

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 Енергетичний менеджмент та IT-сервіс обладнання



### ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему Підвищення енергетичної ефективності процесів концентрування харчових розчинів з використанням теплового насосу.  
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Решетнік М.Ю.  
(прізвище, ініціали)  
4 курсу ГМск-40 групи

Керівник доц. Сиротюк І.В.  
(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 - 2024 рік

# 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	Енергетичний менеджмент та IT-сервіс обладнання

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Решетнік Михайло Юрійович

1. Тема проекту (роботи) «Підвищення енергетичної ефективності процесів концентрування харчових розчинів з використанням теплового насосу.»

Затверджені наказом ОНТУ від "03.10.23" № 575-03

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

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

Початкова концентрація виноградного соку  $a=12\%$ ,

кінцева концентрація виноградного соку  $b=55\%$

4. Переліки питань, які потрібно розробити):

Анотація; вступ; опис технологічної лінії, опис процесу випаровування огляд існуючого обладнання; патентний пошук; опис конструкції машини;

вимоги до сировини технологічний розрахунок; силовий розрахунок; охорона праці та правила експлуатації машини; вибір додаткового обладнання,

список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

(з точним зазначенням обов'язкових креслень):

A1 загальний вигляд лист 1 шт.;

A1 лист деталювання 5;

### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ ПІБ

Керівник роботи \_\_\_\_\_ ПІБ

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

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

## ЗМІСТ:

Анотація	5
1. ВСТУП	6
Розділ 1 Опис технологічного процесу отримання концентратів	7
Розділ 2. Вимоги до сировини	17
Розділ 3 Опис технологічного процесу випаровування	19
3.1 Матеріальний баланс випарювання	19
3.2 Тепловий баланс випарного апарату.	20
3.3 Випарні апарати	24
3.4 Патентний пошук	31
3.5 Опис вакуум-випарного апарату з тепловим насосом	36
Розділ 4. Технологічний розрахунок випарного апарату з тепловим насосом	38
4.1 Матеріальний баланс	38
4.2. Тепловий баланс.	38
4.3 Перевірочний розрахунок	40
4.3.1 Розрахунок випарника (конденсатора холодильної машини)	40
4.3.2 Розрахунок конденсатора (випарника холодильної машини)	43
4.4 Розрахунок на міцність	47
4.4.1 Розрахунок плоских днищ апаратів	47
4.4.2 Розрахунок циліндричних апаратів та їх елементів, що знаходяться під дією зовнішнього надлишкового тиску	50
4.5. Гідравлічний розрахунок.	55
4.6 Розрахунок ефективності використання теплового насосу в вакуум – випарному апараті.	57
Розділ 5 Вибір додаткового обладнання	58
Розділ 6 Інструкція з охорони праці під час роботи блочного випарного апарату	61
Розділ 7. Висновки.	67
Список літератури:	68
Специфікації	68

## 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 випарного апарату для отримання концентрованого виноградного соку.

Об'єктом аналізу, є концентрований виноградний сік, предмет розробки - випарний апарат для отримання концентрованого виноградного соку.

*Ключові слова: вакуум-випарний апарат, тепловий насос, концентрування, випаровування.*

## 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 вакуум-випарного апарату для концентрування виноградного 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 плодкових 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 вентиляваних 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

## Концентроване виноградне сусло

Готовий продукт є уварений виноградний свіжий або сульфітований сік, призначений для використання при виготовленні вин.

Сировина: виноград європейських та гібридних сортів із вмістом сухих речовин не менше 14%.

Технологічна схема: підготовка сировини, віджимання соку, освітлення, десульфитація, уварювання, розфасовка.

Підготовка сировини та віджимання соку. Виробляється так, як і при отриманні натурального пастеризованого виноградного соку.

Освітлення. Віджятий сік звільняють від зважених частинок у сепараторах періодичної чи безперервної дії або відстоюванням у чанах. Перед відстоюванням щоб уникнути зараження в сусло додають сірчистий ангідрид у кількості 0,8-1 г на 1 л. Сік відстоюється протягом 1-2 діб, а потім декантується з осаду.

При переробці сульфітованого виноградного соку сік повинен надходити в переробку прозорим, без завислих частинок каламуті та осаду.

Десульфитація. Зняте з осаду сульфітоване сусло і сульфітований сік, що надійшов в переробку, десульфитують в чанах зі змійовиками або барботерами при температурі 60-700С і постійному перемішуванні до зниження вмісту сірчистого ангідриду в суслі до 0,03%.

Нейтралізація. Для зниження вмісту виннокам'яної кислоти сусло піддають нейтралізації крейдою.

Крейда перед вживанням слід дрібно подрібнити і просіяти, після чого розвести у воді до однорідного стану (крейдяне молоко). Розведена крейда фільтрують через густу сітку або марлю і додають до сусла невеликими порціями при постійному помішуванні. Після додавання всієї порції крейди сусло перемішують протягом 25-30 хв, а потім витримують у спокої 4-6 год для випадання осаду.

Кількість крейди, необхідне для нейтралізації, розраховують за такою формулою:

$$x = V (n - 1,5) K,$$

де  $x$  — необхідна кількість крейди, г;

$V$ —об'єм сусла, що необхідно нейтралізувати, л;

$n$ —титруєма кислотність сусла (в перерахунку на винокам'яну кислоту), г/л;

$K$ — коефіцієнт, котрий показує, яку кількість крейди необхідно взяти для нейтралізації 1 г кислоти в 1 л соку; коефіцієнт  $K$  дорівнює : для хімічно чистої крейди — 0,7, для технічної крейди — 0,9.

Після відстоювання сусло декантують з осаду, фільтрують через тканину і направляють на уварювання. Уварювання проводять у двох або трикорпусних вакуум-апаратах при залишковому тиску 21-35 кПа.

Розфасовка. Уварене сусло розфасовують у бляшанки ємністю 10 л або дерев'яні бочки ємністю до 100 л.

На кришках банок і бочок поряд з іншими показниками має бути вказаний сорт сусла (європейський або гібридний).

Норми витрати сировини. При виробленні концентрованого сусла вихід соку з винограду дорівнює 63%.

Кількість виноградного соку, необхідного для виробництва 1 т концентрованого сусла, визначають із матеріального балансу.

Вимоги до якості (ГОСТ 18192-72). Готове сусло повинно мати відносну щільність 1,35-1,38, вміст сухих речовин 70-75%, кислотність 6-8 г/л.

Сушіння плодів та овочів – процес видалення з них вологи у кількості, що виключає можливість мікробіологічних та біохімічних процесів, для забезпечення тривалого зберігання висушених продуктів.

Вологість сушених плодів залежно від їхнього виду коливаються від 16 до 23%, сушених овочів від 12 до 14%. За цих умов розчинені речовини (цукри, кислоти, мінеральні солі і т.п.) концентруються в воді, що залишилася, і тим

самим створюють великий осмотичний тиск, що перешкоджає розвитку мікроорганізмів.

Для правильного ведення сушіння вирішальне значення має узгодженість надходження вологи із центру плодів до поверхні та видалення вологи з поверхні. Відставання першого процесу від другого призводить до утворення скоринки на поверхні продукту та уповільнення швидкості сушіння, при випередженні волога конденсується на

поверхні продукту, що викликає «запарювання» плодів та погіршує їхню якість.

В останні роки розроблені способи сушіння плодів, які дозволяють інтенсифікувати процес та покращити якість готового

Для продукту - в киплячому шарі, аерофонтанний, радіаційний, двоступінчастий, вакуумний і т.д,

При сушінні в киплячому шарі створюють підвищені швидкості (4 - 6 м/с) повітря, що надходить під сітку сушарки. Під натиском повітря шматочки плодів, овочів відриваються від сітки і знаходяться під час сушіння у зваженому стані, завдяки чому збільшується загальна поверхня випаровування, посилюється конвекція, покращується вологообмін між продуктом та нагрітим повітрям.

Аерофонтанний спосіб застосовують для сушіння продуктів у вигляді гранул та порошку. Ефективність цього способу полягає в швидкості сушіння (кілька хвилин), що дозволяє застосовувати високу початкову температуру теплоносія (110-130 ° С) при його низькій кінцевій температурі (50 ° С).

При двоступеневому сушінні продукт попередньо висушують у конвекційних сушарках до вологості 12-14%. а потім 1 досушують у бункерах до вологості менше 6%. При досушуванні продукт безперервно обдувають трохи підігрітим (до температури не більше 40 ° С) повітрям. У міру зволоження повітря осушують. |

Радіаційна сушіння - вплив на продукт світлових інфрачервоних променів (джерело - інфрачервоні лампи або електричні спіралі). Цей спосіб є допоміжним при конвекційній сушці.

При вакуумному сушінні продукт у вигляді шматочків сушать у камері, з якої відкачують повітря. Перевага цього способу – низька температура сушіння, що позитивно впливає на якість готового продукту та низькі енергетичні витрати, проте спосіб малопродуктивний.

Сушіння методом «спукування» — один із методів вакуумного сушіння, що застосовується для зневоднення плодкових соків. Полягає в тому, що сушильна стрічка, проходячи через ванну, захоплює тонкий шар соку, що утворює плівку, яка під впливом вакууму роздмухується. Зневоднення проходило інтенсивно завдяки використанню сушарки безперервної дії. Спеціальний пристрій видаляє з сушарки висушений продукт, не порушуючи вакууму.

Сублімаційне сушіння є в даний час одним з найбільш досконалих способів сушіння (сублімація - перехід

тіла з твердої фази безпосередньо в газоподібну, минаючи рідку). Даний метод дозволяє найбільш повно зберігати природні якості сирого продукту, його хімічний склад, вміст вітамінів та кулінарні властивості. Характерно, що при зануренні у воду висушеного продукту швидко відновлюються його первісний вигляд та властивості.

Сублімаційне сушіння здійснюється на спеціальних установках і включає три стадії: заморожування продукту в герметично закритій камері (субліматорі) внаслідок створення в ній глибокого вакууму залишковий тиск 133 Па при температурі 10 - 150С; сублімація льоду без підведення тепла із зовнішнього середовища; досушування під вакуумом з підгрівом продукту. Тривалість процесу становить 5-6 год.

## РОЗДІЛ 2

### ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ

Вимоги до показників якості питної води, призначеної для споживання людиною згідно з ДСТУ 7669:2014 «Виноград свіжий технічний» за зовнішнім виглядом виноград ручного прибирання повинен бути чистим, здоровим, без листя та пагонів, одного ампелографічного сорту.

Допустимі відхилення масової частки:

- не більше 10% ягід, пошкоджених шкідниками та хворобами;
- не більше 10% сухих ягід;
- не більше 20% роздавлених ягід;
- не більше 15% домішки інших ампелографічних сортів, що відповідають за ботанічним виглядом та забарвленням ягід основному сорту;
- не допускається домішка інших ампелографічних сортів не відповідних по ботанічному виду та фарбуванню ягід основного сорту;
- Не більше 0,5% органічних домішок (листя, пагони);
- Токсичних елементів, мг/кг, не більше: свинець 0,4, кадмій 0,03, миш'як 0,2, ртуть 0,02, мідь 5,0, цинк 10,0;
- мікотоксинів та пестицидів не вище за рівні, допустимі «Медико-біологічними вимогами та санітарними нормами якості продовольчої сировини та харчових продуктів № 5061-89».

Сторонні домішки не допускаються.

На вигляд виноград свіжий технічний машинного прибирання повинен являти собою суміш цілих і роздавлених ягід і грон одного ампелографічного сорту з нормованою домішкою листя і пагонів виноградної рослини.

Допустимі відхилення масової частки:

- Роздавлених ягід не більше 40%;
- ягід, пошкоджених шкідниками та хворобами, сухих ягід, домішки інших ампелографічних сортів у тих самих нормах, що й для винограду ручного збирання;

- Органічних домішок (листя, пагони) не більше 1,0%;

— токсичних елементів, мікотоксинів та пестицидів у тих самих нормах, що й для винограду ручного прибирання;

- Сторонні домішки не допускаються.

Натуральний виноградний сік є напоєм, приготованим зі свіжого винограду без бродіння і містить не більше 0,5% по спирту. Не допускаються розведення соку водою, додавання цукру, кислот, барвників та ароматичних речовин.

Сік зберігає всі цінні властивості ягоди і має дієтичні харчові та лікувальні властивості, збуджує апетит, стимулює травлення, забезпечує організм цінними речовинами (вуглеводами, органічними кислотами). За своєю поживною цінністю прирівнюється до молока. За якістю сік ділять на три групи: марочний, вищого та I сортів.

Сік марочний готують з одного ампелографічного сорту винограду, сік вищого гатунку з одного ампелографічного сорту або суміші сортів винограду. Він повинен містити сухих речовин не нижче  $16 \text{ г}/100 \text{ см}^3$  і мати кислотність, що титрується,  $5-9 \text{ г}/\text{дм}^3$ .

Сік I сорту готують з одного ампелографічного сорту, суміші сортів із вмістом сухих речовин не нижче  $14 \text{ г}/100\text{см}^3$  та титрованої кислотністю  $5-9 \text{ г}/\text{дм}^3$ . Кращі соки готують із сортів винограду, що використовуються для столових вин: Аліготе, Рислінг, Кокур, Ркацители, Мускат, Каберне.

### РОЗДІЛ 3

## ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИПАРЮВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Випарюванням називається процес концентрування розчинів твердих нелетких речовин шляхом вилучення леткого розчинника під час кипіння [20]. За допомогою випарювання одержують і перенасичені розчини, в яких після цього проводять кристалізацію, наприклад, розчини сахарози, фруктози, молочного цукру та ін. Випарювання широко застосовують у цукровому, консервному, кондитерському, молочному та інших виробництвах для концентрування цукрових та вітамінних сиропів, плодових і овочевих соків, фруктово-ягідних начинок, молока, вершків та ін. Особливо важливий цей процес під час виробництва цукру.

Процес випарювання розчинника з розчину можна проводити під вакуумом, з атмосферним та підвищеним тиском.

Під час випарювання під вакуумом знижується температура кипіння розчину, що дає можливість використати для обігрівання апарата пару низького тиску. Цей спосіб особливо застосовується під час випарювання харчових розчинів, що чутливі до високих температур.

В харчові промисловості, з метою зниження температури кипіння та збереження складу продукту, випарювання проводять під вакуумом. Перевагою процесу випарювання під вакуумом є зменшення втрат теплоти в навколишнє середовище, а також збільшення корисної різниці температур між грючою парою та киплячим розчином. Це дозволяє зменшити поверхню теплообміну та габарити усього вакуум-випарного апарата.

#### 3.1 Матеріальний баланс випарювання

Для складання матеріального та теплового балансів випарного апарата приймемо такі позначки:

$G_{\text{п}}$  — кількість розчину, що надходить, кг/с;

$G_k$  — кількість упареного розчину, кг/с;

$W$  — кількість води, що випарюється, кг/с;

$a$  та  $b$  — відповідно початкова та кінцева концентрація сухих речовин розчину, %

Рівняння матеріального балансу всього процесу випарювання має вигляд:

За потоком продукту

$$G_{\Pi} = G_k + W. \quad (3.1)$$

За кількістю сухих речовин

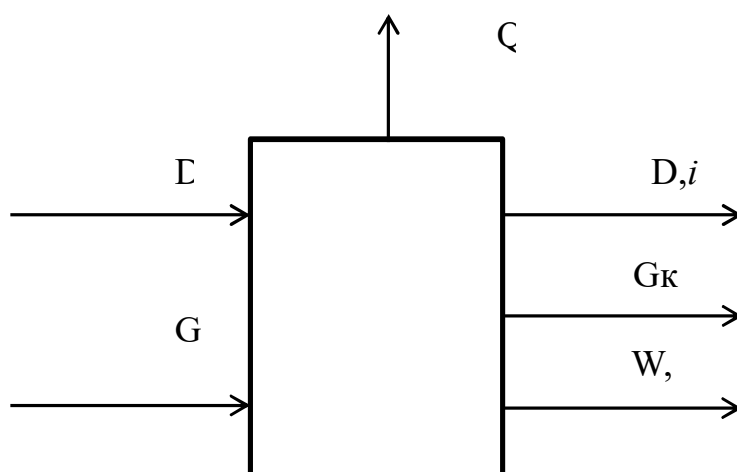
$$G_{\Pi} \cdot a = G_k \cdot b. \quad (3.2)$$

Звідси:

$$G_k = G_{\Pi} - W. \quad (3.3)$$

$$W = G_{\Pi} \left(1 - \frac{a}{b}\right). \quad (3.4)$$

### 3.2 Тепловий баланс випарного апарату.



$$D \cdot i_n + G_n \cdot c \cdot t_n = D \cdot i_k + G_k \cdot c \cdot t_{кип} + W \cdot i_{вп} + Q_{втр} \quad (3.5)$$

$$D \cdot i_n - D \cdot i_k = G_k \cdot c \cdot t_{\text{кип}} - G_n \cdot c \cdot t_n + W \cdot i_{\text{вп}} + Q_{\text{втр}} \quad (3.6)$$

Виразивши з матеріального балансу  $G_k$  (1.3), отримаємо:

$$D \cdot (i_n - i_k) = (G_n - W) \cdot c \cdot t_{\text{кип}} - G_n \cdot c \cdot t_n + W \cdot i_{\text{вп}} + Q_{\text{втр}} \quad (3.7)$$

Звідки

$$D \cdot (i_n - i_k) = G_n \cdot c \cdot t_{\text{кип}} - W \cdot c \cdot t_{\text{кип}} - G_n \cdot c \cdot t_n + W \cdot i_{\text{вп}} + Q_{\text{втр}} \quad (3.8)$$

$$D \cdot (i_n - i_k) = G_n \cdot c \cdot (t_{\text{кип}} - t_n) - W \cdot c \cdot t_{\text{кип}} + W \cdot i_{\text{вп}} + Q_{\text{втр}} \quad (3.9)$$

$$D \cdot (i_n - i_k) = G_n \cdot c \cdot (t_{\text{кип}} - t_n) + W \cdot (i_{\text{вп}} - c \cdot t_{\text{кип}}) + Q_{\text{втр}} \quad (3.10)$$

Величина  $i_{\text{вп}} - c \cdot t_{\text{кип}}$  є питома теплота пароутворення вторинної пари  $r_{\text{вп}}$ , тоді рівняння теплового балансу має вигляд

$$D \cdot (i_n - i_k) = G_n \cdot c \cdot (t_{\text{кип}} - t_n) + W \cdot r_{\text{вп}} + Q_{\text{втр}} \quad (3.12)$$

З цього рівняння чітко видно, що теплова енергія під час випарювання витрачається на нагрівання продукту до температури кипіння  $Q_1$ , на випарювання  $Q_2$ , і на компенсацію втрат теплої енергії в навколишнє середовище.

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_{\text{втр}} \quad (3.13)$$

$$Q_{\text{заг}} = D \cdot (i_n - i_k) \quad (3.14)$$

$$Q_1 = G_n \cdot c \cdot (t_{\text{кип}} - t_n) \quad (3.15)$$

$$Q_2 = W \cdot r_{\text{вп}} \quad (3.16)$$

Втрати теплової енергії в навколишнє середовище приймається 3-5% від корисної витрати теплової енергії

$$Q_{\text{втр}} = (0,03 \dots 0,05)(Q_1 + Q_2) \quad (3.17)$$

де  $D$  — витрата грючої пари на випарювання, кг/с;

$i_{\text{вп}}$ ,  $i_n$ ,  $i_k$  — відповідно ентальпія вторинної пари на виході її з апарата, ентальпія грючої пари і конденсату, Дж/кг;

$c$  — питома теплоємність продукту, Дж/(кг К);

$t_{п}$ ,  $t_{кип}$  — температура розчину на вході в апарат (початкова) і розчину на виході його з апарата (кипіння),  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_{втр}$  — витрата теплоти на компенсацію втрат у навколишнє середовище, Вт.

Витрати гріючої пари знаходять з рівняння:

$$D = \frac{Q_{заг}}{(i_n - i_k)}, \text{ кг/с} \quad (3.18)$$

Питому витрату гріючої пари на випарювання можна отримати відношенням загальної витрати пари до кількості води, що випарюється (кг/кг).

$$d = \frac{D}{W} \quad (3.19)$$

Температура кипіння продукту в вакуум-випарному апараті розраховується з рівняння:

$$t_{кип} = t_{нас} + \Delta_{фх} + \Delta_{гс} + \Delta_{гд}, \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.20)$$

де:  $t_{нас}$  — температура кипіння розчинника при тиску апараті, вибирається по таблицям властивостей водяної пари.

$\Delta_{фх}$  — фізико-хімічна депресія, це різниця між температурами кипіння розчину і чистого розчинника з однаковим тиском. Температура кипіння розчину вища, ніж температура кипіння чистого розчинника. Це підвищення температури кипіння залежить від природи розчиненої речовини та її концентрації в розчині. Із збільшенням концентрації депресія розчину значно зростає. З цього виходить, що під час нагрівання насиченою парою концентрованого розчину, рухома сила процесу — корисна різниця температур — нижча, ніж під час нагрівання розбавленого розчину.

$\Delta_{гс}$  — гідростатична депресія - різниця між температурами кипіння у верхньому шарі розчину і середньому за висотою шару, викликана

гідростатичним тиском стовпа рідини. На рівні рідини, що стикається з паровим простором, розчин знаходиться під тиском, наявним у паровому

просторі апарата. Розчин біля дна апарата знаходиться під тиском не тільки парового простору, але і стовпа рідини в апараті. Тому кипіння нижніх шарів розчину відбувається за більш високої температури.

$\Delta_{\text{гд}}$  - гідродинамічна депресія — зниження температури вторинної пари, що викликається гідравлічним опором трубопроводів. Вторинна пара на шляху від поверхні киплячого розчину, який знаходиться у випарному апараті, до входу в конденсатор переборює гідравлічний опір трубопроводів, завдяки якому знижується її тиск, отже, знижується її температура. Зниження тиску і зниження температури тим більше, чим довший паропровід і вища швидкість вторинної пари.

Розрахунок поверхні вакуум-випарного апарату

Поверхня теплообміну випарного апарата може являти собою стінки кип'ятильних трубок, змійовика або оболонки, по один бік яких знаходиться гріюча пара, а по інший — розчин, що випарюється.

Величину поверхні нагрівання випарного апарата обчислюють з основного рівняння теплопередачі:

$$Q_{\text{кор}} = Q_1 + Q_2 = K F \Delta t_{\text{кор}}, \quad (3.21)$$

де  $F$  — поверхня нагрівання випарного апарата,  $\text{м}^2$ ;

$K$  — коефіцієнт теплопередачі від конденсуючої пари до розчину, що випарюється,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$ .

$\Delta t_{\text{кор}}$  — корисна різниця температур гріючої пари та розчину,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$$\Delta t_{\text{кор}} = t_{\text{кон}} - t_{\text{кип.}}$$

### 3.3 Випарні апарати

Апарати, які призначені для проведення процесів випарювання, називаються випарними.

Їх можна класифікувати за низкою ознак: за організацією процесу; роду теплоносіїв або методу обігрівання; розташуванню і виду поверхні теплообміну (компоновці та конструкції поверхні нагрівання); способу і кратності циркуляції розчину та ін.

За методом ведення процесу розрізняють періодичне та безперервне випарювання. Апарати і установки періодичної дії використовуються у виробництвах малого масштабу, коли економія теплоти не має великого значення, або для випарювання розчинів до високих кінцевих концентрацій

Найбільше застосування отримали випарні апарати з паровим обігріванням, тому що водяна пара характеризується високою теплою конденсації, високим коефіцієнтом тепловіддачі при конденсації; парове обігрівання характеризується гнучкістю регулювання.

За розташуванням поверхні теплообміну апарати можуть бути вертикальними (рис.3.1), горизонтальними (рис.3.2) та похилими (рис.3.3).

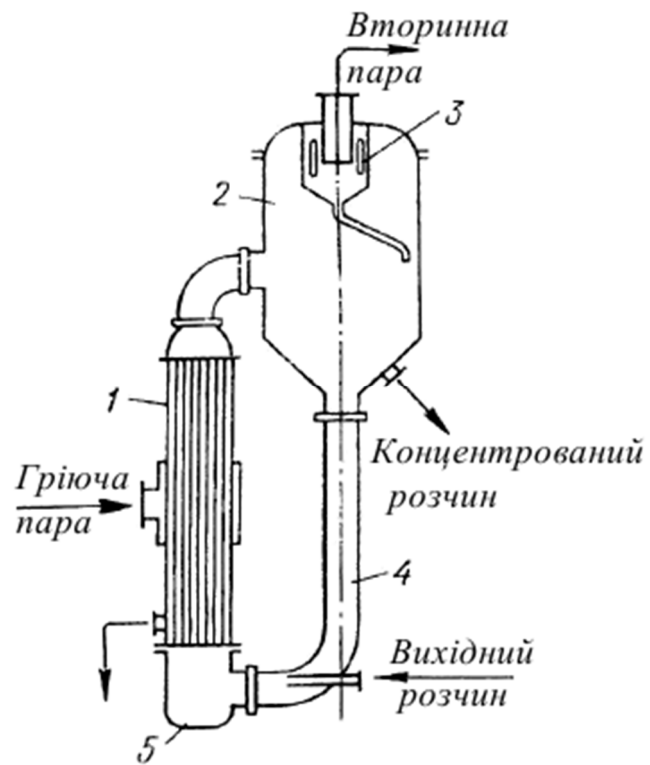


Рис. 3.1  
Вакуум-випарний апарат з вертикальними трубами

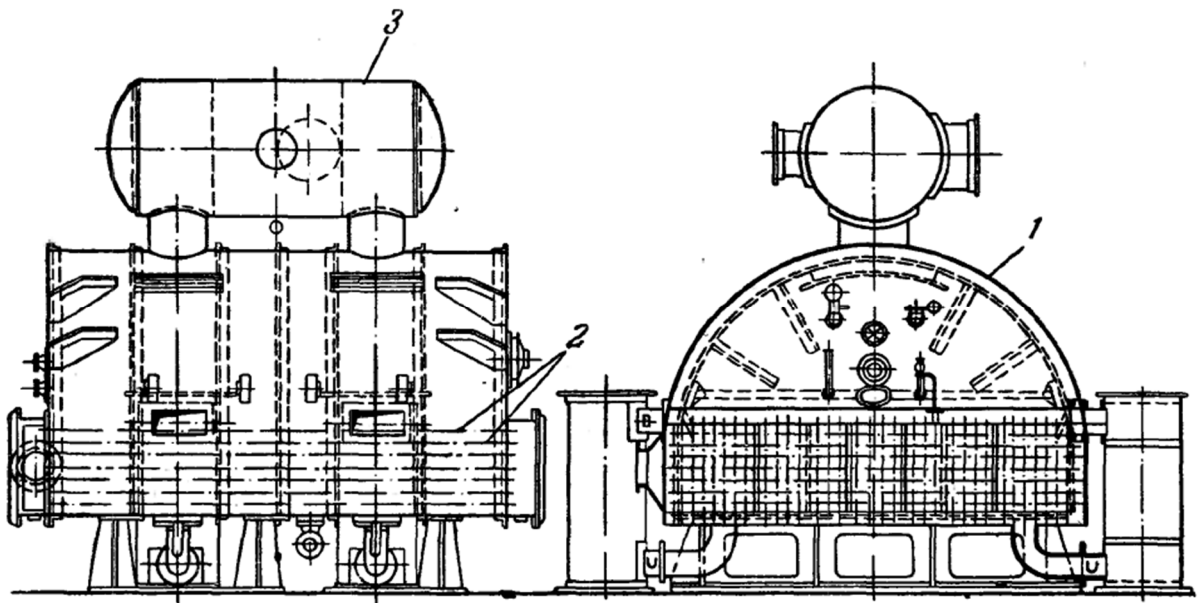


Рис. 3.2  
Вакуум-випарний апарат з горизонтальними трубами

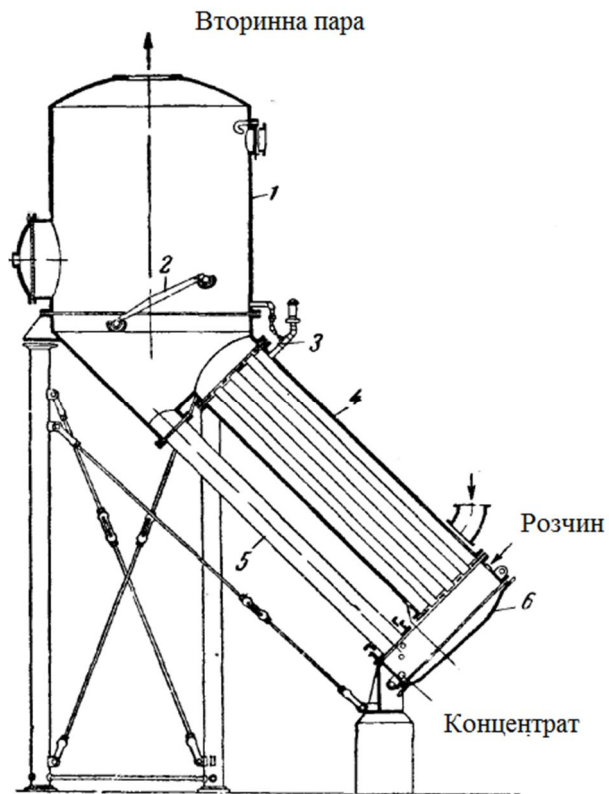


Рис. 3.3

Вакуум-випарний апарат з похилими трубами

Поверхня теплообміну може бути конструктивно оформлена у вигляді пучка труб (рис. 3.1, 3.2, 3.3), змійовика (рис. 3.4), або у вигляді парової оболонки (рис.3.5).

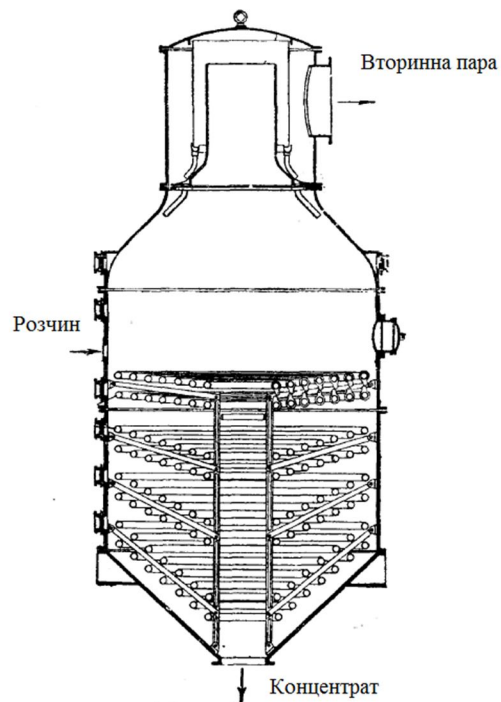


Рис. 3.4.

Вакуум-випарний апарат з змієвикою поверхнею

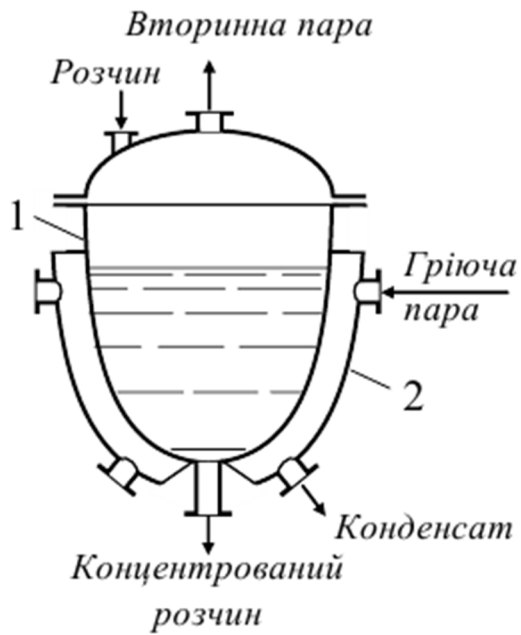


Рис. 3.5

Вакуум-випарний апарат з паровою оболонкою

За видом циркуляції киплячої рідини випарні апарати бувають з природною (рис.3.1), примусовою циркуляцією (рис. 3.6) та плівкові (рис. 3.7). За кратністю циркуляції розрізняють випарні апарати з однократною і багатократною циркуляцією киплячого розчину.

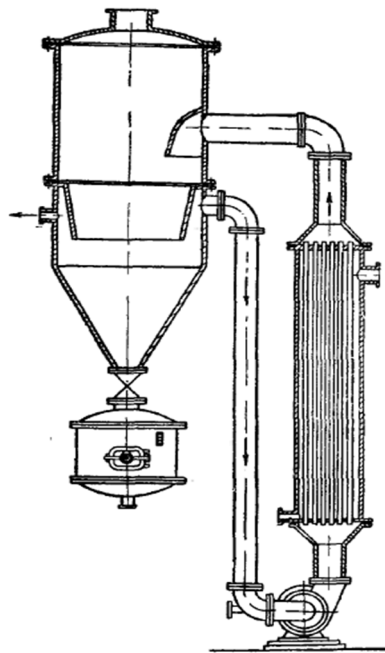


Рис. 3. 6

Вакуум-випарний апарат з примусовою циркуляцією.

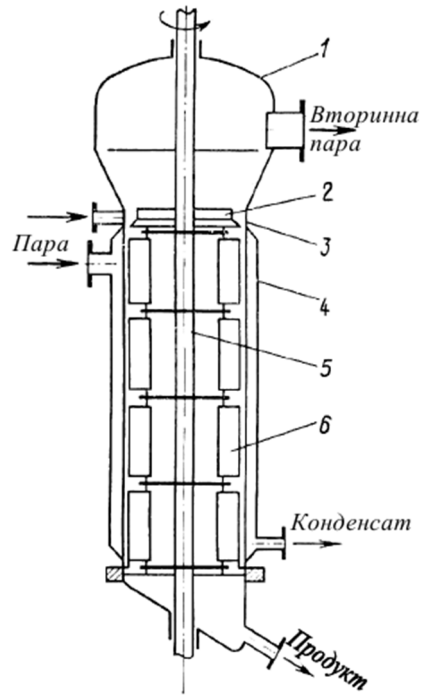


Рис. 3.7

Плівковий вакуум-випарний апарат.

Випарні апарати з природною циркуляцією розчину поділяються на апарати з центральною циркуляційною трубою, з осьовою зоною кипіння і з виносною гріючою камерою (рис.3.8).

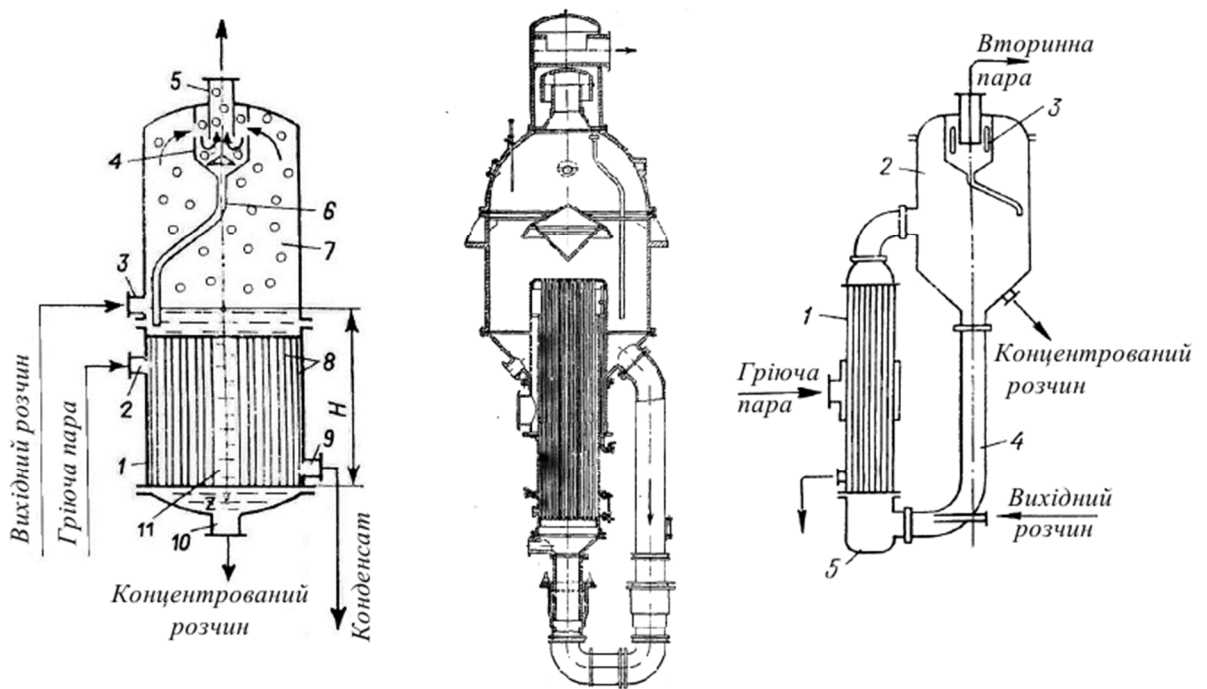


Рис. 3. 8

Варіанти розміщення циркуляційної труби

Однокорпусні випарні установки застосовуються для згущення порівняно невеликих кількостей розчину, коли економія теплоти не має великого значення. Установки можуть працювати або в періодичному, або в безперервному режимах.

На рис. 3.9 зображено схему однокорпусної випарної установки, працюючої під вакуумом. Установка складається з випарного апарата 1, конденсатора 2 з барометричною трубою 3, уловлювача рідини 4, вакуум-насоса 5 і збірника готової продукції 6.

Установка працює таким чином. Холодний або нагрітий раніше в теплообміннику розчин надходить до випарного апарата 1 для згущення. У нижній частині апарата розчин сприймає теплоту гріючої пари, і розчинник випаровується. Утворена вторинна пара разом із повітрям і газами надходить до барометричного конденсатора 2. Тут пара конденсується під час змішування її з водою, а повітря і гази з верхньої частини конденсатора через уловлювач 4 відкачуються вакуум-насосом 5. Конденсат разом із охолоджуючою водою вилучається через барометричну трубу 3. Згущений до потрібної концентрації розчин відкачується насосом 7 у збірник готового продукту 6.

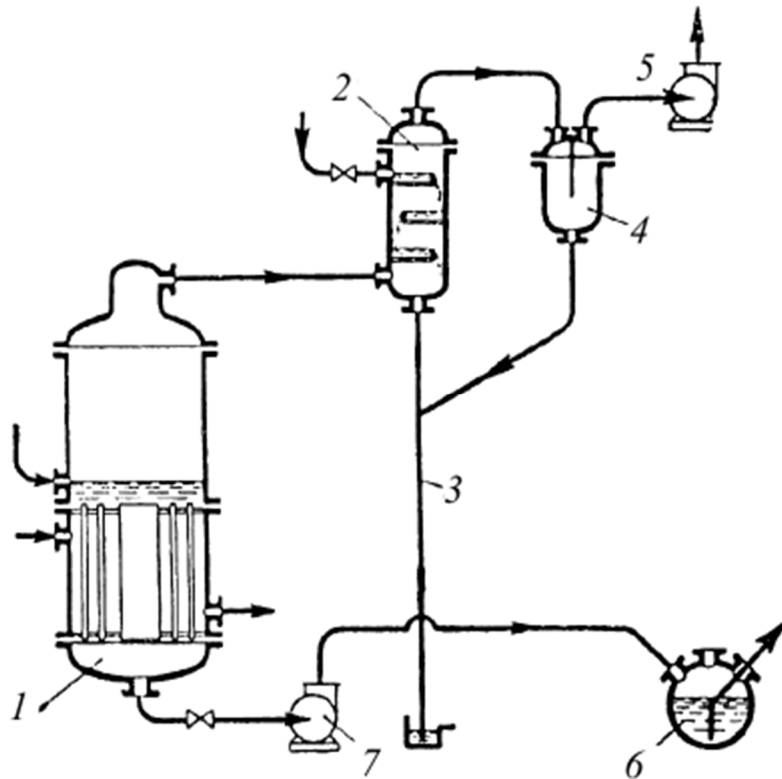


Рис. 3.9

Установка для випаровування під вакуумом.

Для виготовлення випарних апаратів як конструкційні матеріали застосовуються вуглецеві, кислотостійкі сталі і мідь. 30 Випарні апарати і окремі елементи виготовляють із сталей, дозволених до застосування Держміськтехнаглядом: ВСтЗсп, ВСтЗГпс, 06ХН28МДТ, 09Г2С, 16ГС1, 08Х18Г8Н2Т, 08Х22Н6Т, 08Х21Н, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т. Крім того, застосовують двошарові сталі з плакіруючим шаром: 08Х13, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т. Для виготовлення оболонок, дотичних з морською водою, застосовують двошарову сталь СтЗ + 12Х18Н10Т; внутрішні устрої апаратів виконують з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т.

### 3.4. Патентний пошук

На корисну модель UA № 84646 від 25.10.2013 року [2]: Пристрій для вакуумного випарювання харчових середовищ містить окремі корпуси, трубопроводи для рідинної і парової фаз та барометричний конденсатор. Пристрій устаткований контурами-трубопроводами першої вторинної пари, другої вторинної пари, вакуумним насосом і конденсатором другої вторинної пари.

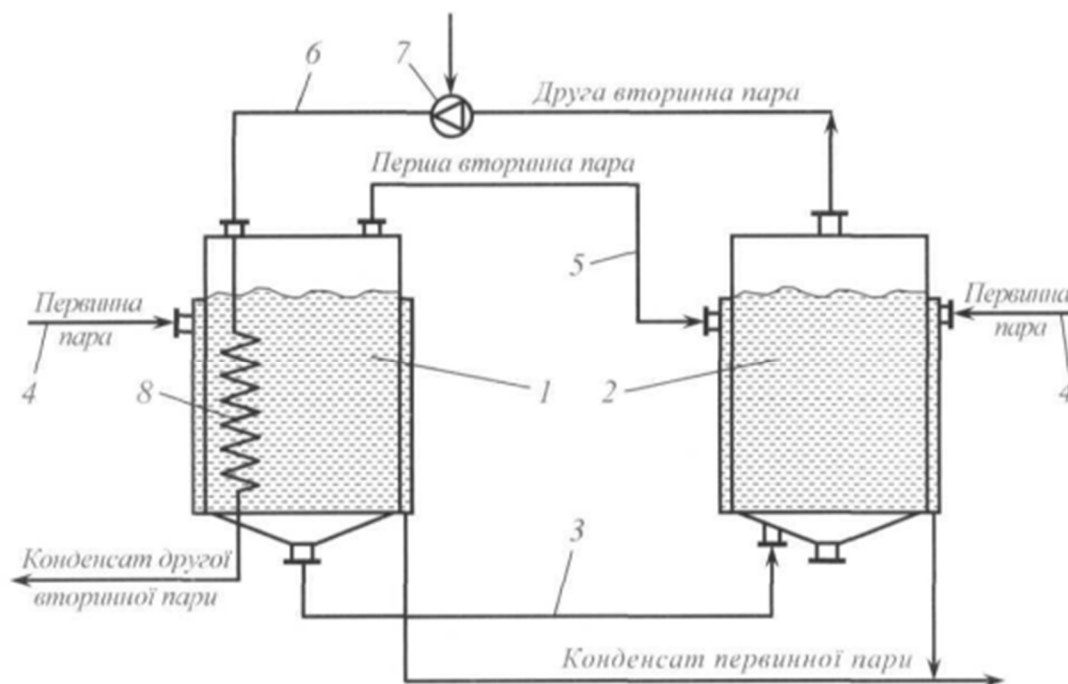


Рис 3.10 До корисної моделі UA № 84646

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення пристрою для вакуумного випарювання харчових середовищ шляхом зміни конструкції, що зменшить використання первинної пари, ліквідує матеріальні витрати через відсутність барометричного конденсатора та зменшить енергетичні витрати у зв'язку з встановленням конденсатора у першому корпусі. Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для вакуумного випарювання харчових середовищ виконаний з окремих корпусів, трубопроводів для рідинної і парової фаз та барометричного конденсатора. Згідно з корисною моделлю, пристрій для

вакуумного випарювання харчових середовищ устаткований контурами-трубопроводами першої вторинної пари, другої вторинної пари, вакуумним насосом і конденсатором другої вторинної пари. Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак, що заявляються, та технічним результатом наступний.

Устаткування пристрою для випарювання харчових середовищ контурами-трубопроводами першої та другої вторинної пари, вакуум-насосом і конденсатором другої вторинної пари дає можливість обмежити кількість використовуваної первинної пари, ліквідувати матеріальні витрати через відсутність барометричного конденсатора та зменшити енергетичні витрати у зв'язку з встановленням конденсатора у першому корпусі. Таким чином сукупність запропонованих ознак дозволяє забезпечити у повному об'ємі очікуваний результат. Суть корисної моделі пояснює креслення. На кресленні показано пристрій для вакуумного випарювання харчових середовищ. Пристрій складається з корпусів 1 та 2, трубопроводів для рідинної 3 і парової 4 фаз, контурів-трубопроводів першої вторинної пари 5, другої вторинної пари 6, вакуумного насосу 7 і конденсатора другої вторинної пари 8. Пристрій працює наступним чином. Після заповнення корпусів середовищем в нагрівальні сорочки подається первинна пара і температури середовищ доводяться до номінальних. Корпус 1 працює при атмосферному тиску і перша вторинна пара підводиться у нагрівальну сорочку корпусу 2, з якого друга вторинна пара відсмоктується вакуум-насосом 7 і трубопроводом 6 подається у конденсатор 8. У зв'язку зі зниженим тиском у корпусі 2 температура кипіння середовища нижче ніж у корпусі 1. Температурний перепад між першою вторинною парою і середовищем у корпусі 2 забезпечує генерування в ньому другої вторинної пари. Завдяки стисканню другої вторинної пари у вакуумному насосі температура її зростає, що забезпечує конденсацію другої вторинної пари у корпусі 1 і повернення енергії для подовження процесів генерування пари у 1-му і 2-му корпусах. Конденсат другої вторинної пари і конденсат первинної пари видаляється на 45 технологічні потреби виробництва. Завдяки циркуляції енергетичних потоків за присутності

контурів першої і другої вторинної пари витрати первинної пари обмежуються компенсацією втрат в навколишнє середовище.

На корисну модель UA № 105727 від 10.06.2014 року [3]:

Пристрій для вакуумного випарювання харчових середовищ складається з окремих корпусів, трубопроводів для рідинної і парової фаз та конденсатора. Пристрій додатково містить контури трубопроводу вторинної пари, що з'єднують перший та другий корпуси, вакуумний насос і конденсатор вторинної пари з другого корпусу. Забезпечується зменшення використання первинної пари.

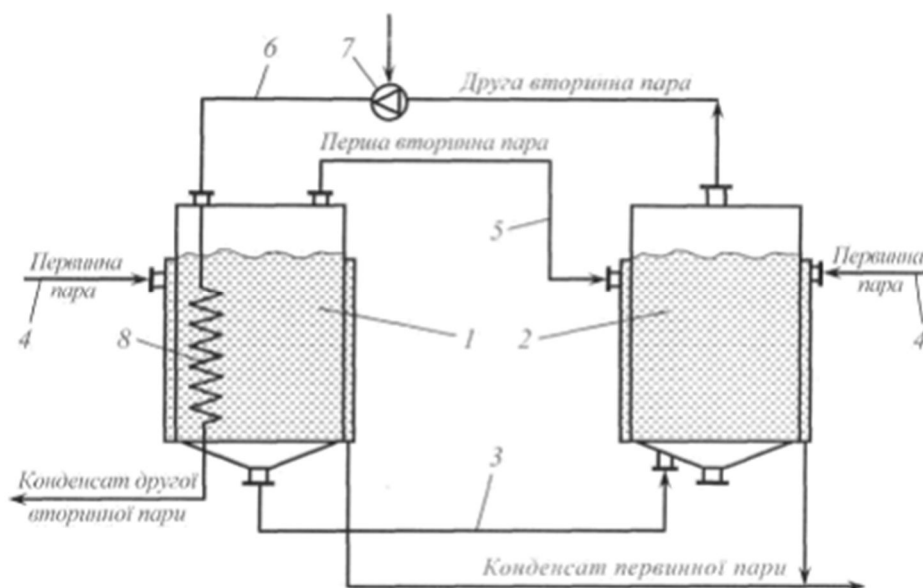


Рис 3.11 До корисної моделі UA № 105727

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення пристрою для вакуумного випарювання харчових середовищ шляхом зміни конструкції, що зменшить використання первинної пари, ліквідує матеріальні витрати через відсутність барометричного конденсатора та зменшить енергетичні витрати у зв'язку з встановленням конденсатора у першому корпусі. Поставлена задача вирішується за рахунок того, що пристрій для вакуумного випарювання харчових середовищ виконаний з окремих корпусів, трубопроводів для рідинної і парової фаз та конденсатора.

Пристрій працює наступним чином. Після заповнення корпусів середовищем в нагрівальні сорочки подається первинна пара і температури середовищ доводяться до номінальних. Корпус 1 працює при атмосферному тиску і перша вторинна пара підводиться у нагрівальну сорочку корпусу 2, з якого друга вторинна пара відсмоктується вакуум-насосом 7 і трубопроводом 6 подається у конденсатор 8. У зв'язку зі знизеним тиском у корпусі 2 температура кипіння середовища нижче ніж у корпусі 1. Температурний перепад між першою вторинною парою і середовищем у корпусі 2 забезпечує генерування в ньому другої вторинної пари. Завдяки стисканню другої вторинної пари у вакуумному насосі температура її зростає, що забезпечує конденсацію другої вторинної пари у корпусі 1 і повернення енергії для подовження процесів генерування пари у 1-му і 2-му корпусах. Конденсат другої вторинної пари і конденсат первинної пари видаляється на технологічні потреби виробництва. Завдяки циркуляції енергетичних потоків за присутності контурів першої і другої вторинної пари витрати первинної пари обмежуються компенсацією втрат в навколишнє середовище. Технічний результат полягає у зменшенні використання первинної пари, ліквідації матеріальних витрат через відсутність барометричного конденсатора та зменшенні енергетичних витрат у зв'язку з встановленням конденсатора у першому корпусі

На корисну модель UA № 147213 від 25.10.2013 року [4]: Пристрій для вакуумного випарювання харчових середовищ складається з двох окремих корпусів, трубопроводів для рідинної і парової фаз, контурів-трубопроводів першої вторинної пари, другої вторинної пари, вакуумного насоса і конденсатора другої вторинної пари. Другий корпус додатково обладнаний теплообмінником-рекуператором конденсату первинної і другої вторинної пар.

Пристрій працює наступним чином: Середовище надходить у корпус 1 і через трубопровід 3 у корпус 2. В нагрівальну сорочку корпусу 1, який працює при атмосферному тиску, трубопроводом 4 подається первинна пара і його

температура доводиться до номінальної. Конденсат первинної пари спрямовується в теплообмінник-рекуператор 9. Утворювана перша вторинна пара трубопроводом 5 подається у нагрівальну сорочку корпусу 2, що забезпечує утворення другої вторинної пари. Стиснута на виході з вакуумного насоса 7 друга вторинна пара трубопроводом 6 потрапляє в конденсатор 8 другої вторинної пари і її конденсат (як і конденсат первинної пари на початковому етапі) відводиться в теплообмінник-рекуператор, розташований в середовищі корпусу 2. Температурний перепад між першою вторинною парою і середовищем у корпусі 2 забезпечує генерування в ньому другої вторинної пари. Завдяки стисканню другої вторинної пари у вакуумному насосі температура її зростає, що забезпечує конденсацію другої вторинної пари у корпусі 1 і повернення енергії для подовження процесів генерування пари в обох корпусах. Необхідний температурний перепад при цьому забезпечується за рахунок зниження тиску у корпусі 2 за участі вакуумного насоса. Технічний результат полягає в можливості утилізації енергетичних потенціалів конденсату первинної пари і конденсату вторинної пари та обмеженні витрат первинної пари.

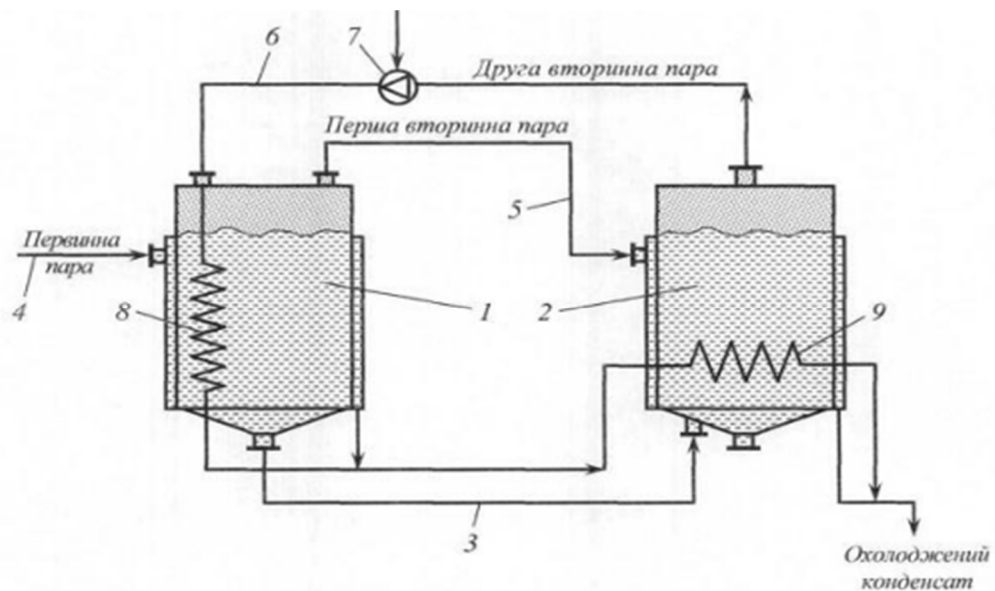


Рис 3.11 До корисної моделі UA № 147213

Виходячи з патентного пошуку, основні роботи з удосконалення випарників зводяться до повторного використання вторинної пари з метою підвищення його енергетичної ефективності.



продуктом здійснюється через вентиль (11) а вивантаження концентрату – за допомогою вентиля (12)

Працює вакуум-випарний апарат наступним чином.

1. Випарник (2) заповнюється соком в кількості 50 л через вентиль (11) вентиль (12) при цьому закритий.

2. Закривається вентиль (11), відкривається вентиль (13) і вмикається вакуум-насос (8). При досягненню абсолютного тиску в системі який контролюється вакуумметром (9) 800 Па закривається вентиль (13) і вимикається вакуум-насос.

3. Вмикається компресор теплового насосу і після 10 годин роботи при випаровування 40 кг вологи він вимикається.

4. Плавню відкривається вентиль (11) для вирівнювання тиску в апараті з атмосферним тиском.

5. Відкривається вентиль (12) і зливається концентрат.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВИПАРНОГО АПАРАТУ.

Метою технологічного розрахунку є визначення витрат енергії на випаровування, потужності компресора холодильної машини та теплообмінної поверхні випарника і конденсатора.

Початковими даними для розрахунку є

продукт-виноградний сік;

тиск в апараті  $P_{вт}=0,008$  МПа.

продуктивність установки по початковому продукту

$G_{п} = 5$  кг/год;

концентрація: початкова  $a=12$  %, кінцева  $b=55$  %;

Початкова температура продукту  $t_{п}=20^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.1. Матеріальний баланс.

Кількість вологи  $W$ , яка випаровується

$$W = G_{п} \left(1 - \frac{a}{b}\right) = 5 \cdot \left(1 - \frac{12}{55}\right) = 3,91 \text{ кг/год} = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с} \quad (4.1)$$

де:  $G_{п}$  – початкова витрата продукту, кг/с;

$a$  і  $b$  – відповідно початкова та кінцева концентрація продукту

#### 4.2 Тепловий баланс

Витрата тепла  $Q_{заг}$  на процес випаровування

$$Q_{заг} = Q_1 + Q_2 + Q_{втр} \quad (4.2)$$

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

$Q_1$  – витрати теплової енергії на нагрівання продукту до температури кипіння, Вт

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

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

Витрати теплової енергії на нагрівання продукту до температури кипіння визначається з рівняння

$$Q_1 = G_1 \cdot c(t_{\text{кип}} - t_{\text{п}}) = 0,00139 \cdot 3750(45 - 20) = 130 \text{ Вт} \quad (4.3)$$

де:  $c$  – теплоємність початкового продукту, кДж/(кг\*К); з довідників [5]

$$c=3750 \text{ кДж/(кг*К)}$$

$t_{\text{п}}$  – початкова температура продукту, °С.

$t_{\text{кип}}$  - температура кипіння продукту в апараті, °С.

визначається за формулою:

$$t_{\text{кип}} = t_{\text{ем}} + \sum \Delta \quad (4.4)$$

де:  $t_{\text{ем}}$  – температура вторинної пари, визначається з таблиць насичення водяної пари залежно від тиску в апараті. При  $P_{\text{вт}}=0,008 \text{ МПа}$   $t_{\text{ем}}=41,1 \text{ }^\circ\text{С}$  [6]

$\sum \Delta$  - сума температурних втрат, попередньо задається в межах (2.5-10) °С.

Приймаємо  $\sum \Delta=3,9$  тоді

$$t_{\text{кип}}=41,1+3,9=45 \text{ }^\circ\text{С}$$

Витрати теплової енергії на випаровування води

$$Q_2 = W \cdot r = 1,09 \cdot 10^{-3} \cdot 2400 \cdot 10^3 = 2616, \text{ Вт} \quad (4.5)$$

де:  $r$  = питома теплота фазового переходу, при тиску вторинної пари  $P_{\text{вт}}=0,008 \text{ МПа}$ .  $r= 2400 \text{ кДж/кг}$  [6]

Втрати тепла у навколишнє середовище  $Q_{\text{втр}}$  становлять 3-5% від корисних витрат теплової енергії.

$$Q_{\text{втр}} = 0,04(130 + 2616) = 110 \text{ Вт} \quad (4.6)$$

Таким чином загальний тепловий потік складає

$$Q_{\text{заг}} = (130 + 2616 + 110) = 2856 \text{ Вт}$$

Для забезпечення процесу випаровування вибираємо компресор

Toshiba PA108M1C-4DZDE2, який має наступні параметри [7]

Тип компресора – ротаційний

Фреон – R410a

Напруга живлення – 220 В/50 Гц/1ф

Потужність – 0,85 кВт

Об'єм циліндра – 10,8 см<sup>3</sup>

Холодопродуктивність при  $t^{\circ}\text{конд.} + 54,4^{\circ}\text{C}$ ;  $t^{\circ}\text{кип.} + 7,2^{\circ}\text{C}$  (ASHRAE-  
HVP/AC) – 2,7 кВт (9000 Btu/h)

Поверхню теплообміну випарника і конденсатора визначаємо з рівняння теплопередачі.

$$Q = k \cdot F \Delta t_{\text{кор}}, \text{ Вт} \quad (4.7)$$

Звідкіля

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

де:  $Q_k$  – тепловий потік, Вт,

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

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

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

### 4.3 Перевірочний розрахунок

#### 4.3.1 Розрахунок випарника (конденсатора холодильної машини).

Для визначення температурного напору будуюмо температурну епюру.

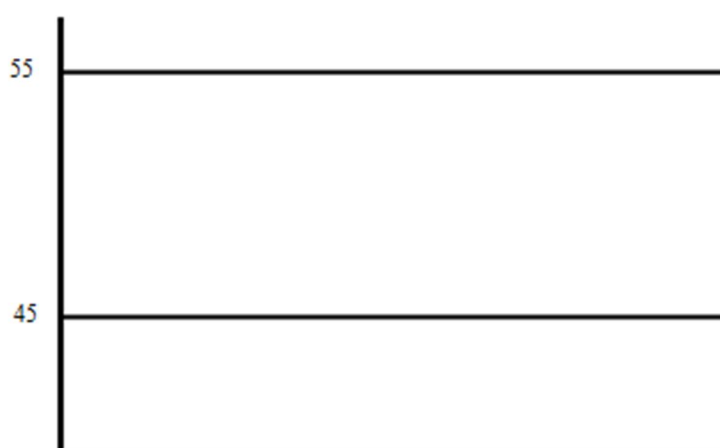


Рис.4.1.

Температурна епюра випарника.

З епюри видно, що  $\Delta t_{\text{кор}} = 55 - 45 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

Коефіцієнт теплопередачі для випарника визначаємо за рівнянням

$$k_B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.8)$$

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

$\delta_{\text{ст}} = 0,0008 \text{ м}$  – товщина стінки труби. В якості тепло передаючої поверхні використовується змійовик з мідної труби діаметром  $\frac{1}{2}$  дюйма.

$\lambda_{\text{ст}} = 380 \text{ Вт/мК}$  – коефіцієнт теплопровідності міді [6].

Визначення коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  від холодоагент R404a до стінки не можливо, у зв'язку з відсутністю даних по теплофізичні властивості холодильного агента. Тому з літератури [8] приймаємо коефіцієнт тепловіддачі для занурювального випарника  $\alpha_1 = 800 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ .

Для процесу теплопередачі, що встановився, справедлива рівність

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \frac{1}{\delta/\lambda} \cdot \Delta t_{\text{ст}} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 \quad (4.9)$$

де:  $q$  – питоме теплове навантаження,  $\text{Вт/м}^2$ ;

$\Delta t_1$  – різниця між температурою конденсації пари і стінкою,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta t_{\text{ст}}$  - перепад температур на стінці  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta t_2$  - різниця між температурою стінки з боку продукту та температурою кипіння продукту  $^{\circ}\text{C}$ .

Для першого припущення приймаємо  $\Delta t_1 = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Delta t_{\text{ст}} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \left( \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} \right) = 800 \cdot 5 \cdot \frac{0,0008}{380} = 0,008 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{кор}} - \Delta t_{\text{ст}} - \Delta t_1 = 10 - 0,008 - 5 = 4,992 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого продукту дорівнює:

$$\alpha_2 = A \cdot q^{0,6} = 780 \cdot \frac{\lambda_p^{1,3} \cdot \rho_p^{0,6} \cdot \rho_{\text{п}}^{0,06}}{\sigma_p^{0,5} \cdot r_p^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c_p^{0,3} \cdot \mu_p^{0,3}} \cdot q^{0,6} \quad (4.10)$$

де  $\lambda_p, \rho_p, c_p, \mu_p, \sigma_p$  – відповідно теплопровідність (Вт/мК), щільність

(кг/м<sup>3</sup>), теплоємність, (Дж/кг К), в'язкість (Па с), поверхневий натяг (н/м) продукту при температурі кипіння, вибирається з довідників.

Значення поверхневого натягу  $\sigma_p$  беремо для води залежно від температури кипіння продукту (у довідниках дані щодо  $\sigma_p$  для харчових продуктів відсутні).

$\rho_n$  – густина пари при тиску в апараті, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_o$  – густина пари при тиску 0.1 МПа, кг/м<sup>3</sup>;

Для наших умов розрахунку ( $t_{\text{кип}} = 45$  °С,  $P_{\text{вт}} = 0,008$  МПа) [6,9]

$\lambda_p = 0,439$  Вт/м·К;  $\rho_p = 1222$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_p = 3900$  Дж/кг·К;

$\mu_p = 3,8 \cdot 10^{-3}$  Па·с;  $\sigma_p = 68,7 \cdot 10^{-3}$  Н/м;  $\rho_n = 0,0542$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_o = 0,59$  кг/м<sup>3</sup>;  
 $r = 2400 \cdot 10^3$  Дж/кг.

$$\alpha_2 = 780 \cdot \frac{0,439^{1,3} \cdot 1222^{0,6} \cdot 0,0542^{0,06}}{68,7 \cdot 10^{-3 \cdot 0,5} \cdot 2400 \cdot 10^3 \cdot 0,59^{0,66} \cdot 3900^{0,3} \cdot 3,2 \cdot 10^{-3 \cdot 0,3}} \cdot q^{0,6} =$$

$$= 6,02 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 6,02 \cdot (800 \cdot 5)^{0,6} = 872 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Перевіряємо правильність першого наближення за рівнем питомих теплових навантажень

$$q^1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 800 \cdot 5 = 4000 \text{ Вт/м}^2$$

$$q^2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 872 \cdot 4,992 = 4355 \text{ Вт/м}^2$$

Як бачимо  $q^1 \neq q^2$

Для другого приближення приймаємо  $\Delta t_1 = 5,2$  °С, тоді

$$\Delta t_{\text{ст}} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \left( \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} \right) = 800 \cdot 5,2 \cdot \frac{0,0008}{380} = 0,009 \text{ °С}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{кор}} - \Delta t_{\text{ст}} - \Delta t_1 = 10 - 0,009 - 5,2 = 4,791 \text{ °С}$$

$$\alpha_2 = 6,02 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 6,02 \cdot (800 \cdot 5,2)^{0,6} = 893 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Перевіряємо правильність першого наближення за рівнем питомих теплових навантажень

$$q^1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 800 \cdot 5,2 = 4160 \text{ Вт/м}^2$$

$$q^2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 893 \cdot 4,791 = 4280 \text{ Вт/м}^2$$

Як бачимо  $q^1 \approx q^2$ , відносна похибка складає

$$\frac{4280 - 4160}{4280} \cdot 100\% = 2,8\% < 5\%$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо з наступної формули (4.8)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{800} + \frac{0,0008}{380} + \frac{1}{893}} = 422 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхня теплообміну випарника буде складати (4.7)

$$F = \frac{Q_k}{k \cdot \Delta t_{кор}} = \frac{130 + 2616}{422 \cdot 10} = 0,651, \text{ м}^2$$

Довжина труб випарника тоді буде:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_{сер}} = \frac{0,651}{3,14 \cdot 0,011} = 18,8 \text{ м} \quad (4.9)$$

Довжина спіралі Архімеда однієї площини буде дорівнювати

$$l = \pi \cdot d_{сер} \cdot n = 3,14 \cdot 0,225 \cdot 4 = 2,83 \text{ м.} \quad (4.10)$$

Кількість витків спіралі:

$$n_c = \frac{18,8}{2,83} = 6,64$$

#### 4.3.2 Розрахунок конденсатора (випарника холодильної машини).

Для визначення температурного напору будуюмо температурну епюру.

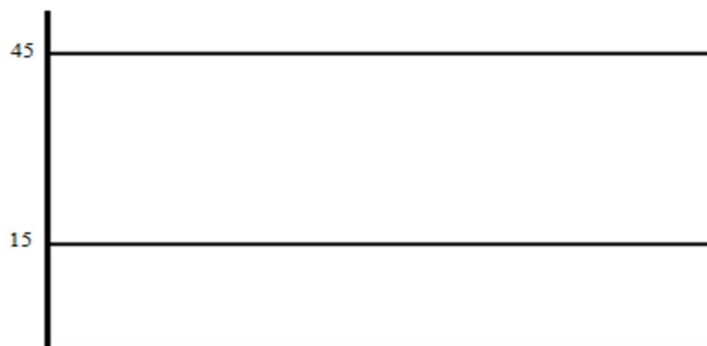


Рис.4.2.

Температурна епюра конденсатора.

З епюри видно, що  $\Delta t_{\text{кор}} = 45 - 15 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

Коефіцієнт теплопередачі для конденсатора визначаємо за рівнянням

$$k_{\text{к}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.11)$$

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

$\delta_{\text{ст}} = 0,0008 \text{ м}$  – товщина стінки труби. В якості тепло передаючої поверхні використовується змійовик з мідної труби діаметром  $\frac{1}{2}$  дюйма.

$\lambda_{\text{ст}} = 380 \text{ Вт/мК}$  – коефіцієнт теплопровідності міді [6].

Коефіцієнт тепловіддачі від пари до стінки дорівнює

$$\alpha_1 = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_{\text{пк}}^2 \cdot \lambda_{\text{пк}}^3 \cdot r}{\mu_{\text{пк}} \cdot d_3 \cdot \Delta t_1}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.12)$$

де:  $r$  – питома теплота конденсації пари, що гріє, Дж/кг

$\rho_{\text{пк}}, \lambda_{\text{пк}}, \mu_{\text{пк}}$  - відповідно щільність ( $\text{кг/м}^3$ ), теплопровідність (Вт/мК),

в'язкість (Па.с) плівки конденсату при середній температурі плівки

$t_{\text{пл}} = t_{\text{к}} - \Delta t_1 / 2$  де  $\Delta t_1$  - різниця температур конденсації пари та стінки,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{к}} = f(P_{\text{вт}})$ .

Розрахунок  $\Delta t_1$  проводимо шляхом послідовних наближень . У першому наближенні приймаємо  $\Delta t_1 = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тоді  $t_{\text{пл}} = 45 - 8/2 = 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$\alpha_1 = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{992^2 \cdot 0,634^3 \cdot 2400 \cdot 10^3}{657 \cdot 10^{-6} \cdot 0,012 \cdot 8}} = 7116 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Визначення коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2$  від стінки до холодного теплоносія (холодоагент R404a) не можливо, у зв'язку з відсутністю даних по теплофізичні властивості холодильного агента. Тому з літератури [8] приймаємо коефіцієнт тепловіддачі для занурювального випарника  $\alpha_2 = 800 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ .

Для процесу теплопередачі, що встановився, справедлива рівність

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \frac{1}{\delta/\lambda} \cdot \Delta t_{\text{ст}} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 \quad (4.13)$$

де:  $q$  – питома теплове навантаження,  $\text{Вт/м}^2$ ;

$\Delta t_1$  – різниця між температурою конденсації пари і стінкою,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\Delta t_{\text{ст}}$  - перепад температур на стінці  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\Delta t_2$  - різниця між температурою стінки з боку продукту та температурою кипіння продукту  $^{\circ}\text{C}$ .

$$\Delta t_{\text{ст}} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \left( \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} \right) = 7116 \cdot 8 \cdot \frac{0,0008}{380} = 0,12 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{кор}} - \Delta t_{\text{ст}} - \Delta t_1 = 30 - 0,12 - 8 = 21,88 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Перевіряємо правильність першого наближення за рівнем питомих теплових навантажень

$$q^1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 7116 \cdot 8 = 56928 \text{ Вт/м}^2$$

$$q^2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 800 \cdot 21,88 = 17514 \text{ Вт/м}^2$$

Як бачимо  $q^1 \neq q^2$

Для другого приближення приймаємо  $\Delta t_1 = 3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ . Тоді  $t_{\text{нл}} = 45 - 3/2 = 43,5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ .

$$\alpha_1 = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{990^2 \cdot 0,647^3 \cdot 2400 \cdot 10^3}{607 \cdot 10^{-6} \cdot 0,012 \cdot 3}} = 9408 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \left( \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} \right) = 9408 \cdot 3 \cdot \frac{0,0008}{380} = 0,059 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{кор}} - \Delta t_{\text{ст}} - \Delta t_1 = 30 - 0,059 - 3 = 26,941 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Перевіряємо правильність другого наближення за рівнем питомих теплових навантажень

$$q^1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 9408 \cdot 3 = 28224 \text{ Вт/м}^2$$

$$q^2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 800 \cdot 26,941 = 21553 \text{ Вт/м}^2$$

Як бачимо  $q^1 \neq q^2$

Для третього приближення приймаємо  $\Delta t_1 = 2,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Тоді  $t_{нл} = 45 - 2,2/2 = 43,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

$$\alpha_1 = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{990^2 \cdot 0,647^3 \cdot 2400 \cdot 10^3}{607 \cdot 10^{-6} \cdot 0,012 \cdot 2,2}} = 10167 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\Delta t_{\text{СТ}} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \left( \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} \right) = 10167 \cdot 2,2 \cdot \frac{0,0008}{380} = 0,047 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{кор}} - \Delta t_{\text{СТ}} - \Delta t_1 = 30 - 0,047 - 2,2 = 27,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Перевіряємо правильність другого наближення за рівнем питомих теплових навантажень

$$q^1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 10167 \cdot 2,2 = 22367 \text{ Вт/м}^2$$

$$q^2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 800 \cdot 27,75 = 22220 \text{ Вт/м}^2$$

Як бачимо  $q^1 \approx q^2$ , відносна похибка складає

$$\frac{22367 - 22220}{22367} \cdot 100\% = 0,75\% < 5\%$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо з наступної формули (4.8)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{10167} + \frac{0,0008}{380} + \frac{1}{800}} = 740 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхня теплообміну випарника буде складати (4.7)

$$F = \frac{Q_{\text{к}}}{k \cdot \Delta t_{\text{кор}}} = \frac{130 + 2616}{740 \cdot 30} = 0,124 \text{ м}^2$$

Довжина труб випарника тоді буде:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{сер}}} = \frac{0,124}{3,14 \cdot 0,011} = 3,54 \text{ м} \quad (4.14)$$

Довжина спіралі Архімеда однієї площини буде дорівнювати

$$l = \pi \cdot d_{\text{сер}} \cdot n = 3,14 \cdot 0,2 \cdot 3 = 1,86 \text{ м.} \quad (4.15)$$

Кількість витків спіралі:

$$n_c = \frac{3,54}{1,86} = 1,9$$

#### 4.4 Розрахунок на міцність.

##### 4.4.1 Розрахунок плоских днищ апаратів [10].

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 радіуса від центру пластинки, повертається на кут  $\varphi$  до осі симетрії пластинки і прогинається на величину  $f$ . При цьому на кожен елемент пластинки діють: по торцевих гранях — рівномірно розподілені по всій довжині грані в окружному напрямку питомі радіальні моменти  $M_r$  і сили, що перерізують  $Q$  по бокових гранях — рівномірно розподілені по всій довжині грані в радіальному напрямку питомі кільцеві моменти  $M_t$ .

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

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

$$Q = 0,5 \cdot p \cdot r \quad (4.16)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 = 0; \quad M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} p R^2 (3 + \mu); \\ f_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} p R^4 (5 + \mu) / [D(1 + \mu)]; \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

при жорсткому закріпленні пластини за зовнішнім контуром

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 = 0; \quad M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} p R^2 (1 + \mu); \\ f_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} p R^4 / D; \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R = -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^3 / [D(1 + \mu)]; \quad M_{rR} = 0; \\ M_{tR} = -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2 \cdot (1 - \mu); \quad f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

при жорсткому її закріпленні за зовнішнім контуром

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R = 0; \quad M_{rR} = -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2; \\ M_{tR} = -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2 \cdot \mu; \quad f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

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

$$\varphi_{max} = 2,41 \cdot 10^{-2} p \cdot R^3 / D \quad (4.21)$$

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

$$D = (E \cdot h^3 / 12) / (1 - \mu^2) \quad (4.22)$$

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

$$\sigma_r = \pm 6M_r / h^2; \quad \sigma_t = \pm 6M_t / h^2; \quad (4.23)$$

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

$$h = 2 \cdot R \cdot K \sqrt{p/[\sigma]}, \quad (4.24)$$

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

Розрахуємо кришку і днище випарника діаметром 0,45 мм

Зовнішній тиск на поверхню – 92 кПа.

Матеріал – нержавіюча сталь 08Х18Н10, 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  $n_b = 3,5$ .

Допустима напруга

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

З рівняння (4.24) визначаємо товщину стінки

$$h = 2 \cdot 0,225 \cdot 0,4 \sqrt{\frac{92 \cdot 10^3}{145,7 \cdot 10^6}} = 0,00452 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 0,005 м

Максимальні моменти і напруга буде в центрі стінки. За формулами 4.17 і 4.23 вони будуть дорівнювати

$$M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot 92 \cdot 10^3 \cdot 0,225^2 (3 + 0,27) = 952 \text{ Н}$$

$$\sigma_r = 6 \cdot 952 / 0,005^2 = 228 \cdot 10^6 \text{ Па} > 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Приймаємо товщину стінки 7 мм, тоді

$$\sigma_r = 6 \cdot \frac{952}{0,007^2} = 117 \cdot 10^6 \text{ Па} < 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Розрахуємо кришку і днище конденсатора діаметром 0,35 мм

Допустима напруга

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

З рівняння (4.24) визначаємо товщину стінки

$$h = 2 \cdot 0,175 \cdot 0,4 \sqrt{\frac{92 \cdot 10^3}{145,7 \cdot 10^6}} = 0,00352 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 0,004 м

Максимальні моменти і напруга буде в центрі стінки. За формулами 4.17 і

4.23 вони будуть дорівнювати

$$M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot 92 \cdot 10^3 \cdot 0,175^2 (3 + 0,27) = 575 \text{ Н}$$

$$\sigma_r = 6 \cdot 575 / 0,004^2 = 215 \cdot 10^6 \text{ Па} > 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Приймаємо товщину стінки 5 мм, тоді

$$\sigma_r = 6 \cdot \frac{575}{0,005^2} = 138 \cdot 10^6 \text{ Па} < 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

4.4.2 Розрахунок циліндричних апаратів та їх елементів, що знаходяться під дією зовнішнього надлишкового тиску [10].

Тонкостінний апарат, що працює під зовнішнім надлишковим тиском, знаходиться в менш сприятливих умовах міцності в порівнянні з апаратом, що працює під внутрішнім надлишковим тиском.

Якщо внутрішній надлишковий тиск сприяє утворенню та підтримці круглої форми апарату, то зовнішній надлишковий тиск, навпаки, сприяє порушенню круглої форми апарату, збільшуючи вже наявні відхилення від неї і викликаючи при цьому додаткові напруги вигину. Останні можуть призвести апарат до руйнування (втрати стійкості).

Якщо при зовнішньому надлишковому тиску напруга стиснення в стінці циліндричного апарата досягне межі плинності, міцність апарату порушиться. Цей випадок уражає циліндричних оболонок, товщина стінки яких становить 0,046 його зовнішнього діаметра. Розрахунок на міцність таких апаратів виробляють так само, як і тих, які знаходяться під дією внутрішнього надлишкового тиску, замінюючи лише у формулі для визначення товщини стінки апарату допустиму напругу при розтягуванні напругою при стисканні, тобто.

$$\delta_p > p \cdot D_v / (2 \cdot \beta [\sigma_{ст}]) \quad (4.25)$$

де  $p$  - робочий тиск, що допускається;  $D$  - внутрішній діаметр апарату;  $\beta$  - коефіцієнт міцності зварних швів;  $[\sigma_{ст}]$  - допустима напруга при стисканні. Допустима напруга при стисканні можна приймати рівним однієї четвертої частини межі плинності матеріалу апарату при даній температурі.

Зовнішній тиск, у якому втрачається стійкість оболонки, називають критичним. Воно залежить від геометричної форми, розмірів та від фізичних властивостей матеріалу оболонки.

Оболонки поділяються на довгі та короткі. Як критерій для порівняння служить критична довжина оболонки, що розраховується за формулою

$$L_{кр} = 4,644 \cdot r \cdot \sqrt{(r/\delta) \cdot (1 - \mu^2)} \quad (4.26)$$

де  $r$  - радіус оболонки;

$\delta$  - товщина стінки оболонки;

$\mu$  - коефіцієнт Пуассона матеріалу оболонки.

Довгі оболонки розраховуються однозначно шляхом визначення критичного тиску, критичної напруги і зіставлення останньої межі плинності матеріалу оболонки.

Якщо коротка оболонка і на величину критичного тиску впливають умови на краях, критичний тиск визначають за наближеними формулами:

при дії тиску тільки на бічну поверхню оболонки

$$p_{кр} = \frac{E}{(n^2-1) \cdot N^2} \cdot \frac{\delta}{r} + \frac{E}{12 \cdot (1-\mu^2)} \left(\frac{\delta}{r}\right)^3 \left[ n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \mu}{N} \right] \quad (4.27)$$

при дії тиску на всю поверхню оболонки (всебічний тиск)

$$p_{кр} = E \frac{\delta}{r} \cdot \frac{1}{n^2 + 0.5(\pi \cdot r/L)^2} \left[ \frac{1}{N^2} + \frac{N^2}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\delta}{r}\right)^2 \left(\frac{\pi \cdot r}{L}\right)^4 \right] \quad (4.28)$$

де: L - фактична довжина судини;

n - число хвиль.

$$N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r}$$

Як видно з цих формул, у пружній стадії критичний тиск залежить не від міцності матеріалу, а від його модуля пружності та коефіцієнта Пуассона. Зазвичай, починаючи з n = 2, критичний тиск падає, досягаючи при деякому значенні числа хвиль мінімальної величини, а потім знову повільно збільшується.

Для полегшення розрахунків за формулами (4.27) та (4.28) число хвиль залежно від конструктивних розмірів циліндричної оболонки можна визначити за табл. 4.1.

Робочий тиск приймають у кілька разів менше критичного

$$p = p_{кр}/m \quad (4.29)$$

де m – коефіцієнт запасу стійкості.

Таблиця 4.1.

Число хвиль для циліндричних сталевих та алюмінієвих обичайок, які знаходяться бік боковим тиском або тиском з усіх сторін.

Значення відношення $\delta/r$	Значення відношення L/r				
	2	3	4	5	6
0,005	7	6	5	5	4
0,010	6	5	4	4	4
0,015	5	4	4	4	3
0,020	5	4	4	4	3
0,025	5	4	3	3	3
0,030	4	4	3	3	3
0,040	4	3	3	3	3

Для точно виготовлених вертикальних циліндричних оболонок запас стійкості приймають рівним 4, для горизонтальних - 5. Для циліндричних оболонок звичайної точності, виготовлених з вуглецевої сталі, запас стійкості дорівнює 6-9.

Якщо виявляється, що розрахунковий тиск менший за робочий, то товщина стінки циліндра повинна бути збільшена, або встановлені кільця жорсткості.

Розрахунок випарника випарного апарату.

Випарник уявляє собою циліндр з плоскими днищами, діаметром 0,45 м і висотою 0,9 м.

Для розрахунку приймаємо наступні дані.

Зовнішній тиск на поверхню – 92 кПа.

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  $n_b=3,5$ .

З довідників вибираємо коефіцієнт міцності зварних швів  $\beta=0,8$  і коефіцієнт запасу міцності для зварних ємностей, що не нагріваються  $n=3,75$ .

Тоді допустима напруга при стисканні буде

$$[\sigma_{ст}] = \sigma/n = 510 \cdot 10^6/3,75 = 136 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Тоді з рівняння (4.25) товщина стінки буде дорівнювати

$$\delta_p > 92 \cdot 10^3 \cdot 0,45/(2 \cdot 0,8 \cdot 136 \cdot 10^6) = 0,0019 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 2 мм

Визначаємо критичну довжину оболонки з (4.26)

$$L_{кр} = 4,644 \cdot 0,225 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,225}{0,002}\right) \cdot (1 - 0,27^2)} = 10,67 \text{ м}$$

Значить оболонка коротка.

Визначаємо  $L/r=0,9/0,225=4$  та  $\delta/r=0,002/0,225=0,00888$  з таблиці 4.1  
приймаємо число хвиль  $n=4$

За формулою (4.28) при  $N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r} = 1 + \frac{4 \cdot 0,9}{3,14 \cdot 0,225} = 6,095$

$$p_{кр} = \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,00888}{(4^2 - 1) \cdot 6,09^2} + \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,00888^3}{12 \cdot (1 - 0,27^2)} \left[ 4^2 - 1 + \frac{2 \cdot 4^2 - 1 - 0,27}{6,09} \right] = 3,61 \text{ МПа}$$

При запасі стійкості 5  $p = p_{кр}/5 = 3,61/5 = 772 \text{ кПа} > 95 \text{ кПа}$

Значить товщина стінки 2 мм відповідає умовам міцності.

Розрахунок конденсатора випарного апарату.

Конденсатор уявляє собою циліндр з плоскими днищами, діаметром 0,35 м і висотою 0,35 м.

Для розрахунку приймаємо наступні дані.

Зовнішній тиск на поверхню – 92 кПа.

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

Межа міцності  $\sigma = 510 \text{ МПа}$ ,

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

Коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,27$

Коефіцієнт запасу міцності  $n_b = 3,5$ .

З довідників вибираємо коефіцієнт міцності зварних швів  $\beta = 0,8$  і  
коефіцієнт запасу міцності для зварних ємностей, що не нагріваються  $n = 3,75$ .

Тоді допустима напруга при стисканні буде

$$[\sigma_{ст}] = \sigma / n = 510 \cdot 10^6 / 3,75 = 136 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Тоді з рівняння (4.25) товщина стінки буде дорівнювати

$$\delta_p > 92 \cdot 10^3 \cdot 0,35 / (2 \cdot 0,8 \cdot 136 \cdot 10^6) = 0,0014 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 2 мм

Визначаємо критичну довжину оболонки з (4.26)

$$L_{кр} = 4,644 \cdot 0,175 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,175}{0,002}\right) \cdot (1 - 0,27^2)} = 7,32 \text{ м}$$

Значить оболонка коротка.

Визначаємо  $L/r=0,35/0,175=2$  та  $\delta/r=0,002/0,175=0,0114$  з таблиці 4.1  
приймаємо число хвиль  $n=6$

За формулою (4.28) при  $N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r} = 1 + \frac{7 \cdot 0,35}{3,14 \cdot 0,175} = 5,45$

$$p_{кр} = \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,0114}{(6^2 - 1) \cdot 5,45^2} + \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,0114^3}{12 \cdot (1 - 0,27^2)} \left[ 6^2 - 1 + \frac{2 \cdot 6^2 - 1 - 0,27}{5,45} \right] = 3,64 \text{ МПа}$$

При запасі стійкості 5  $p = p_{кр}/5 = 3,64/5 = 728 \text{ кПа} > 95 \text{ кПа}$

Значить товщина стінки 2 мм відповідає умовам міцності.

#### 4.5. Гідравлічний розрахунок.

Метою гідравлічного розрахунку є визначення діаметрів труб для подачі холодинного агенту.

Схема трубопроводів для подачі холодинного агенту приведено на рис. 4.3

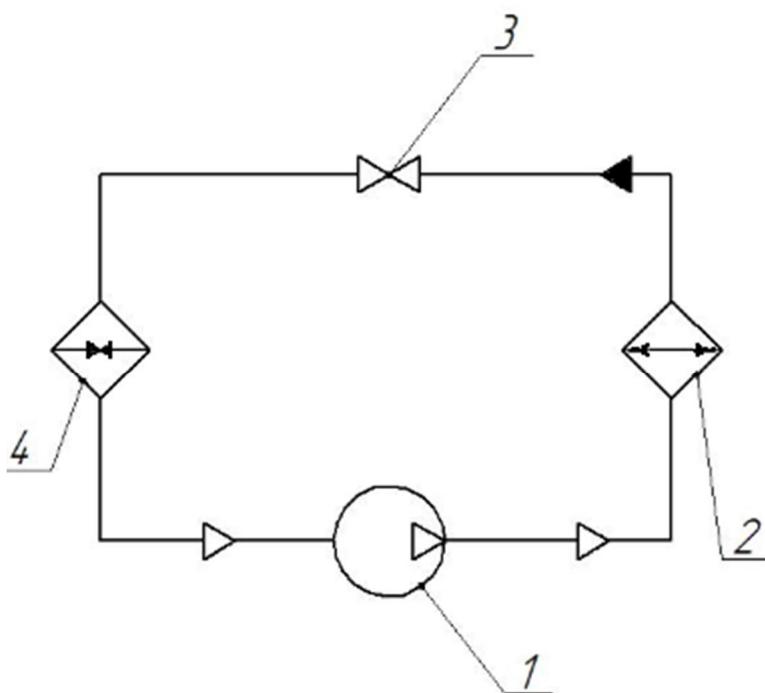


Рис. 4.3. Гідравлічна схема випарного апарату.

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

Діаметр трубопроводу визначають з рівняння витрат.

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

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

густину холодильного агента R410a, приймаємо в залежності від тиску холодильного агента в кожній точці системи та його агрегатного стану,

$\omega$  – швидкість руху теплоносія,  $\text{м/с}$

швидкість руху пари приймаємо в межах  $30\text{-}50\text{м/с}$ ,

швидкість руху конденсату приймаємо в межах  $0,5\text{-}1\text{ м/с}$ ,

Масові витрати пари і конденсату визначаємо з теплового балансу.

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

де:  $s_{\text{п}}$ ,  $s_{\text{к}}$  – ентальпія відповідно конденсату і пари, які визначається по T-s діаграмі для R410a. За температурою випаровування  $t_{\text{в}} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$   $h_{\text{п}} = 429\text{ кДж/кг}$ ,  $h_{\text{к}} = 224\text{ кДж/кг}$ ,

$$G = \frac{130 + 2616}{(429 - 224) \cdot 10^3} = 0,0134 \text{ кг/с}$$

Діаметр трубопроводу від компресора до конденсатора (парова фаза при тиску  $P = 3,4\text{ МПа}$ , густина якої складає  $\rho_{\text{пл}} = 161\text{ кг/м}^3$ ) дорівнює

$$d_{\text{вн1}}^{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0134}{\pi \cdot 2 \cdot 161}} = 0,072 \text{ , м}$$

Діаметр трубопроводу від конденсатора до дросельного вентиля (рідка фаза при тиску  $P = 3,4\text{ МПа}$ , густина якої складає  $\rho_{\text{пл}} = 800\text{ кг/м}^3$  дорівнює

$$d_{\text{вн2}}^{\text{к}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0134}{\pi \cdot 0,5 \cdot 800}} = 0,0065 \text{ , м}$$

Діаметр трубопроводу від випарника до компресора (парова фаза при тиску  $P = 13\text{ МПа}$ , густина якої складає  $\rho_{\text{пл}} = 47,3\text{ кг/м}^3$ ) дорівнює

$$d_{\text{вн3}}^{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0134}{\pi \cdot 2 \cdot 47,3}} = 0,013 \text{ , м}$$

4.6 Розрахунок ефективності використання теплового насосу в вакуум – випарному апараті.

Ефективність використання теплового насосу характеризується питомими витрати електроенергії, тобто кількістю електроенергії на випаровування 1 кг води.

$$j = \frac{Q_e}{W}, \quad \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{кг}} \quad (4.25)$$

Кількість спожитої електроенергії (механічна робота циклу Карно) визначається рівнянням

$$Q_e = \frac{Q_{\text{заг}}}{\varepsilon} \quad (4.26)$$

Де  $\varepsilon$  – теоретичний холодильний коефіцієнт [11] визначає питому холодопродуктивність (працездатність) машини, тобто кількість теплоти, що відводиться в процесі охолодження на одиницю енергії, що витрачається. Холодильний коефіцієнт і питома холодопродуктивність – основні енергетичні показники роботи холодильної машини. Чим більше питома холодопродуктивність установки на одиницю витраченої енергії, тим вище ефективність зворотного циклу. Холодильний коефіцієнт можна визначити через середньо інтегральні температури підведення  $T_0$  і відведення  $T_1$  теплоти:

$$\varepsilon = \frac{T_0}{T_1 - T_0} \quad (4.27)$$

В нашому випадку: температура нагрівання холодильного агенту  $+15^\circ\text{C}$ , температура охолодження  $+45^\circ\text{C}$ .

Тоді холодильний коефіцієнт дорівнює

$$\varepsilon = \frac{(15 + 273)}{(55 + 273) - (15 + 273)} = 7,2$$

Електрична потужність компресора

$$Q_e = \frac{2856}{7,2} = 396 \text{ Вт}$$

Питомі витрати енергії

$$j = \frac{0,396}{1,09 \cdot 10^{-3} \cdot 3600} = 0,101 \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{кг}} = 0,364 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

## РОЗДІЛ 5

### ВИБІР ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ.

Робота холодильної установки протікає за нестационарних умов теплового навантаження на апарати холодильної машини. Тому цікавість у відповідь питання, якою мірою параметри процесів, які у холодильної 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 ВИПАРНОГО АПАРАТУ

#### 1. Загальні положення

1.1. Інструкція з охорони праці при експлуатації вакуум – випарного апарату енергії розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ) в редакції від 20.01.2018р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 1 вересня 2017 року.

1.2. Дана інструкція з охорони праці розроблена з метою запобігання фактів травмування та забезпечення безпечної роботи працівників при використанні вакуум – випарного апарату.

1.3. До самостійної роботи з вакуум – випарного апарату допускаються особи, які вивчили цю інструкцію з охорони праці, пройшли відповідну підготовку, медичний огляд, вступний інструктаж з охорони праці, первинний інструктаж з охорони праці на робочому місці, при відсутності будь-яких медичних протипоказань.

1.4. На працівника який виконує роботу з вакуум – випарного апарату з можуть впливати такі небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

недостатня освітленість робочої зони;

ураження електричним струмом при пошкодженій ізоляції шнура живлення, штепсельної вилки, ушкодженому корпусі;

поразка термічними опіками при торканні руками нагрітого вакуум – випарного апарату, а також гарячою рідиною або парою;

ураження електричним струмом при несправному заземленні корпусу мікрохвильової печі і відсутності діелектричного килимка.

1.5. В процесі роботи з вакуум – випарним апаратом повинен використовуватися наступний спецодяг і засоби індивідуального захисту: халат,

фартух бавовняний і головний убір, діелектричний килимок.

1.6. Приміщення повинно бути обладнане ефективною припливно-витяжною вентиляцією.

1.7. У приміщенні повинна бути медична аптечка з набором необхідних медикаментів і перев'язувальних матеріалів, призначена для термінового надання першої допомоги потерпілим при травмах.

1.8. Працівники зобов'язані дотримуватися правил пожежної безпеки, знати місця розташування первинних засобів пожежогасіння.

1.9. Працівник повинен бути навчений і мати навички надання першої допомоги потерпілим при нещасних випадках, знати місця розташування аптечки.

1.10. В процесі роботи дотримуватися правил носіння спецодягу, користування засобами індивідуального захисту, дотримуватися правил особистої гігієни, тримати в чистоті робоче місце, ретельно мити руки з милом перед початком роботи, після кожної перерви в роботі та стикання із забрудненими предметами.

1.11. Працівник, який допустив невиконання або порушення даної *інструкції з охорони праці при експлуатації вакуум – випарного апарату*, притягується до відповідальності згідно з Правилами внутрішнього трудового розпорядку, трудовим договором і, при необхідності, підлягає позачерговій перевірці знань, норм і правил охорони праці.

## **2. Вимоги безпеки перед початком роботи**

2.1. Перед використанням вакуум – випарного апарату слід уважно ознайомитися з інструкцією по експлуатації. Після читання зберегти для використання в майбутньому.

2.2. Переконавшись, що вакуум – випарного апарату встановлена на горизонтальній, рівній поверхні, досить міцною для того, щоб витримати вагу апарату.

2.3. Одягти спецодяг, волосся заправити під косинку або ковпак, застебнути санітарний одяг на всі гудзики (зав'язати зав'язки), не допускаючи звисаючих кінців одягу. Переконавшись в наявності на підлозі біля вакуум – випарного

апарату діелектричного килимка.

2.4. Перевірити наявність і цілісність ручок пакетних перемикачів вакуум – випарного апарату, а також справність вилки і надійність під'єднання мережевого шнура до 3-х контактної заземленої розетки мережі змінного струму.

2.5. Переконатися, що вентиляційні отвори вакуум – випарного апарату з мікрохвильовим підводом енергії не закриті тканиною або папером.

2.6. Особливу увагу звернути на герметичність з'єднань вакуумної лінії та лінії охолоджувальної води. Контролювати рівень температури охолоджувальної води, температури кипіння і вакууму.

2.7. Про всі виявлені несправності обладнання, інвентарю, електропроводки, герметичності з'єднань та інші неполадки повідомити свого керівника і приступити до роботи тільки після їх усунення.

### **3. Вимоги безпеки під час роботи**

3.1. Вакуум – випарний апарат повинен мати спеціальну систему захисту, що перешкоджає поширенню (витоку) електромагнітних хвиль: щільно прилягаючі поверхні, які не пропускають електромагнітні хвилі.

3.2. Ні за яких обставин не можна намагатися користуватися вакуум – випарним апаратом при відкритих захисних щитках.

3.3. Під час і після закінчення процесу приготування їжі не можна торкатися до нагрівальних елементів або внутрішніх стінок печі, стінки можуть бути досить гарячими для того, щоб викликати опік.

3.4. Не допускається контакт займистих матеріалів з будь-якими внутрішніми поверхнями печі.

3.5. При використанні вакуум – випарного апарату не припустимо:

- використовувати вакуум – випарний апарат при відкритих захисних щитках, тому що при відкритих захисних щитках може виникнути надмірне навантаження випромінювання;
- використовувати вакуум – випарний апарат при наявності несправностей, негерметичності лінії вакууму;

- торкатися до нагрівальних елементів або внутрішніх стінок печі;
- зберігати легкозаймисті матеріали всередині печі;
- лити воду на мережевий шнур або вилку, а також нагрівати їх;
- розміщувати на корпусі предмети.

#### **4. Вимоги безпеки після закінчення роботи**

4.1. Необхідно відключити вакуум – випарний апарат з мікрохвильовим підводом енергії від мережі.

4.2. Слід очистити вакуум – випарний апарат від забруднень.

4.3. Зняти з себе спецодяг і вимити руки з милом.

4.4. При наявності зауважень в роботі вакуум – випарного апарату повідомити керівника

#### **5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

5.1. При виникненні будь-якої несправності в роботі вакуум – випарний апарат, а також при порушенні захисного заземлення її корпусу, ізоляції кабелю живлення роботу слід негайно припинити і вимкнути електроприлад від електромережі. Роботу дозволяється відновити тільки після усунення всіх несправностей.

5.2. У разі виникнення короткого замикання і загоряння електрообладнання вакуум – випарний апарат слід негайно відключити її від електричної мережі, евакуювати людей з приміщення і приступити до ліквідації осередку загоряння за допомогою вогнегасника.

При подальшому поширенні вогню викликати пожежну службу за телефоном 101 і повідомити про подію безпосередньому керівнику.

5.3. В разі ураження електричним струмом слід відключити вакуум – випарний апарат від електричної мережі і надати потерпілому першу допомогу. При відсутності у потерпілого дихання і пульсу необхідно зробити йому штучне дихання і провести непрямий масаж серця, викликати швидку медичну допомогу

або організувати його транспортування у найближчий медичний заклад.

Повідомити про те, що трапилося керівнику.

## РОЗДІЛ 7. ВИСНОВКИ.

1. Розроблено вакуум-випарний апарат з тепловим насосом для концентрування виноградного соку.
2. Проведено технологічний розрахунок вакуум-випарного апарату.
3. Проведено розрахунок на міцність вакуум-випарного апарату.
4. Проведено гідравлічний розрахунок вакуум-випарного апарату.
5. Питомі витрати енергії складають 0,101 кВт год/кг або 0,364 МДж/кг на кілограм виділеної вологи.

## Список літератури:

1. Справочник по производству консервов [Текст] : справочник: в 4 т. Т. 4 : Консервы из растительного сырья / под ред. В. И. Рогачева. — М. : Пищевая пром-сть, 1974. — 654 с. : ил.
2. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 84646  
<https://base.uipv.org/searchINV/getdocument.php?claimnumber=u201305650&doctype=ou>
3. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 105727  
<https://base.uipv.org/searchINV/getdocument.php?claimnumber=a201305634&doctype=ou>
4. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 147213  
<https://base.uipv.org/searchINV/getdocument.php?claimnumber=u202006915&doctype=ou>
5. Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов [Текст] / И. А. Чубик, А. М. Маслов. — Изд. 2-е , доп. — М. : Пищевая пром-сть, 1970. — 184 с. : ил., табл.
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. <https://intercool.com.ua/kompressory/kompressory-dlja-kondicionerov/kompressor-kondicionera-toshiba-pa108mlc-4dzde2.html>
8. 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)
9. Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов [Текст] / И. А. Чубик, А. М. Маслов. — Изд. 2-е , доп. — М. : Пищевая пром-сть, 1970. — 184 с. : ил., табл.
10. Практикум по курсу "Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств" [Текст] : учебник / С. В. Харламов. — Л. : Машиностроение, 1971. — 200 с.
11. Касаткин, Андрей Георгиевич Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учебник / А. Г. Касаткин. — Изд. 9-е, испр. — М. : Химия, 1973. — 750 с. : ил.