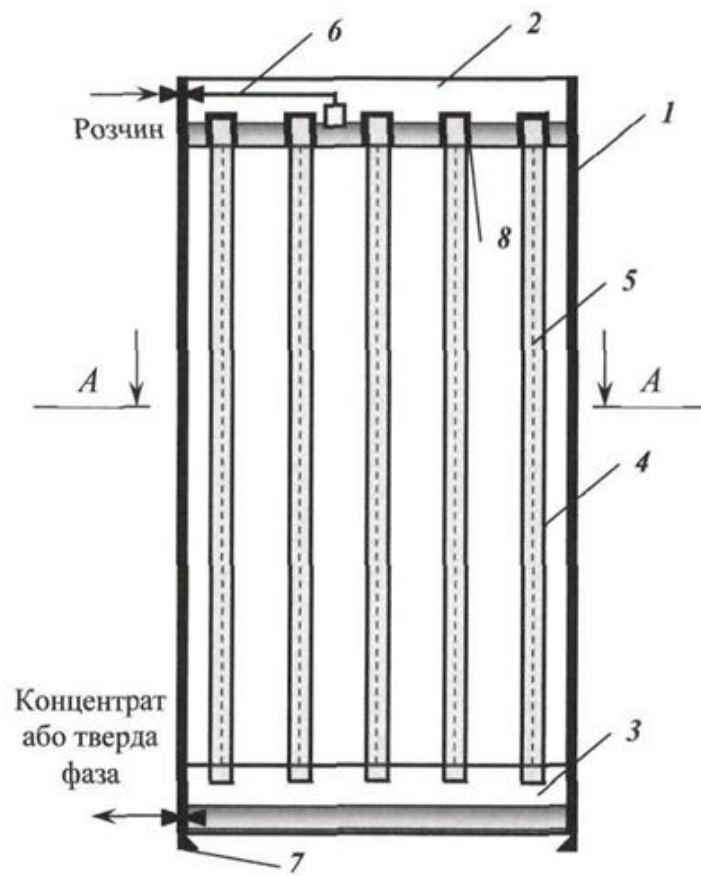
60 Модуль працює наступним чином. Випарний модуль представляє собою 4 стійки 1, на котрих встановлено верхній 2 та нижній 3 піддони. Нижній модуль обладнаний краном для зливу концентрату або дверцятами для видалення сформованих кристалів. На верхньому піддоні влаштовано патрубки діаметром  $d$  кожний з відстанню між ними  $a$  (фіг. 2). Для

підтримання постійного рівня рідкої фази верхній піддон обладнано поплавковим краном 6. Для спрощення конструкції модуля розчин подається із буферної ємкості, куди закачується насосом. До патрубків верхнього піддону з допомогою хомутів приєднано тканинні рукави 4 з каркасом із пластикової сітки 5. Оскільки для модуля важливо забезпечення однакового рівня рідкої фази на всій площі, вся конструкція встановлюється на регульовані опори 7. Робота модуля може бути організована в двох режимах. Перший режим передбачає часткове випарювання рідкої фази та повернення в нижній піддон 3 більш концентрованого розчину, котрий повторно пропускається через модуль чи утилізується іншим методом. Другий режим передбачає повне випарювання рідкої фази та накопичення в нижньому піддоні 3 сформованих кристалів. Для забезпечення заданої швидкості подачі рідкої фази на рукав із тканини 4 використовується оригінальний пристрій капілярно-сифонного типу (фіг. 3). Регулятор швидкості рідкої фази представляє собою полотнище 2 із відповідної кількості шарів гідрофільної тканини, сформоване у  $\cap$ -подібній формі. Під дією капілярних сил рідка фаза заповнює пори тканини і на основі сифонного ефекту опускається в нижню частину, де контактує із рукавом із тканини 3. Регулювання швидкості переміщення рідини можливо виконувати двома способами. Перший спосіб пов'язаний із зміною товщини полотнища 2, тобто, формування полотнища із відповідної кількості шарів тканини. Другий спосіб пов'язаний із регулюванням рівня рідкої фази у верхньому піддоні  $h$  (фіг. 3). Із збільшенням параметра  $h$  інтенсивність транспортування рідини знижується і навпаки. В процесі роботи необхідний для забезпечення першого чи другого режиму рівень рідкої фази встановлюється поплавковим краном. При цьому встановлений рівень при заповненні буферної ємкості підтримується автоматично. Постійного обслуговування модуль не потребує. Всі елементи бажано виконуються із корозійностійких матеріалів. Таким чином забезпечується можливість простого оперативного регулювання кількості рідини, що надходить до тканини, гарантується відсутність виводу крапель розчину за межі модуля і забезпечується низька парусність самого модуля.

Приклад. Проведені нами експерименти на дослідній установці (фіг. 1) повністю підтвердили наведені вище висновки. Так, при середньодобовій температурі в  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , концентрації хлориду натрію  $100\text{ г/дм}^3$ , тканинному рукаві із трьох шарів бавовни товщиною  $0,15\text{ мм}$  інтенсивність випаровування склала  $3,91\text{ дм}^3/\text{м}^2$  добу, а для модуля з параметрами  $a=b=1,0\text{ м}$ ,  $x=d=0,1\text{ м}$  та висотою  $2\text{ м}$  об'єм випарованої рідини склав  $123\text{ дм}^3/\text{добу}$ .

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Модуль для концентрування розчинів та кристалізації наявних в них речовин, що містить стійки, на яких встановлено верхній та нижній піддони, між якими розташовані спеціальні каркаси, на яких натягнута гідрофільна тканина, і виконаний з можливістю подання рідкої фази у верхню частину гідрофільної тканини, який **відрізняється** тим, що містить капілярно-сифонний пристрій, розміщений у верхньому піддоні та виконаний у вигляді полотнища із шарів гідрофільної тканини, сформованого у  $\cap$ -подібній формі та приведенного в контакт з рукавом із тканини, з можливістю подання розчину на тканинні полотна, а спеціальні каркаси мають круглий переріз.



Фиг. 1

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОНЦЕНТРАТОРА БЛОЧНОГО ВИМОРОЖУВАННЯ.

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

Початковими даними для розрахунку є

Продуктивність по виморожені воді –  $G_1=10$  кг/год= $2,78 \cdot 10^{-3}$  кг/с

Початкова концентрація яблучного соку –  $a= 12\%$ .

Кінцева концентрація яблучного соку –  $b=45 \%$ .

#### 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 яблучного соку до криоскопічної температури, Вт

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

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

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

Витрати теплової енергії на охолодження визначається з рівняння

$$Q_1 = G_1 \cdot c(t_{п} - t_{кр}) = 2,78 \cdot 10^{-3} \cdot 3726(20 - (-1)) = 217,6 \text{ Вт} \quad (4.3)$$

де:  $c=3726$  Дж/(кг К) – питома теплоємність продукту [6].

Витрати теплової енергії на заморожування соку визначаємо за рівнянням

$$Q_2 = W \cdot r = 2,78 \cdot 10^{-3} \cdot 332 \cdot 10^3 = 922, \text{ Вт} \quad (4.4)$$

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

$$Q_3 = G_{л}c_{л}(t_{кр} - t_{к}) = 2,78 \cdot 10^{-3} \cdot 2140 \cdot (-1 - (-12)) = 65,4 \text{ Вт} \quad (4.5)$$

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

Таким чином загальний тепловий потік складає

$$Q_{заг} = 1,04 \cdot (217,6 + 922 + 65,4) = 1253 \text{ Вт}$$

Вибираємо компресорно – конденсаційний агрегат Tecumseh Europe CAJ 9510 ZMHR потужністю 1327 Вт при температурі кипіння –  $15^{\circ}\text{C}$ , температурі конденсації  $55^{\circ}\text{C}$ , холодоагент – R-404.

Для визначення температурного напору будуємо температурну епюру.

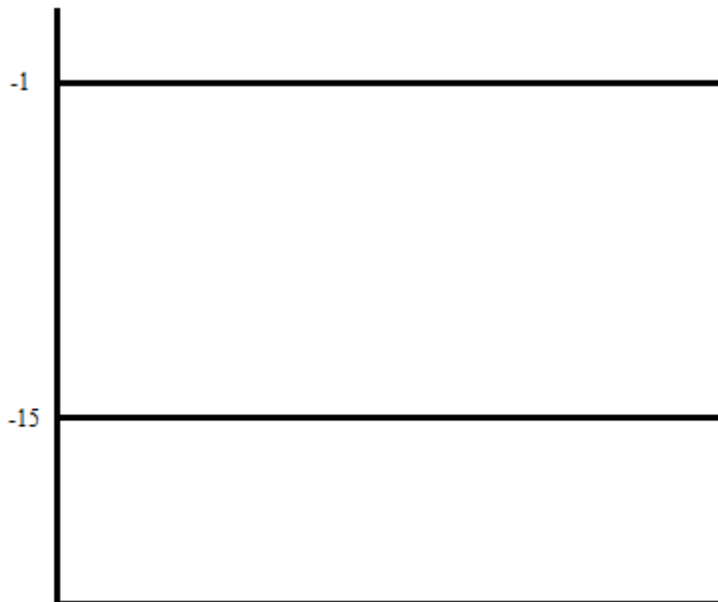


Рис.4.1.

Температурна епюра кристалізатора.

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

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо з наступної формули

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

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  $10^3 < Gr Pr < 10^9$

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

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 яблучного соку яка складає – 1 °С.

За цією температурою визначаємо теплофізичні властивості яблучного соку [6].

Густина –  $\rho=1048$  кг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт теплопровідності –  $\lambda=0,521$  Вт/мК.

Динамічна в'язкість –  $\mu= 1640 \cdot 10^{-6}$  Па с

Питома теплоємність –  $c=3726$  Дж/(кгК)

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

Коефіцієнт кінематичної в'язкості –  $\nu = 1,56 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с

Прискорення вільного падіння –  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>;

Різниця між температурами теплоносія і стінки –  $\Delta t=6$  °С;

Знаючи ці параметри розраховуємо відповідні критерії

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} = \frac{3726 \cdot 1640 \cdot 10^{-6}}{0,521} = 11,7$$

$$Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 0,35^3 \cdot 0,64 \cdot 10^{-4} \cdot 6}{(1,56 \cdot 10^{-6})^2} = 66367455$$

Тоді

$$Gr \cdot Pr = 66367455 \cdot 11,7 = 7,76 \cdot 10^8 > 10^3$$

Таким чином

$$\begin{aligned} Nu &= 0,76(GrPr)^{0,25}(Pr/Pr_{ст})^{0,25} = \\ &= 0,76 \cdot (7,76 \cdot 10^8)^{0,25} \cdot \left(\frac{11,7}{13,1}\right)^{0,25} = 123,4 \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} = \frac{123,4 \cdot 0,521}{0,35} = 183,6 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Визначення коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2$  від стінки до холодного теплоносія (холодоагент R404a) не можливо, у зв'язку з відсутністю даних по теплофізичні властивості холодильного агенту. Тому з літератури [7] приймаємо коефіцієнт тепловіддачі для занурювального випарника  $\alpha_2=800$  Вт/(м<sup>2</sup>К).

Тоді коефіцієнт теплопередачі буде

$$k = \frac{1}{\frac{1}{183,6} + \frac{0,001}{46} + \frac{0,025}{2,33} + \frac{1}{800}} = 57,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхня теплообміну

$$F = \frac{1253,4}{57,3 \cdot 14} = 1,56 \text{ м}^2$$

Кількість кристалізаторів:

$$n = \frac{1,56}{0,25 \cdot 0,4 \cdot 2} = 7,8 \text{ приймаємо кількість кристалізаторів} - 8$$

#### 4.3 Розрахунок на міцність.

4.3.1 Розрахунок апаратів що знаходяться під дією внутрішнього тиску газу, з врахуванням сполучення оболонок [8]

Загальні положення

Товщину стінок циліндричних деталей апаратів знаходять за формулою

$$\delta = \frac{p \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \beta [\sigma] - p} + \delta_c \quad (4.17)$$

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 загорвання;

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

$$\Delta_K^P + \Delta_K^{P_0} + \Delta_K^{M_0} = \Delta_D^P + \Delta_D^{P_0 - P} + \Delta_D^{M_0} \quad (4.18)$$

$$\Theta_K^P + \Theta_K^{P_0} + \Theta_K^{M_0} = \Theta_D^P + \Theta_D^{P_0 - P} + \Theta_D^{M_0} \quad (4.19)$$

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:

$$\begin{cases} S_{ц} = S_{ц}^p + S_{ц}^{p_0} + S_{ц}^{M_0} \\ T_{ц} = T_{ц}^p + T_{ц}^{p_0} + T_{ц}^{M_0} \\ M_{ц} = M_{ц}^p + M_{ц}^{p_0} + M_{ц}^{M_0} \\ K_{ц} = K_{ц}^p + K_{ц}^{p_0} + K_{ц}^{M_0} \end{cases} \quad (4.20)$$

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

$$\sigma_s = S/\delta \pm 6 \cdot M/\delta^2 \quad \sigma_t = T/\delta \pm 6 \cdot K/\delta^2 \quad (4.21)$$

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

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_1^2 - \sigma_2 \cdot \sigma_1} \leq [\sigma] \quad (4.22)$$

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:

$$\begin{cases} S_{\text{ц}}^p = 0,5 \cdot p \cdot r; & T_{\text{ц}}^p = p \cdot r \\ \Delta_{\text{к}}^p = -(2 - \mu)p \cdot \frac{r^2}{2 \cdot \delta \cdot E} & \Theta_{\text{ц}}^p = 0 \end{cases} \quad (4.23)$$

Для вільного краю конічної оболонки

$$\begin{cases} S_{\text{к}}^p = 0,5 \cdot p \cdot r_0 / \cos \alpha; & T_{\text{к}}^p = p \cdot r_0 / \cos \alpha \\ \Delta_{\text{к}}^p = -(1 - \mu)p \cdot \frac{r_0^2}{\delta \cdot E \cdot \cos \alpha} \\ \Theta_{\text{к}}^p = -(p \cdot r_0)(1 - \mu) / (\delta \cdot E \cdot \cos \alpha) \end{cases} \quad (4.24)$$

Для вільного краю сферичної оболонки

$$\begin{cases} S_{\text{с}}^p = T_{\text{с}}^p = 0,5 \cdot p \cdot R \\ \Delta_{\text{с}}^p = -0,5 \cdot (1 - \mu)p \cdot R^2 (\sin \varphi_0) / (\delta \cdot E) \end{cases} \quad (4.25)$$

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 згасаючій знакозмінній хвилеподібній кривій, що характеризується коефіцієнтом згасання. Для циліндричної та сферичної оболонки коефіцієнти згасання дорівнюватимуть:

$$k_{\text{ц}} = \sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2) / \sqrt{r \cdot \delta}} \quad (4.26)$$

$$k_{\text{с}} = \sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2) / \sqrt{R / \delta}} \quad (4.27)$$

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 ( $x = 0$ )

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{ц}}^{p_0} &= 0; & T_{\text{ц}}^{p_0} &= 2 \cdot k_{\text{ц}} \cdot r \cdot P_0; & M_{\text{ц}}^{p_0} &= K_{\text{ц}}^{p_0} = 0; \\ \Delta_{\text{ц}}^{p_0} &= -2 \cdot k_{\text{ц}} \cdot r^2 \cdot P_0 / (\delta \cdot E); & \Theta_{\text{ц}}^{p_0} &= 2 \cdot k_{\text{ц}}^2 \cdot r^2 \cdot P_0 / (\delta \cdot E); \end{aligned} \right\} \quad (4.28)$$

На відстані  $x_1$  від краю

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{ц}1}^{p_0} &= 0; & T_{\text{ц}1}^{p_0} &= 0,322 \cdot T_{\text{ц}}^{p_0}; & M_{\text{ц}1}^{p_0} &= 0,322 \cdot P_0 / k_{\text{ц}}; \\ K_{\text{ц}}^{p_0} &= \mu \cdot M_{\text{ц}1}^{p_0}; & \Delta_{\text{ц}1}^{p_0} &= 0,322 \cdot \Delta_{\text{ц}}^{p_0}; & \Theta_{\text{ц}1}^{p_0} &= 0,645 \cdot \Theta_{\text{ц}}^{p_0}; \end{aligned} \right\} \quad (4.29)$$

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

$$\left. \begin{aligned}
 P &= -S_K^p \cdot \sin\alpha; & S_K^{p_0-p} &= -(P_0 - P) \cdot \sin\alpha; \\
 T_K^{p_0-p} &= -2\sqrt[4]{3(1-\mu^2)} \sqrt{\left(\frac{r_0}{\delta}\right) \cos\alpha} (P_0 - P) \\
 M_K^{p_0-p} &= 0; & K_K^{p_0-p} &= 0 \\
 \Delta_K^{p_0-p} &= \left[2 \cdot r_0 \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} / (\delta \cdot E)\right] \sqrt{(r_0/\delta) \cos\alpha} (P_0 - P) \\
 \Theta_K^{p_0-p} &= \left[2 \cdot r_0 \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} / (\delta^2 \cdot E)\right] (P_0 - P)
 \end{aligned} \right\} \quad (4.30)$$

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:

$$\left. \begin{aligned}
 S_K^{M_0} &= 0; & T_K^{M_0} &= 2 \cdot M_0 \sqrt{3(1-\mu^2)} / \delta; & M_K^{M_0} &= M_0; \\
 K_K^{M_0} &= \mu \cdot M_0; & \Delta_K^{M_0} &= -2 \cdot r_0 \cdot M_0 \sqrt{3(1-\mu^2)} / (\delta^2 \cdot E) \\
 \Theta_K^{M_0} &= -4 \cdot M_0 \left[ \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} \right]^3 \sqrt{r_0 / (\delta \cos\alpha)} / (\delta^2 \cdot E)
 \end{aligned} \right\} \quad (4.31)$$

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

$$\left. \begin{aligned}
 P &= -S_c^p \cos\varphi_0; & S_c^{p_0-p} &= -(P_0 - P) \cdot \cos\varphi_0; \\
 T_c^{p_0-p} &= -2 \cdot k \cdot (P_0 - P) \cdot \sin\varphi_0; \\
 \Delta_c^{p_0-p} &= (2/\delta)(k_c/E)(P_0 - P) \cdot R \cdot \sin^2\varphi_0; \\
 \Theta_c^{p_0-p} &= (2/\delta)(k_c^2/E)(P_0 - P) \cdot \sin\varphi_0; \\
 M_c^{p_0-p} &= 0; & K_c^{p_0-p} &\approx -(D/R) \cdot \Theta_c^{p_0-p} \operatorname{ctg}\varphi_0;
 \end{aligned} \right\} \quad (4.32)$$

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:

$$\left. \begin{aligned} S_c^{M_0} &= 0; & T_c^{M_0} &= 2k_c^2 M_0 / R; & M_c^{M_0} &= M_0; \\ \Delta_c^{M_0} &= -[2k_c^2 / \delta \cdot E] M_0 \sin \varphi_0; & \Delta_c^{M_0} &= -[4k_c^3 / (\delta \cdot E \cdot R)] M_0; \end{aligned} \right\} \quad (4.33)$$

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

$$P_0 = \frac{p[1-\mu-(2-\mu)\sin\varphi_0]}{4k_{ц}(1+\sqrt{\sin\varphi_0})\sin\varphi_0} - \frac{pr}{2} \cdot \frac{\sqrt{\sin\varphi_0}}{1+\sqrt{\sin\varphi_0}} \operatorname{ctg}\varphi_0; \quad (4.34)$$

$$M_0 = \frac{pr}{4k_{ц}} \cdot \frac{\sqrt{\sin\varphi_0}}{1+\sqrt{\sin\varphi_0}} \operatorname{ctg}\varphi_0 \quad (4.35)$$

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

$$P_0 = -\frac{p}{8k_{ц}}; \quad M_0 = 0; \quad (4.36)$$

У разі сполучення циліндричного корпусу та плоского масивного днища:

$$P_0 = -\frac{p(2-\mu)}{2k_{ц}}; \quad M_0 = -\frac{p(2-\mu)}{4k_{ц}^2}; \quad (4.37)$$

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 перерізають, 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 перерізають, рівні

$$Q = 0,5 \cdot p \cdot r \quad (4.38)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= 0; \quad M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} p R^2 (3 + \mu); \\ f_0 &= 1,56 \cdot 10^{-2} p R^4 (5 + \mu) / [D(1 + \mu)]; \end{aligned} \right\} \quad (4.39)$$

при жорсткому закріпленні пластини за зовнішнім контуром

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= 0; \quad M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} p R^2 (1 + \mu); \\ f_0 &= 1,56 \cdot 10^{-2} p R^4 / D; \end{aligned} \right\} \quad (4.40)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R &= -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^3 / [D(1 + \mu)]; \quad M_{rR} = 0; \\ M_{tR} &= -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2 \cdot (1 - \mu); \quad f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.41)$$

при жорсткому її закріпленні за зовнішнім контуром

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R &= 0; \quad M_{rR} = -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2; \\ M_{tR} &= -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2 \cdot \mu; \quad f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.42)$$

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

$$\varphi_{max} = 2,41 \cdot 10^{-2} p \cdot R^3 / D \quad (4.43)$$

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

$$D = (E \cdot h^3 / 12) / (1 - \mu^2) \quad (4.44)$$

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

$$\sigma_r = \pm 6M_r / h^2; \quad \sigma_t = \pm 6M_t / h^2; \quad (4.45)$$

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 круглої пластинки (без отворів), виконаної з листового матеріалу і що знаходиться під дією рівномірно розподіленого по всій площі тиску, рекомендується розраховувати за формулою

$$h = 2 \cdot R \cdot K \sqrt{p / [\sigma]}, \quad (4.46)$$

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.

Розміри кристалізатора приведені на рис 4.2.

Матеріал – нержавіюча сталь 08X18H10, який має наступні властивості:

Межа міцності  $\sigma = 510$  МПа,

Модуль пружності  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа,

Коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,27$

Коефіцієнт запасу міцності  $n_B=3,5$ .

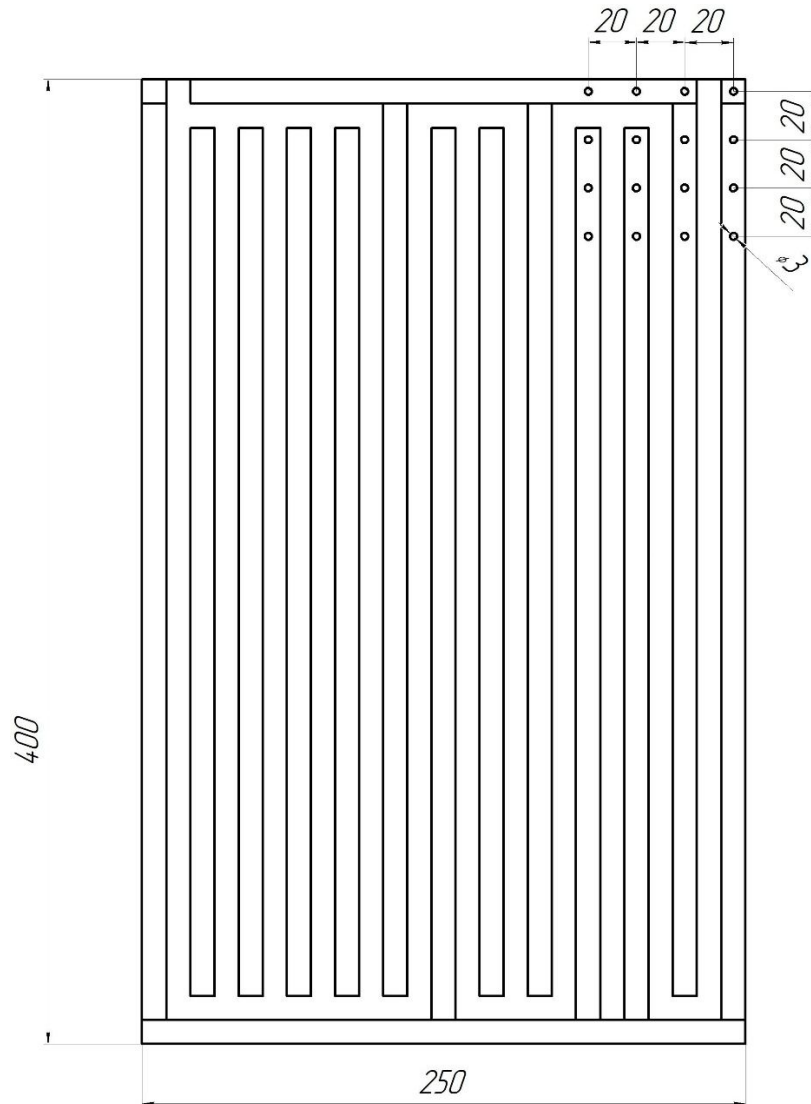


Рис. 4.2. Кристалізатор.

Тиск всередині кристалізатора при роботі в режимі розморожування складає  $P=2,0$  МПа.

Допустима напруга для нержавіюча сталь при розрахунку даного апарату дорівнюватиме

$$[\sigma] = \sigma/n = 510 \cdot 10^6/3,5 = 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Орієнтовна товщина днища за формулою (4.41) дорівнює:

$$h = 2 \cdot 0,014 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{2,0 \cdot 10^6/145,7 \cdot 10^6} = 0,00131$$

Приймаємо  $h=0,002$  м

Максимальні моменти і напруга буде в центрі стінки. За формулами 4.40 і 4.46 вони будуть дорівнювати

$$M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot 2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,014^2 (3 + 0,27) = 80,1 \text{ Н}$$

$$\sigma_r = 6 \cdot 80,1 / 0,002^2 = 120,5 \cdot 10^6 \text{ Па} < 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Визначаємо жорсткість днища з формули 4.44.

$$D = (2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,002^3 / 12) / (1 - 0,27^2) = 151 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Прогинання пластини в центрі буде:

$$f_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot 2,0 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,014^4 (5 + 0,27)}{[151(1 + 0,27)]} = 3,29 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

відношення прогину пластини до її товщини задовольняло умові:

$$3,29 \cdot 10^{-5} / 0,002 = 0,0164 < 0,5$$

#### 4.4.2. Розрахунок зварного з'єднання точковою зваркою.

Розрахунок з'єднань, виконаних контактним зварюванням. З'єднання точковим або шовним контактним зварюванням розраховують за напруженнями зрізу. Для з'єднання на рис. 4.3, а за умови рівномірного розподілу навантаження на всі зварні точки умову міцності записують у вигляді

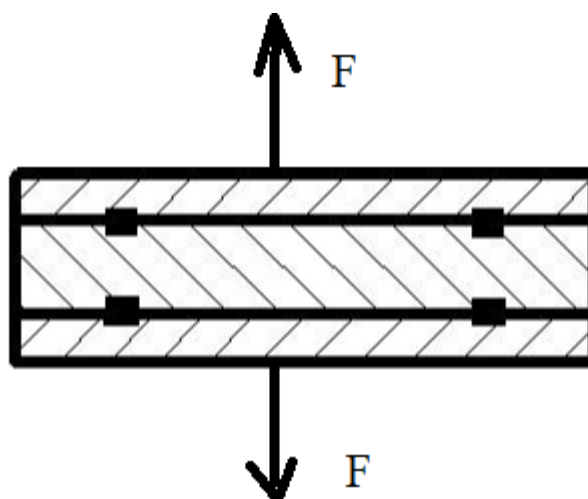


Рис 4.3.Схема для визначення міцності точеної зварки.

Допустима напруга для нержавіюча сталь при розрахунку даного апарату дорівнюватиме

$$[\sigma] = \sigma/n = 510 \cdot 10^6 / 3,5 = 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Сила, яка діє на одну точку точеної зварки

$$F = h^2 \cdot P = 0,02^2 \cdot 2 \cdot 10^6 = 800 \text{ Н}$$

Напруження на кожену точку зварки:

$$\sigma = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 800}{3,14 \cdot 0,003^2} = 113,7 \cdot 10^6 \text{ Па} < 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Оскільки розрахункова напруга менше допустимої, то розрахунок можна вважати закінченим.

#### 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

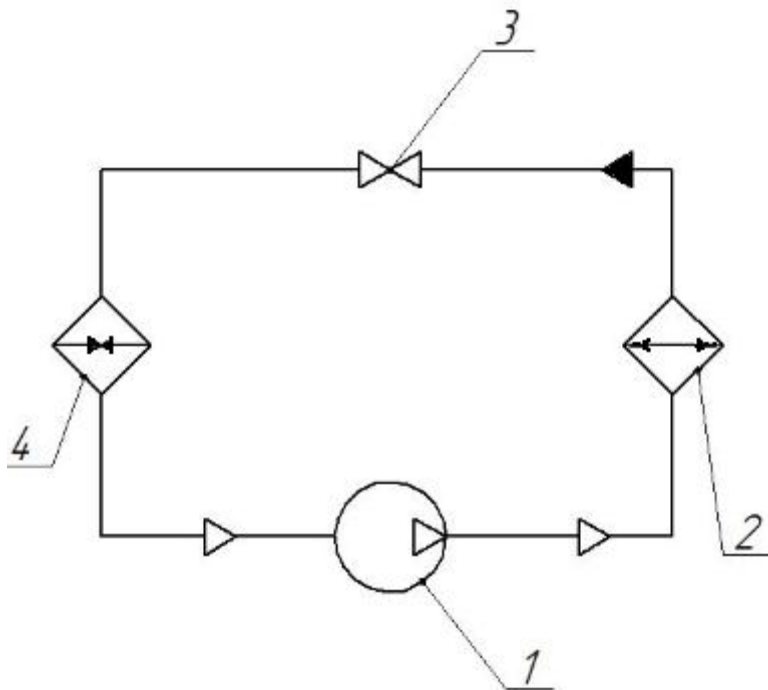


Рис. 4.3. Гідравлічна схема блочного конденсатора.

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,  $\text{кг/м}^3$ .

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

$$G = \frac{1253}{1621 - 923} = 1,79 \text{ кг/с}$$

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

$$d_{\text{ВН1}}^{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,79}{\pi \cdot 50 \cdot 79,4}} = 0,023 \text{ , м}$$

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

$$d_{\text{ВН2}}^{\text{к}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,79}{\pi \cdot 5 \cdot 934}} = 0,022 \text{ , м}$$

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

$$d_{\text{ВН3}}^{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,79}{\pi \cdot 100 \cdot 18,2}} = 0,035 \text{ , м}$$

## 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 трапилось 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.**

1. В даному дипломному проекті розроблено концентратор блочного виморожування для концентрування яблучного соку.
2. Проведено технологічний розрахунок концентратора.
3. Проведено теплових розрахунок концентратора.
4. Проведено розрахунок на міцність концентратора.
5. Проведено гідравлічний розрахунок концентратора.
6. Розроблено технічну документацію.

## Список літератури:

1. [https://pesto-italy.com.ua/index.php?route=mpblog/blog&mpblogpost\\_id=746&srsId=AfmBOorx1zRydaFwXIH2gdRfs2Gwp-apJ68jPOTvrxPlnqIIOzlie97](https://pesto-italy.com.ua/index.php?route=mpblog/blog&mpblogpost_id=746&srsId=AfmBOorx1zRydaFwXIH2gdRfs2Gwp-apJ68jPOTvrxPlnqIIOzlie97)
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 № 123544 <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1589346/>
4. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 147576 <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1594380/>
5. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 127579 <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1767417/>
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>