

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет

Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім.
В.С. Мартиновського
Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту
Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»
Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування
Освітня програма: «Енергетичний менеджмент та ІТ-сервіс обладнання»



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему Розробка інноваційної установки для фракційного розділення
розчинів

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача: Мазуренко Д.С.

Курсу II групи ГМск-40

Керівник: доцент Сиротюк І.В.

Консультант: доцент Всеволодов О.М.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри ПОЕМ від «___» _____ 2025 р., протокол № ___

Завідувач кафедри ПОЕМ _____

Олег БУРДО

Одеса – 2025 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики

Кафедра: Процесів, обладнання та енергетичного менеджменту

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

Освітня програма: Енергетичний менеджмент та IT-сервіс обладнання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Олег БУРДО

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Мазуренка Дмитра Сергійовича

1. Тема роботи: «Розробка інноваційної установки для фракційного розділення розчинів»
Затверджена наказом ОНТУ від 25.11.2024 р. наказ №738-03
2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 10.06.2025 р.
3. Вихідні дані роботи: продукт – виноградне сушло, початкова концентрація – 6%, кінцева концентрація – 55%, продуктивність апарату 5 кг/год, робочий тиск в апараті – 0,01 МПа.
4. Перелік питань, які потрібно розробити: критичний огляд обладнання аналогічного призначення, патентний пошук, обґрунтування конструкції, проведення технологічного, силового та конструктивного розрахунків, охорона праці.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): креслення лінії виробництва концентрованого виноградного сусла – 1 аркуш А1, креслення загального виду – 2 аркуші А1, креслення складальних одиниць: стапель – 1 аркуш А1, мікрохвильовий вакуум-випарний модуль – 1 аркуш А1, резонаторна шахта – 1 аркуш А2, конденсатор – 1 аркуш А3, деталювання – 2 аркуші А4, специфікація на загальний вигляд – 1 аркуш А4, специфікації на складальні одиниці: мікрохвильовий вакуум-випарний модуль – 1 аркуш А4.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та охорона праці	Доц. Всеволодов О.М.		

2. Дата видачі завдання _____

Керівник _____ Сиротюк І.В.

Завдання прийняв до виконання _____ Мазуренко Д.С.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Збір матеріалів до проекту. Розробити реферат та вступ до дипломного проекту.	До 17.02.2025 р.	
2.	Аналіз існуючого обладнання. Патентний пошук	До 04.03.2025 р.	
3.	Обґрунтування технічного рішення. Креслення загального виду	До 10.03.2025 р.	
4.	Підбір конструкційних матеріалів. Розробка технічного завдання	До 21.03.2025 р.	
5.	Проведення розрахунків	До 01.04.2025 р.	
6.	Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання. Охорона праці	До 10.04.2025 р.	
7.	Креслення складальних одиниць та деталювання	До 22.04.2025 р.	
8.	Внесення коректив та оформлення РПЗ.	До 08.06.2025 р.	
9.	Підписання проекту, друк. Отримання рецензії.	До 16.06.2025 р.	

Здобувач-дипломник _____ Мазуренко Д.С.

Керівник роботи _____ Сиротюк І.В.

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: Мазуренко Д.С. _____

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: «Розробка інноваційної установки для фракційного розділення розчинів» містить 66 сторінок машинописного тексту, рисунків – 13, таблиць – 1, формул – 48, використаних джерел – 10, листів специфікацій – 2.

Дана робота присвячена розробці мікрохвильової вакуум-випарної установки для фракційного розділення розчинів. Головна ідея розробки полягає в концентруванні багатоконпонентних розчинів за низьких температур та з одночасним розділенням вторинної пари на фракції.

Об'єкт досліджень – вакуум-випарна установка для фракційного розділення розчинів.

Предмет досліджень – механізм, кінетика та енергетика процесів фракційного розділення розчинів.

Ключові слова: *мікрохвильова вакуум-випарна установка, фракційне розділення, тепломасоперенесення, виноградне сушло.*

					<i>КРБ.ПотаЕМ.1.738-03.4.3</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Мазуренко Д.С.</i>			<i>ВВУ з фракційним розділенням</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Сиротюк І.В.</i>					4	66
<i>Рецензія</i>						<i>ОНТУ</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Бурдо О.Г.</i>						
<i>Затвердив</i>								

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОНЦЕНТРУВАННЯ ВИНОГРАДНОГО СУСЛА	9
1.1. Методи концентрування виноградного сусла.....	10
1.2. Вимоги до сировини.	11
1.3. Вимоги до тари.....	13
2. КРИТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	14
Обладнання для мембранного розділення.....	14
Обладнання для виморожування.....	18
Технологічна лінія випарювання виноградного сусла.....	23
3. ОГЛЯД ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ	26
4. ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	37
5. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ВАКУУМ-ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ФРАКЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ РОЗЧИНІВ	38
5.1. Найменування і галузь застосування результатів розробки.....	38
5.2. Мета і призначення розробки.	38
5.3. Основні вузли та системи установки.	38
5.4. Технічні вимоги.....	39
6. ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ УСТАНОВКИ.....	41
7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....	43
7.1. Матеріальний баланс.	43
7.2. Тепловий баланс.....	43

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		5

7.3. Гідравлічний розрахунок конденсатора.	49
7.4. Розрахунок сепараційного простору.....	50
7.5. Розрахунок діаметрів штуцерів та трубопроводів для матеріальних потоків.	50
7.6. Розрахунок на міцність.....	51
8. ІНСТРУКЦІЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З МІКРОХВИЛЬОВОЮ ВАКУУМ-ВИПАРНОЮ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ ФРАКЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ РОЗЧИНІВ	61
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	65

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

ВСТУП

Харчова промисловість досить часто зіштовхується з проблемою розділення багатокomпонентної харчової сировини. Традиційні технології зазвичай супроводжуються значними втратами цінних сполук разом з відпрацьованими теплоносіями, вторинною парою або в результаті шкідливого впливу високих температур в процесі обробки. Особливої уваги серед таких продуктів зазнає виноградне сушло, проблемами концентрування якого займаються не один десяток років.

Процес концентрування виноградного сушла є достатньо розповсюдженим у виноробній галузі. Як і будь-які інші харчові розчини, підвищення вмісту сухих речовин виноградного сушла здійснюється шляхом видалення вологи методами випарювання, виморожування або ж за допомогою зворотного осмосу. Кожен з цих підходів по своєму унікальний та має відповідні переваги. Мембранні технології зумовлюють суто механічне розділення розчинів без підвищення температури продукту. Проте організація такого методу є досить високовартісним через складність у виготовленні мембран та забезпечення високих значень тиску. Виморожування каже саме за себе – обробка за низьких температур безсумнівно позитивно впливає на якість кінцевого продукту. Однак обладнання, що працює за даним принципом, також потребує значних фінансових витрат. До того ж, режим роботи в даному випадку може бути лише періодичним. Що стосується випарювання, то дана технологія є найбільш розвинутою у харчовій індустрії, оскільки організація цього процесу не потребує значних капітальних витрат і, що не менш важливе, зазвичай реалізується у безперервному режимі. Але і тут є вагомими недоліки, що спонукають до пошуку нових способів видалення вологи: високі температури обробки та обмежені значення кінцевих концентрацій.

Разом із цим, при концентруванні виноградного сушла виникає ще одна проблема, яка полягає в збереженні ароматичних компонентів, які є не менш

					<i>КРБ.ПомдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		7

важливим компонентом сусла разом із цукрами, натуральними кислотами, білковими сполуками та мінеральними речовинами. Вищерозглянуті технології не в змозі належним чином зберегти всі ці компоненти одночасно.

В даній роботі пропонується конструкція мікрохвильового вакуум-випарного апарату із фракційним розділенням вторинної пари, що дасть змогу не лише організувати процес вологовидалення за низьких температур (до 50°C) аж до високих значень концентрації сухих речовин, а й розділяти вторинну пару, що утворюється в процесі концентрування, на різні компоненти. Таким чином, при правильній організації процесу з'являється можливість зберегти легколеткі компоненти не лише виноградного сусла, ай будь-якого багатоконпонентного розчину.

					<i>КРБ.ПотаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОНЦЕНТРУВАННЯ ВИНОГРАДНОГО СУСЛА

Концентроване виноградне сусло – це продукт, отриманий шляхом видалення частини води із свіжого виноградного соку, зазвичай шляхом випарювання під вакуумом. В результаті виходить густіший, концентрований сік, який зберігає основні смакові та ароматичні характеристики винограду. Його використовують для виробництва вина, дистилятів, а також у кулінарії.

Воно містить усі основні компоненти виноградного соку, включаючи цукру (глюкозу та фруктозу), кислоти (винну, яблучну та інші), а також ароматичні речовини, білки та мінерали.

Концентроване виноградне сусло має дуже широкий попит у багатьох галузях:

- *у виноробстві*: концентроване сусло використовується для виробництва вина, дозволяючи регулювати вміст цукру та алкоголю, а також покращувати якість та смак вина;
- *при дистиляції*: його застосовують для виробництва міцних спиртних напоїв, таких як бренді та виноградний дистилят;
- *в кулінарії*: концентрат виноградного соку використовується як інгредієнт у різних стравах, таких як десерти, соуси, желе, а також як підсолоджувач.

Така популярність концентрованого виноградного суслу пояснюється наступними перевагами:

- *універсальність*: концентрат доступний цілий рік, що дозволяє виготовляти вино та інші продукти з винограду в будь-який час;
- *контроль якості*: він дозволяє контролювати якість та склад кінцевого продукту, оскільки виробник знає точний вміст цукру та кислот;

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		9

- *економія ресурсів*: використання концентрату дозволяє скоротити транспортні витрати та знизити споживання ресурсів під час виробництва вина.

Для виробництва вина з концентрованого соку може знадобитися коригування цукристості та використання винних дріжджів.

В цілому, концентроване виноградне сушло – це цінний продукт, який знайшов широке застосування у виноробстві, дистиляції та кулінарії завдяки своїм унікальним властивостям та зручності у використанні.

1.1. Методи концентрування виноградного сусла.

Зважаючи на велике різноманіття цінних корисних компонентів процес концентрування повинен бути делікатним, щоб уникнути небажаних змін у хімічному складі та органолептичних властивостях сусла.

Серед найбільш розповсюджених розрізняють три основні методи концентрування виноградного сусла.

Випарювання (уварювання).

Даний процес може здійснюватися при атмосферному тиску, коли відбувається нагрів сусла до температури кипіння розчинника (в даному випадку це вода, тому температура становитиме близько 100°C за атмосферного тиску), в результаті чого забезпечується його випарювання.

При випарюванні під вакуумом процес відбувається при зниженому тиску, що дозволяє знизити температуру кипіння та зберегти більше цінних компонентів.

Окремим завданням в процесі випарювання виноградного сусла є збереження аромату. Уловлювання ароматичних речовин у випарних установках спрямовано на вилучення цінних ароматичних сполук з вторинної пари, що утворюється в процесі випарювання сусла. Для цього використовуються різні конструкції установок, засновані на принципі відокремлення ароматичних речовин від пари, часто з використанням

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

абсорбції або адсорбції. При абсорбції ароматичні речовини поглинаються спеціальною рідиною, а потім витягуються з неї. Адсорбція полягає у затриманні ароматичних речовин на поверхні твердого адсорбенту з подальшим їх вивільненням.

Виморожування.

Даний метод ґрунтується на видаленні води шляхом її кристалізації при низьких температурах. Вода замерзає, утворюючи кристали льоду, які відокремлюються від суслу. Цей метод дозволяє отримувати концентрат із збереженням ароматичних та смакових якостей, але може вимагати складного обладнання та більш тривалого процесу.

Мембранні технології.

Включають використання мембран з різними розмірами пор, які дозволяють розділяти компоненти суслу за їх молекулярним розміром. Найбільш поширені методи: зворотний осмос та ультрафільтрація. Зворотний осмос дозволяє видаляти воду і дрібні молекули, тоді як ультрафільтрація може використовуватися для видалення більших частинок і макромолекул. Мембранні технології дозволяють отримувати концентрат із високим ступенем очищення та збереженням ароматичних компонентів.

1.2. Вимоги до сировини.

При концентруванні виноградного суслу сировина, що використовується (виноград), повинна відповідати певним вимогам, щоб забезпечити високу якість кінцевого продукту. Основні вимоги стосуються сорту винограду, ступеня зрілості, санітарного стану та вмісту цукру [1].

Сорт винограду

Необхідно використовувати сорти винограду, які підходять для виробництва вина або інших продуктів, для яких призначене концентроване сусло. Різні сорти винограду мають різні характеристики (кислотність, цукристість, ароматика), які впливають на властивості кінцевого продукту.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		11

Ступінь зрілості

Виноград має бути зрілим, але не перезрілим. Оптимальний ступінь зрілості визначається за вмістом цукру та кислот, а також з розвитку ароматичних речовин. Недозрілий виноград дасть низький вміст цукру та високий вміст кислот, що може призвести до проблем при концентруванні та бродінні. Перезрілий виноград може містити занадто багато цукру і мало кислот, що також може негативно вплинути на якість продукту.

Санітарний стан

Виноград має бути здоровим, без ознак гнилі, плісняви та інших захворювань. Пошкоджені ягоди слід видаляти, оскільки вони можуть містити небажані мікроорганізми, які можуть вплинути на смак та аромат сусла, а також процес концентрування.

Вміст цукру

Вміст цукру у винограді має бути достатнім для досягнення бажаної концентрації у кінцевому продукті. У разі необхідності, в сусло може бути доданий цукор, але його кількість повинна бути контрольованою.

Відсутність сторонніх домішок

Виноград має бути очищений від листя, гілочок та інших сторонніх домішок, які можуть потрапити в сусло в процесі збирання та переробки.

Вміст фенольних речовин

Зміст фенольних речовин (танінів) також є важливим фактором, що впливає на смак та колір вина. Деякі сорти винограду містять більше танінів ніж інші.

Залежно від типу бажаного продукту (наприклад, вина, соку, безалкогольного напою), вимоги до сировини можуть відрізнятися.

Дотримання цих вимог до сировини при концентруванні виноградного сусла є важливою умовою отримання якісного продукту з бажаними характеристиками.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.3. Вимоги до тари.

При концентруванні виноградного сусла тара повинна бути інертною до суслу, герметичною, стійкою до перепадів температури і тиску, а також легко митися і дезінфікуватися. Рекомендується використовувати ємності із нержавіючої сталі, харчового пластику або скла [2].

Матеріал

Тара має бути виготовлена з матеріалів, які не вступають у реакцію з компонентами сусла. Нержавіюча сталь, харчовий пластик (поліетилен, поліпропілен) та скло є кращими варіантами.

Герметичність

Ємності повинні щільно закриватися, щоб запобігти попаданню повітря та мікроорганізмів, а також втраті вологи та ароматичних речовин.

Легкість очищення та дезінфекції

Ємності повинні бути легко миючими та дезінфікованими, щоб запобігти розвитку мікроорганізмів та забезпечити гігієнічність процесу зберігання та транспортування.

Відсутність сторонніх запахів

Тара не повинна надавати суслу сторонніх запахів або смаків.

Гладка внутрішня поверхня

Гладка поверхня полегшує очищення та запобігає накопиченню залишків сусла.

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

2. КРИТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Обладнання для мембранного розділення.

Апарати з пористими мембранами класифікуються за типом мембранних елементів, які можуть бути плоскими, трубчастими, спіральними та волокнистими [3].

Конструкцію апаратів з плоскими мембранними елементами розглянемо на прикладі апарату типу «фільтрпрес» (рис. 1).

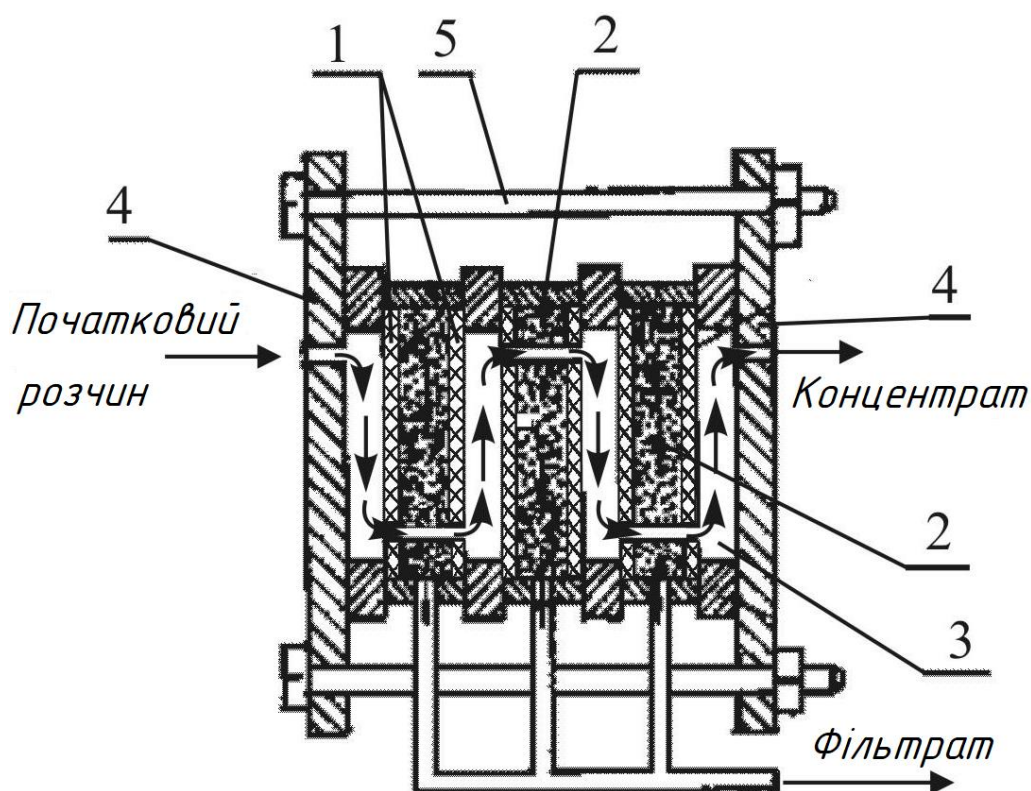


Рис. 1 – Мембранний апарат типу «Фільтрпрес»:

1 – мембрани, 2 – дренажні пластини, 3 – рами, 4 – торцеві пластини,
5 – стягуючі болти.

Між елементами, що розділяють, розташовані порожнисті пластини (рами) 3. Як показано на рисунку 1, порожнисті елементи чергуються з розділяючими і така збірка затискається з двох сторін торцевими пластинами 4 за допомогою болтів, що стягують 5. Розділений розчин послідовно

проходить через всі розділові елементи, концентрується і видаляється з апарату. Пройшовши через мембрану фільтрат стікає по дренажних пластин вниз і виводиться з апарату. Апарати типу «фільтрпрес» відрізняється простотою виготовлення та збирання, заміни мембран. Основним недоліком цих апаратів є мала питома поверхня мембран: 60–300 м²/м³ (поверхня мембран на одиницю робочого обсягу апарату).

Апарати з трубчастими мембранними елементами застосовують для зворотного осмосу, але особливо широко застосовують для ультрафільтрації. Трубчастий мембранний елемент показано на рисунку 2, апарат з трубчастими елементами показаний на рисунку 3, де в трубних плитах 1 герметично закріплені розділові трубчасті елементи 2. По вигляду такий апарат схожий з кожухотрубчастим теплообмінником. Позитивні якості апаратів із трубчастими розділовими елементами полягають у наступному: мала матеріаломісткість; хороші гідродинамічні умови роботи мембрани, оскільки забезпечується рівномірність потоку розчину у всіх точках поверхні; відносно невеликий гідравлічний опір розділових елементів. Недоліком є мала питома поверхня мембран: 60–200 м²/м³.

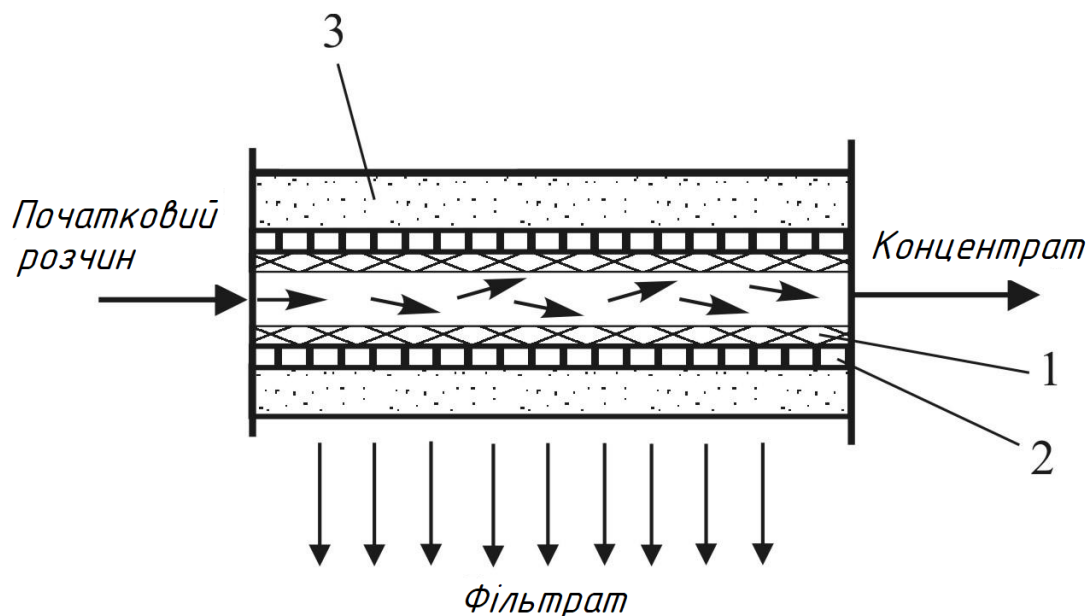


Рис. 2 – Трубчастий елемент для мембранного поділу:

1 – мембрана, 2 – підкладка, 3 – пориста труба.

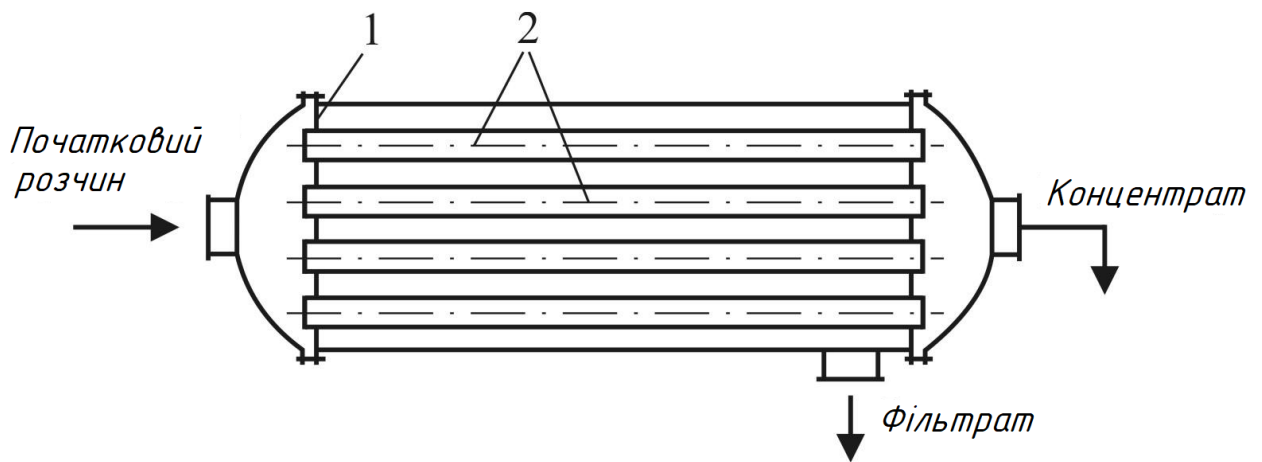


Рис. 3 – Мембранний апарат із трубчастими елементами:

1 – трубна плита, 2 – трубчасті мембранні елементи.

Апарати зі спіральними мембранними елементами (рулонні) виготовляються із чотиришарової пластини, згорнутої в спіраль та конструктивно схожі зі спіральними теплообмінниками. Схематично спіральний мембранний елемент зображено на рисунку 4. Він складається з сітки-сепаратора 2 по якій подається вихідний розчин і виходить концентрат, двох мембран 1 і розташованого між ними дренажного шару. Розчин, проходячи сіткою-сепаратором, концентрується за рахунок видалення частини розчинника через мембрани в дренажний шар, з якого відводиться фільтрат. Апарати зі спіральними мембранними елементами мають більшу питому поверхню ($300\text{--}800\text{ м}^2/\text{м}^3$) і малу металоємність, але більш складні у виготовленні та монтажі, а також мають значний гідравлічний опір як сітки-сепаратора, так і дренажного шару.

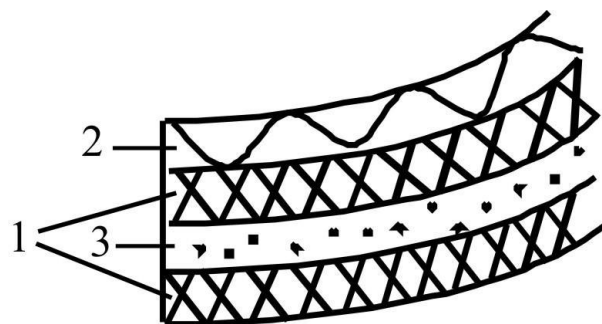


Рис. 4 – Зображення спірального мембранного елемента:

1 – мембрани, 2 – сітка-сепаратор, 3 – дренажний шар.

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		16

Апарати з волокнистими мембранними елементами є пучками мембран, виготовлених у вигляді порожнистих волокон, кінці яких за допомогою епоксидної смоли закріплені в трубних решітках 3 (рис. 5). Такі апарати використовуються для баромембранних процесів. Волокна мають зовнішній діаметр 45–1000 мкм та товщину стінки 10–200 мкм. Подача вихідного розчину можлива як усередину волокон (рис. 5), так і зовні. Перевагами таких апаратів є висока питома поверхня мембран (20000–30000 м²/м³), а недоліком – необхідність попереднього очищення розчинів від механічних домішок.

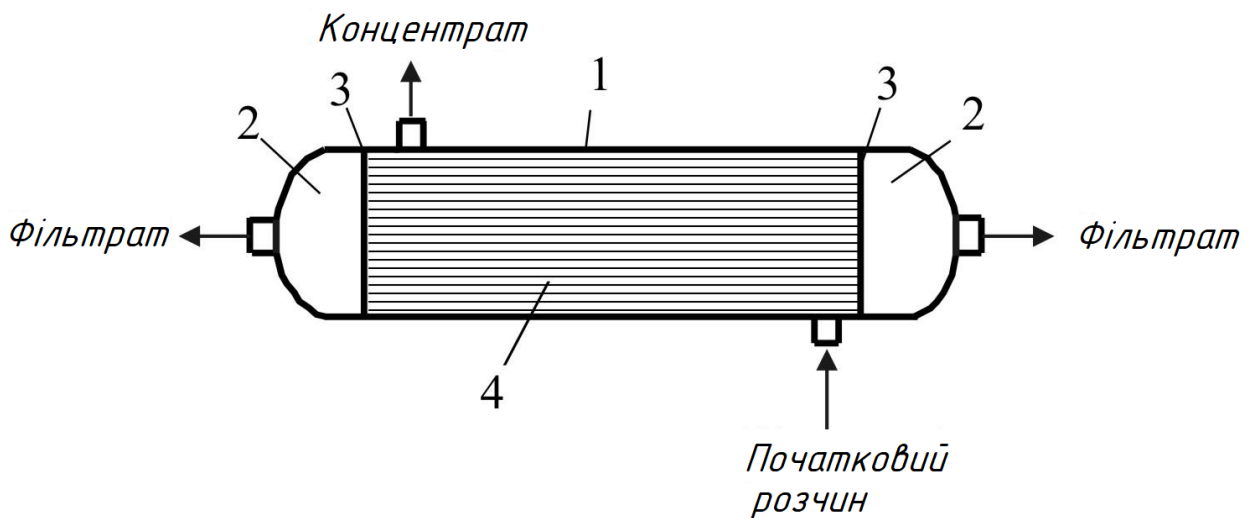


Рис. 5 – Мембранний апарат з порожнистими волокнами:

1 – корпус, 2 – кришки, 3 – трубні решітки, 4 – волокна.

Конструкції апаратів з рідкими мембранами залежить від способу створення мембрани. Так, шар рідкої мембрани може розташовуватися між двома плоскими паралельними пористими полімерними перегородками, що пропускають вихідний розчин, але утримують гель, з якого складається мембрана. В цьому випадку конструкція апарата буде ідентична апаратам з плоскими пористими мембранами, наприклад, «фільтрпрес» рисунку 1.

Мембрана може утворювати рідку плівку на поверхні рідини, що розділяється (випаровування через мембрану), але питома поверхня мембрани в цьому випадку невелика. Набагато велику питому поверхню можна забезпечити, якщо «мембранна рідина» буде обволікати краплі

рідини, що розділяється, розподілені в суцільній фазі (емульсія). У цьому випадку для проведення процесів мембранного поділу придатні екстрактори, наприклад, порожній розпилюючий, роторно-дисковий та інші.

Обладнання для виморожування.

Виморожування води з наступним відділенням льоду від згущеного суслу на великих підприємствах виробляють за способом Краузе–Лінде (рис. 6) або за способом Гейса–Нейербурга (рис. 7) [4]. При цьому згущення соку здійснюється двоступеневим заморожуванням при температурі, що знижується, а наступне відділення льоду – пресуванням або центрифугуванням. Було також запропоновано комбінацію виморожування з випаровуванням у вакуумі. Застосування цих способів коштує дуже дорого. Тому на невеликих підприємствах охолодження, необхідне для виморожування, здійснюється не машинами, а снігом із сухого льоду, застосування якого не потребує великих спеціальних установок. Однак при цьому витрачаються великі кількості снігу, а також часу та праці. Якщо велике підприємство не має в своєму розпорядженні допоміжних машин, то згущення соку снігом із сухого льоду обійдеться йому не дешевше, ніж при роботі з машинами.

Втрата залишку розчину в капілярах кристалів льоду також збільшується при згущенні та стає занадто великою. Тому слід знайти найбільш сприятливе співвідношення концентрації. На великих підприємствах охолодження виробляють не більше ніж у два прийоми, а при вживанні сухого льоду – в один прийом.

Промисловий спосіб виморожування доводять до вмісту 50–60% сухої речовини. Втрата аромату невелика, випадкове окиснення може бути усунене.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		18

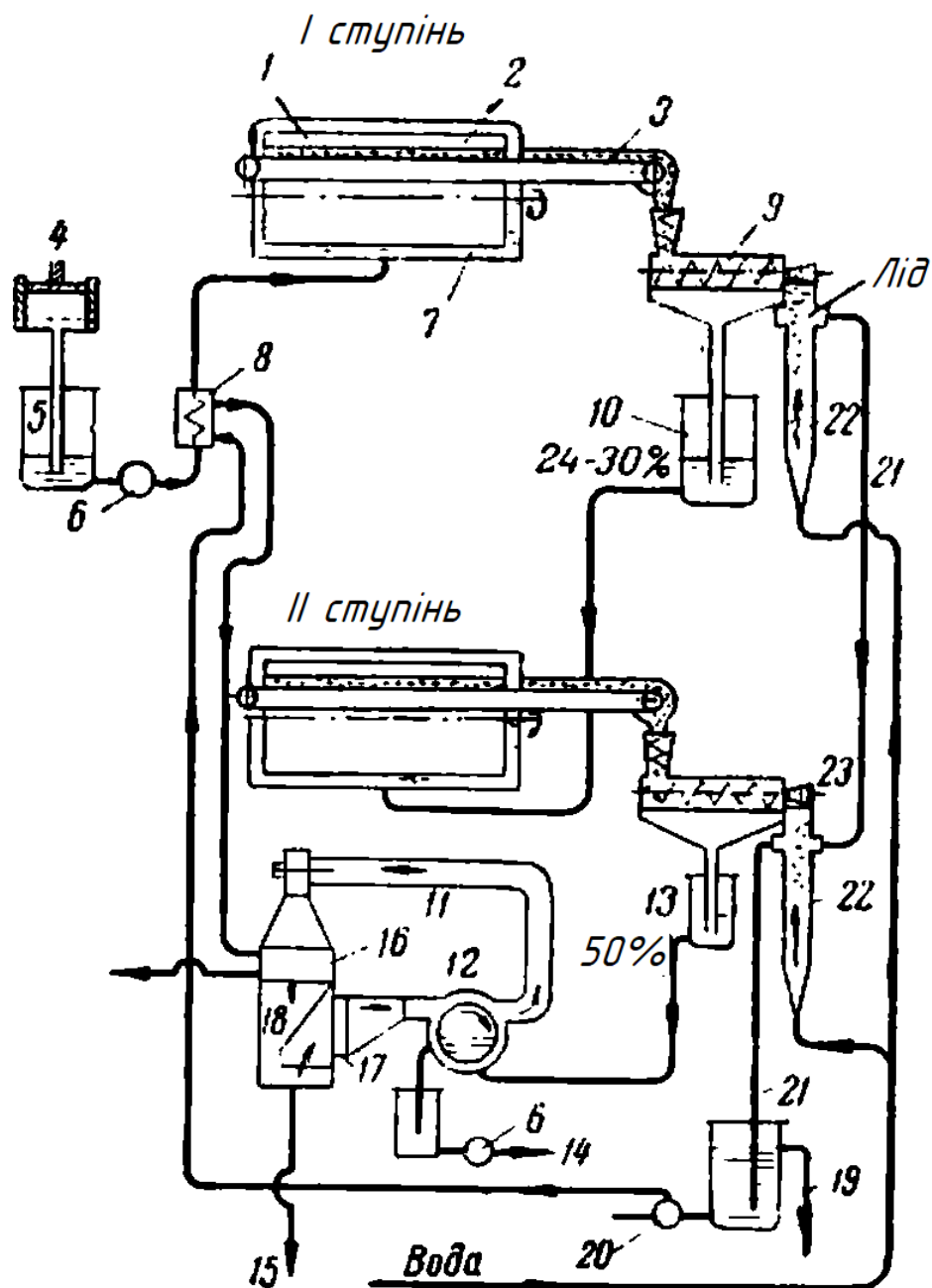


Рис. 6 – Робоча схема виморожування за способом Краузе–Лінде.

1 ступінь:

1–заморожуючий барабан; 2 – скребок, що знімає концентрат, примішаний до льоду; 3–стрічка подачі; 4 – прес для соку; 5 – ємність для соку; 6 – насос; 7 – ванна для соку; 8 – пластинчастий холодильник (попередній холодильник); 9 – безперервний прес; 10 – 1-й концентрат, 24–30% сухої речовини;

2 ступінь:

11 – струмінь газу; 12 – дифузійний апарат; 13 – 2-й концентрат 50% сухої речовини; 14 – остаточний концентрат, 10% води; 15 – конденсаційна вода; 16 – охолоджувач струн газу дифузійного апарату; 17 – нагрівач потоку газу; 18 – збирач конденсату; 19 – водозлив для крижаної води; 20 – циркуляційний насос для крижаної води; 21 – провід для крижаної води; 22 – розпалювач льоду; 23 – вихід льоду з пресу.

Принцип охолодження за способом Краузе–Лінде (рис. 6) – двоступінчастий і з дифузійним пристосуванням. Тут сік з пресу надходить у танк (зліва вгорі) і за допомогою насоса 6 подається через попередній холодильник у ванну, в якій обертається барабан, що заморожує, охолоджується зсередини соляним розчином. Суміш концентрату та льоду, що утворилася у вигляді тонких шарів на поверхні барабана, знімається скребком і подається по стрічці в безперервний прес з архімедовим гвинтом, в якому відбувається відділення льоду від розчину, що згущує. Втрата становить близько 5%. Лід використовується для охолодження (у вигляді крижаної води).

Перший згущений розчин, що містить близько 24–30% сухої речовини, збирають у танк і подають на другий ступінь охолодження, де повторюється той самий процес. Тут згущення може бути доведено до 50% сухої речовини.

Для більш високих концентрацій включають дифузійний апарат. У ньому другий концентрат піддається великій поверхні обробці струменем газу при 25° видалення ще 10% води.

При виморожуванні за способом Гейсса-Нейсбургга (мал. 7) замість безперервного преса застосовується центрифуга, щоб уникнути втрат тепла при відтисканні (при цьому відбувається менш сильне охолодження). У разі потреби і тут здійснюється двоступінчасте згущення. За Гейссом, здешевлення згущення виморожуванням залежить від того, чи вдається при другому згущенні отримати концентрацію 4:1. Великий ступінь згущення важко здійснити і тому не вигідна.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		20

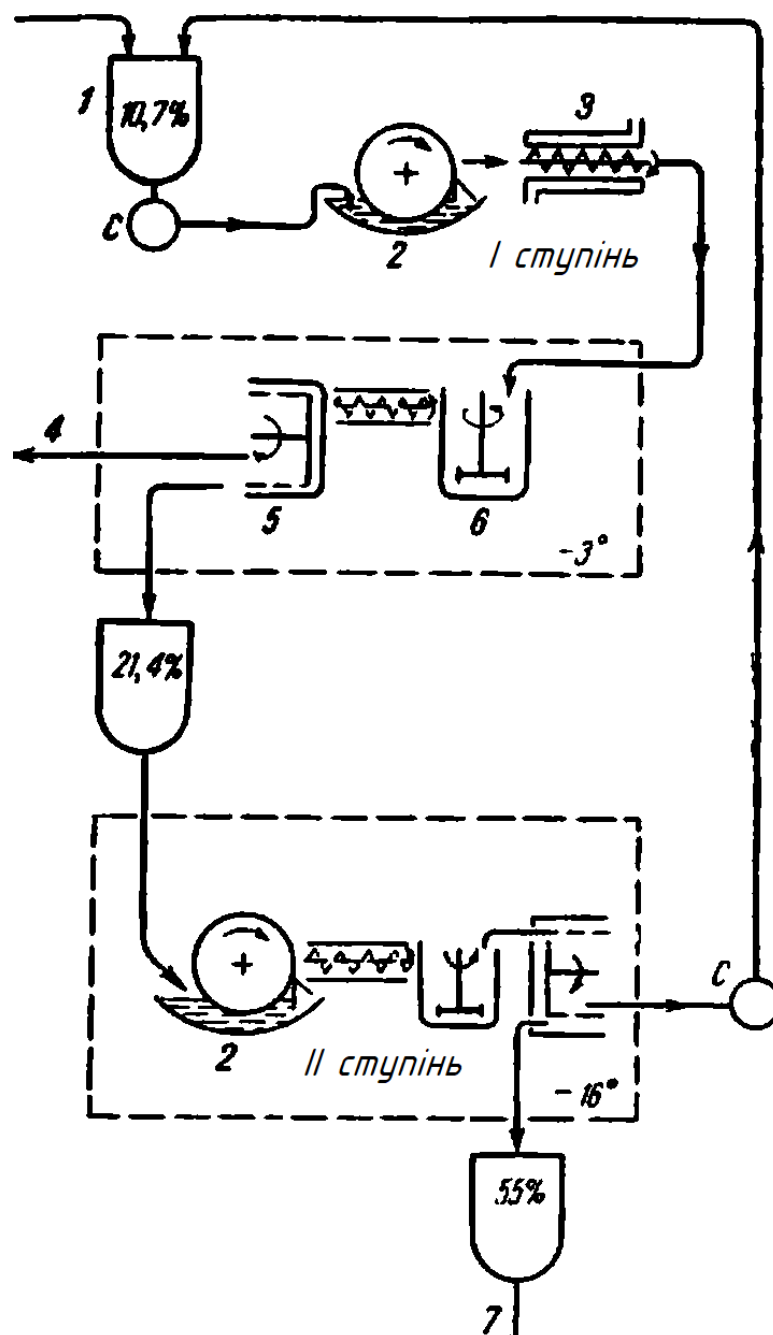


Рис. 7 – Схема роботи установки Гейсса - Нейєрбурга для концентрації шляхом виморожування: 1 – ємність для соку 10,7%; 2 – заморожуючий вал; 3 – обігрівуюча спіраль; 4 – залишок льоду; 5 – центрифуга; 6 – ємність для розмішування; 7 – концентрат.

Зазначені вище способи можна застосовувати головним чином для концентрації соків. Вони придатні для концентрації вин, але вимагають дотримання особливих запобіжних заходів (для попередження окислення).

На тому ж принципі заснований французький спосіб виморожування вин, розроблений Пепеном і Гаском (рис. 8). Виморожуване вино в цьому випадку направляється через теплообмінник 2 холодильник 3 з сольовим розчином, з скребком, в якому вода частково вимерзає.

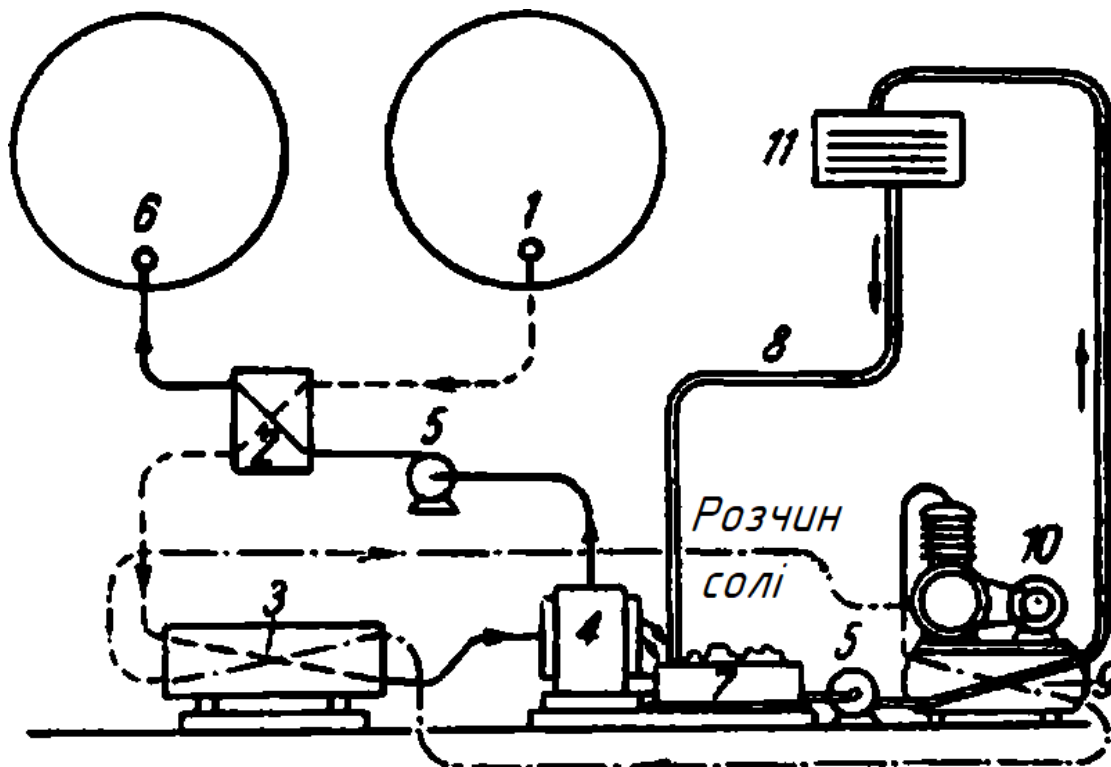


Рис. 8 – Схема роботи установки для згущення піна охолодженням за способом Пепена та Гаске:

1 – вихідне вино; 2 – теплообмінник; 3 – спеціальний охолоджувач;
 4 – сепаратор льоду (центрифуга); 5 – насоси; 6 – концентрат; 7 – плавлення льоду та отримання охолоджуючої води; 8 – охолоджуюча вода;
 9 – конденсатор; 10 – компресор; 11 – конденсатор для охолоджувальної води.

Лід від вина відокремлюється в центрифугі 4. За допомогою насоса 5 згущене вино знову накачується в теплообмінник 2, де використовується як охолоджуючий засіб, звідти він надходить у приймач для вимороженого вина 6. Лід і сніг, відокремлені від рідкої частини центрифугою, виносяться безперервно в приймач, там розплавляються і холодна вода знову

використовується в кругообіг для охолодження конденсатора 9, компресор 10 і використовується через прилад для охолодження повітря 11.

Кругообіг вина заштрихований або проведений суцільною лінією; кругообіг охолодженого розсолу позначений пунктиром і штрихуванням; кругообіг охолоджуючої води – подвійними суцільними лініями.

Технологічна лінія випарювання виноградного сусла.

В якості основи для подальшої розробки була обрана технологія виробництва концентратів виноградного сусла методом випарювання.

Вакуум-сусло повинне задовольняти наступним вимогам: колір – для білого від янтарно-золотистого до кольору міцного чаю, для червоного червоний різних відтінків; аромат та смак чисті, допускається легкий карамельний тон; вміст цукру не менше 90 г/100 см³, кислотність, що титрується, не більше 55 г/дм³, відносна щільність не менше 1,377, вміст діоксиду сірки не більше 700 мг/дм³, міді до 30, олова до 200, заліза до 135 мг/дм³, вміст свинцю та миш'яку не допускається.

Для приготування вакуум-сусла використовують сусло білих та червоних сортів винограду. Кращими вважаються сорти винограду з високим вмістом цукру (до 30 г/100 см³) та з низькою кислотністю, що титрується (2 г/дм³). Для концентратів виноград збирають при цукристості не нижче 15 г/100 см³ і кислотності, що титрується, не вище 9 г/дм³.

Виноград збирають, транспортують та переробляють на сусло, не допускаючи його зараження. Переробляють його за білим способом. Для випарювання використовують сусло-самотечію. Перед випарюванням свіжий сік освітлюють. Для освітлення застосовують відстоювання з сульфитацією до 120 мг/дм³ та обробкою бентонітом або відстоювання зі штучним охолодженням із сульфитацією 50 мг/дм³ та обробкою бентонітом.

Для тривалого зберігання сусло консервують холодом або сульфітують із розрахунку 500 мг/дм³ SO₂, відстоюють 18-24 год, декантують і повторно сульфітують до 800-1000 мг/дм³. Зберігають у герметичних резервуарах із

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		23

стійким захисним покриттям, із гідравлічними затворами. Облік соку ведуть у дав і кг цукру. У разі необхідності в соку знижують кислотність, що титрується, крейдою до 2 г/дм³.

Випарюють сік на вакуум-апаратах різних типів з нержавіючої сталі періодичної та безперервної дії.

На рисунку 9 показано установку, призначену для отримання концентрованого виноградного вакуум-сусла. Виноградне сусло з ємності 14 насосом через теплообмінники 12 подається у випарну колонку 5 де концентрується до цукристості 30 г/100 г при надмірному тиску 60–40 кПа. Потім сусло надходить у наступну випарну ємність 6, де концентрується до цукристості 60 г/100 г при тиску 25–15 кПа, а далі - випарні ємності 5, де концентрується до цукристості 80 г/100 г при залишковому тиску 13,2–10,6 кПа. Потім готове вакуум-сусло надходить у ємність. Перша випарна колонка 3 обігрівається пором, ємність 6 – соковою парою колонки 5, випарна ємність 5 – соковою парою ємності 6. Сокові пари з випарних ємностей через краплеуловлювач 4 конденсуються в поверхневому конденсаторі 2.

Вакуум-сусло фасують у гарячому стані в бочки з поліетиленовими вкладишами місткістю 10-30 дм³ і бляшані банки № 15. Маса нетто банок 11 кг. Облік консервованого сусла ведуть за масою і кг абсолютного цукру. При прийманні визначають щільність і вміст цукру в масових відсотках (г/100 г), а також вміст цукру (г/100 см³), який визначається множенням масового відсотка на густину концентрованого сусла. Об'єм концентрованого сусла визначають через відношення маси до густини.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		24

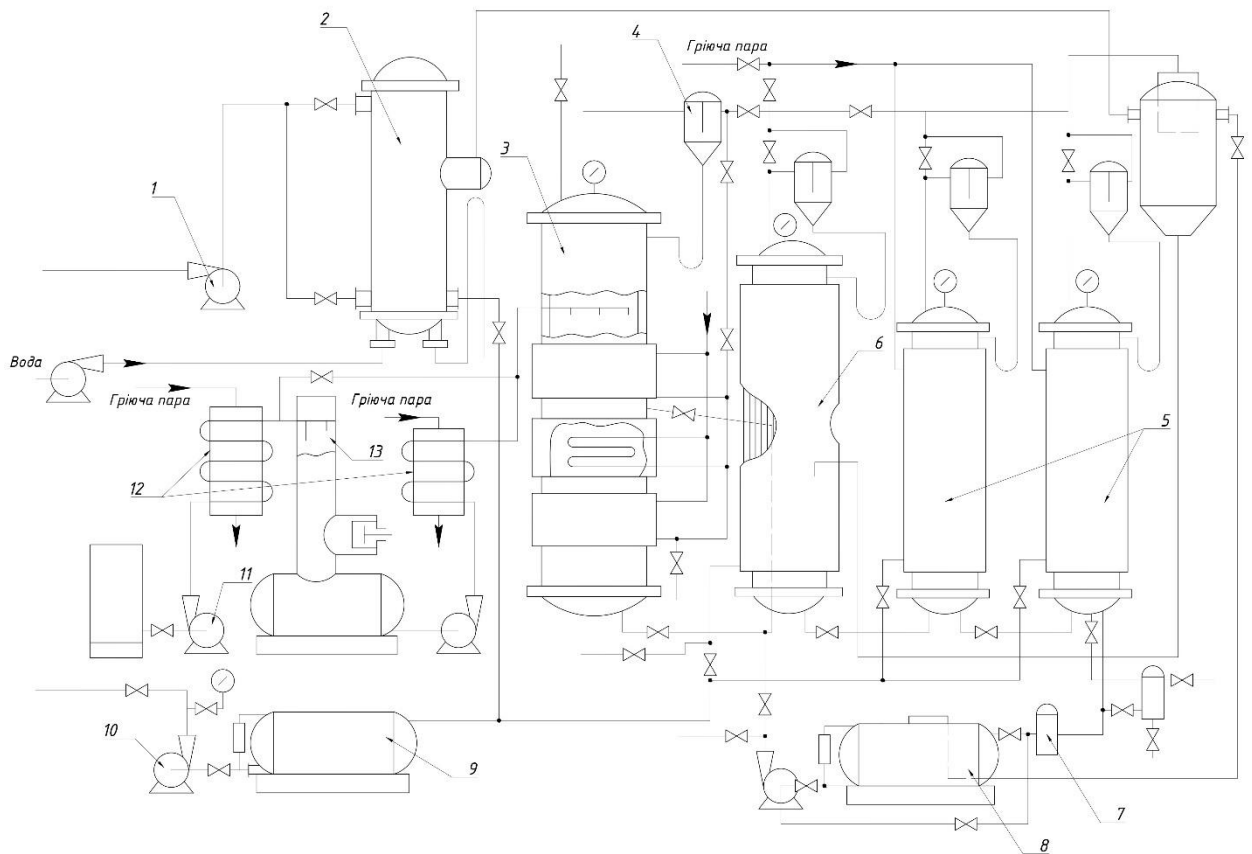


Рис. 9 – Установа для одержання концентрованого виноградного суслу:

- 1 – вакуум-насос; 2 – поверхневий конденсатор; 3 – випарна колонка;
 4 – краплеуловлювач; 5, 6 – випарні ємності; 7 – рефрактометр;
 8, 14 – ємності; 9 – збірник конденсату; 10 – відцентровий насос; 11 – насос;
 12 – теплообмінники; 13 – десульфітатор.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		25

3. ОГЛЯД ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Патент на винахід FR2746108 «Випарювання виноградного сусла при температурі навколишнього середовища та тиску».

Винахід відноситься до способу випаровування розчину, такого як виноградне сусло та сік тощо, що дозволяє збільшити концентрацію розчину, наприклад, збільшити вміст алкоголю у виноградному суслі, що зберігається в бродильному чані; винахід відноситься до пристрою, що реалізує цей спосіб [5].

Даний винахід пропонує спосіб концентрування розчинів, таких як сусло, виноградний сік тощо, що характеризується тим, що він включає наступні етапи:

подача концентрованого розчину, взятого при температурі зберігання, резервуару для зберігання у верхню частину випарної камери для його дифузії в шар, переважно під дією сили тяжіння і при атмосферному тиску,

примус крапель розчину, таким чином дифузowanego, стікати навколо нагрівальних елементів, запобігаючи їх падінню,

підтримання температури зазначених нагрівальних елементів близько 80°C для створення часткового випаровування розчину без перевищення температури кінцевого концентрату 50–55°C,

механічне вилучення парів, отриманих таким чином, шляхом створення високотурбулентного повітряного потоку всередині камери з холодного сухого повітрязабірника зі швидкістю потоку, відрегульованої для запобігання повторній конденсації парів, обмежуючи їх швидкість, щоб уникнути ризику віднесення концентрату,

збирання концентрату з дна камери та повернення його, наприклад, у верхню частину резервуара для зберігання, створюючи таким чином безперервний цикл концентрації розчину.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		26

Рисунок 10(А) являє собою блок-схему повної установки концентратора розчину в роботі для обробки виноградного суслу в резервуарі для зберігання,

Малюнок 10(В) представляє в перспективі внутрішнє розташування випарної камери згідно винаходу, показуючи, серед іншого, відносне розташування нагрівальних елементів у листах та їх приладдя, що взаємодіють з двома дифузійними стрижнями для концентрування суслу.

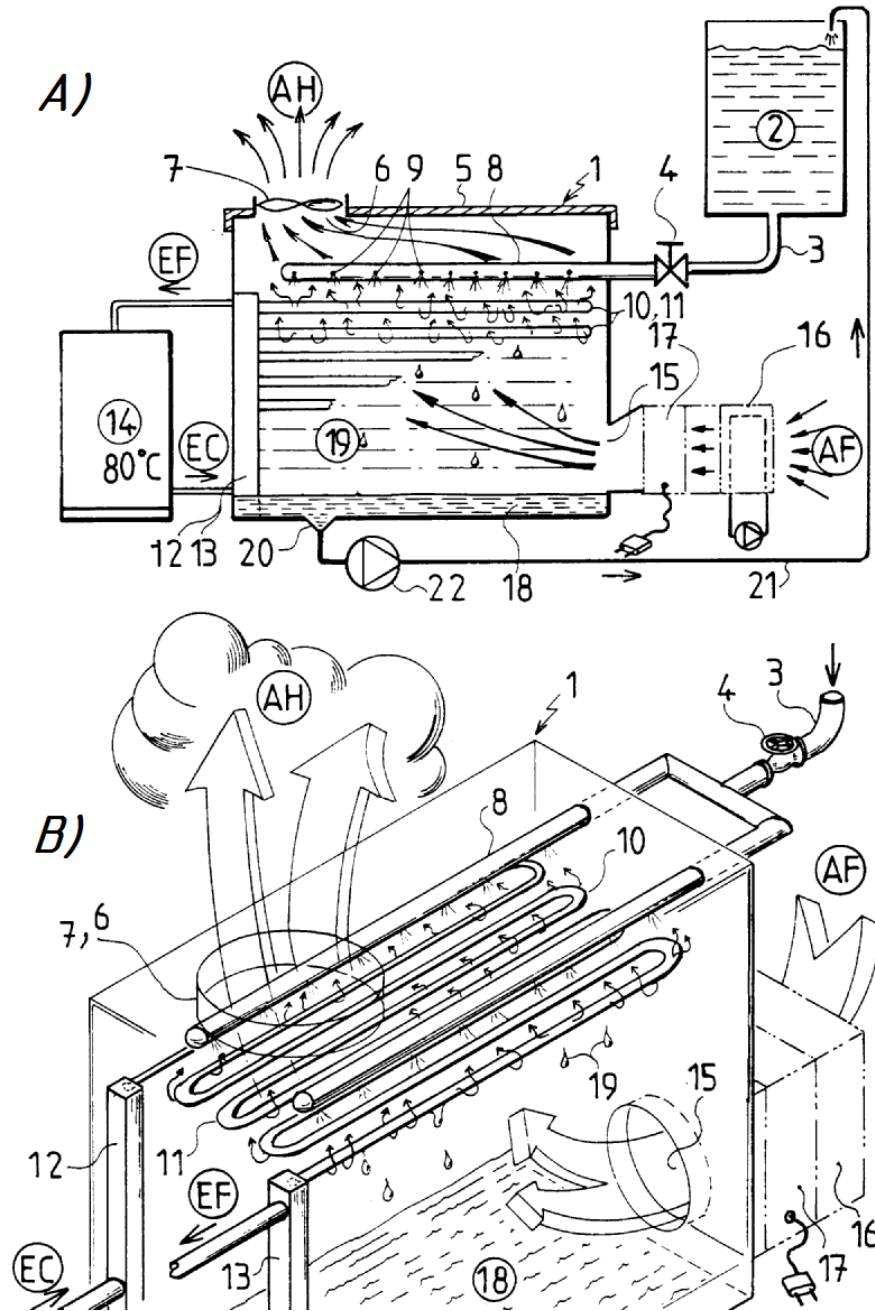


Рис. 10 – Схема пристрою для концентрування суслу за патентом FR2746108.

Посилаючись на Рисунок 1 креслень, тепер буде описаний приклад практичного втілення концентратора, призначеного для обробки бродильного резервуару виноградного сусла з метою підвищення вмісту алкоголю шляхом часткового випаровування води, що міститься в суслі. Для цієї мети випарна камера 1 концентратора згідно винаходу з'єднана з бродильним чаном 2, спочатку містить, наприклад, 1650 літрів сусла, що зберігається при температурі близько 16°C, за допомогою труби 3, з'єднаної з клапаном 4, призначеним для регулювання потоку сусла в камеру 1 концентратора; камера 1 насправді є ємністю з нержавіючої сталі у формі паралелепіпеда, що має, наприклад, довжину 2,20 м, висоту 1,45 м і ширину 0,55 м. Камера 1 має у верхній частині кришку 5, призначену для відносно герметичного закриття ємності. Кришка 5 має на своїй верхній поверхні круглий повітрязабірник 6 діаметр якого дорівнює 30 см, з'єднаний з витяжкою повітря 7, встановленої в номінальному режимі для витрати 900 м³/год. В середині коробки 1, розташованої в найвищій частині резервуара поблизу кришки 5, шість дифузійних стрижнів 8 з'єднані одним зі своїх кінців з клапаном 4, що з'єднує коробку 1 з резервуаром для зберігання 2 через трубу 3; для ясності креслення малюнку 2 у перспективі показані лише два дифузійних стрижня 8; кожен дифузійний стрижень 8, розташований поздовжньо і горизонтально в коробці 1 по обидві сторони від площини симетрії зазначеної коробки, переважно забезпечений певною кількістю отворів 9 щодо невеликого діаметра, рівного в прикладі 2,5 мм, і розташованих уздовж стрижнів 8 на рівних інтервалах 2, розташованих приблизно. Звичайно, стрижні 8 можуть мати будь-яку можливу форму і включати інші розташування 9 отворів, які, ймовірно, краще підходять для інших швидкостей потоку, зокрема, для великомасштабних обробок.

Нижче і на одній лінії з дифузійними стрижнями 8 в паралельних напрямках, наступних за послідовними горизонтальними площинами і на відстані 8 см один від одного, розташовані шістнадцять листів 10, кожен з

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

яких містить шість трубчастих нагрівальних елементів 11, що мають зовнішній діаметр 25 мм, які простирають; Кожен шар 10 фактично складається з трубчастого змійовика, один кінець якого з'єднаний з основним колектором 12, а інший - з випускним колектором 13, відповідно до спрощеного перспективного зображення на рисунку 2. Два впускних і випускних колектора, 12 і 13, розташовані вертикально по обидві сторони. 12 з'єднаний в нижній частині з ЕС трубою на виході з установки з виробництва тепла, т. е. простого котла 14, що виробляє гарячу воду, а випускний колектор 13 з'єднаний у верхній частині із зовнішньою трубою EF, що повертається в котел 14. Згідно з цією схемою, теплоносій, вода в прикладі, доводиться до температури, близької до 80 °С, яка потім вводиться на вході кожного шару 10, щоб 11 до температури поверхні близько 70 °С. Слід зазначити, що котел 14 підтримує температуру шарів протягом усієї обробки, циркуляційний контур за допомогою простої конвекції, можливо, за допомогою циркуляційного насоса, встановлюється між виробництвом котла 14 і шарами 10 нагрівальних елементів 11. Циркуляція повітря всередині коробки 1, як ми бачимо, повітрязабірником 15 перетином, рівним приблизно $1,325 \text{ см}^2$, передбаченим в нижній частині коробки 1 на бічній поверхні так, щоб бути якомога далі від повітрязабірника 6 для вологого повітря, розташованого на верхній поверхні кришки 5 коробки 1. Повітрязабірник свіжого повітря 15 температурі довілля. Цілком очевидно, що чим нижче температура вхідного повітря AF і чим нижче гігromетричний ступінь цього повітря, тим більше внутрішньої вентиляції вдасться прийняти вологості для того ж об'єму залученого повітря, тобто тим більше буде вилучення води і тим вища ефективність концентратора; ось чому, між іншим, передбачено підключення до впускного отвору 15 звичайного охолоджуючого пристрою 16, яке показано пунктирними лініями на малюнку 1. Слід зазначити, що при нормальному використанні охолодження вхідного повітря не здається необхідним, що ще більше обмежує експлуатаційні витрати. Також може

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		29

бути необхідно, всупереч тому, що було щойно сказано, нагріти повітря, що надходить через впускний отвір 15; для цього в всмоктуване повітря АФ вставляється простий набір резисторів 17. Дійсно, в деяких особливих випадках використання може знадобитися регулювання температури повітря АФ, що впускається в камеру 1, щоб обмежити повторну конденсацію парів перед їх вилученням. Звичайно, повітрязабірник 15 може мати будь-яку бажану форму, але випробування продемонстрували хорошу ефективність при використанні прямокутного повітрязабірника висотою 25 см та шириною 53 см. Очевидно, що вхідне повітря АФ має бути спрямоване якомога ближче до дна резервуара, щоб забезпечити внутрішній шлях, який максимально охоплює шари 10; для цієї мети перед впускним отвором 15 доцільно додати дефлектор, як показано на малюнку 1; повітрязабірник 15, крім того, розташований у нижній частині коробки 1, безпосередньо над приймачем 18, передбаченим у нижній частині коробки 1 для збору концентратів 19 після того, як краплі сусла стікають на шари 10 нагрівальних елементів 11; соки 19, таким чином зібрані у приймачі 18, мають температуру, що не перевищує 50°C на заключному етапі обробки; Добре відомо, що за цієї температури органолептичні якості вина ніяк не змінюються, а дослідження показали, що довгострокова поведінка концентрованих таким чином вин не зазнає жодних змін у процесі їх витримки.

Концентрат 19 потім витягується через отвір 20, з'єднаний з трубою 21, яка за допомогою насоса 22 повертає концентровані таким чином соки в головку резервуара для зберігання 2, щоб підтримувати робочий цикл до тих пір, поки міцність спирту сусла, що міститься в резервуарі, не досягне встановленого значення.

У процесі роботи концентратор, відповідний щойно даному опису, використовувався для концентрування сусла, що зберігається в резервуарі 2, що містить 1650 літрів на початку операції концентрування. У цей час внутрішня температура сусла становила середньому 16 °С; Вимірювання за

					<i>КРБ.ПоттаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою мустиметра в той же час показали 1070 або міцність спирту 9,7° (паралельні вимірювання за допомогою рефрактометра показали 10,3° алкоголю). На початку роботи температура води в котлі 14 дорівнювала 70°C, а витрата екстрактора 7 була встановлена на рівні 900 м3/год, в той час як температура зовнішнього повітря була близько 15°C, охолоджувач 16 не використовувався для експерименту. Після 3 годин і 10 хвилин роботи кількість сусла, що залишилася, склало 1340 літрів, його внутрішня температура була незмінною на рівні 16°C, а мустомер тоді показував 1090 або 11,8° алкоголю (пряме показання на рефрактометрі 12,3° алкоголю). Було також зазначено, що температура соку, витягнутого з випарної коробки, дорівнювала 53°C, тобто без впливу на оброблені соки. Зрештою, виявляється, що після трохи більше 3 годин роботи середня концентрація становить близько 100 літрів на годину, що дає в цьому випадку збільшення вмісту алкоголю на 2 ° для резервуара, що розглядається. Природно, описана установка може використовуватися для нагрівання сусла в бродильному чані, щоб викликати або покращити бродіння вина; тому зрозуміло, що для цього використання достатньо використовувати шари нагрівального елемента, що живляться, як і для концентрації, від котла при правильній температурі. Аналогічно, очевидно, що продукти, відмінні від виноградного сусла, можуть оброблятися таким же чином, і пристрій безпосередньо застосовується до будь-яких хімічних або агропродовольчих розчинів, таких як, наприклад, фруктові соки тощо.

Патент на винахід FR2665245 «Установка для концентрування термочутливого розчину, зокрема виноградного сусла».

Винахід спрямовано створення установки для безперервної концентрації термочутливого розчину при температурі нижче температури розкладання без ризику забруднення розчину, з низьким споживанням енергії і зниженими витратами на обслуговування [6]. З цією метою винахід відноситься до установки для концентрування термочутливого розчину, що

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		31

включає випарно-конденсаційну камеру, що працює під вакуумом, що включає випарне відділення, безперервно забезпечується розчином, що підлягає випарюванню, і конденсаційне відділення, безперервно забезпечується гарячим джерелом з допомогою першого термокомпресора, з'єднаний з джерелом стисненої водяної пари, і вихід пари, що становить гаряче джерело конденсаційного відділення у вигляді пари, що має тиск вище тиску, переважаючого у випарному відділенні, причому установка включає засоби для вилучення концентрату, отриманого у випарному відділенні, засоби для вилучення рідкої фази, отриманої в конденсаційному відділі, стиснення, перед конденсацією, частини парів розчину, отриманих у випарному відділенні (рис. 11).

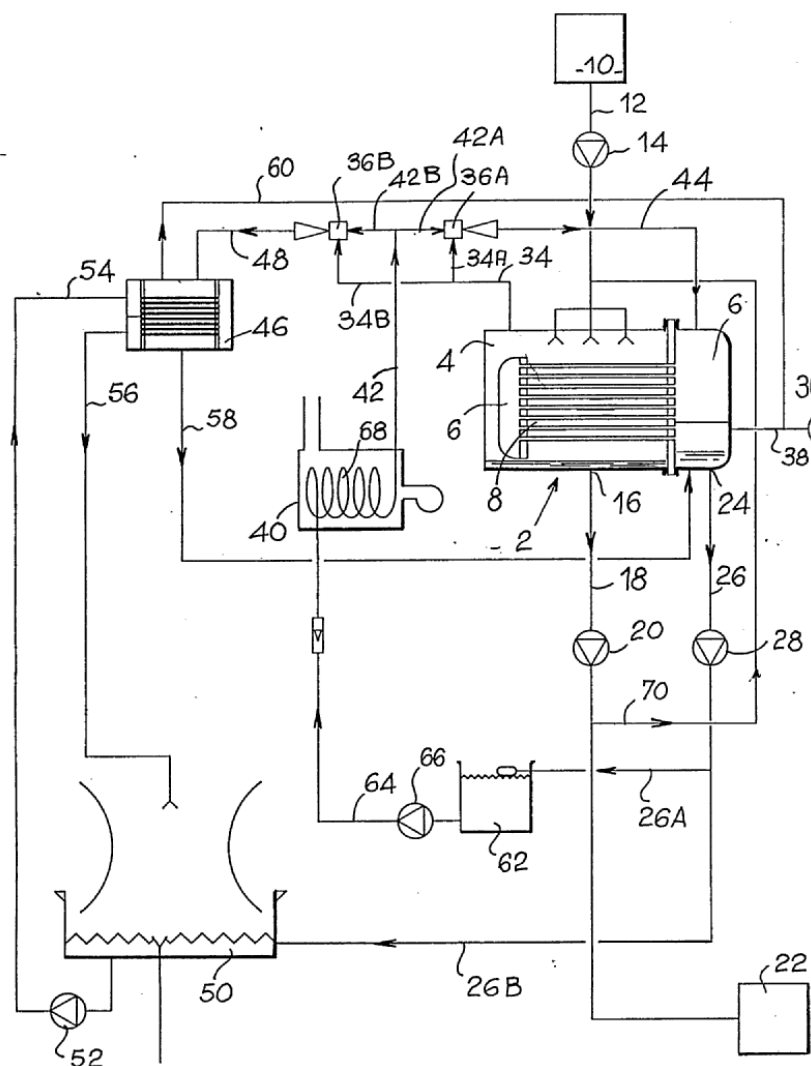


Рис. 11 – Схема установки для концентрування суслу за патентом FR2665245.

Згідно з іншими характеристиками:

- компресійний пристрій містить другий термокомпресор, що має перший вхід, з'єднаний з випарним відсіком, другий вхід, з'єднаний з джерелом стисненої водяної пари, і вихід стисненої пари з температурою вище температури виходу пари розчину, який з'єднаний з входом гарячого джерела конденсатора, що живиться з холодним джерелом, рідка фаза труби;
- холодне джерело конденсатора складається з води кімнатної температури, що міститься в градирні;
- конденсатор з'єднаний із вакуумним засобом;
- джерело водяної пари складається з котла, що забезпечує термокомпресори стислою парою, насиченою водою;
- винахід відноситься до способу концентрування термочутливого розчину, що включає етапи:

А) циркуляції розчину у випарному відсіку вакуумованої випарно-конденсаційної камери;

В) вилучення концентрату, отриманого на етапі А;

С) перетворення першої порції парів розчину, отриманих на етапі А, пар до температури вище температури парів розчину, але нижче заданої температури;

Д) циркуляція пари, отриманої на етапі с, в конденсаційному відсіку камери;

Е) стиск другої порції парів розчину, отриманих на етапі А;

Ф) конденсація стислих парів розчину, отриманих на етапі Е;

Г) вилучення рідких фаз, отриманих на етапах Д та Ф.

Задана температура, яка повинна бути перевищена на етапі С, є температурою розкладання. Винахід буде краще зрозуміло після прочитання докладного опису, яке слідує з посиланням на креслення, на якому на малюнку представлений схематичний вигляд блоку для концентрування

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		33

термочутливого розчину згідно винаходу. Блок для концентрування термочутливого розчину, показаний на малюнку, включає камеру випаровування-концентрації 2, що працює під вакуумом і включає випарний відсік 4 і конденсаційний відсік 6. Конденсаційний відсік 6 включає трубний пучок 8, розташований у випарному відсіку 4, щоб забезпечити теплообмін між двома відсіками. 10 Блок включає резервуар для виноградного сусла 10, з'єднаний з відсіком 4 трубою 12, на якій встановлений насос 14. Відсік 4 містить вихід концентрату 16, до якого підключені засоби для вилучення концентрату, що складаються з труби 18 і насоса 20, сполученого з резервуаром 2 для зберігання.

Нижня частина відсіку конденсації містить 6 вихід рідини 24, до якого підключені засоби для вилучення зазначеної рідкої фази, що складаються з труби 26 і насоса 28.

Вакуумний насос 30 підключений до відсіку конденсації через 6 трубу 38 і дозволяє створювати вакуум у відсіку конденсації 6.

Пар, отриманий з виноградного сусла у відсіку 4, транспортується трубою 34, що поділяється на трубу 34А і трубу 30 34В, до першого термокомпресора 36А і другого термокомпресора 36В.

Термокомпресори 36А і 36В забезпечуються енергією у вигляді пари високого тиску, що представляє собою робочу пару, що містить рідку воду 35 і що надходить з котла 40 по трубі 42, що поділяється на трубу 42А і трубу 42В.

Термокомпресори призначені для стиснення пари сусла, що надходить з випарного відділення 54.

Слід зазначити, що на виході з термокомпресорів суміш пари сусла, що всмоктується, і робочої пари є насиченою, тобто все ще містить деяку рідку фазу. Ця характеристика забезпечує насичення та відсутність перегріву парової суміші. Парова суміш, що виходить з першого термокомпресора 36А, подається в конденсаційне відділення 6, джерелом тепла якого вона є, по

					<i>КРБ.ПотаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		34

трубі 44. Суміш пара сусла та робочої пари, що виходить з другого термокомпресора 36В, подається в конденсатор 46 по трубі 48.

Конденсатор 46 включає відділення , що утворює джерело холоду, безперервно постачається з градирні 50, що містить воду при температурі навколишнього середовища насосом 52, трубопровід впускний 54 і зворотний трубопровід 56.

Рідка фаза, отримана в конденсаторі, подається трубою 58 в нижню частину конденсаційного відділення 6 корпусу 2.

Неконденсуючі частини в конденсаторі 46 витягуються трубою 60, що з'єднує вакуумний насос 30 з конденсатором 30 46.

Слід зазначити, що для запобігання значного споживання охолоджувальної води трубопровід 26 і В 80 з, призначеної для подачі частини зазначеної рідкої фази в градирню 50. 5 Труба 70 з'єднує трубу 18 з трубою 12, щоб забезпечити можливу часткову рециркуляцію концентрату, що виходить з конденсаційного відділення 6. Описана вище установка використовувалася 10 з виноградним сусликом, температура розкладання якого становила. Слід зазначити, що встановлення дозволяє концентрувати термочутливий розчин, температура розкладання якого становить від 6 до 45°C. 15 Тиск, що переважає у випарному відділенні, становив 0,023 бар, що відповідає температурі випаровування 20°C.

Під час цих випробувань котел подавав пар, що містить воду, під тиском 10 бар, 20 так, що на виході з першого термокомпресора 36А парова суміш, що утворилася, знаходилася під тиском 0,031 бар, що відповідає температурі конденсації 25°C, ця суміш становила джерело тепла для 5 тепла для кожуха 2. 36В для подачі в конденсатор 46 становило 0,056 бар, що відповідає температурі конденсації 35°C.

Температура градирні 30 була температурою навколишнього середовища 26°C.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		35

Ці випробування збільшили вміст цукру на суслі на 20% при витраті виноградного сусла 2 м³/год. Котел подавав 83 кг/год пара в перший термокомпресор 36А і 33 кг/год пари другий термокомпресор 36В. Витрата палива склала таким чином 360 x 10 еДж (100 кВт•год) на 333 кг випареної води, або приблизно 1080 x 10 еДж (300 кВт•год) палива на тонну випареної води. Загальна електрична потужність становила 6 кВт, або 64,8 x 10 еДж (18 кВт•год) на тонну випареної води. Витрата охолоджувальної води була практично нульовою.

Виноградне сусло із підвищеним вмістом цукру після ферментації дало високоякісне вино.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

4. ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Результат аналізу наявного технологічного обладнання та патентного пошуку дає змогу зробити висновок, що проблемами випарювання виноградного сусла активно займаються і актуальність даного напрямку є очевидною. Однак запропоновані методи не задовольняють вимогам щодо збереження усіх цінних компонентів сусла в комплексі, зокрема аромату. Безумовно, залучення процесів абсорбції та адсорбції для вирішення завдань уловлювання легколетких ароматичних компонентів дає свої позитивні плоди, проте це потребує додаткових витрат коштів, енергії і в кінці кінців часу.

В зв'язку із цим виникає необхідність у пошуку нового підходу в організації процесу видалення вологи з виноградного сусла з мінімальним термічним навантаженням та можливістю утримання ароматичних сполук, що є важливим компонентом при виробництві вин.

Одним із таких напрямків, що має стрімкий розвиток у науковому колі, є залучення мікрохвильових (МХ) технологій. Електромагнітне поле МХ діапазону впливає безпосередньо на вологу харчової сировини не лише на її поверхні, а й по всьому її об'єму проникаючи вглиб до 25 мм. У випадку з розчинами це є вагомою перевагою у порівнянні з традиційними технологіями підведення енергії.

Відділення же легколетких компонентів пропонується здійснювати безпосередньо під час конденсування вторинної пари, що утворюється в процесі випарювання. В даному випадку можна використати принцип, заснований на різних температурах кипіння та конденсації кожного компоненту вторинної пари.

Таким чином, з'являється можливість організувати процес концентрування виноградного сусла паралельно з фракційним розділенням вторинної пари на легко- та важколеткі складові.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		37

5. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ МІКРОХВИЛЬНОЇ ВАКУУМ-ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ФРАКЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ РОЗЧИНІВ

5.1. Найменування і галузь застосування результатів розробки.

5.1.1. Найменування: «Конструкція мікрохвильової вакуум-випарної установки для фракційного розділення розчинів».

5.1.2. Галузь застосування: харчова промисловість (технології виноробства, харчових концентратів та консервування).

5.2. Мета і призначення розробки.

5.2.1. Мета:

Створення обладнання для виробництва концентрованих розчинів з одночасним фракційним розділенням вторинної пари.

5.2.2. Призначення:

- підвищення якості концентратів харчових розчинів;
- утримання легколетких компонентів з вторинної пари.

5.2.3. Технічне завдання не містить відомостей, заборонених до відкриття опублікування.

5.3. Основні вузли та системи установки.

5.3.1. Сировина:

- виноградне сусло, фруктові та овочеві соки;
- харчові екстракти.

5.3.3. Джерела енергії – магнетрони.

5.3.4. Реактор має бути радіопрозорим.

5.3.5. Система подачі сировини – самопливом.

5.3.6. Системи контролю та реєстрації:

- витрати початкової сировини, готового продукту, конденсатів кожної фракції;

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		38

- температури кипіння сировини, конденсації кожної фракції вторинної пари;
- рівня заповнення ємності реактора;
- потужності магнетронів.

5.3.7. Системи автоматичного управління: робочими циклами апарату (регулювання часу дії мікрохвильового поля).

5.3.8. Системи аварійного відключення апарату.

- при витоку електромагнітної енергії;
- при відсутності мінімально допустимого рівня сировини в реакторі;
- при перевищенні температури сировини.

5.4. Технічні вимоги.

5.4.1. Мікрохвильова вакуум-випарна установка для фракційного розділення розчинів має забезпечити підвищення якості концентратів, зменшення витрат енергії, скорочення часу процесу, зменшення температури випарювання та розділення вторинної пари на фракції.

5.4.2. Робочий цикл: завантаження реакційного об'єму початковою сировиною – вакуумування системи – підведення мікрохвильової енергії – концентрування розчину – розділення вторинної пари – вивантаження концентрату – вивантаження розділених фракцій.

5.4.3. Тип установки модульний із вертикальним реактором.

Продуктивність: 5 кг концентрату на годину.

5.4.4. Електрична потужність установки: 1,5 – 3 кВт.

5.4.5. Електрична мережа: 220В, 50 Гц.

5.4.6. Габарити резонаторної камери: 400х400х1000 мм.

5.4.7. Габарити реакційного об'єму: 150х800 мм.

5.4.8. Охолодження силової електроніки: автономне, повітряне.

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

5.4.10 Температура концентрату на виході із установки: не більше 45°C.

5.4.11 Управління режимом роботи: автоматичне.

5.4.12. Оптимізація режиму роботи установки: періодичне (не більше ніж раз за годину) корегування параметрів налаштувань блоків управління магнетронами в залежності від характеристик сировини.

5.4.13. Вимоги щодо техніки безпеки: наявність автоматичної системи аварійного відключення установки при витіканні електромагнітної енергії.

5.4.14. Вимоги щодо обслуговування: доступ до системи із силовою електронікою дозволяється лише виключно підготовленому, висококваліфікованому фахівцю.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
						40
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

6. ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ УСТАНОВКИ

Запропонована конструкція мікрохвильової вакуум-випарної установки для фракційного розділення розчинів представлена на рисунку 12.

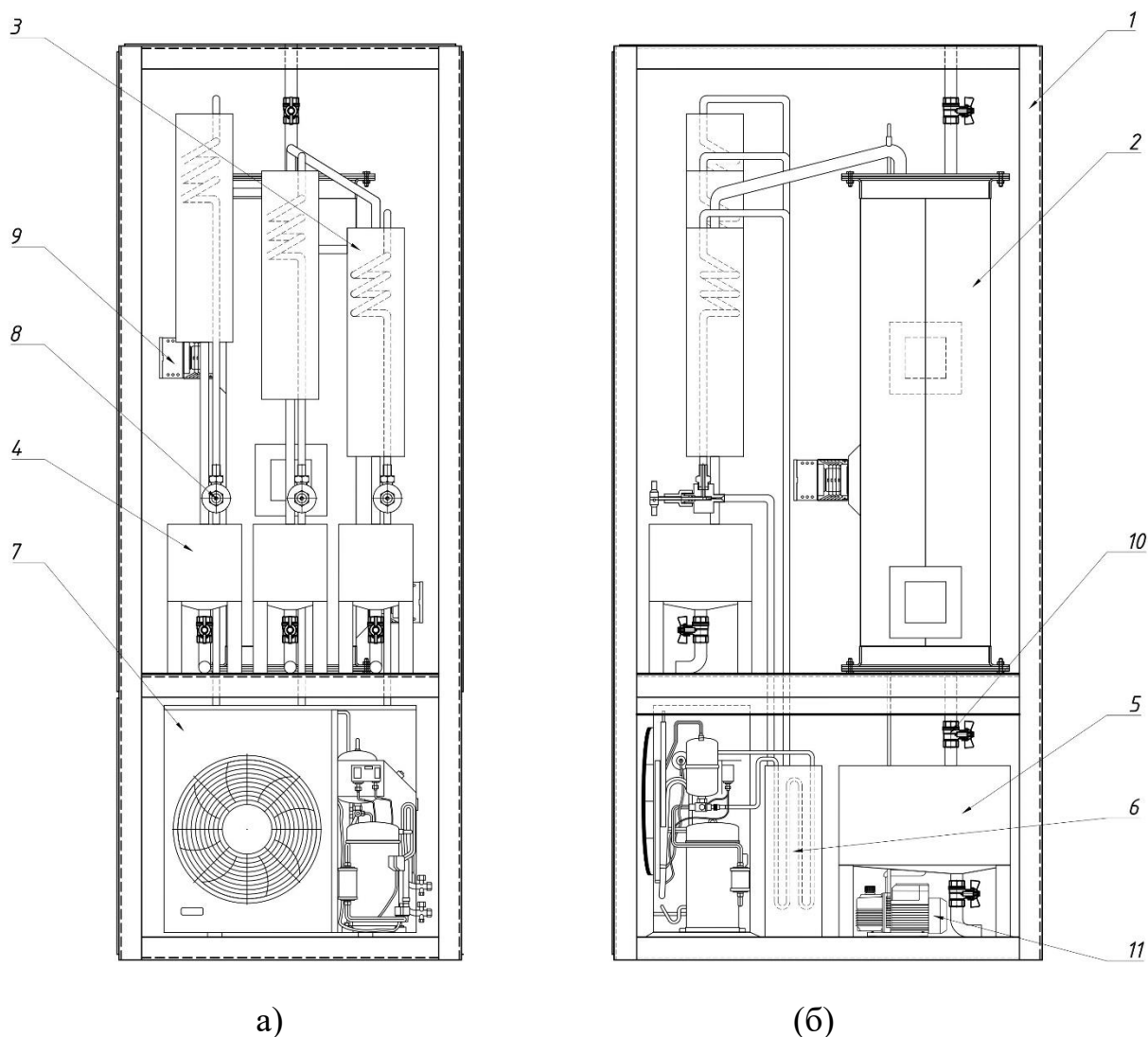


Рис. 12 – Схема мікрохвильової вакуум-випарної установки для фракційного розділення розчинів (а – вид спереду, б – вид збоку).

Конструкція мікрохвильової вакуум-випарної установки для фракційного розділення розчинів складається з наступних основних елементів:

- 1 – стапель,
- 2 – мікрохвильовий вакуум-випарний модуль,
- 3 – конденсатори,

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		41

- 4 – збірники фракцій,
- 5 – збірник готового продукту,
- 6 – ємність з охолоджуючою водою,
- 7 – компресорно-конденсаторний агрегат,
- 8 – голчасті клапани,
- 9 – магнетрони,
- 10 – шарові крани,
- 11 – вакуумний насос.

Алгоритм роботи установки наступний. Через верхній кран здійснюється подача початкової сировини до досягнення певного рівня (мінімальний рівень сировини – верхня точка вікна верхнього магнетрону), після чого кран закривається. Наступним кроком відбувається вакуумування системи з використанням вакуумного насоса. Далі вмикаються магнетрони, що нагрівають розчин до температури кипіння та забезпечують процес випарювання. Паралельно із цим включається холодильна машина (компресорно-конденсаторний агрегат), який охолоджує воду. Охолоджуюча вода за допомогою насосів подається до конденсаторів через голчасті клапани. Вторинна пара, що утворюється в процесі концентрування розчину, потрапляє до батареї конденсаторів, в кожному з яких забезпечується конкретна температура конденсації (в залежності від типу розчину, який розділяється). Легко- та важколеткі фракції конденсуються у відповідному конденсаторі при проходженні через них парового об'єму. Після досягнення заданої концентрації сухих речовин у розчині процес зупиняється (магнетрони виключаються). Здійснюється розгерметизація системи та вивантаження концентрату з модуля та фракцій зі збірників фракцій.

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Продукт – виноградне сушло;

Тиск в установці $P = 0,01$ МПа;

Продуктивність установки по початковій сировині $G_{II} = 5$ кг/год;

Концентрація сухих речовин: початкова $a = 6\%$, кінцева $a = 55\%$;

Температура початкової сировини $t_{II} = 15^{\circ}\text{C}$.

7.1. Матеріальний баланс.

Кількість вторинної пари, що утворюється в процесі випарювання, кг/с:

$$W = G_{II} \cdot \left(1 - \frac{a}{b}\right) = 0,00139 \cdot \left(1 - \frac{6}{55}\right) = 0,00124 \text{ кг/с} \quad (7.1)$$

де G_{II} – витрати початкової сировини, кг/с;

a і b – початкова та кінцева концентрація сухих речовин відповідно, %.

7.2. Тепловий баланс.

Рівняння теплового балансу процесу випарювання має вигляд:

$$Q + G_{II} \cdot c_{II} \cdot t_{II} = G_K \cdot c_K \cdot t_K + W \cdot i_{вт.п.} + Q_{втр} \quad (7.2)$$

де Q – тепловий потік, необхідний для випарювання, Вт;

G_K – витрати готового продукту, кг/с;

c_{II} , c_K – питомі теплоємності початкової сировини та готового продукту, Дж/(кг*°C);

t_{II} , t_K – температури початкової сировини та кипіння ($45,8^{\circ}\text{C}$ при $P = 0,01$ МПа) [7], °C;

$i_{вт.п.}$ – питома ентальпія вторинної пари, Дж/кг;

$Q_{втр}$ – втрати теплоти, Вт:

З рівняння теплового балансу (7.2) визначаємо тепловий потік, необхідний для випарювання:

$$Q = Q_{нагр} + Q_{вип} + Q_{втр} = G_{II} \cdot c_{II} \cdot (t_K - t_{II}) + W \cdot r_{вт.п.} + Q_{втр} \quad (7.3)$$

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		43

де $Q_{нагр}$ – витрати теплоти на нагрів розчину до температури кипіння, Вт;

$Q_{вип}$ – витрати теплоти на випарювання розчинника, Вт;

$r_{вт.п.}$ – питома теплота пароутворення, Дж/кг.

$$Q_{нагр} = G_{п} \cdot c_{п} \cdot (t_{к} - t_{п}) = 0,00139 \cdot 3880 \cdot (45,8 - 15) = 165,98 \text{ Вт} \quad (7.3)$$

$$Q_{вип} = W \cdot r_{вт.п.} = 0,00124 \cdot 2392 \cdot 10^3 = 2959,8 \text{ Вт} \quad (7.4)$$

$$Q_{втр} = 0,03 \dots 0,05 \cdot (Q_{нагр} + Q_{вип}) = 0,04 \cdot (165,98 + 2959,8) = 125,03 \text{ Вт} \quad (7.5)$$

$$Q = Q_{нагр} + Q_{вип} + Q_{втр} = 165,98 + 2959,8 + 125,03 = 3250,81 \text{ Вт}$$

Для забезпечення процесу випарювання обираємо магнетрон (2М236-М36), який має наступні параметри [8]:

- тип модуля: інверторний;
- споживча потужність: 1,17 кВт;
- вихідна потужність: 0,1–1,1 кВт;
- напруга живлення: 220 В/50 Гц/1ф.

Розрахунок конденсатора.

Початкові дані для розрахунку конденсатора:

- продуктивність W : 0,00124 кг/с;
- початкова температура води t_n : 4°C;
- кінцева температура води t_k : 8°C;
- тиск вторинної пари P : 0,01 МПа.

Визначення витрат охолоджувальної води здійснюється за рівнянням:

$$G_{хол} = \frac{Q_{вип}}{c_v \cdot (t_k - t_n)} = \frac{2959,8}{4200 \cdot (8 - 4)} = 0,177 \text{ кг/с} \quad (7.6)$$

Поверхні теплообміну конденсаторів визначаються з рівняння:

$$Q_k = k \cdot F \cdot \Delta t_{кор} \quad (7.7)$$

Звідси:

$$F = \frac{Q_k}{K \cdot \Delta t_{сер}} \quad (7.8)$$

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		44

де K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К;

F – поверхня теплообміну, м²;

$\Delta t_{сер}$ – середня різниця температур, К.

Визначаємо середню різницю температур. Для цього складаємо температурну схему процесу теплопередачі (рис. 13).

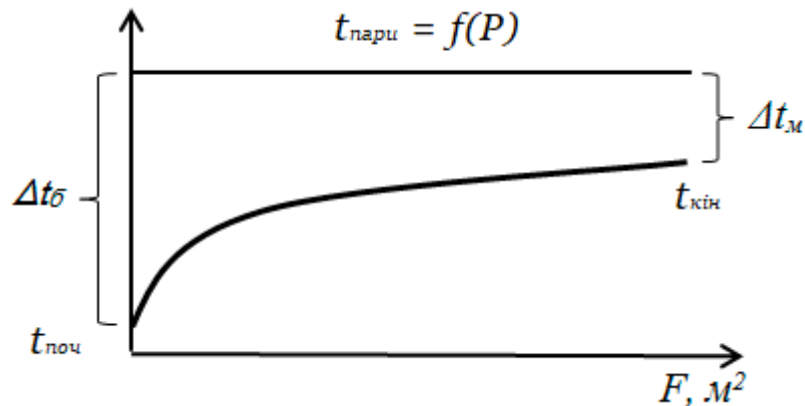


Рис. 13 – Температурна схема при нагріванні парою.

$$\Delta t_{\sigma} = \Delta t_{пару} - t_n = 45,8 - 4 = 41,8^{\circ}\text{C} \quad (7.9)$$

$$\Delta t_{м} = \Delta t_{пару} - t_k = 45,8 - 8 = 37,8^{\circ}\text{C} \quad (7.10)$$

де $\Delta t_{пару}$ – температура вторинної пари, °С.

Так як відношення $\Delta t_{\sigma} / \Delta t_{м} = 41,8 / 37,8 = 1,11 < 2$, то середнє значення температур теплоносіїв визначається як середньоарифметична величина:

$$\Delta t_{сер} = \frac{\Delta t_{\sigma} + \Delta t_{м}}{2} = \frac{41,8 + 37,8}{2} = 39,8^{\circ}\text{C} \quad (7.11)$$

З метою проектування конденсатора обираємо мідну трубку з зовнішнім діаметром $d = 0,012$ м та товщиною стінки $\delta_{см} = 0,001$ м. Зовнішній кожух буде виготовлений з нержавіючої сталі марки 08X18H10 діаметром $D = 0,1$ м.

Коефіцієнт теплопередачі для конденсатора визначається за формулою:

$$k_{\sigma} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{см}}{\lambda_{см}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (7.12)$$

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		45

де α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від вторинної пари до поверхні теплообміну та від поверхні теплообміну до холодоагенту відповідно, Вт/м²·К;

$\delta_{ст}$ – товщина стінки, м; (приймається 0,001 м);

$\lambda_{ст}$ – коефіцієнт теплопровідності (для міді 394 Вт/м·К), Вт/м·К.

Визначення коефіцієнту тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки трубки.

Коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки трубки визначається як:

$$\alpha_1 = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_{нк}^2 \cdot \lambda_{нк}^3 \cdot r}{\mu_{нк} \cdot d_{зов} \cdot \Delta t_1}} \quad (7.13)$$

де $\rho_{нк}$, $\lambda_{нк}$, $\mu_{нк}$ – густина (кг/м³), теплопровідність (Вт/м·К), та динамічний коефіцієнт в'язкості (Па·с) плівки конденсату за середньої температури плівки $t_{пл} = t_k - \Delta t_1 / 2$, де Δt_1 – різниця температур конденсації пари та стінки, °С;

r – питома теплота конденсації вторинної пари, Дж/кг;

$d_{зов}$ – зовнішній діаметр трубки, м.

Розрахунок Δt_1 проводимо шляхом послідовних наближень. У першому наближенні приймаємо $\Delta t_1 = 5^\circ\text{C}$. Тоді $t_{пл} = 45,8 - 10/2 = 38,3^\circ\text{C}$.

Для плівки конденсату (при $t_k = 38,3^\circ\text{C}$):

$$\lambda_{нк} = 0,635 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$\rho_{нк} = 992,2 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\mu_{нк} = 0,653 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$r = 2392 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$$

$$\alpha_1 = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{992,2^2 \cdot 0,635^3 \cdot 2392000}{0,653 \cdot 10^{-3} \cdot 0,012 \cdot 10}} = 6742,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		46

Визначення коефіцієнту тепловіддачі від стінки до охолоджуючої води.

Визначаємо швидкість руху води:

$$w = \frac{4 \cdot G_{\text{хол}}}{\pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 0,177}{3,14 \cdot 0,01 \cdot 999,8} = 2,26 \text{ м/с} \quad (7.14)$$

Розраховуємо режим руху води у трубці:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho}{\mu} = \frac{2,26 \cdot 0,01 \cdot 999,8}{0,00155} = 14549 \quad (7.15)$$

Режим руху – турбулентний.

Визначаємо число Прандтля:

$$\text{Pr} = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} = \frac{4200 \cdot 0,00155}{0,56} = 11,625 \quad (7.16)$$

В залежності від режиму руху розраховується число Нуссельта для теплообміну всередині трубки:

$$\text{Nu} = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} = 0,021 \cdot 14549^{0,8} \cdot 11,625^{0,43} = 129 \quad (7.17)$$

Виходячи з числа Нуссельта визначаємо коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{d_{\text{вн}}} = \frac{11,625 \cdot 0,56}{0,01} = 7224,14 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (7.18)$$

Для сталого процесу теплопередачі справедлива рівність:

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \frac{1}{\delta/\lambda} \cdot \Delta t_{\text{см}} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 \quad (7.19)$$

де q – питоме теплове навантаження, Вт/м²;

Δt_1 – різниця між температурою конденсації пари і стінкою, °С;

$\Delta t_{\text{см}}$ – перепад температур на стінці, °С;

Δt_2 – різниця між температурою стінки зі сторони води та температурою охолоджуючої води, °С.

$$\Delta t_{\text{см}} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \left(\frac{\delta_{\text{см}}}{\lambda_{\text{см}}} \right) = 6742,6 \cdot 10 \cdot \left(\frac{0,001}{394} \right) = 0,1834^\circ\text{С} \quad (7.20)$$

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$\Delta t_2 = \Delta t_{cep} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 39,8 - 0,1834 - 10 = 29,617^\circ\text{C} \quad (7.21)$$

Перевіряємо правильність першого наближення за рівнем питомих теплових навантажень:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 6742,6 \cdot 10 = 67426,3 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 7224,14 \cdot 29,617 = 213954,7 \text{ Вт/м}^2$$

Оскільки $q_1 \neq q_2$, то приймаємо друге наближення $\Delta t_1 = 23^\circ\text{C}$. Тоді $t_{пл} = 45,8 - 23/2 = 34,3^\circ\text{C}$.

Для плівки конденсату (при $t_k = 34,3^\circ\text{C}$):

$$\lambda_{нк} = 0,621 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

$$\rho_{нк} = 992,2 \text{ кг/м}^3$$

$$\mu_{нк} = 0,725 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$r = 2392 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$$

$$\alpha_1 = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{992,2^2 \cdot 0,621^3 \cdot 2392000}{0,725 \cdot 10^{-3} \cdot 0,012 \cdot 23}} = 5248,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\Delta t_{cm} = 5248,2 \cdot 23 \cdot \left(\frac{0,001}{394}\right) = 0,4217^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_{cep} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 39,8 - 0,4217 - 23 = 16,38^\circ\text{C}$$

Перевіряємо правильність другого наближення за рівнем питомих теплових навантажень:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 5248,2 \cdot 23 = 120708,7 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 7224,14 \cdot 16,38 = 118319 \text{ Вт/м}^2$$

Відносна похибка становить:

$$\left| \frac{120708,7 - 118319}{120708,7} \right| \cdot 100\% = 1,98\% < 5\%$$

Розраховуємо коефіцієнт теплопередачі:

$$k_e = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5248,2} + \frac{0,001}{394} + \frac{1}{7224,14}} = 3016,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		48

Розраховуємо поверхню теплообміну:

$$F = \frac{Q_{\text{вин}}}{K \cdot \Delta t_{\text{сер}}} = \frac{2959,8}{3016,6 \cdot 39,8} = 0,025 \text{ м}^2$$

Довжина труб випарника розраховується за формулою:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d} = \frac{0,025}{3,14 \cdot 0,012} = 0,65 \text{ м} \quad (7.22)$$

Довжина спіралі Архімеда однієї площини розраховується за формулою:

$$l = \pi \cdot d_{\text{сер}} \cdot n = 3,14 \cdot 0,07 \cdot 1 = 0,22 \text{ м} \quad (7.23)$$

Визначаємо кількість витків спіралі:

$$n_c = \frac{0,65}{0,22} = 2,98 \approx 3 \quad (7.24)$$

Інші конденсатори забезпечуватимуть вищі температури конденсації задля можливості фракційного розділення. Відповідно до цього вони можуть мати однакову конструкцію.

7.3. Гідравлічний розрахунок конденсатора.

Завданням гідравлічного розрахунку конденсатора є визначення необхідної потужності насосу для забезпечення циркуляції води в системі охолодження.

Визначення витрат тиску на подолання гідравлічного опору здійснюється за формулою, Па:

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot w^2}{2} \cdot \left(\lambda_{\text{тер}} \frac{L}{d} + \sum \xi \right) + \rho \cdot g \cdot H \quad (7.25)$$

де $\lambda_{\text{тер}}$ – коефіцієнт тертя,

$\sum \xi$ – сума місцевих опорів,

L – довжина шляху транспортування води, м,

H – висота підймання води, м.

При $Re = 14549 > 10000$ коефіцієнт тертя розраховується за формулою:

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\lambda_{\text{мер}} = \frac{1}{\left(0,87 \ln \frac{3,7 \cdot d}{\varepsilon}\right)^2} = \frac{1}{\left(0,87 \ln \frac{3,7 \cdot 0,01}{0,5}\right)^2} = 0,17 \quad (7.26)$$

де $\varepsilon = K/d$ – відносна шорсткість труби,

K – абсолютна середня шорсткість поверхні труби, мм.

Тоді,

$$\Delta P = \frac{999,2 \cdot 2,26^2}{2} \cdot \left(0,17 \cdot \frac{0,654}{0,01} + 3,6\right) + 999,2 \cdot 9,18 \cdot 1 = 46816,38 \text{ Па}$$

Потужність на валу насоса визначається за формулою:

$$N = \frac{G \cdot \Delta P}{\rho} = \frac{0,177 \cdot 46816,4}{999,2} = 8,35 \text{ Вт} \quad (7.27)$$

7.4. Розрахунок сепараційного простору.

Необхідний для достатньої сепарації крапель об'єм сепараційного простору залежить від потоку W вторинної пари із модуля ($W = 0,00139$ кг/с), її густини $\rho_{\text{вт.п.}} = 0,068$ кг/м³ (при $P = 0,01$ МПа) [9] та максимально допустимого напруження парового простору $R_{\text{п}} = 0,61$ м³ пари/м³·с (за графіком при $P = 0,01$ МПа) [10, с. 731]:

$$V_{\text{сен}} = \frac{W}{\rho_{\text{п}} \cdot R_{\text{п}}} = \frac{0,00139}{0,068 \cdot 0,61} = 0,034 \text{ м}^3 \quad (7.28)$$

7.5. Розрахунок діаметрів штуцерів та трубопроводів для матеріальних потоків.

Завдання розрахунку полягає у визначенні швидкості руху v матеріальних потоків та порівнянні їх величин із рекомендованими. Діаметри трубопроводів приймають рівними діаметрам штуцерів.

$$v = \frac{S}{\rho \cdot F} \quad (7.29)$$

де S – масові витрати потоку, кг/с; ρ – густина потоку, кг/м³; F – перетин, через який проходить потік, м²:

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$F = \frac{\pi \cdot d_{um}^2}{4} \quad (7.30)$$

Тоді з (7.30):

$$d_{um} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi \cdot \rho \cdot v}} \quad (7.31)$$

Штуцер для подачі початкового розчину

Швидкість потоку малов'язкої рідини під час руху самопливом [10, с. 16]: $v = 0,5 \div 1,0 = 1,0$ м/с.

$$d_{um} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{II}}{\pi \cdot \rho_{II} \cdot v_{II}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00139}{3,14 \cdot 990,7 \cdot 1}} = 0,0013 \text{ м}$$

Штуцер для відведення готового продукту

Швидкість потоку в'язкої рідини під час руху самопливом [10, с. 16]: $v = 0,1 \div 0,5 = 0,5$ м/с.

$$d_{um} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_K}{\pi \cdot \rho_K \cdot v_K}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00139}{\pi \cdot 1250 \cdot 0,5}} = 0,0016 \text{ м}$$

Штуцер для відведення вторинної пари

Швидкість потоку насиченої пари при тиску 0,005–0,02 МПа ($P = 0,01$ МПа) [10, с. 16]: $v = 60 \div 75 = 65$ м/с.

$$d_{um} = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_{см.п.} \cdot v_{см.п.}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00124}{\pi \cdot 0,0542 \cdot 65}} = 0,021 \text{ м}$$

7.6. Розрахунок на міцність.

Розрахунок плоских днищ апаратів.

Плоскі днища апаратів зустрічаються у вигляді круглих пластин постійної товщини з вільним (шарнірним) або жорстким закріпленням по зовнішньому контуру. При деформації пластинки товщиною h і діаметром $2R$ під дією деякого зовнішнього навантаження кільцевий переріз пластинки, розташований на поточному значенні радіусу від центру пластинки,

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		51

повертається на кут φ 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, що знаходяться під рівномірно розподіленим по всій площі тиском P , питомі сили, що перерізують, рівні

$$Q = 0,5 \cdot P \cdot r \quad (7.32)$$

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:

$$\left. \begin{aligned} \varphi = 0; M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \cdot (3 + \mu); \\ f_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^4 \cdot (5 + \mu) / [D \cdot (1 + \mu)] \end{aligned} \right\} \quad (7.33)$$

- при жорсткому закріпленні пластини за зовнішнім контуром:

$$\left. \begin{aligned} \varphi = 0; M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \cdot (1 + \mu); \\ f_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^4 / D \end{aligned} \right\} \quad (7.34)$$

На контур пластини матимемо:

- при шарнірному її закріпленні по зовнішньому контуру:

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R &= -12,5 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^3 / [D \cdot (1 + \mu)]; M_{rR} = 0; \\ M_{tR} &= -12,5 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \cdot (1 - \mu); f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (7.35)$$

– при жорсткому її закріпленні по зовнішньому контуру:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R &= 0; M_{rR} = -12,5 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2; \\ M_{tR} &= -12,5 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \cdot \mu; f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (7.36)$$

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:

$$\varphi_{\max} = 2,41 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^3 / D \quad (7.37)$$

У наведених формулах μ – коефіцієнт Пуассона; D – жорсткість пластини, Н·м:

$$D = (E \cdot h^3 / 12) / (1 - \mu^2) \quad (7.38)$$

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:

$$\sigma_r = \pm 6M_r / h^2 \quad (7.39)$$

$$\sigma_t = \pm 6M_t / h^2 \quad (7.40)$$

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

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

За ГОСТ 14249-89 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:

					<i>КРБ.ПомдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$h = 2 \cdot R \cdot K \cdot \sqrt{P/[\sigma]} \quad (7.41)$$

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

$[\sigma]$ – допустима напруга при розтягуванні:

$$[\sigma] = \sigma/n_g \quad (7.42)$$

де, σ – межа міцності,

n_g – коефіцієнт запасу міцності.

Розрахуємо кришку і днище випарного модуля діаметром 0,15 м.

Зовнішній тиск на поверхню – 90 кПа.

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

Межа міцності $\sigma = 505$ МПа,

Модуль пружності $E = 2,0 \cdot 10^5$ МПа,

Коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,29$,

Коефіцієнт запасу міцності $n_g = 3,5$.

Допустима напруга:

$$[\sigma] = 505 \cdot 10^6 / 3,5 = 144,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

З рівняння (7.41) визначимо товщину стінки:

$$h = 2 \cdot 0,15 \cdot 0,45 \cdot \sqrt{\frac{90000}{144,3 \cdot 10^6}} = 0,0034 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 0,005 м.

Максимальні моменти і напруга будуть в центрі стінки. За формулами (7.33), (7.39) та (7.40) вони будуть дорівнювати:

$$M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot 90000 \cdot 0,15^2 \cdot (3 + 0,29) = 416,4 \text{ Н}$$

$$\sigma_r = 6 \cdot 416,4 / 0,005^2 = 99,9 \cdot 10^6 \text{ Па} < 144,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Умова $\sigma_r < [\sigma]$ виконується, тому товщина стінки є прийнятною.

Розрахуємо кришки і днища конденсаторів діаметром 0,1 м.

Зовнішній тиск на поверхню – 90 кПа.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		54

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

Межа міцності $\sigma = 505$ МПа,

Модуль пружності $E = 2,0 \cdot 10^5$ МПа,

Коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,29$

Коефіцієнт запасу міцності $n_s = 3,5$.

Допустима напруга:

$$[\sigma] = 505 \cdot 10^6 / 3,5 = 144,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

З рівняння (7.41) визначимо товщину стінки:

$$h = 2 \cdot 0,05 \cdot 0,45 \cdot \sqrt{\frac{90000}{144,3 \cdot 10^6}} = 0,0011 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 0,002 м.

Максимальні моменти і напруга будуть в центрі стінки. За формулами (7.33), (7.39) та (7.40) вони будуть дорівнювати:

$$M_{r,0} = M_{i,0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot 90000 \cdot 0,05^2 \cdot (3 + 0,29) = 46,27 \text{ Н}$$

$$\sigma_r = 6 \cdot 46,27 / 0,002^2 = 69,4 \cdot 10^6 \text{ Па} < 144,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Умова $\sigma_r < [\sigma]$ виконується, тому товщина стінки є прийнятною.

Розрахунок циліндричних апаратів та їх елементів, що знаходяться під дією зовнішнього надлишкового тиску.

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 апарату досягне межі плинності, міцність апарату

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		55

порушитися. 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:

$$\delta_p > P \cdot D_B / (2 \cdot \beta \cdot [\sigma_{cm}]) \quad (7.43)$$

де P – робочий тиск, що допускається;

D_B – внутрішній діаметр апарату;

β – коефіцієнт міцності зварних швів;

$[\sigma_{cm}]$ – 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:

$$L_{кр} = 4,644 \cdot r \cdot \sqrt{(r/\delta) \cdot (1 - \mu^2)} \quad (7.44)$$

де r – радіус оболонки;

δ – товщина стінки оболонки;

μ – 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:

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$P_{кр} = \frac{E}{(n^2 - 1) \cdot N^2} \cdot \frac{\delta}{r} + \frac{E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{\delta}{r}\right)^3 \cdot \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \mu}{N} \right] \quad (7.45)$$

– при дії тиску на всю поверхню оболонки (всесічний тиск):

$$P_{кр} = E \cdot \frac{\delta}{r} + \frac{1}{n^2 + 0,5 \cdot (\pi \cdot r / L)^2} \cdot \left[\frac{1}{N^2} + \frac{N^2}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{\delta}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r}{L}\right)^4 \right] \quad (7.46)$$

де, L – фактична довжина ємності;

n – число хвиль.

$$N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r} \quad (7.47)$$

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 (7.45) та (7.46) число хвиль залежно від конструктивних розмірів циліндричної оболонки можна визначити за таблицею 1.1.

Робочий тиск приймають у кілька разів менше критичного:

$$P = P_{кр} / m \quad (7.48)$$

де, m – коефіцієнт запасу стійкості.

Таблиця 7.1.

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

Значення відношення δ/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

Значення відношення δ/r	Значення відношення L/r				
	2	3	4	5	6
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 повинні бути встановлені кільця жорсткості.

Розрахунок реактора випарної установки.

Реактор являє собою циліндр з плоскими днищами, діаметром 0,15 м і висотою 0,8 м.

Зовнішній тиск на поверхню – 90 кПа.

Матеріал – капролон (поліамід-6), яка має наступні властивості:

Межа міцності $\sigma = 85$ МПа,

Модуль пружності $E = 2,0 \cdot 10^3$ МПа,

Коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,4$

Коефіцієнт запасу міцності $n_e = 3,5-4,0$.

Допустима напруга при стисканні буде:

$$[\sigma_{cm}] = \sigma/n = 505 \cdot 10^6 / 3,5 = 24,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Тоді з рівняння (7.43) товщина стінки буде дорівнювати:

$$\delta_p > 90000 \cdot 0,15 / (2 \cdot 0,8 \cdot 24,3 \cdot 10^6) = 0,0007 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 0,01 м.

Визначаємо критичну довжину оболонки з (7.44):

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$L_{кр} = 4,644 \cdot 0,15 \cdot \sqrt{\frac{0,15}{0,01} \cdot (1 - 0,29)} = 2,27 \text{ м}$$

За результатом розрахунку бачимо, що оболонка коротка.

Визначаємо:

$$L/r = 1/0,15 \approx 7$$

$$\delta/r = 0,01/0,15 = 0,07$$

З таблиці 7.1 обираємо число хвиль $n = 3$.

$$\text{За формулою (7.47) при } N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r} = 1 + \frac{3 \cdot 0,8}{3,14 \cdot 0,15} = 7,37$$

$$P_{кр} = \frac{2 \cdot 10^9}{(3^2 - 1) \cdot 7,37^2} \cdot \frac{0,01}{0,15} + \frac{2 \cdot 10^9}{12 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \left(\frac{0,01}{0,15}\right)^3 \times \\ \times \left[3^2 - 1 + \frac{2 \cdot 3^2 - 1 - 0,4}{7,37} \right] = 0,91 \text{ МПа}$$

При запасі стійкості 2,5:

$$P = P_{кр} / 2,5 = 0,91 \cdot 10^6 / 2,5 = 364 \text{ кПа} > 90 \text{ кПа}$$

Значить товщина стінки 0,01 м відповідає умовам міцності.

Розрахунок конденсаторів.

Конденсатори являють собою циліндри з плоскими днищами, діаметром 0,1 м і висотою 0,4 м.

Зовнішній тиск на поверхню – 90 кПа.

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

Межа міцності $\sigma = 505$ МПа,

Модуль пружності $E = 2,0 \cdot 10^5$ МПа,

Коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,29$

Коефіцієнт запасу міцності $n_s = 3,5$.

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:

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

$$[\sigma_{cm}] = \sigma/n = 505 \cdot 10^6 / 3,5 = 144,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Тоді з рівняння (7.43) товщина стінки буде дорівнювати:

$$\delta_p > 90000 \cdot 0,4 / (2 \cdot 0,8 \cdot 144,3 \cdot 10^6) = 0,00003 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 0,001 м.

Визначаємо критичну довжину оболонки з (7.44):

$$L_{кр} = 4,644 \cdot 0,05 \cdot \sqrt{\frac{0,05}{0,0005} \cdot (1 - 0,29)} = 1,38 \text{ м}$$

За результатом розрахунку бачимо, що оболонка коротка.

Визначаємо:

$$L/r = 0,4/0,05 = 8$$

$$\delta/r = 0,001/0,05 = 0,02$$

З таблиці 7.1 обираємо число хвиль $n = 3$.

За формулою (7.47) при $N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r} = 1 + \frac{3 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,05} = 8,64$

$$P_{кр} = \frac{2 \cdot 10^{11}}{(3^2 - 1) \cdot 8,64^2} \cdot \frac{0,0005}{0,05} + \frac{2,1 \cdot 10^{11}}{12 \cdot (1 - 0,29^2)} \cdot \left(\frac{0,0005}{0,05}\right)^3 \times$$

$$\times \left[3^2 - 1 + \frac{2 \cdot 3^2 - 1 - 0,29}{8,64} \right] = 1,7 \text{ МПа}$$

При запасі стійкості 6:

$$P = P_{кр} / 6 = 1,7 \cdot 10^6 / 6 = 283 \text{ кПа} > 90 \text{ кПа}$$

Значить товщина стінки 0,001 м відповідає умовам міцності.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		60

8. ІНСТРУКЦІЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З МІКРОХВИЛЬОВОЮ ВАКУУМ-ВИПАРНОЮ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ ФРАКЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ РОЗЧИНІВ

При роботі з мікрохвильовою вакуум-випарною установкою необхідно суворо дотримуватись правил охорони праці, щоб уникнути ураження електричним струмом, опіків, травм та інших небезпек. Важливо забезпечити безпеку робочого місця, правильно використовувати засоби індивідуального захисту, проводити регулярні перевірки обладнання та дотримуватись інструкцій з експлуатації.

Загальні вимоги безпеки:

Допуск до роботи:

До роботи з мікрохвильовою вакуум-випарною установкою допускаються особи, які пройшли інструктаж з охорони праці, медичний огляд та навчання безпечним методам роботи.

Ознайомлення з інструкцією:

Працівник повинен уважно вивчити інструкцію з експлуатації обладнання та інструкцію з охорони праці.

Огляд обладнання:

Перед початком роботи слід перевірити справність всіх елементів установки, включаючи електричні з'єднання, вакуумні шланги, систему охолодження та інші компоненти.

Підготовка робочого місця:

Робоче місце має бути чистим, сухим та добре освітленим. Необхідно забезпечити вільний доступ до обладнання та евакуаційних виходів.

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

Засоби індивідуального захисту:

Працівник повинен використовувати засоби індивідуального захисту, такі як окуляри, рукавички, халат та інші, залежно від конкретних умов роботи.

Контроль за станом обладнання:

Необхідно регулярно перевіряти справність обладнання у процесі роботи, стежити за відсутністю витоків, перегріву та інших аномалій.

Зупинення роботи:

У разі виникнення несправностей, витоків, задимлення або інших небезпечних ситуацій необхідно негайно зупинити роботу, відключити установку від електроживлення та вжити заходів щодо усунення несправності або виклику фахівця.

Пожежна безпека:

Необхідно дотримуватись правил пожежної безпеки, мати під рукою вогнегасник і знати порядок дій при пожежі.

Закінчення роботи:

Після закінчення роботи необхідно відключити установку від електроживлення, очистити обладнання від залишків продуктів та привести робоче місце до ладу.

Заборони:

Не можна використовувати установку з пошкодженою ізоляцією, без заземлення, з несправною системою охолодження та за наявності інших дефектів.

Особливості роботи з мікрохвильовою вакуум-випарною установкою:

Вакуум:

У процесі роботи з вакуумною установкою необхідно стежити за рівнем вакууму, щоб уникнути його перепаду і пошкодження обладнання.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		62

Температура:

Необхідно контролювати температуру в процесі випарювання, щоб уникнути перегріву та пошкодження продуктів або обладнання.

Захист від радіації:

Під час роботи з мікрохвильовою установкою необхідно пам'ятати про захист від мікрохвильового випромінювання. Не можна направляти мікрохвильову піч на людей, а також допускати витік випромінювання.

Утилізація відходів:

Необхідно дотримуватись правил утилізації відходів, що утворюються в процесі роботи.

Дії в аварійних ситуаціях:

При ураженні електричним струмом:

Необхідно негайно відключити установку від електроживлення, надати першу допомогу потерпілому та викликати швидку допомогу.

При займанні:

Необхідно негайно відключити установку від електроживлення, скористатися вогнегасником та викликати пожежну службу.

При витоку вакууму:

Необхідно негайно зупинити роботу, відключити установку від електроживлення та звернутися до фахівця для усунення витоку.

При перегріві:

Необхідно негайно відключити установку від електроживлення та дочекатися її охолодження.

Висновки

Дотримання правил охорони праці під час роботи з мікрохвильовою вакуум-випарною установкою є обов'язковою умовою для забезпечення безпеки працівників та запобігання аварійним ситуаціям. Необхідно суворо дотримуватися інструкцій з експлуатації, використовувати засоби

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Адж.
Змн.	Адж.ш	№ докум.	Підпис	Дата		63

індивідуального захисту, проводити регулярні перевірки обладнання та дотримуватись правил пожежної безпеки.

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Електронний ресурс: <https://ecdingredients.com/wp-content/uploads/ECD-Grape-Must-flyer.pdf> (Дата звернення: 19.02.2025 р.).
2. Електронний ресурс: <https://vinograd.info/knigi/tehnologiya-pererabotki-vinograda/proizvodstvo-vinogradnyh-sokov/proizvodstvo-vinogradnyh-koncentratov.html> (Дата звернення: 19.02.2025 р.).
3. Електронний ресурс: <https://studfile.net/preview/2036670/page:3/> (Дата звернення: 19.02.2025 р.).
4. Електронний ресурс: <https://vinograd.info/stati/arhivy/tehnologiya-vina-g-troost/sguschenie-sokov-vymorazhivaniem.html> (Дата звернення: 20.02.2025 р.).
5. Патент на винахід FR2746108 «Випарювання виноградного суслу при температурі навколишнього середовища та тиску»
https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=FR188350320&_cid=P22-MBY79G-89434-1
6. Патент на винахід FR2665245 «Установка для концентрування термочутливого розчину, зокрема виноградного суслу»
https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=FR188320758&_cid=P22-MBY6YL-81903-1
7. Електронний ресурс:
https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/chepurnij_tplomasoob/d.htm (Дата звернення: 13.02.2025 р.).
8. Електронний ресурс:
<https://www.service-market.com.ua/products/magnetron-dlya-mikrovolnovoy-pechi-panasonic-2m236-m36> (Дата звернення: 13.02.2025 р.).
9. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: 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.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		65

10. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. – М.: Химия, 1991. – 493 с.

					<i>КРБ.ПотдЕМ.1.738-03.4.3</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.ш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дата</i>		66