

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Процесів, обладнання та енергетичного менеджменту»



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ**

на тему «Розробка вакуум-випарного апарату з мікрохвильовими джерелами енергії.»

Здобувач Аніченко А. К.

4 курсу, групи ГМ-40 (а)

Спеціальність 133

Керівник: Сиротюк І. В.

Одеса – 2025 р.

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

Аніченка Анатолія Костянтиновича

1. Тема роботи: «Розробка вакуум-випарного апарату з мікрохвильовими джерелами енергії»

Затверджена наказом ОНТУ від 25.11.2024 р. наказ №738-03

2. Термін задачі здобувачем закінченої роботи 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані роботи: продукт – яблучний сік, початкова концентрація – 11%, кінцева концентрація – 50%, продуктивність апарату 5 кг/год, робочий тиск в апараті – 0,008 МПа.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: критичний огляд обладнання аналогічного призначення, патентний пошук, обґрунтування конструкції, розробка технічного завдання, проведення технологічного, силового та конструктивного розрахунків, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначення обов'язкових креслень): креслення загального виду – 2 аркуші А1, креслення складальних одиниць: верхнє торцеве фланцеве з'єднання – 1 аркуш А1, нижнє торцеве фланцеве з'єднання – 1 аркуш А1, деталювання – 3 аркуші А1, 4 аркуші А3, технологічна схема мікрохвильової вакуум-випарної установки – 1 аркуш А1, схема технологічної лінії виробництва яблучного соку до модернізації – 1 аркуш А1, схема технологічної лінії виробництва яблучного соку після модернізації – 1 аркуш А1, специфікація на загальний вигляд – 1 аркуші А4, специфікації на складальні одиниці: верхнє торцеве фланцеве з'єднання – 2 аркуші А4, нижнє торцеве фланцеве з'єднання – 2 аркуші А4.

6.

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

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

2. Дата видачі завдання _____

Керівник _____ Сиротюк І.В.

Завдання прийняв до виконання _____
Аніченко А.К.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примі
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 _____ Аніченко А.К.

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: Аніченко А.К. _____

ЗМІСТ

1. РЕФЕРАТ.....	7
2. ВСТУП.....	8
3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ І ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ДСТУ.....	9
4. ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ.....	14
4.1. Концентрування методом теплового випарювання.....	14
4.2. Концентрування методом виморожування.....	22
4.3. Концентрування мембранним методом (зворотний осмос).....	25
5. ОГЛЯД ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	28
6. ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	39
7. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ.....	42
7.1. Мета проектування.....	42
7.2. Призначення.....	42
7.3. Вимоги до конструкції.....	43
7.4. Вимоги життєздатності та стійкості до зовнішніх факторів.....	43
7.5. Вимоги уніфікації та стандартизації.....	45
7.6. Вимоги метрологічного забезпечення виробництва і експлуатації..	45
7.7. Вимоги до експлуатації та зручності технічного обслуговування...	47
7.8. Вимоги до безпеки життя, здоров'я та охорони довкілля.....	48
7.9. Вимоги до транспортування і зберігання.....	49

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>			
<i>Зм</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Аніченко А. К.</i>			<i>Мікрохвильова вакуум-випарна установка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Сиротюк І. В.</i>				<i>У</i>	<i>4</i>	<i>78</i>
<i>Н. контр</i>					<i>ОНТУ ГМ-40 (а)</i>			
		<i>Бурдо О.Г</i>						

8. ОПИС РОЗРОБЛЕНОГО АПАРАТУ.....	51
9. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....	56
9.1. Початкові дані.....	56
9.2. Матеріальний розрахунок.....	56
9.3. Тепловий баланс.....	56
9.4. Розрахунок сепараційного простору.....	58
9.5. Розрахунок діаметрів штуцерів та трубопроводів для матеріальних потоків.....	58
9.6. Штуцер для подачі початкового розчину.....	59
9.7. Штуцер для відведення готового продукту.....	59
9.8. Штуцер для відведення вторинної пари.....	59
10. РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ.....	60
10.1. Розрахунок плоских днищ апаратів.....	60
10.2. Розрахунок циліндричних апаратів та їх елементів, що знаходяться під дією зовнішнього надлишкового тиску.....	63
10.3. Розрахунок реактора випарного апарату.....	66
10.4. Розрахунок конденсатора.....	68
11. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АПАРАТУ.....	70
11.1. Загальні положення.....	70
11.2. Вимоги безпеки перед початком роботи.....	71
11.3. Вимоги безпеки під час роботи.....	71
11.4. Вимоги безпеки після закінчення роботи.....	74
12. ВИСНОВКИ.....	75
13. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	76

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Додаток А. Креслення загального виду.

Додаток Б. Креслення складальних одиниць.

Додаток В. Деталювання.

Додаток Г. Технологічна схема апарату.

Додаток Д. Технологічна схема лінії виробництва концентрованого яблучного соку.

Додаток Е. Модернізована технологічна схема лінії виробництва концентрованого яблучного соку.

Додаток Ж. Специфікації.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1. РЕФЕРАТ

Мета проекту полягає у розробці вакуум-випарного апарату з мікрохвильовим джерелом енергії. Розроблений апарат призначається для концентрування рідких харчових продуктів (у даному випадку яблучний сік).

Розробка виконується на основі існуючої технологічної лінії виробництва концентрованого яблучного соку. Для розробки пропонуваного апарату були розглянуті основні вимоги до сировини, технологічний процес, існуюче та патентне обладнання. На основі цього було складено обґрунтування проектування та розроблене технічне завдання. Внаслідок чого було проведено технологічний та силовий розрахунок на основі яких була створена вся необхідна технічна документація.

Ключові слова: концентрування, яблучний сік, вакуум-випарний апарат, мікрохвильові технології.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2. ВСТУП

Виробництво концентрованих соків є широко затребуваним у всьому світі. Це пов'язано зі значною економією тари при зберіганні, і зниженні витрат на транспортування. Такий спосіб одержання соку дозволяє робити резервні запаси на випадок років з поганим урожаєм.

Виробництво концентрованих соків – одна з основних галузей харчової промисловості України. Основна частка виробництва соків в Україні припадає на вітчизняну компанію «*T.B. Fruit*», яка вже котрий рік займає третю лідерську позицію у рейтингу крупніших виробників концентрованих соків в Європі, і першу позицію на ринку України [1].

В 2023 році серед фруктів, які вирощували українські аграрії, переважають яблука. На них припадало майже 60% від загального обсягу вирощування фруктів та ягід у 2023 році, про це йдеться у звіті, підготовленому Центром дослідження продовольства та землекористування при Київській школі економіки (KSE) у співпраці з Мінагрополітики [2]. Таким чином, саме виробництво концентрованого яблучного соку є переважним для більшості харчових підприємств України, що підтверджує компанія «*T.B. Fruit*» на виробничих активах якої у 2023 році була вироблена кожна 10-та пляшка соку у світі та кожна 4-а пляшка яблучного соку в США.

Оскільки у виробництві соків Україна посідає лідируючі позиції, розробка вітчизняних ліній з виробництва концентратів соку є дуже актуальною.

Метою даної дипломної роботи є розробка вакуум-випарного апарату з мікрохвильовим джерелом енергії на основі реальної технологічної схеми лінії виробництва концентрованого яблучного соку. У роботі проаналізовано різні види випарних апаратів та способи реалізації технологічних процесів, розглянуто вимоги до сировини і готової продукції

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

у відповідності до ДСТУ. Виконано огляд існуючого технологічного обладнання та розрахунок власного.

3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ І ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ДСТУ

Виготовлення концентрованого яблучного соку – це складний технологічний процес, який потребує постійного контролю для досягнення якості готової продукції у відповідності до діючих норм та стандартів України.

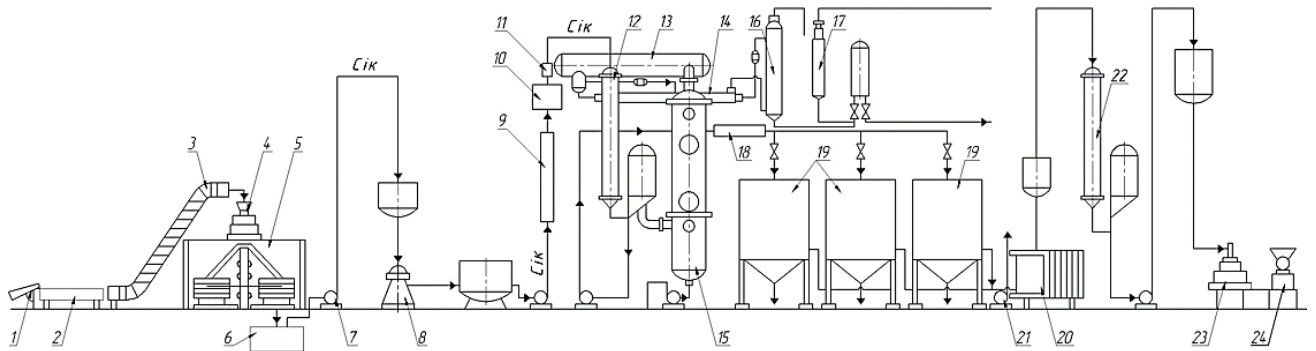


Рис. 1 – Технологічна схема лінії виробництва концентрованого яблучного соку.

- 1 – вентиляторна мийна машина; 2 – стрічковий транспортер; 3 – елеватор;
 4 – дробарка; 5 – пак-прес; 6 – збірник; 7 – насос; 8 – сепаратор;
 9 – трубчастий підігрівач; 10 – поживний бак; 11 – ротаметр; 12 – випарник;
 13 – дефлегматор; 14 – холодильник; 15 – колона ректифікації;
 16 – абсорбційна колона; 17 – низькотемпературний охолоджувач;
 18 – поверхневий охолоджувач; 19 – ферментатори; 20 – прес-фільтр;
 21 – вакуум-насос; 22 – вакуум-випарний апарат; 23 – наповнювач;
 24 – закатувальна машина

У цій випускній кваліфікаційній роботі розглядається спрощена схема отримання концентрованого соку без стадії уловлювання ароматичних речовин. Сировиною для виробництва концентрованого соку є яблука за

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ДСТУ 7075:2009 [3]. Сировину приймають партіями та зберігають на закритому цементованому сировинному складі. Необхідні якісні показники яблук вказані у таблиці 1 у відповідності до стандарту.

Табл. 1 – Органолептичні показники яблук за ДСТУ 7075:2009.

Назва показника	Характеристика		
	1 сорт	2 сорт	3 сорт
Зовнішній вигляд	Плоди здорові, свіжі, цілі, чисті, цілком розвинуті, неушкоджені сільськогосподарськими шкідниками, без механічних ушкоджень, типові за розміром, формою, вагою та забарвленням для певного помологічного сорту, з плодоніжкою чи без неї		Плоди чисті, розвинуті. Форма та колір плодів притаманні дикорослим. Дозволені неоднорідні за формою, розміром, вагою чи забарвленням плоди з плодоніжкою чи без неї
		Дозволено плоди нетипові за формою і забарвленням для даного помологічного сорту	
Аромат та смак	Притаманні даному помологічному сорту, без стороннього запаху і присмаку		Притаманні дикорослим, без стороннього запаху і присмаку
Ступінь стиглості	Технічна, дозволена споживацька. Плоди однорідні за ступенем стиглості		
Примітка. Плісняві, розчавлені, загнилі, підморожені яблука переробляти заборонено			

Вздовж складу у напрямку до технологічної лінії проходять гідравлічні жолоби, до яких є ухил в підлозі площадки. З бurtів яблука подаються в гідротранспортер струменем води з брандспойтів. Одночасно з переміщенням по транспортеру яблука миються та потрапляють до грязьової ванни, що знаходиться на нижньому сировинному майданчику, для уловлювання важких домішок за принципом різниці питомої ваги. Вода для гідротранспортування використовується багаторазово і повинна відповідати санітарним вимогам щодо водопостачання.

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для підвищення ефективності віджиму соку на пресі, яблука попередньо подаються на процес подрібнення в дробарку, яка за допомогою робочих органів (молотків) перебиває яблука на частинки розміром в 3-6 мм.

Процес пресування полягає не у розчавленні тканини плодів, а у видавлюванні соку з вже пошкоджених клітин. При пресуванні відокремлюється рідка фаза подрібненої яблучної маси (м'язги) – сік. На початку протікає процес стікання соку самопливом. Надалі м'язга падає на нижню стрічку і продовжує шлях між стискаючими стрічками, спершу через зону перед пресуванням, а після через пресуючі валики, які каскадно встановлені на станині преса. Після останнього валика пресування жмих відокремлюються від стрічки. Вихід соку на подібній установці 72–80%. Можливе підвищення продуктивності лінії при застосуванні дворазового пресування.

Яблучний сік, віджаний на пресах, сепарують з метою коагуляції колоїдних речовин на сепараторах безперервної дії. При сепаруванні під впливом відцентрової сили з соку видаляються всі зважені частинки, а осад осідає на тарілках сепаратора. Осад, що утворюється при сепаруванні і фільтруванні, ущільнений, майже не містить соку і використовується на корм худобі або як добриво.

Очищений сік збирається в резервуарі, звідки подається в трубчастий пастеризатор, де нагрівається до 90°C і охолоджується до 45°C; нагрівання здійснюється парою, охолодження – водою.

Частково концентрований сік з вмістом сухих речовин 11–15%, що виходить з установки з температурою 45°C ± 5°C автоматично направляється на обробку ферментними препаратами до буферних ємностей. Ємності для депектинізації соку обладнані мішалками, розташованими в нижній частині збоку ємності. Мають показники рівня і

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

патрубки для взяття проби на лабораторний контроль на наявність пектину і крохмалю в соку.

Після освітлення соку для відділення коагульованих колоїдів та осілих частинок його фільтрують. Фільтрування – механічний процес виділення зважених часток з соку шляхом пропускання його через пористий шар. Процес фільтрації яблучного соку досягається завдяки використанню барабанних фільтрів, які складаються з барабана, що обертається з поверхнею у вигляді решіток з поліпропілену та з натягнутим на нього полотном. У внутрішній частині барабану створюють розрядження. Барабан занурюється у сік на половину та обертається зі швидкістю 4 хв⁻¹.

Для отримання концентрованого соку яблучного здійснюють упарювання отриманого розчину. Процес випарювання повинен проводитися за якомога нижчих температур і короткочасно. Це необхідно для досягнення необхідної якості кінцевого продукту (див. табл. 2). Щоб задовільнити ці умови та досягти необхідних концентрацій продукту, процес випарювання відбувається при розрядженні, оскільки така технологія дозволяє знизити температуру кипіння розчину і застосовується для випарювання чутливих до високої температури продуктів, а також розчинів з високою температурою кипіння, коли температура агенту, що нагріває, не дає можливості вести процес під атмосферним тиском.

Для обігріву випарних апаратів застосовують агенти, що нагрівають. Найбільшим поширенням користується водяна пара. Нагрівання розчину, що випаровується, здійснюється шляхом передачі тепла від агенту через стінку, що розділяє обидві речовини. Основні переваги цього методу полягають у здатності досягати високих концентрацій, універсальність концентрації різних продуктів та можливість поєднання інших стадій процесу. До недоліків відноситься те, що при цьому можлива деградація чутливих до тепла композитів, а також втрати летких речовин, крім того, утворюються зони локального перегріву у місцях контакту розчину з

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

поверхнею теплопередачі, які провокують розвиток реакцій потемніння, помутніння та утворення осаду.

За органолептичними показниками концентрований яблучний сік повинен відповідати умовам, вказаним у ДСТУ ISO 8128-1:2014 [4]. Готовий концентрований сік розливають у бочки з нержавіючої сталі, згідно з ГОСТ 30765:2001 [5].

Таблиця 2 – Органолептичні показники концентрованих соків за ДСТУ ISO 8128-1:2014.

Назва показника	Характеристика соку	
	освітлений	неосвітлений
Зовнішній вид	Густа, в'язка, майже прозора рідина. Допускається наявність на дні тари (будь-якої) невеликого осаду. Допускається наявність у соку кристалів на дні або стінках тари (будь-якої), що легко розчиняються при відновленні.	Густа, в'язка, непрозора рідина. Допускається наявність на дні тари (будь-якої) осаду.
Смак та аромат	Властиві фруктовим сокам, з яких виготовлений концентрований сік. Допускаються невиражені смак і аромат концентрованих соків, в які не додані концентровані натуральні леткі ароматоутворюючі фруктові речовини. Сторонні присмак та запах не допускаються.	
Колір	Відповідний кольору соків, з яких виготовлений концентрований фруктовий сік. Допускається незначне потемніння (покоричневіння).	
Розчинність у воді	Повна після розмішування, без утворення осаду після 2 годин відстоювання.	Повна після розмішування протягом 10 хвилин відстоювання.
Примітка. 1. Зовнішній вид та розчинність у воді для концентрованих фруктових соків, консервованих шляхом заморожування, визначають після розмороження. 2. Смак, аромат та колір визначають у відновлених (для концентрованих соків, консервованих шляхом заморожування, після попереднього розморожування) соків.		

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		13

4. ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ

Концентрування рідких харчових продуктів є одним із способів консервування, при якому найбільш повно зберігаються вихідні властивості продуктів, підвищується їхня стійкість при зберіганні, скорочуються витрати на зберігання та транспортування. Після відновлення вмісту води продукт фактично виходить у первісному вигляді.

На сьогодні концентрування яблучного соку можливо виконувати декількома технологічними процесами. На даний момент, основним способом проведення зазначеного технологічного процесу є теплове випарювання. Крім того, у харчовій промисловості також використовуються менш розповсюдженні технології кристалізації та механічного концентрування з використанням мембран (зворотній осмос).

Огляд обладнання пропонується розпочати з основної технології, а саме теплового випарювання.

4.1. Концентрування методом теплового випарювання.

До такої технології відносять різноманітні випарні апарати, в яких процес виконується як при надлишковому тиску, так і при розрідженні. Основний принцип дії полягає у нагріванні вихідного розчину до температури випарювання вторинної пари. Таким чином досягається збільшення концентрації потрібної речовини.

Найпростішими апаратами такого типу є однокорпусні випарні установки. Розглянемо принципову схему подібного апарату з природною циркуляцією розчину на прикладі апарату з внутрішньої центральної циркуляційної трубою (див. рис. 2).

Апарат складається з вертикального корпусу (поз. 1) в нижній частині якого знаходиться нагрівальна камера (поз. 2), що складається з двох трубних решіток, в яких закріплені, найчастіше розвальцьовані, кип'ятильні труби (поз. 3), (довжиною 2 - 4 м) і циркуляційна труба (поз. 4) великого

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

діаметра, яка встановлена по осі камери (поз. 2). У міжтрубний простір нагрівальної камери (поз. 2) подається пар, що гріє. Розчин надходить в апарат над верхньою трубною решіткою і опускається по циркуляційній трубі (поз. 4) вниз, потім піднімається по кип'ятільних трубах (поз. 3) і на деякій відстані від їх нижнього краю закипає. Тому на більшій частині довжини труб відбувається рух вгору паро-рідинної суміші, вміст пари в якій зростає в міру її руху. Вторинна пара надходить у сепараційний (паровий) простір (поз. 5), де за допомогою краплеуловлювача (поз. 6), що змінює напрямок руху парового потоку, від пари під дією інерційних сил відокремлюється віднесена ним волога. Після цього вторинна пара видаляється через газохід зверху апарату. Випарений розчин видаляється через нижній трубопровід конічного днища апарату як проміжний або кінцевий продукт [6].

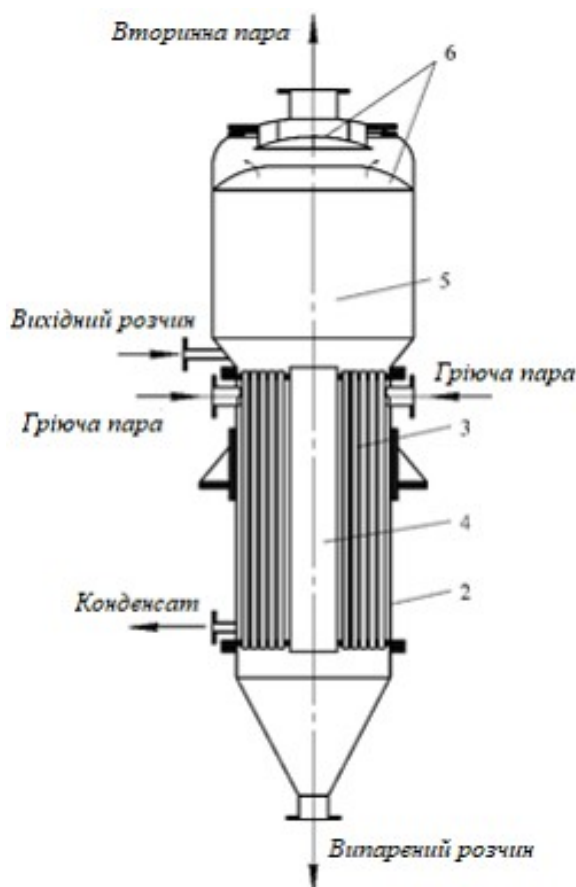


Рис. 2 – Випарний апарат з внутрішньою нагрівальною камерою та центральною циркуляційною трубою.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Циркуляція розчину в апараті відбувається внаслідок різниці в'язкості розчину в циркуляційній трубі (поз. 4) та паро-рідинної суміші в кип'ятильних трубах (поз. 3). Виникнення достатньої різниці в'язкості обумовлено тим, що поверхня теплообміну кожної кип'ятильної труби (поз. 3), яка припадає на одиницю об'єму розчину, що випаровується, значно більше, ніж у циркуляційної труби (поз. 4), так як площа поверхні труби знаходиться в лінійній залежності від її діаметра, а об'єм рідини в трубі пропорційний квадрату її діаметра. Отже, пароутворення в кип'ятильних трубах (поз. 3) повинно протікати значно інтенсивніше, ніж у циркуляційній трубі (поз. 4), а в'язкість розчину в них буде нижчою, ніж у цій трубі. В результаті забезпечується природна циркуляція, що покращує теплопередачу [6].

В апаратах цієї конструкції циркуляційна труба (поз. 4), як і кип'ятильні труби (поз. 3), обігривається водяною парою, що знижує різницю в'язкості розчину і паро-рідинної суміші і може призводити до небажаного пароутворення в самій циркуляційній трубі (поз. 4). Їх недоліком є також жорстке кріплення кип'ятильних труб, що не допускає значної різниці теплових подовжень труб та корпусу апарату.

У сучасних апаратах випаровується дуже велика кількість води. В однокорпусному апараті для випаровування 1 кг води потрібно більше 1 кг гріючої пари. Тим не менш, розхід пари може бути значно зменшений, якщо процес здійснюється в багатокорпусній установці. Принцип роботи таких установок полягає у багаторазовому використанні тепла вторинної пари (див. рис. 3).

Установка складається з декількох (в даному випадку трьох) корпусів (поз. 1, 2, 3). Вихідний розчин попередньо нагрівається у теплообміннику (поз. 4) для підвищення швидкості випаровування вторинної пари та подається в перший корпус (поз. 1). Випаровування розчину відбувається за рахунок подачі первинного пару у міжтрубний простір. Утворена у процесі

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

випаровування вторинна пара з першого корпусу (поз. 1) направляється на другий корпус (поз. 2), де використовується у якості агенту, що нагріває розчин. Завдяки пониженому тиску в другій камері (поз. 2) розчин, що сконцентрувався у першій камері (поз. 1), переміщується самопливом в другу (поз. 2), при цьому знижується температура кипіння розчину.

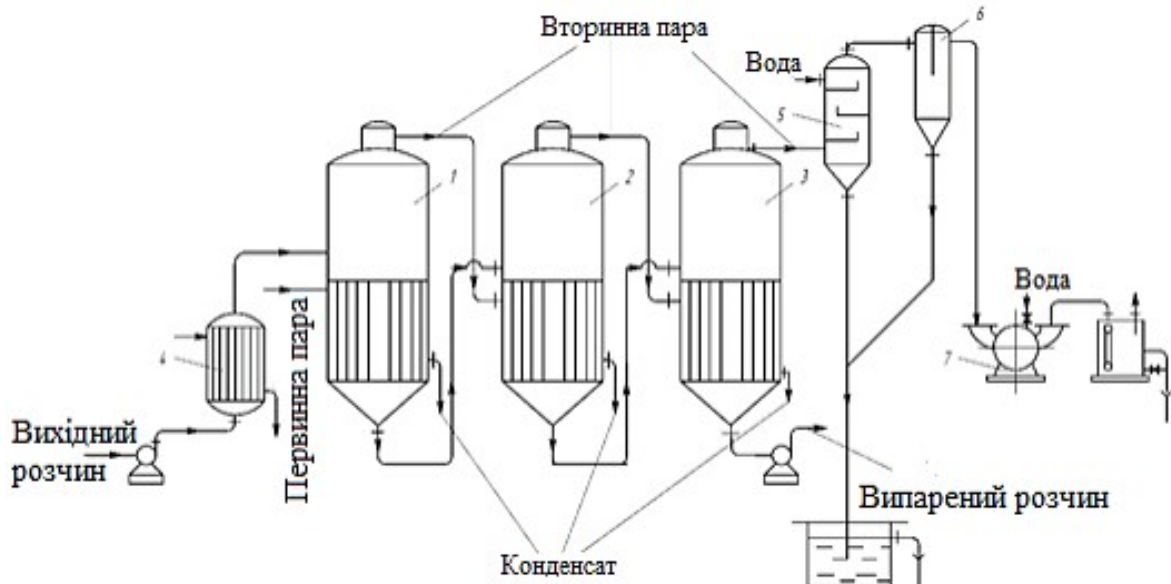


Рис. 3 – Багатокорпусна вакуум-випарна установка

Аналогічно випарений розчин з другого корпусу (поз. 2) перетікає самопливом у третій корпус (поз. 3), який обігрівається вторинною парою з другого корпусу (поз. 2). Вторинна пара з останнього корпусу (поз. 3) відводиться в барометричний конденсатор (поз. 5), в якому при конденсації пари створюється необхідне розрідження. Повітря і гази, що не конденсуються, потрапляють в установку з парою і охолоджувальною водою (в конденсаторі), а також через нещільності трубопроводів і різко погіршують теплопередачу, відсмоктуються через пастку-краплеуловлювач (поз. 6) вакуум-насосом (поз. 7). За допомогою вакуум-насоса підтримується також стійкий вакуум, оскільки залишковий тиск у конденсаторі може змінюватися з коливаннями температури води, що надходить у конденсатор [6].

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

В апаратах з природною циркуляцією розчину, які були описані раніше, швидкість, яка досягається об'єктом випарювання складає близько 0,25-1,5 м/с. При такому діапазоні швидкостей переміщення розчину, не вдається запобігти відкладенню накипу твердих частинок на поверхні теплообміну. Тому при тривалій експлуатації, апарат потребує періодичного очищення, що значно підвищує затрати на експлуатацію та знижує продуктивність. Досягти зменшенню забрудненості поверхонь теплообміну можна при збільшенні швидкості циркуляції розчину та винесенням зони кипіння за межі нагрівальної камери.

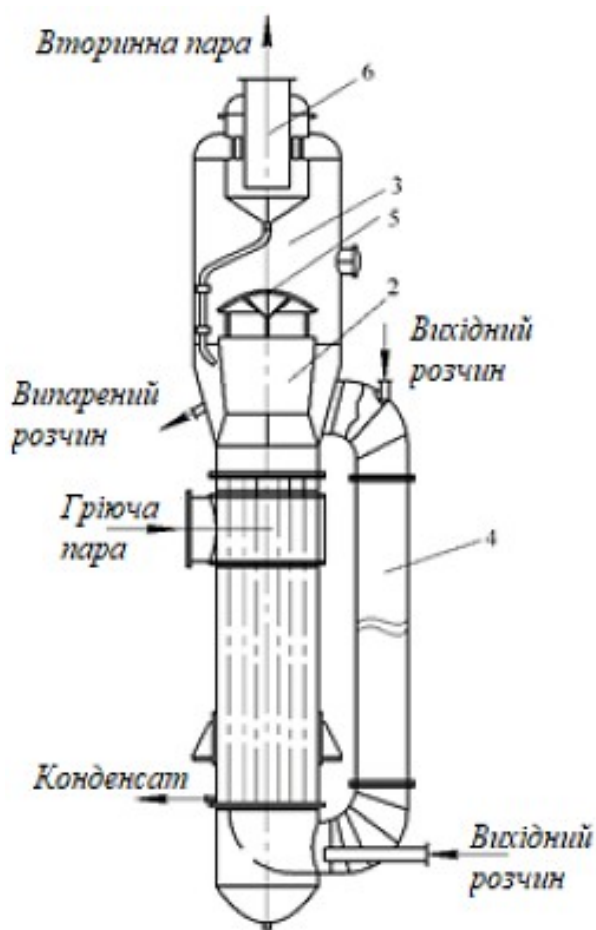


Рис. 4 – Випарний апарат з винесеною камерою кипіння

В апараті з винесеною зоною кипіння, вихідний розчин входить через трубопровід знизу апарату та потрапляє до нагрівальної камери (поз. 1) і, піднімаючись по трубкам вгору не закипає в них, внаслідок гідростатичного

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

тиску. Після виходу з кип'ятильної труби розчин поступає в зону розширення верхньої труби кипіння (поз. 2), встановлену над нагрівальною камерою в частині нижнього сепаратора (поз. 3). В результаті зниження тиску в цій трубі розчин закипає і, таким чином, відбувається процес випаровування за межами поверхні нагріву.

Розчин циркулює по зовнішній необігрівній трубі (поз. 4). Упарений розчин виводиться через трубопровід в нижній частині сепаратора (поз. 3). Вторинна пара, яка проходить через відбійник (поз. 5) і краплеуловлювач (поз. 6), виходить з апарату через газохід у верхній частині. Вихідний розчин може надходити або в нижню частину апарату (під трубну решітку нагрівальної камери), або зверху в циркуляційну трубу (поз. 4) [6].

Завдяки великій поверхні випаровування, яка створюється в об'ємі киплячого розчину, і часткового самовипарювання крапель, унесених вторинним паром, значно знижується краплевинесення. Киплячий розчин не стискається з поверхнею теплообміну, що забезпечує зменшенню відкладення накипи. Швидкість циркуляції розчину в апаратах такого типу складає близько 1,8 – 2 м/с, з огляду на те, що перепад температури між гріючим паром і розчином складає близько 30°C та малою втратою напору в зоні кипіння [6].

Для випарювання нев'язких рідин, таких як освітлений яблучний сік, використовують тонкоплівкові випарні апарати (див. рис. 5).

Основна відмінність таких апаратів від апаратів розглянутих вище полягає в тому, що процес випарювання в них відбувається при одноразовому проходженні розчину через нагрівальну камеру апарату.

Завдяки цьому, досягається можливість випарювання розчину без циркуляції. До того, розчин, що випаровується, переміщується (на більшій частині висоти кип'ятильних труб) у вигляді тонкої плівки по внутрішній поверхні теплообміну.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

відбійника (поз. 3), а після чого пара додатково сепарується у відцентровому краплеуловлювачі (поз. 4).

У краплеуловлювач вторинна пара надходить тангенційно і їй надається обертальний рух [6]. Таким чином, під дією утвореної відцентрової сили краплі рідини відводяться до стінок зони сепарації (поз. 2), в результаті чого залишок відсепарованого розчину стикає донизу, а чиста водяна пара видаляється зверху апарату.

Прямоточні випарні апарати ближче до апаратів ідеального витіснення, тоді як апарати з багаторазовою циркуляцією наближаються до апаратів ідеального змішування. Разом з тим у прямоточних апаратах розчин проходить по кип'ятильних трубках одноразово. Тому час перебування його малий і акумулююча здатність цих апаратів низька, що важливо в умовах випаровування термічно нестійких речовин.

Прямоточні апарати чутливі до зміни режиму роботи і вимагають для ефективного випарювання підтримування деякого оптимального «уявного» рівня розчину в кип'ятильних трубах. «Уявний» рівень відповідає висоті стовпа холодного розчину, яким може бути врівноважений стовп парорідинної суміші в трубах. У випадку «уявного» рівня нижче оптимального верхня частина поверхні труб не омивається рідиною і практично не бере участі в теплообміні; «оголена» частина поверхні труб за рахунок випаровування на ній бризок рідини покривається накипом. У випадку «уявного» рівня вище оптимального на більшій частині поверхні труб розчин тільки нагрівається; відповідно зменшується висота зони кипіння, де теплопередача інтенсивніша. Це призводить до зниження середньої величини коефіцієнта теплопередачі. Крім того, для вертикальних прямоточних апаратів необхідні високі виробничі приміщення. Область застосування апаратів з плівкою, що піднімається, – випарювання мало в'язких розчинів, у тому числі пінних і чутливих до високих температур. Ці

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

апарати не рекомендуються для випарювання розчинів, що кристалізуються, через можливість забивання труб кристалами [6].

У випадку випарювання в'язких, густих розчинів робота апаратів з плівкою, що піднімається, погіршується через значну нерівномірність «сповзаючої» плівки. У цьому випадку більш доцільно використовувати апарати спадаючої плівки, які відрізняються від апарата, наведеного на рис. 5, тим, що вихідний розчин подається зверху і стікає у вигляді плівки під дією сили тяжіння по трубах, а вторинна пара надходить у сепаратор розташований нижче нагрівальної камери. В умовах стікання плівки зводиться до мінімуму небезпека порушення суцільності плівки та оголення деякої частини поверхні нагріву. Для розчинів, що кристалізуються, такі апарати також непридатні.

У прямоточних (плівкових) апаратах важко забезпечити рівномірну товщину плівки рідини, що випаровується (що необхідно для ефективної роботи апарату), крім того, ці апарати дуже чутливі до нерівномірної подачі розчину, а чищення довгих труб малого діаметра скрутна справа. Тому плівкові апарати витісняються вертикальними випарними апаратами з циркуляцією розчину [6].

4.2. Концентрування методом виморожування.

Метод концентрації виморожуванням (кристалізацією) розглядається як альтернатива випарної концентрації і теоретично має низку переваг при обробці розчинів, чутливих до нагрівання – таких як молоко, фруктові соки, а також інші рідкі харчові продукти. Суть методу полягає в частковому заморожуванні води у вигляді твердого льоду та подальшому відділенні цього льоду від рідкої фази [7].

У порівнянні з випарною концентрацією, концентрування виморожуванням має ряд переваг у порівнянні з іншими методами, особливо для термолабільних продуктів, які містять велику кількість ароматичних речовин [8]. При низьких температурах хімічне і біологічне

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

розкладання незначне, легколеткі і ароматичні компоненти зберігаються повністю, що забезпечує високу якість одержуваного концентрату.

Концентрування виморожуванням застосовують при виробництві медичних препаратів, натуральних харчових барвників, для опріснення солоної води природних джерел та ін. [8].

Концентрування виморожуванням здійснюють як самостійний процес при виробництві концентрованих харчових продуктів, що надходять до споживача, і як етап підготовки до сушіння (сублімаційного або розпилювального).

Процес концентрування виморожуванням складається з двох основних етапів: кристалізації та сепарування.

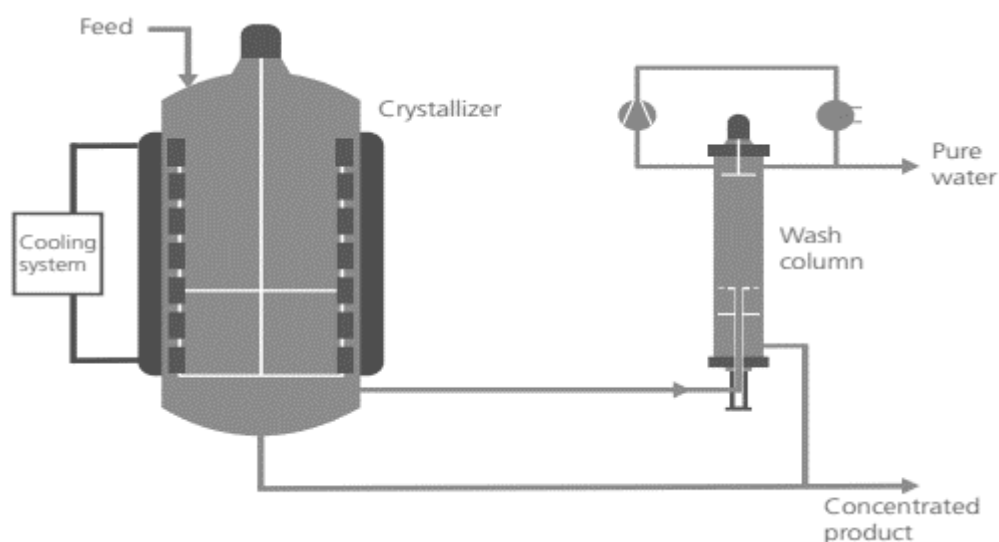


Рис. 6 – Схема установки IceCon® для концентрування розчинів шляхом кристалізації

На першому етапі виморожується частина води із рідкого продукту. Мета кристалізації – отримання суспензії (кристали льоду-концентрату), що містить придатні для поділу кристали розміром 200–400 мкм. За характером кристалічної фази, що утворюється, розрізняють масову кристалізацію і процеси з обмеженим фронтом кристалізації. Відмітною ознакою масової

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		23

кристалізації є утворення кристалів об'ємом розчину при його рівномірному переохолодженні або пересичення.

Величина і форма кристалів, що утворюються, залежать від ступеня переохолодження суміші, умов тепловідведення, природи і концентрації розчинених речовин. При малому переохолодженні та повільному відводі теплоти утворюються великі кристали льоду, що мають меншу питому поверхню [8].

При значному переохолодженні та швидкому охолодженні розчину у ньому утворюються велика кількість дрібних кристалів льоду з підвищеним вмістом розчинених речовин. Масову кристалізацію можна проводити в апаратах з відведенням теплоти через теплопередаючі поверхні, а також при безпосередньому контакті розчину з холодоагентом в апаратах періодичної або безперервної дії [7]. Процес кристалізації протікає при інтенсивному перемішуванні суміші, що кристалізується, і незначних градієнтах температури, які спостерігаються у охолоджуючих поверхнях у прикордонних шарах рідини. У цих умовах кристали зароджуються і ростуть, найчастіше, в об'ємі розчину, але можуть утворюватися спочатку і на поверхнях, що охолоджуються [7]. Лід, заморожений на теплообмінній поверхні, зрізається скребками або ножом і змішується з рідкою фазою, утворюючи суспензію.

Сепарування необхідно проводити без розведення концентрату льодом, що тане, і без втрат сухих речовин. Досконалістю процесу поділу льоду та розчину визначається ефективність всього процесу концентрування виморожуванням. Ефективність поділу суспензії залежить, в основному, від розмірів кристалів льоду та в'язкості концентрату [8].

Процес відокремлення льоду від розчину ґрунтується на фільтрації розчину в пористому шарі льоду, який може бути утворений в результаті взаємодії фаз, центрифугування або пресування гетерогенної суміші.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

При фільтрації розчин видаляється з шару і заміщається в порах прісною водою. Процес супроводжується тепло- та масообмінним процесом в рідині та на поверхні розділу фаз.

Одним з найефективніших пристроїв для сепарування суспензії є протиточна колона для промивання. Процес сепарування в ній складається з двох етапів: відокремлення льоду від концентрату та промивання ущільненого крижаного шару промивною водою [8]. Лід відокремлюється від концентрату внаслідок різниці щільностей або під впливом зовнішнього тиску. Крижаний шар промивається водою, одержаною при плавленні льоду, для змиву концентрату з поверхні кристалів. Суспензія подається до нижньої частини промивної колони. У зоні концентрат видаляється через фільтруючу перегородку, а кристали надходять в зону промивки [8]. Змитий із поверхні льоду концентрат виводиться з апарата через фільтр. Чисті кристали механічно видаляються із зони промивки і надходять у плавник.

4.3. Концентрування мембранним методом (зворотний осмос).

Основним мембранним способом, що застосовується для концентрування рідин, є зворотний осмос. Найбільш широко зворотний осмос використовується в процесах одержання прісної води з морської і солонуватої, в процесах отримання надчистої води для електронної та фармацевтичної промисловості, а також у процесах очищення стічних вод різних виробництв [9].

Процес зворотного осмосу окрім самостійного застосування добре поєднується з традиційними способами розділення (іонним обміном, ректифікацією, адсорбцією, екстракцією, електродіалізом), що відкриває широкі можливості для створення принципово нових, простих та малоенергоємних технологічних процесів [9].

Однак, якщо розглядати процес зворотного осмосу, як альтернативну технологію концентрування яблучного соку, то можна виділити декілька переваг порівняно з традиційними методами концентрування. Мембранний

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

метод дозволяє виконувати процес концентрації соку при кімнатній температурі, практично не пошкоджуючи його структуру, на відміну від класичних випарних апаратів, які потребують постійного контролю температурного режиму виконуваного технологічного процесу, бо у протилежному випадку недотримання режимів випарювання може викликати небажані зміни органолептичних та харчових властивостей продукту: зміна кольору, поява присмаку, зниження поживної цінності та ін. [10].

Однак, процес зворотного осмосу дозволяє досягати концентрацій сухих речовин лише до 25 – 35%, поки осмотичний тиск соку не зрівняється з доданим тиском, що обмежує ефективність методу порівняно з тепловими технологіями випарювання [10].

Основним елементом конструкції цих апаратів є мембрана пластина, що складається з плоских (листових) мембран, укладених по обидві сторони плоского пористого матеріалу – дренажу. Відстань між сусідніми мембранними елементами (елементарний простір – простір, по якому протікає вихідний розчин) невелика і складає близько 0,5 – 5 мм. Розчин, що концентрується послідовно проходить між усіма мембранними елементами і видаляється з апарата. Частина цього розчину, що пройшла через мембрану в дренаж, утворює пермеат (фільтрат) [9].

Апарати з плоскими мембранними елементами випускають у різних модифікаціях: корпусними і безкорпусними, з центральним та периферійним виводом пермеату, із загальним відведенням пермеату або окремо з кожного елемента. За формою мембранні елементи виготовляють круглими (еліптичними) і прямокутними (квадратними). Форма елементів істотно впливає на організацію потоку розчину над поверхнею мембран і на характеристики процесу розділення [9].

Схема одного з апаратів з плоскими мембранними елементами еліптичної форми (випускається фірмою «ДДС», Данія) і розподіл потоків у ньому зображено на рис. 7.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Апарат являє собою пакет мембранних елементів (поз. 1) еліптичної форми, що знаходяться між круглими фланцями (поз. 2.) Їх співвісність забезпечується двома направляючими штангами (поз. 3.) На вільні кінці штанг нагвинчують гайки, затягуванням яких здійснюється опресовування апарата [9].

Мембранні елементи складаються з опорних пластин (поз. 4), по обидва боки яких розташовані мембрани (поз. 5). Отвори в опорних пластинах і мембранах точно з'єднуються і герметизуються двома кільцями: проточним (поз. 6) зі сторони входу розчину в переточний отвір і замковим (поз. 7) зі сторони виходу з нього. Для подачі розчину з переточного отвору

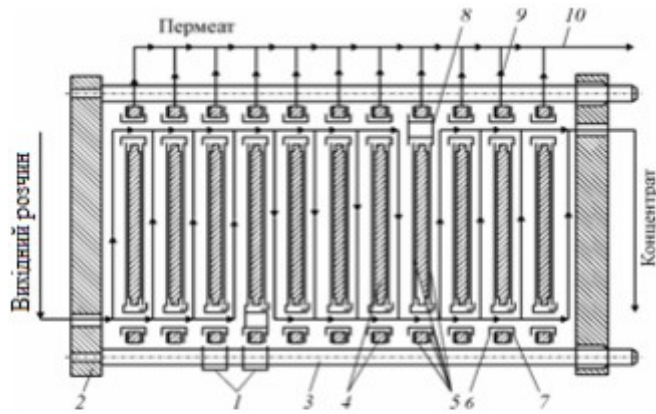


Рис. 7 – Схема мембранного апарату фірми «ДДС»

в міжмембранний канал і відведення його в інший переточний отвір у проточних кільцях є прорізи в радіальному напрямку. Проточне кільце щільно входить у гніздо, що оточує отвір, чим досягається співвісність всіх отворів і надійна герметизація переточних отворів по вузьких краях мембран, розташованих між кільцями (поз. 6 і 7). Пермеат відбирають окремо з кожного мембранного елемента по гнучких капілярних шлангах 9 з подальшим виведенням у загальний колектор (поз. 10) [9].

На робочі характеристики мембран (продуктивність і селективність) впливає концентрація розчинених речовин. Зі збільшенням концентрації підвищується осмотичний тиск розчину, а отже, знижується ефективна рушійна сила процесу розділення; крім того, збільшується в'язкість, у результаті чого зменшується коефіцієнт масовіддачі. Можливі й інші

в міжмембранний канал і відведення його в інший переточний отвір у проточних кільцях є прорізи в радіальному напрямку. Проточне кільце щільно входить у гніздо, що оточує отвір, чим досягається співвісність всіх отворів і надійна герметизація

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ускладнення процесу. Тому правильний вибір робочого інтервалу концентрацій – найважливіша передумова нормальної експлуатації мембранних апаратів [10].

5. ОГЛЯД ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Останніми роками, для виконання процесів концентрування в безперервному виробництві пропонується впровадження технології мікрохвильового випарювання. Цей спосіб забезпечує більш високу енергоефективність та рівномірне нагрівання продукту, що дозволяє зменшити витрати енергії та підвищити ефективність процесу.

У патенті US000010632396B2 (Кунмінський науково-технічний університет, Китай) представлено технічне рішення, що передбачає використання технології мікрохвильового випарювання для оптимізації процесу концентрування рідких речовин [11]. Пропоноване технічне рішення спрямоване на удосконалення недоліків існуючих традиційних випарних апаратів та має низку переваг порівняно з ними, зокрема запобігання корозії циркуляційного насоса та системи парового теплообміну під впливом високої температури та тиску, запобігання утворенню накипу на теплообмінниках, та підвищення ефективності випаровування. Розроблену установку можна застосовувати в багатьох технологічних процесах харчової, хімічної та інших галузях промисловості, наприклад, для виконання процесів утилізації стічних вод, опріснення морської води, ректифікаційного поділу для різних органічних змішаних розчинів, стерилізації, зневоднення та дегідратації твердого порошку і концентрування, шляхом випаровування води з розчину.

Конструкцію апарату мікрохвильового випаровування для реалізації зазначеного технологічного процесу згідно з авторським свідоцтвом розглянуто на рис. 8 та 9. Конструкція установки складається з таких основних елементів як витратна ємність (поз. 1), ланка розпилення рідини, ланка мікрохвильового випаровування і ланка конденсації випареної води.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Вузол розпилення крапель рідини містить відцентровий насос (поз. 2), що подає продукт до розпилювальної форсунки високого тиску (поз. 12) та регулюючі засувки (поз. 11a, 11b). Вузол мікрохвильового випаровування містить такі елементи як магнетрон (поз. 3), краплеуловлювач (поз. 4), термопару (поз. 5), відвідний газохід вторинної пари (поз. 6), випарна ємність (поз. 7), регулююча засувка (поз. 11c), відцентровий насос (поз. 13) для відводу продукту, посадочне кріплення для додаткової сітчастої пластини (поз. 14), трубопровід відводу сконцентрованого розчину (поз. 15), поворотний вал (поз. 16), підшипник (поз. 17) і торцеве ущільнення (поз. 18).

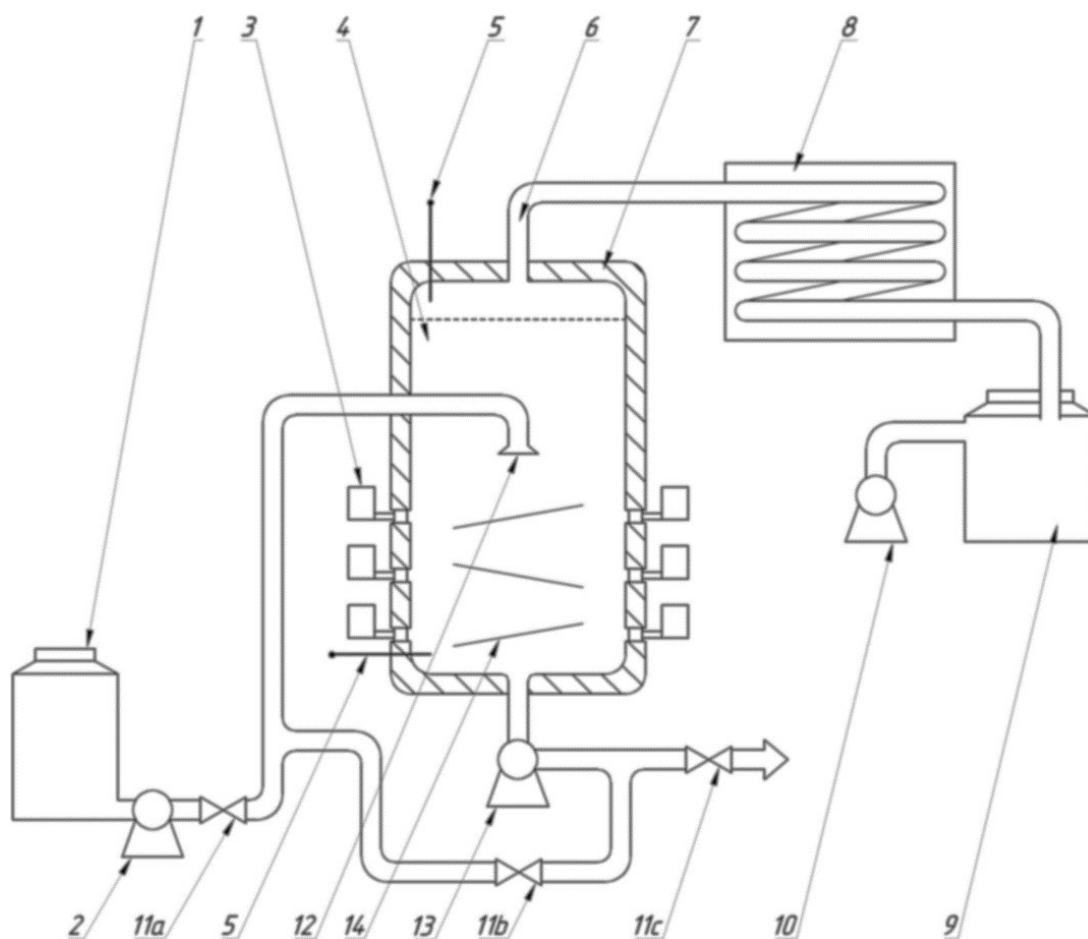


Рис. 8 – Схема мікрохвильового вакуум-випарного апарата

Між випарним резервуаром (поз. 7) і магнетроном (поз. 3) передбачений теплоізоляційний шар. Ланка конденсації випареної вологи

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		29

містить конденсатор пари (поз. 8), резервуар для збору води (поз. 9) і вакуумний насос (поз. 10). Вихід живильного бака (поз. 1) з'єднаний з відцентровим насосом (поз. 2), регулюючим клапаном і розпилювальною форсункою високого тиску (поз. 12) послідовно за допомогою трубопроводу. Розпилювальна форсунка високого тиску (поз. 12) вмонтована до ємності (поз. 7) з бічної сторони та розташована у верхній позиції всередині ємності для випаровування (поз. 7) [11].

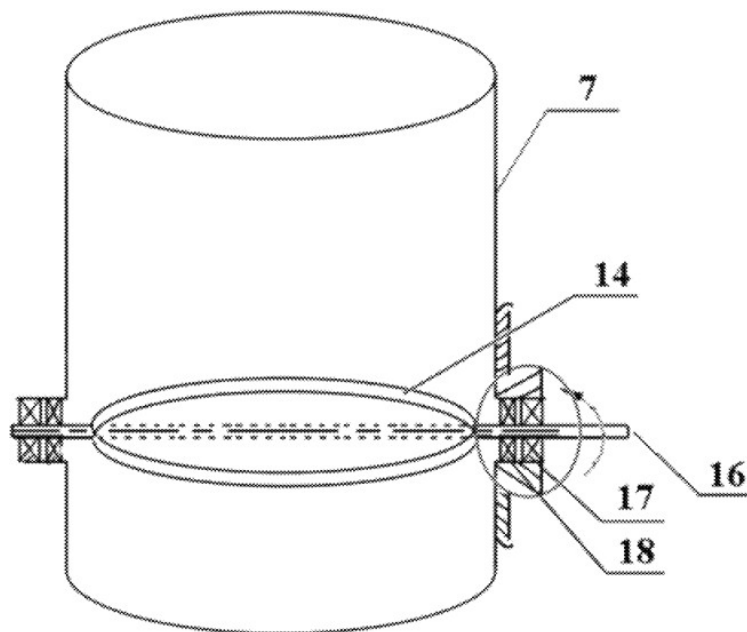


Рис. 9 – Схема випарної ємності мікрохвильового вакуум-випарного апарату

Відповідно до бажаних умов експлуатації апарату та виконуваного технологічного процесу, необхідна кількість магнетронів (поз. 3) рівномірно розташовується зовні, навколо ємності для випаровування (поз. 7). Для контролю якісних показників продукту всередині, на ємності для випаровування (поз. 7) передбачено встановлення бажаної кількості термопар (поз. 5) для моніторингу температури. Посадочне кільце для додаткової сітчастої пластини (поз. 14) розташовано безпосередньо під розпилювальною форсункою (поз. 12) всередині випарної ємності (поз. 7) та може регулюватися в діапазоні від 0° до 90° при обертанні валу (поз. 16). Вихідний трубопровід (поз. 15) для сконцентрованого розчину

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		30

розташований у нижній частині випарної ємності (поз. 7), і з'єднаний з двома трубопроводами, причому одна з них безпосередньо з'єднана з регулюючою засувкою, а інша з'єднана назад з розпилувальною форсункою (поз. 12). Краплеуловлювач (поз. 4) розташований у верхній частині ємності (поз. 7) для запобігання виносу продукту разом в вторинним паром до конденсатора (поз. 8) Паровий газохід (поз. 6) розташований у верхній частині ємності для випаровування (поз. 7) і з'єднаний з конденсатором пари (поз. 8) , ємністю збору сконденсованого пару (поз. 9) і вакуумним насосом (поз. 10) послідовно за допомогою трубопроводу [11].

У цьому винаході також пропонується інший тип розташування елементів, в якому живильна ємність розташований над ємністю випаровування. Через різницю у висоті розчин самопливом потрапляє до випарної ємності, таким чином видаляючи необхідність використання відцентрового насосу, що додатково знижує споживання енергії.

Частота використовуваних мікрохвиль може варіюватися, та складати 2450 ± 50 МГц, 915 ± 50 МГц або 5800 ± 50 МГц. Можливість змінювати кількість магнетронів та їх частоту випромінювання, надає значної гнучкості в оптимізації технологічного процесу. Апарат може бути оснащений безліччю малопотужних магнетронів або, в іншому випадку, одним чи декількома більш потужнішими магнетронами.

Для підвищення ефективності між випарною ємністю і магнетроном передбачений теплоізоляційний шар, що мінімізує втрати тепла. А розпилувальна форсунка високого тиску виготовлена з модифікованого політетрафторетилену (PTFE), що забезпечує високу стійкість до агресивних середовищ та термічного впливу.

Конфігурація випарної ємності може варіюватися залежно від технологічного процесу та поставлених задач. Розробники апарату пропонують такі варіанти виконання випарної камери:

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- Мікрохвильова вакуум-випарна камера без використання сітчастих пластин (поз. 70).
- Мікрохвильова вакуум-випарна камера з використанням сітчастих пластин змінного кута нахилу (поз. 80).

Розглянемо схему пропонованої вакуум-випарної камери першого типу.

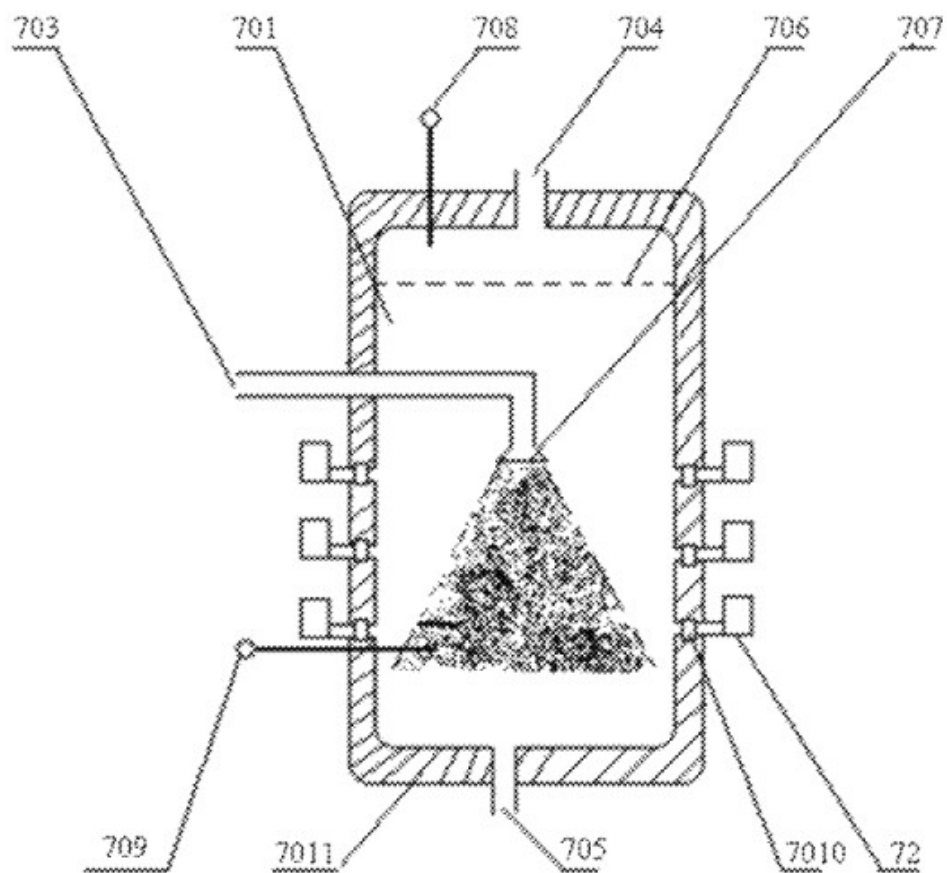


Рис. 10 – Схема мікрохвильової вакуум-випарної камери без використання сітчастих пластин

Продукт потрапляє до випарної ємності (поз. 701), через трубопровід (поз. 703) та розпиляється форсункою високого тиску (поз. 707). За рахунок вакууму всередині ємності, температура кипіння води, яка знаходиться у розчині зменшується (при $P = 100$ мбар; $t_k \approx 45,5$ °C). Волога моментально випаровується за рахунок різкого пониження тиску. Остаточна волога

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

випаровується при дії на розчин мікрохвильового випромінення, яке генерується магнетронами (поз. 72). Джерела енергії змонтовані збоку по навколо випарної ємності, отвір через який випромінення потрапляє до ємності виготовлений з металевого фланця, силіконового ущільнення та кварцового скла (поз. 7010). Біля вихідного трубопроводу сконцентрованого продукту (поз. 705.) встановлена термопара (поз. 709), яка підключена до мікроконтролера, що регулює потужність мікрохвиль в залежності від якісних показників. Вторинна пара підіймається догори ємності, де проходячи через краплеуловлювач (поз. 706), потрапляє у газохід вторинної пари (поз.704), далі конденсується в теплообміннику. Біля газоходу встановлена друга термопара (поз.708), яка також підключена до мікроконтролера, та працює спільно з першою, регулюючи потужність магнетронів. Для запобігання витрат тепла через нержавіючий сталевий корпус випарної ємності, передбачений теплоізоляційний шар.

Така конфігурація конструкції дозволяє випарній камері 70 доволі ефективно концентрувати розчини, тим самим, заощаджувати енергію, збільшуючи продуктивність. Мікрохвильове випромінювання дозволяє досягти високих температур без прямого контакту з рідиною; виключаються ризики перегріву, покращується якість кінцевого продукту. Розглянемо другу варіацію виконання мікрохвильової вакуум-випарної камери (див. рис. 11).

Принцип потрапляння продукту, що випарюється до випарної ємності, джерело енергії, розташування термопар, краплеуловлювача, трубопроводів та газоходу залишилися незмінним. Але на відміну від першого типу випарної камери, у цьому варіанті виконання були встановлені три додаткові сітчасті пластини. Перша пластина зверху (поз. 808) розташована під розпилювальною форсункою високого тиску та виконана з пористого матеріалу, і як правило залишається нерухомою, попре те, що встановлена на рухомій опорі та у випадку необхідності може бути нахилена на будь-

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

який кут у межах від 0° до 90° . Основна мета встановлення пористої пластини першою, полягає в тому, що при потраплянні крапель продукту на неї він рівномірно розподіляється по всій поверхні пластини та стікає до низу на другу і третю пластини (поз. 807 та 806), тим самим рівномірно заповнюючи усі поверхні. Перша пластина (поз. 808) виконана з кераміки, що не поглинає мікрохвильове випромінення, на відміну від двох нижніх пластини (поз. 807 та 806), які виконані з кераміки, що поглинає мікрохвильове випромінення.

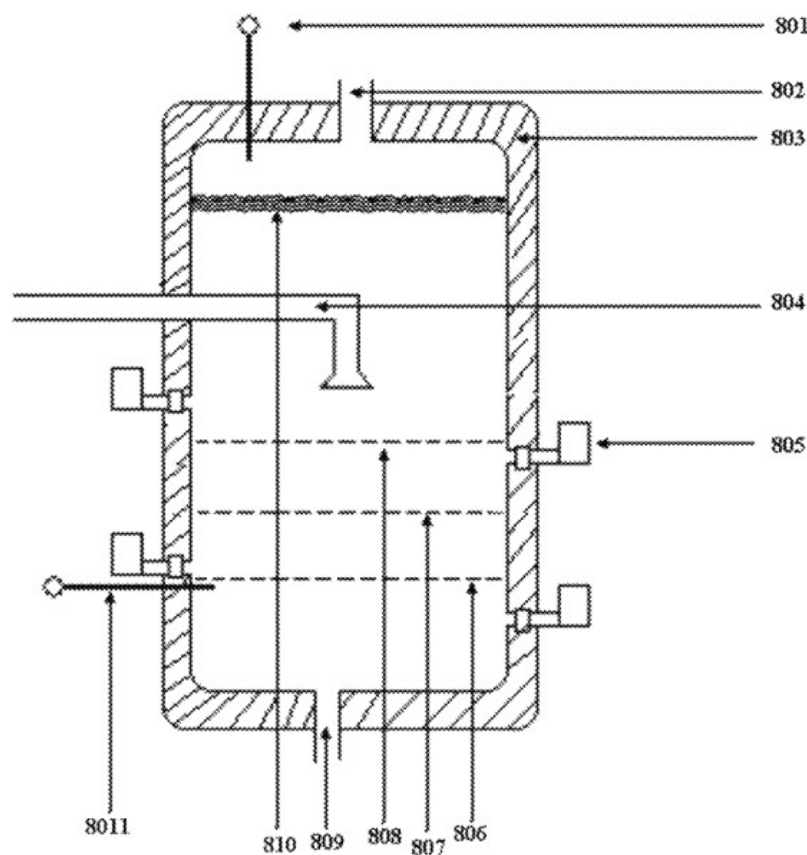


Рис. 11 – Схема мікрохвильової вакуум-випарної камери з використанням сітчастих пластин змінного кута нахилу

Зовні вони виглядають як сита з можливими діаметрами отворів від 0,1 до 20 мм. При проведенні технологічного процесу з такою конфігурацією випарної ємності, продукт більше часу знаходиться у зоні випарювання під впливом мікрохвильового випромінення, затримуючись на поверхнях

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

сітчастих пластин, утворюючи плівку. Нижні сітчасті пластини (поз. 807 та 806) так як і верхня пориста пластина (поз. 808) встановлені на рухомій опорі, що дозволяє нахилити пластини для коректування швидкості протікання технологічного процесу [11].

Таким чином, основна мета конфігурації апарату з сітчастими пластинами змінного кута нахилу – це прагнення збільшити ефективність та зменшити затрати на енергію, шляхом впровадження технічних рішень, які надають змогу гнучкого налаштування апарату для конкретного технологічного процесу. Пропоновані рішення надають можливості ретельно підібрати бажану конфігурацію вакуум-випарного апарату під необхідну продуктивність та умови експлуатації.

Іншу варіацію апаратів такого типу було розглянуто у патенті CN210159224 (Кунмінський науково-технічний університет, Китай) [12]. Запропоноване технічне рішення відноситься до області випарного обладнання та описує просту за конструкцією, енергоефективну та продуктивну систему безперервного вакуум-випарювання, у якій розчин рухається у вигляді тонкої плівки та крапельного потоку.

Основний принцип роботи апарату такого типу полягає в тому, що при вприскуванні нагрітої рідини в випарну камеру зі зниженим тиском, відбувається процес часткового випаровування розчинника за рахунок різкого розширення. Для подальшого видалення залишків розчинника з продукту потрібне додаткове нагрівання рідини. Розробники апарату пропонують використання мікрохвильового нагріву для посилення процесу. Камера випаровування оптимізована під мікрохвильовий резонанс, що дозволяє ефективно поглинати енергію, моментально нагрівати рідину та забезпечувати її безперервне кипіння.

Новий метод спрямований на покращення традиційних випарних апаратів, шляхом впровадженням технології мікрохвильового нагріву разом з альтернативним режимом руху рідини. Розробники стверджують, що

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

пропонований апарат має низку переваг, порівняно з класичним обладнанням для випарювання: досягнуто підвищення швидкості випаровування, знижені енерговитрати та зменшено утворення накипу.

Розглянемо детально конструкцію цього вакуум-випарного апарату; основний елемент установки – металевий нержавіючий корпус, який збирається з трьох складальних одиниць: верхня та нижня кришки (поз. 101 та 103 відповідно) та основний циліндр корпусу (поз. 102), у якому передбачений отвір для монтажу мікрохвильового модулю (магнетрону) (поз. 2). Верхня кришка апарату (поз. 101) поєднана з трубопроводом (поз. 3), через який рідина потрапляє до випарної ємності та розпилюється форсункою високого тиску (поз. 7), яка вмонтована до вхідного трубопроводу (поз. 3). Крім цього верхня кришка апарату (поз. 101) оснащена датчиком температури (поз. 9) та тиску (поз. 10), а також газоходом (поз. 5).

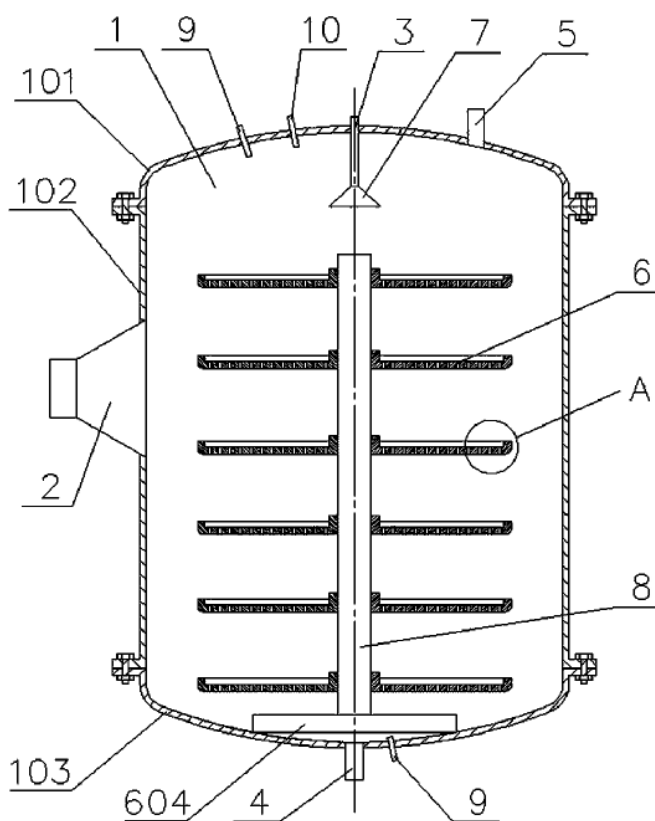


Рис. 12 – Схема мікрохвильового вакуум-випарного апарата

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		36

В процесі роботи рідина у вигляді маленьких крапель, потрапивши до випарної ємності (поз. 1) осідає на ситових дисках (поз. 6), які нерухомо закріплені на опорі (поз. 8). Ситові диски (поз. 6) можуть бути виготовлені з різних матеріалів, що дозволяють регулювати їхню взаємодію з мікрохвильовим випромінюванням. Рідина утворює тонку плівку на ситовій поверхні (поз. 6) за рахунок бортика (поз. 602), який не дає рідині перетікати через край ситового диску (поз. 6). Таким чином, рідина зливається через отвори (поз. 601) і послідовно стікає по них на нижчі диски. Мікрохвильове випромінювання нагріває рідину, сприяючи випаровуванню вторинної пари, яке видаляється з випарної ємності (поз. 1) через газохід (поз. 5). Датчики температури та тиску (поз. 9 та 10) контролюють процес випаровування, передаючи дані в систему управління, яка регулює потужність мікрохвильового випромінювання та роботу вакуумного насоса. Діаметр ситових отворів (поз. 601) може бути в діапазоні 0,5–5 мм залежно від якісних показників рідини, що випарюється, та/або вимог до часу її затримки [12].

Ситовий диск може бути виготовлений з радіопрозорих матеріалів, таких

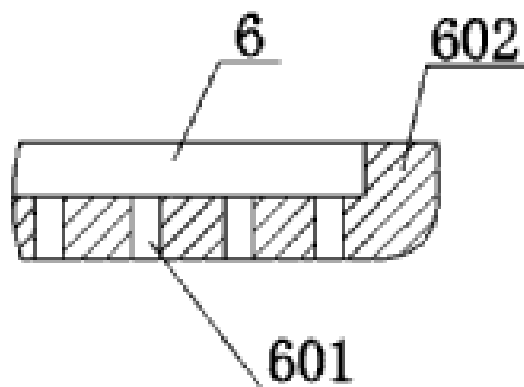


Рис. 13 – Ситова поверхня вакуум-випарного апарату

як фторопласт, кераміка, корунд або радіопоглинаючих – карбід кремнію, вуглецеві матеріали, а також з металу. Прозорі для мікрохвильового випромінювання матеріали дозволяють йому вільно проникати і безпосередньо нагрівати цільову рідину, тоді як поглинаючі матеріали забезпечують одночасне нагрівання як рідини, так і ситового диска, який

потім передає тепло рідині, що підвищує ефективність теплообміну, але значно підвищує утворення накипу на поверхні теплообміну [12].

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		37

Тому у пропонованій моделі апарату рідина безпосередньо поглинає мікрохвильову енергію в ситовому диску, який виготовлений з радіопрозорого матеріалу, що підвищує ефективність теплообміну. При цьому ситовий диск виконує функцію збільшення площі випарного контакту і часу випаровування, виключаючи необхідність в теплообмінних поверхнях, що запобігає утворенню накипу і полегшує подальше обслуговування.

Встановлення ситового диска всередині вакуум-випарного апарату не тільки ефективно збільшує площу стікання плівки, але й дозволяє при мікрохвильовому вакуумному випарюванні розділяти рідину на краплі з хорошою здатністю до поглинання мікрохвильового випромінювання. Додатково тонка плівка рідини, що утворюється на ситовому диску, значно збільшує питому площу газо-рідинного контакту, що сприяє значному збільшенню площі випарного контакту і підвищенню ефективності теплообміну.

Ситовий диск пропонованого апарату дозволяє регулювати час перебування рідини від декількох хвилин до декількох десятків хвилин, що значно збільшує час випаровування. У процесі мікрохвильового впливу температура рідини поступово підвищується на десятки градусів, що суттєво підвищує ефективність випаровування. Завдяки цьому навіть одноступінчасте випаровування дозволяє досягти достатньої концентрації. На відміну від багатоступінчастих випарних установок, представлена модель має більш просту конструкцію, короткий технологічний процес, низькі капітальні витрати і знижує втрати тепла при транспортуванні гарячого матеріалу по насосах і трубопроводах, що в цілому знижує енергоспоживання.

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

6. ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Теплові процеси широко поширені у технологіях виробництва багатьох харчових продуктів. Чималу частину в теплових процесах займає випарювання, зокрема у виробництві концентрованих фруктових соків. Для виконання цього процесу використовують класичні вакуум-випарні апарати в яких у якості гріючого агенту використовують водяний пар. Але, як відомо, що при збільшенні вмісту сухих речовин, теплопровідність харчових продуктів знижується.

За рахунок чого в більшості існуючих випарних апаратах не забезпечується рівномірне підведення енергії до продукту, що веде до його «пригорання» та утворенню накипу на поверхнях теплообміну [13]. Крім того, традиційні методи концентрування призводять до зниження цінних біологічно активних компонентів, таких як вітаміни, фенольні сполуки, антиоксиданти та смакові сполуки, а також до зниження сенсорних властивостей, таких як колір та смак фруктових соків. Продукт, концентрований звичайним методом призводить до утворення присмаку вареного продукту [14].

Було запропоновано для вирішення даних проблем використовувати відносно нові методи концентрування рідких продуктів, до яких відносяться концентрування заморожуванням, концентрування сублімацією та мембранне концентрування (ультрафільтрація та зворотний осмос). Концентрація заморожуванням, сублімацією та мембранним типом може зберігати якість концентрованих соків, оскільки вони працюють при помірних температурах [14]. Але ці методи вимагають високих експлуатаційних витрат та не підходять для промисловості [15].

Описані вище проблеми можна вирішити впровадженням в промисловість технологію мікрохвильового випарювання. При поєднанні мікрохвильового нагріву та вакууму досягається проводити процес випарювання при менших температурах та за коротший час [16].

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

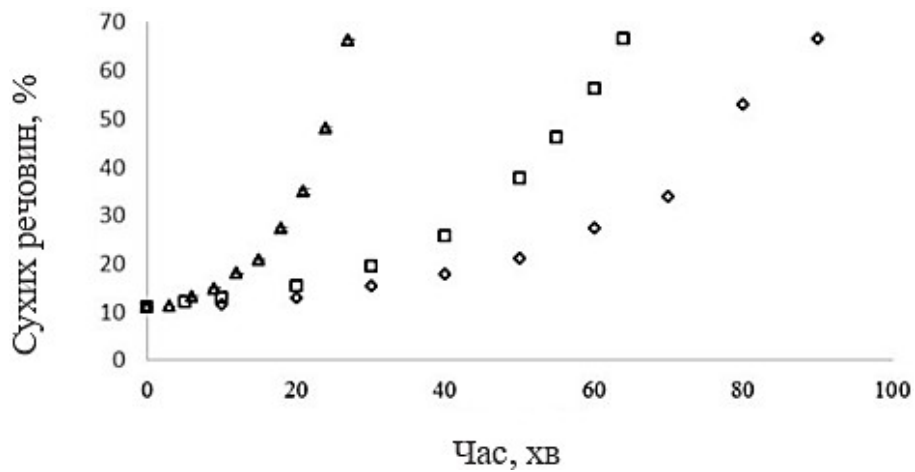


Рис. 14 – Графік залежності вмісту сухих речовин від часу

□ – Мікрохвильовий вакуум-випарний апарат; ▲ – Тонкоплівковий вакуум-випарний апарат; ◇ – Роторний прямоточний вакуум-випарний апарат.

Крім того, більше водяної пари відокремлюється від продукту, через роботу на оптимальній потужності магнетронів та глибині вакууму. Ця система також покращує якість продукту і більш ефективно використовує енергію [16].

Декілька дослідників показали, що технологія мікрохвильового вакуум-випарювання успішно підходить для концентрацій ананасового соку [16, 17], малинового соку [18] та гранатового соку [19]. Вони визначили, що мікрохвильове нагрівання зберігає колір, загальний вміст фенолів, антиоксидантів, антиоксидантну активність продуктів у порівнянні із класичними методами концентрування.

На базі науково-дослідної лабораторії «Харчові нанотехнології» Одеського національного технологічного університету також проводяться активні дослідження перспектив використання електромагнітних джерел енергії у вирішенні завдань зневоднення харчової сировини [20].

В результаті проведеного дослідження, щодо використання технології мікрохвильового випарювання при концентрації яблучного соку,

дослідники дійшли висновку, що швидкість випаровування при мікрохвильовому випаровуванні була вищою, ніж при використанні роторного апарату та прямоочного апарату з тонкою плівкою. Було встановлено, що продукт мікрохвильового випарювання зберіг найвищі якісні характеристики яблучного соку у порівнянні з класичними методами [13]. Таким чином, використання мікрохвильових технологій виявилось швидше та простіше, ніж традиційні методи. Фізико-хімічні, біохімічні та сенсорні властивості концентрованих яблучних соків, вироблених з використанням мікрохвильового вакуум-апарату, також виявилися краще, ніж у соків, отриманих з використанням двох інших методів [13].

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		41

7. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ

7.1. Мета проектування.

Мета розробки полягає у створенні технічного рішення, яке спроможне конкурувати у якісних показниках з класичними установками (переважна більшість – вакуум-випарні апарати, джерело енергії – гріючий пар.) при тому бути позбавленим проблем та недоліків зазначеного класичного обладнання. На даний момент в більшості існуючих випарних апаратах не забезпечується рівномірне підведення енергії до продукту, що веде до його «пригорання» та утворенню накипу на поверхнях теплообміну. Крім того, традиційні методи концентрування призводять до зниження цінних біологічно активних компонентів, таких як вітаміни, фенольні сполуки, антиоксиданти та смакові сполуки, а також до зниження сенсорних властивостей, таких як колір та смак фруктових соків. Продукт, концентрований звичайним методом призводить до утворення присмаку вареного продукту. В результаті чого пропонується розробка мікрохвильового вакуум-випарного апарату для виконання процесів концентрації рідких харчових продуктів (у даній роботі – яблучний сік). Розробка виконується з огляду на існуюче обладнання вітчизняного та зарубіжного виробництва, на патентні матеріали різних держав світу, а також на різноманітні наукові дослідження, статті, тощо., які підтверджують доцільність та енергетичну ефективність впровадження даного технічного рішення.

7.2. Призначення.

Пропонований мікрохвильовий вакуум-випарний апарат призначений для концентрування рідких харчових продуктів, наприклад соків, молока та ін. з початковою концентрацією сухих речовин від 10%. За рахунок дії на продукт мікрохвильової енергії, розчин нагрівається, що в умовах вакууму дозволяє досягти швидкого випарування води при незначних для продукту

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

температурах (при $P = 100$ мбар; $t_k \approx 45,5^\circ\text{C}$). Завдяки такій технології концентрування досягається більша якість готового продукту, на відміну від випарних апаратів класичного типу, так як енергія підводиться до продукту максимально рівномірно, що дозволяє зберігати біологічно активні компоненти, такі як вітаміни, фенольні сполуки, антиоксиданти та смакові сполуки, а також рівномірне нагрівання дозволяє уникнути зон перегріву, що позитивно впливає на сенсорні властивості, таких як колір та смак.

7.3. Вимоги до конструкції.

Мікрохвильова вакуум–випарна установка повинна бути розроблена з урахуванням можливості виконувати технологічний процес, як апарат безперервної дії так і періодичної. Розрахункова продуктивність по початковому продукту повинна складати **5 кг/год**. Конструкція установки повинна бути виконана по багатокорпусній схемі для можливості експлуатації установки у двох режимах (перший режим – робота обох вакуум-випарних апаратів; другий режим – робота вакуум-випарний апаратів по черзі). Для кожного вакуум-випарного апарату повинно бути розроблено конденсатор, що відповідає кількості утвореного водяного пару у процесі роботи випарного апарату. Конструкція апарату має мінімізувати кількість зон застою продукту. Додатково повинно бути встановлено обладнання для охолодження води, що циркулює по системі конденсаторів. При роботі мікрохвильового вакуум–випарного апарату вакуум в системі бути досягатися за допомогою конденсаторів. При першому пуску установки вакуум в системі повинен забезпечуватися через роботу вакуум-насоса.

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

7.4. Вимоги життєздатності та стійкості до зовнішніх факторів.

Для забезпечення безперервної та безпечної роботи, мікрохвильовий вакуум–випарний апарат має відповідати таким вимогам життєздатності та стійкості до зовнішніх факторів:

- Можливість безперервної роботи при номінальному навантаженні. Розрахункова витривалість вузлів, трубопроводів, запорної арматури, метрологічних засобів, електрообладнання та електроустановок при безперервній роботі у номінальному навантаженні без зупинок установки на повний технічний огляд чи планово-попереджувальний ремонт не менш ніж 2880 годин.
- Використання матеріалів не схильних до ураження корозії (наприклад сталь 08X18H10 або її аналоги) або/та засобів чи технічних рішень, щодо запобігання утворення корозії.
- Стійкість до частих циклів пуску та зупинки.
- Стійкість до температурних коливань (збереження працездатності при короткочасних коливань до граничних температур).
- Наявність захисту від перевантаження.
- Робочий діапазон температур навколишнього середовища від +5 до +40°C.
- Захист від зовнішнього електромагнітного випромінювання.
- Відсутність шкідливого випромінювання для здоров'я людини при роботі та/або обслуговуванні установки, згідно норм охорони праці.
- Наявність електронних засобів контролю технологічного процесу (датчик температури, тиску, тощо.), додатково з забезпеченням дублюючих метрологічних засобів.
- Клас захисту електрообладнання та/або електроустановок – **IP54**.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- Можливість автоматизації. Сумісність з виробничими автоматичними системами управління технологічним процесом (АСУТП).

7.5. Вимоги уніфікації та стандартизації.

Для досягання більш ефективного використання та обслуговування мікрохвильового вакуум–випарного апарату впроваджуються такі вимоги до уніфікації та стандартизації:

- Уніфікація болтових з’єднань, вузлів, насосних агрегатів, вакуумних агрегатів, трубопроводів, запорної арматури, фланцевих з’єднань, метрологічних засобів, електрообладнання та електроустановок відповідно до міжнародних (ISO) та вітчизняних стандартів (ДСТУ, ГОСТ).
- Використання стандартизованих матеріалів, відповідно до національних (ДСТУ, ГОСТ) та міжнародних стандартів (ISO), дозволених до застосування у харчовій промисловості.
- Відповідність мікрохвильової вакуум-випарної установки міжнародним та національним стандартам менеджменту якості:
 1. ISO 9001 – стандарт, щодо управління системою якості;
 2. ISO 12100 – стандарт, щодо безпеки виробничих машин;
 3. EN 60335/IEC 61010 – стандарти, щодо безпеки електрообладнання та/або електроустановок.
- Уніфікація електроживлення (напруга, частота струму), протоколів комунікації, напруги та сили струму контролерів та датчиків.
- Надання стандартизованого пакету конструкторської документації, відповідно до норм ЕСКД.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

7.6. Вимоги метрологічного забезпечення виробництва і експлуатації.

Для забезпечення якості виготовленого продукту та безпеки виконуваного технологічного процесу мікрохвильова вакуум-випарна установка повинна відповідати таким вимогам метрологічного забезпечення і експлуатації:

- Вимоги, щодо розташування метрологічних засобів. Кожен мікрохвильовий вакуум-випарний апарат має бути обладнаний датчиками температури початкового та кінцевого продукту. Крім цього, датчики температури та тиску повинні бути встановлені на газоходах вторинної пари. Для контролю температури охолоджуючої води конденсаторів встановлюються датчики температури на відповідних трубопроводах (всмоктувальний та нагнітаючий). При цьому кожен електронний засіб вимірювання повинен дублюватися аналоговим (термометр, вакуумметр, тощо.).
- Всі електронні засоби вимірювання, що входять до складу установки повинні забезпечувати необхідну точність, а саме:
 1. Температура – похибка не більше ніж $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.
 2. Тиск – похибка не більше ніж **5%** від вимірюваного значення.
- Усі засоби вимірювання повинні відповідати нормам законодавства, щодо питань метрології. (ДСТУ, НПАОП, закон України «Про метрологію і метрологічну діяльність»).
- Підбор електронних засобів вимірювання повинен виконуватися з урахуванням можливості виконання калібрування приборів в робочих умовах силами спеціалістів експлуатуючих установку.
- Комплектація мікрохвильової вакуум-випарної установки повинна передбачати наявність еталонного метрологічного обладнання (еталонний термометр, манометр, згідно з NMI, ISO/IEC 17025).

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		46

- Інтеграція з системою АСУТП. Електронні засоби вимірювання мікрохвильової вакуум-випарної установки повинні повністю інтегруватися до автоматичної системи управління технологічним процесом та мати систему збору, обробки та зберігання параметрів з можливістю експорту у цифрові формати.
- При виготовленні установки повинні проводитися контрольні робочі вимірювання з оформленням параметрів у відповідні протоколи.

7.7. Вимоги до експлуатації та зручності технічного обслуговування.

Мікрохвильова вакуум-випарна установка має відповідати таким вимогам до експлуатації та зручності обслуговування:

- Керування установкою повинне відбуватися через зрозумілий для робітника середньої кваліфікації інтерфейс (сенсорна панель чи логічний контролер).
- Повинен бути передбачений автоматичний запуск та зупинка, крім цього повинна бути впроваджена система аварійної зупинки при нештатних ситуаціях.
- Автоматизація мікрохвильової вакуум-випарної установки повинна забезпечувати автоматичне регулювання основних параметрів, таких як тиск і температура.
- Система автоматизації повинна містити функцію збереження параметрів для створення різних шаблонів роботи.
- Повинна бути впроваджена система діагностики несправностей.
- Візуальна та звукова сигналізація при подоланні параметрів граничних значень чи раптовій зупинці вузлів установки.
- Вузли, болтові з'єднання, насосні агрегати, вакуумні агрегати, трубопроводи, запорна арматура, фланцеві з'єднання, метрологічні

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

засоби, електрообладнання та електроустановки повинні бути легкодоступні та передбачати зручний доступ для огляду, очищення, заміни та ремонту.

- Комплектація повинна містити графік проведення планово-попереджувальних ремонтів, капітальних ремонтів та карти оглядів. Крім того, повинна бути надана повна експлуатаційна документація, а саме: інструкція по користуванню та налагоджуванню, перелік можливих несправностей та шляхи поладження, електрична та пневматична схеми, сертифікати.
- Поверхні, що контактують з продуктом повинні бути стійкими до мийних засобів.

7.8. Вимоги до безпеки життя, здоров'я та охорони довкілля

Вимоги до безпеки життя, здоров'я та охорони довкілля:

- Мікрохвильова вакуум-випарна установка повинна бути спроектована відповідно до державних норм охорони праці, передбачених чинним законодавством України, а також відповідним міжнародним стандартам (ISO 12100, ІЕС 61010, ДСТУ EN 60204-1).
- Усі елементи керування установкою, вузли, сосуди, ємкості, насосні агрегати, вакуумні агрегати, трубопроводи, запорна арматура, метрологічні засоби, електрообладнання та електроустановки повинні бути промаркіровані у відповідності до технологічної схеми.
- Установка не повинна негативно впливати на навколишнє середовище під час роботи або технічному обслуговуванні чи утилізації.
- Викиди, що утворюються під час роботи мікрохвильової вакуум-випарної установки повинні контролюватися у відповідності до

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

чинних екологічних нормативів та санітарних норм (ДСП, СанПіН, ДСТУ ISO 14001).

- При конструюванні забороняється використовувати установки та обладнання, що використовують при роботі озоноруйнівні або токсичні холодоагенти, мастила і матеріали.
- Комплектація установки повинна містити необхідну документацію, щодо охорони праці, безпечної експлуатації та попереджувальні маркування.
- На корпусі установки повинні бути закріплені відповідні попереджувальні знаки у відповідності до норм охорони праці.

7.9. Вимоги до транспортування і зберігання

Для забезпечення достатньої надійності та безпеки транспортування і зберігання мікрохвильова вакуум-випарна установка повинна відповідати таким вимогам:

- Заводська упаковка повинна бути розроблена у відповідності до вимог ГОСТ 23216-78 та ГОСТ 23170-78.
- Заводська упаковка повинна містити попереджувальні знаки, відповідно до ГОСТ 14192-96.
- Внутрішнє пакування заводської упаковки повинне містити амортизуючі прокладки, герметичне пакування у плівку, задля захисту від пилу та вологи, а також осушувачі (за потреби) для запобігання утворення конденсату.
- Установку допускається транспортувати наземним та морським транспортом (автомобільним, залізничним та морським). Транспортування допускається тільки у критих транспортних засобах чи з використанням брезентового покриття, при транспортуванні установки на відкритих платформах.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Температурний діапазон при транспортуванні повинен становити від **-15** до **+50°C**. Вологість повітря не більше **80%** при **+25°C**.

- Установа повинна зберігатися у сухому, вентиляваному приміщенні без агресивних парів, газів та пилу.
- Умови зберігання установки повинні відповідати вимогам, щодо **2 групи** по ГОСТ 15150-69. Температура зберігання повинна складати від **-10** до **+40°C**, а відносна вологість не більше ніж **80%** при **+25°C**.
- Зберігання установки не допускається біля джерел тепла чи холоду та зон підвищеною вібрації.
-

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
						50
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

8. ОПИС РОЗРОБЛЕНОГО АПАРАТУ

На основі технічного завдання був розроблений вакуум-випарний апарат для концентрування рідких харчових продуктів (у даному випадку яблучний сік) з продуктивністю по початковому продукту у 5 кг/год за початкових властивостей: вміст сухих речовин $a = 11\%$, початкова температура $t_{п} = 15^{\circ}\text{C}$.

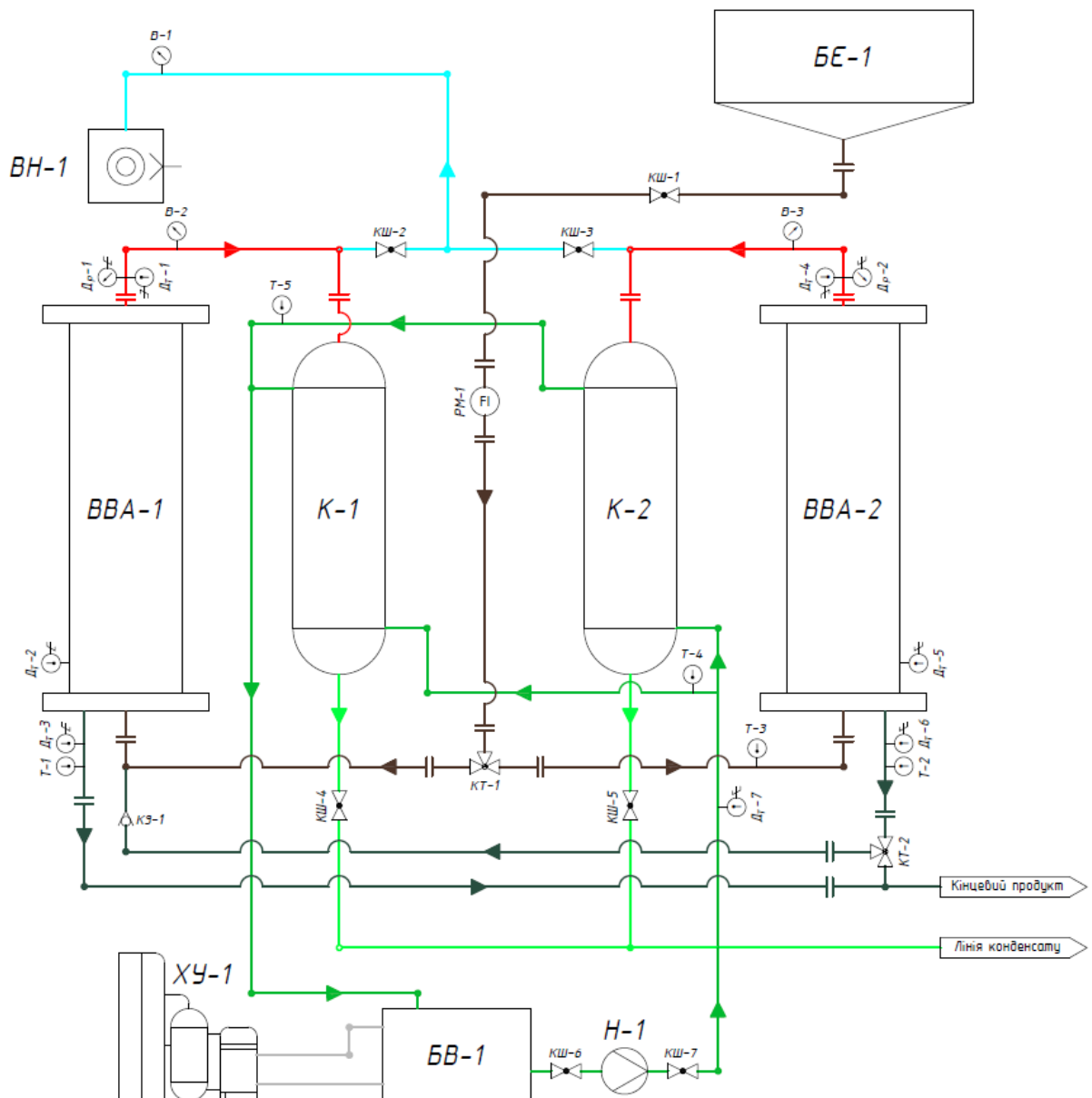





Рис. 15 – Схема мікрохвильової вакуум-випарної установки

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		51

Розглянемо розроблену установку для концентрування рідких харчових продуктів, шляхом мікрохвильового випарювання на основу технологічної схеми. Вона складається з таких основних частин як мікрохвильовий вакуум-випарний апарат (поз. ВВА-1 та ВВА-2), одноступеневий роторно-лопатевий вакуумний насос (поз. ВН-1), холодильна установка (поз. ХУ-1), бак для охолоджуючої води (поз. БВ-1), насос (поз. Н-1), конденсатор (поз. К-1 та К-2) та буферна ємність (поз. БЄ-1).

Табл. 3 – Умовні позначення трубопроводів на схемі мікрохвильової вакуум-випарної установки.

Умовне позначення	Найменування середовища
	Початковий продукт
	Повітря
	Водяний пар
	Охолоджуюча вода
	Кінцевий продукт
	Водяний конденсат
	Холодильний агент

Окрім основних переваг технології мікрохвильового концентрування рідких харчових технологій над класичними методами, при розроблені моделі запропонованої установки було впроваджене енергоефективне технічне рішення, щодо використання вакуум-насосу. На відміну від класичних випарних апаратів у яких переважно використовуються водокольцеві

вакуум насоси, що працюють безперервно, у розробленій моделі пропонується використання одноступеневого роторно-лопатєвого вакуумного насосу (поз. ВН-1), який використовується тільки при запуску установки з метою створення необхідного вакууму у системі, після чого вакуум підтримується роботою установки.

Таким чином, перед початком виконання заданого технологічного процесу запускається вакуумний насос (поз. ВН-1), утворення необхідного тиску контролюється за допомогою вакуумметрів (поз. В-1, В-2 та В-3), а також електронних датчиків тиску (поз. Др-1 та Др-2), після досягнення необхідного

вакууму ($P = 0,008$ МПа) перекриваються шарові крани (поз. КШ-2 та КШ-3), відсікаючи систему від вакуумного насосу. Перед початком подачі продукту до апаратів (поз. ВВА-1 та ВВА-2) налаштовуються режими концентрування, оскільки конструкція розробленої установки передбачає як одночасну так і почергову роботу. Регулювання відбувається за допомогою двох Т образних 3-ходових кранів (поз. КТ-1 та КТ-2). Після того, як було обрано режим концентрування викривається регулюючий шаровий кран (поз. КШ-1) через який до випарних апаратів через ротаметр (поз. РТ-1) подається початковий продукт.

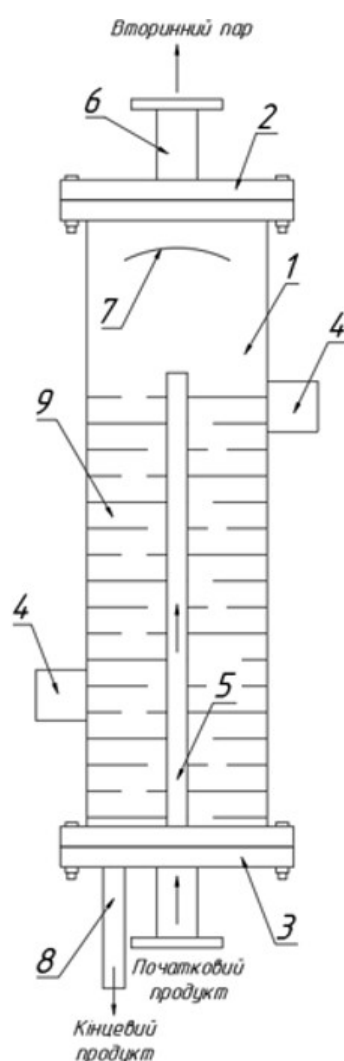


Рис. 16 – Схема мікрохвильового вакуум-випарного апарату
початковий продукт.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Детальніше мікрохвильовий вакуум-випарний апарат (поз. ВВА-1 та ВВА-2, див. рис. 16) розглядається на схемі (див. рис. 17).

Апарат складається з таких основних елементів як корпус (поз. 1), верхня та нижня кришки (фланці) (поз. 2 та 3 відповідно) та магнетрони (поз. 4).

Початковий продукт через подаючий трубопровід (поз. 5) потрапляє в середину апарату, де досягає необхідного рівня (поз. 9). Після цього одразу вмикаються магнетрони (поз. 4) та починається процес концентрації продукту з активним утворенням вторинної пари, яка підіймається догори проходячи через сепаратор (поз. 7), де очищується від заціплених собою крапель продукту. Сепарована вторинна пара попадає у газохід (поз. 6) по якому просувається далі по технологічному процесу до конденсаторів (поз. К-1 або К-2, див. рис. 16). По мірі випарювання концентрований продукт видаляється з апарату по відвідному трубопроводу (поз. 8).

Температура початкового та кінцевого продукту – це важливі змінні, які потребують постійного та точного контролю, адже саме при дотриманні температурного режиму випарювання, яке складає 41°C для води при тиску у 0,008 МПа, дозволяє зберігати такі важливі для виробництва фізико-хімічні, біохімічні та сенсорні властивості кінцевого продукту.

Задля задоволення якісних вимог продукту при розробці установки було впроваджено низку метрологічних засобів для моніторингу технологічного процесу. Основними з них є електронні датчики температури (поз. ДТ-1, ДТ-2, ДТ-3, ДТ-4, ДТ-5 та ДТ-6, див. рис. 16) які інтегруються до автоматизованої системи управління технологічним процесом та надають можливість отримувати актуальну інформацію.

Вторинна пара, що утворюється у процесі випаровування конденсується у конденсаторі (поз. К-1 або К-2, див. рис. 16) за рахунок чого при роботі установки досягається постійний вакуум, який не потребує

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

постійної роботи вакуумного насосу. Утворений конденсат відводиться з конденсаторів.

У процесі конденсації вторинної пари використовуються охолоджуюча вода, яка для більшої ефективності конденсації потребує систему охолодження. Таким чином було впроваджене технічне рішення з використанням холодильної установки (поз. ХУ-1, див. рис. 16), яка підключена до резервуару з охолоджуючою водою (поз. БВ-1, див. рис. 16). В свою чергу вода з резервуару циркулює по двом конденсаційним контурам за допомогою відцентрового насосу (поз. Н-1, див. рис. 16).

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

9. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

9.1. Початкові дані.

Продукт – яблучний сік;

Тиск в апараті $P = 0,008$ МПа;

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

Концентрація сухих речовин: початкова $a = 11\%$, кінцева $a = 50\%$;

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

9.2. Матеріальний розрахунок.

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

$$W = G_{II} \cdot \left(1 - \frac{a}{b}\right) \quad (1.1)$$

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

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

Згідно з формулою (1.1) розрахуємо кількість вторинної пари, що утворюється в процесі випарювання, кг/с:

$$W = 0,0014 \cdot \left(1 - \frac{11}{50}\right) = 0,0011$$

9.3. Тепловий баланс.

Рівняння теплового балансу процесу випарювання має вигляд:

$$Q + G_{II} \cdot c_{II} \cdot t_{II} = G_K \cdot c_K \cdot t_K + W \cdot i_{\text{оп л.}} + Q_{\text{опр}} \quad (1.2)$$

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

G_K – витрати готового продукту, кг/с;

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

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

t_{II}, t_K – температури початкової сировини та готового продукту, К;

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

$Q_{втр}$ – втрати теплоти, Вт.

З рівняння теплового балансу (1.2) отримаємо формулу розрахунку теплового потоку, необхідного для випарювання, Вт:

$$Q = Q_{нагр} + Q_{вип} + Q_{втр} = G_{II} \cdot c_{II} \cdot (t_{II} - t_K) + W \cdot r_{вт.п.} + Q_{втр} \quad (1.3)$$

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.

Формула розрахунку втрат тепла має вигляд, Вт:

$$Q_{втр} = (0,03...0,05) \cdot G_{II} \cdot c_{II} \cdot (t_K - t_{II}) \quad (1.4)$$

Отже, значення витрати тепла, Вт:

$$Q_{втр} = 0,04 \cdot (0,014 \cdot 1858 \cdot (320 - 288)) = 33$$

Отримавши необхідні значення, можна виконати розрахунок значення теплового потоку, необхідного для випарювання, згідно з формулою (1.3), Вт:

$$Q = 0,0014 \cdot 1858 \cdot (320 - 288) + 0,0011 \cdot 2576,2 \cdot 10^3 + 33 = 2950$$

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для забезпечення процесу випарювання обираємо мікрохвильовий модуль (2М236-М36), який має наступні параметри:

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

9.4. Розрахунок сепараційного простору.

Необхідний для достатньої сепарації крапель об'єм сепараційного простору залежить від потоку W вторинної пари із модуля ($W = 0,0014$ кг/с), її густини $\rho_{вт.п.} = 0,0512$ кг/м³ (при $P = 0,008$ МПа) [21] та максимально допустимого напруження парового простору $R_{II} = 0,61$ м³ пари/м³*с (за графіком при $P = 0,008$ МПа), [22, с. 731], м³:

$$V_{сен} = \frac{W}{\rho_{II} \cdot R_{II}} \quad (1.5)$$

$$V_{сен} = \frac{0,0014}{0,0512 \cdot 0,61} = 0,045$$

9.5. 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.

$$v = \frac{S}{\rho \cdot F} \quad (1.6)$$

де, S – масові витрати потоку, кг/с;

ρ – густина потоку, кг/м³;

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

F – перетин, через який проходить потік, м²:

$$F = \frac{\pi \cdot d_{um}^2}{4} \quad (1.7)$$

Тоді з (1.7):

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

9.6. Штуцер для подачі початкового розчину.

Швидкість потоку малов'язкої (в'язкої) рідини під час руху самопливом (перекачування насосами в нагнітальних трубопроводах) [23, с. 16]: $v = 0,1 - 0,5$ м/с.

$$d_{um} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{II}}{\pi \cdot \rho_{II} \cdot v_{II}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0014}{\pi \cdot 1623 \cdot 0,1}} = 0,0033 \text{ м}$$

9.7. Штуцер для відведення готового продукту.

Швидкість потоку малов'язкої (в'язкої) рідини під час руху самопливом (перекачування насосами в нагнітальних трубопроводах) [23, с. 16]: $v = 0,1 - 0,5$ м/с.

$$d_{um} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_K}{\pi \cdot \rho_K \cdot v_K}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00028}{\pi \cdot 1409 \cdot 0,1}} = 0,0015 \text{ м}$$

9.8. Штуцер для відведення вторинної пари.

Швидкість потоку насиченої пари при тиску 0,1 МПа ($P = 0,1$ МПа) [22, с. 16]: $v = 20 - 40$ м/с.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$d_{\text{ном}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot \rho_{\text{ст.н.}} \cdot v_{\text{ст.н.}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0011}{\pi \cdot 0,0512 \cdot 30}} = 0,030$$

М

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		60

10. РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ

10.1. 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, 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, навантажених рівномірно розподіленим по всій площі тиском P , питомі сили, що перерізують, рівні

$$Q = 0,5 \cdot P \cdot r \quad (1.8)$$

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:

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\left. \begin{aligned} \varphi = 0; M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \cdot (3 + \mu); \\ f_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^4 \cdot (5 + \mu) / [D \cdot (1 + \mu)] \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

– при жорсткому закріпленні пластини за зовнішнім контуром:

$$\left. \begin{aligned} \varphi = 0; M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \cdot (1 + \mu); \\ f_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^4 / D \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

На контур пластини матимемо:

– при шарнірному її закріпленні по зовнішньому контуру:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R = -12,5 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^3 / [D \cdot (1 + \mu)]; M_{rR} = 0; \\ M_{tR} = -12,5 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \cdot (1 - \mu); f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

– при жорсткому її закріпленні по зовнішньому контуру:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R = 0; M_{rR} = -12,5 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2; \\ M_{tR} = -12,5 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^2 \cdot \mu; f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

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:

$$\varphi_{\max} = 2,41 \cdot 10^{-2} \cdot P \cdot R^3 / D \quad (1.13)$$

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

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$D = (E \cdot h^3 / 12) / (1 - \mu^2) \quad (1.14)$$

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:

$$\sigma_r = \pm 6M_r / h^2 \quad (1.15)$$

$$\sigma_t = \pm 6M_t / h^2 \quad (1.16)$$

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

$$h = 2 \cdot R \cdot K \cdot \sqrt{P / [\sigma]} \quad (1.17)$$

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

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

$$[\sigma] = \sigma / n_s \quad (1.18)$$

де, σ – межа міцності,

n_s – коефіцієнт запасу міцності.

Розрахуємо кришку і днище випарного модуля діаметром 0,1575 м.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

На зовнішню поверхню якого діє тиск у 92 кПа. Матеріал обираємо сталь 08Х18Н10.

Табл. 4 – Характеристика властивостей сталі 08Х18Н10.

Критерій	Значення	Одиниця вимірювання
Межа міцності, σ	505	МПа
Модуль пружності, E	$2,0 \cdot 10^5$	МПа
Коефіцієнт Пуассона, μ	0,29	–
Коефіцієнт запасу міцності, n_σ	3,5	–

Допустима напруга:

$$[\sigma] = 505/3,5 = 144 \text{ МПа}$$

З рівняння (1.17) визначимо товщину стінки:

$$h = 2 \cdot 0,1575 \cdot 0,43 \cdot \sqrt{\frac{92 \cdot 10^3}{144 \cdot 10^6}} = 0,0035 \text{ м}$$

Отримавши результати розрахункового значення приймаємо товщину кришки – 0,005 м.

Максимальні моменти і напруга будуть в центрі стінки. За формулами (1.9), (1.15) та (1.16) вони будуть дорівнювати:

$$M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot 92 \cdot 10^3 \cdot 0,1575^2 \cdot (3 + 0,29) = 470 \text{ Н}$$

$$\sigma_r = 6 \cdot 470 / 0,005^2 = 112 \text{ МПа}$$

Як можна побачити, то залежність $\sigma_r < [\sigma]$ виконується, тобто, обрана товщина стінки є достатньою.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

10.2. 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 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

$$\delta_p > P \cdot D_B / (2 \cdot \beta \cdot [\sigma_{cm}]) \quad (1.19)$$

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.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

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:

$$L_{кр} = 4,644 \cdot r \cdot \sqrt{(r/\delta) \cdot (1 - \mu^2)} \quad (1.20)$$

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:

$$P_{кр} = \frac{E}{(n^2 - 1) \cdot N^2} \cdot \frac{\delta}{r} + \frac{E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{\delta}{r}\right)^3 \cdot \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \mu}{N} \right] \quad (1.21)$$

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

$$P_{кр} = E \cdot \frac{\delta}{r} + \frac{1}{n^2 + 0,5 \cdot (\pi \cdot r/L)^2} \cdot \left[\frac{1}{N^2} + \frac{N^2}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{\delta}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r}{L}\right)^4 \right] \quad (1.22)$$

де, L – фактична довжина ємності;

n – число хвиль.

									Арк.
									66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4				

$$N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r} \quad (1.23)$$

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 (1.20) та (1.21) число хвиль залежно від конструктивних розмірів циліндричної оболонки можна визначити за таблицею 4.

Робочий тиск приймають у кілька разів менше критичного:

$$P = P_{кр} / m \quad (1.24)$$

де, m – коефіцієнт запасу стійкості.

Табл. 5 – 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
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.

10.3. Розрахунок реактора випарного апарату.

Реактор являє собою циліндр з плоскими днищами, діаметром 0,230 м і висотою 0,748 м. Зовнішній тиск на поверхню – 92 кПа.

Табл. 6 – Характеристика властивостей капролону (поліамід-6).

Критерій	Значення	Одиниця вимірювання
Межа міцності, σ	85	МПа
Модуль пружності, E	$2,0 \cdot 10^3$	МПа
Коефіцієнт Пуассона, μ	0,4	–
Коефіцієнт запасу міцності, n_s	$\approx 3,5-4,0$	–
Запас стійкості	2,5	–

Тоді допустима напруга при стисканні буде:

$$[\sigma_{cm}] = \sigma / n = \frac{85}{3,75} = 22,6 \text{ МПа}$$

З рівняння (1.19) товщина стінки буде дорівнювати:

$$\delta_p > \frac{92 \cdot 10^3 \cdot 0,222}{2 \cdot 0,85 \cdot 22,6 \cdot 10^6} = 0,00055 \text{ м}$$

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Приймаємо товщину 10 мм.

Визначаємо критичну довжину оболонки з (1.20):

$$L_{кр} = 4,644 \cdot 0,111 \cdot \sqrt{(0,111/0,01) \cdot (1 - 0,4^2)} = 1,57$$

м

Визначаємо:

$$L/r = 0,748/0,111 = 6,7$$

$$\delta/r = 0,01/0,111 = 0,09$$

З таблиці 4 обираємо число хвиль $n = 3$.

$$N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r} = 1 + \frac{3 \cdot 0,748}{\pi \cdot 0,111} = 7,4$$

За формулою (1.21) при

$$P_{кр} = \frac{2 \cdot 10^9}{(3^2 - 1) \cdot 7,4^2} \cdot \frac{0,01}{0,111} + \frac{2 \cdot 10^9}{12 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \left(\frac{0,01}{0,111}\right)^3 \cdot \left[3^2 - 1 + \frac{2 \cdot 3^2 - 1 - 0,4}{7,4}\right] = 1,95$$

МПа

При запасі стійкості 2,5:

$$P = 1950/2,5 = 780$$

кПа > 92 кПа

Отже, обрана товщина стінки у 10 мм повністю відповідає умовам міцності.

10.4. Розрахунок конденсатора.

Конденсатор являє собою циліндр з напівсферними днищами, діаметром 0,12 м і висотою 0,520 м. Зовнішній тиск на поверхню – 92 кПа. Матеріал обираємо сталь 08Х18Н10 (див. табл. 4).

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

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

Тоді допустима напруга при стисканні буде:

$$[\sigma_{cm}] = \frac{\sigma}{n} = \frac{505}{3,75} = 135 \text{ МПа}$$

Тоді з рівняння (1.19) товщина стінки буде дорівнювати:

$$\delta_p > 92 \cdot 10^3 \cdot 0,12 / (2 \cdot 0,8 \cdot 135 \cdot 10^6) = 0,000051 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 2 мм.

Визначаємо критичну довжину оболонки з (1.19):

$$L_{кр} = 4,644 \cdot 0,06 \cdot \sqrt{(0,06/0,002) \cdot (1 - 0,29^2)} = 1,46 \text{ м}$$

Визначаємо:

$$L/r = 0,52/0,06 = 8,6$$

$$\delta/r = 0,002/0,06 = 0,033$$

З таблиці 4 обираємо число хвиль $n = 3$.

$$N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r} = 1 + \frac{3 \cdot 0,52}{\pi \cdot 0,06} = 9,3$$

За формулою (1.21) при

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$P_{сп} = \frac{2 \cdot 10^5}{(3^2 - 1) \cdot 9,7^2} \cdot \frac{0,002}{0,06} + \frac{2 \cdot 10^5}{12 \cdot (1 - 0,29^2)} \cdot \left(\frac{0,002}{0,06}\right)^3 \cdot \left[3^2 - 1 + \frac{2 \cdot 3^2 - 1 - 0,29}{9,7}\right] = 15,4$$

МПа

При запасі стійкості 6:

$$P = P_{сп} / 6 = 15400 / 6 = 2567$$

кПа > 92 кПа

Отже обрана товщина стінки у 2 мм відповідає умовам міцності.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		71

11. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АПАРАТУ

11.1. Загальні положення.

1. До самостійної роботи допускаються лиця:

- які досягли 18 річного віку;
- які пройшли медичний огляд;
- що пройшли вступний та первинний інструктаж;
- які пройшли виробниче навчання за спеціальністю та спеціальне з охорони праці;
- які пройшли перевірку теоретичних знань та практичних навичок безпечного ведення робіт.

Працівник повинен проходити не рідше одного разу на 3 місяці повторний інструктаж з безпечних прийомів та методів роботи.

2. Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж та перевірку знань з охорони праці забороняється.

3. На робочому місці забороняється куріння, розпивання спиртних напоїв та вживання наркотичних засобів.

4. Працівник зобов'язаний вживати заходів щодо забезпечення пожежної та вибухобезпеки на робочому місці.

5. За пожежною безпекою працівник повинен:

- знати місця знаходження засобів протипожежного захисту;
- знати прийоми та методи застосування первинних засобів пожежогасіння;
- стежити, щоб проходи, входи та виходи в обслуговуваному приміщенні не були захаращені, а проходи до електрощитів, пожежних кранів та інших засобів пожежогасіння були вільними.

6. Працівник повинен знати прийоми та методи надання долікарської допомоги при нещасних випадках: ударах, переломах, опіках, ураженні електричним струмом та отруєннях та ін. нещасні випадки.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

7. Відповідно до статті 14 Закону України «Про охорону праці» працівник зобов'язаний:

- турбуватися про особисту безпеку та здоров'я, а також безпеку та здоров'я оточуючих у процесі виконання будь-яких робіт або під час перебування на території підприємства;
- знати та виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правил поведінки з машинами, механізмами, апаратами та іншими засобами виробництва;
- використовувати засоби колективного та індивідуального захисту;
- проходити в установленому порядку попередні та періодичні медичні огляди.

11.2. Вимоги безпеки перед початком роботи.

1. Одягти спецодяг, підготувати індивідуальні засоби захисту.

2. Перед запуском обладнання працівник зобов'язаний:

- провести огляд і перевірити справність устаткування, що обслуговується;
- переконається в наявності, справності заземлення електрообладнання.
- переконається у працездатності контрольно-вимірювальних приладів;
- переконається у справності робочого інструменту та пристроїв;
- перевірити наявність та придатність засобів пожежогасіння;
- перевірити чистоту робочого місця та устаткування, що обслуговується.

11.3. Вимоги безпеки під час роботи.

1. Під час роботи працівники, що обслуговують апарат зобов'язані:

- вести технологічний процес концентрування яблучного соку відповідно до технологічних інструкцій;

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- проводити пуск та налагоджувати роботу обладнання;
 - контролювати та регулювати параметри технологічного процесу за показаннями контрольно-вимірювальних приладів відповідно до технологічної інструкції;
 - контролювати якість продукту в процесі технологічного процесу відповідно до технологічної інструкції;
 - попереджати можливі відхилення від технологічного режиму, усувати порушення та несправності у роботі обладнання;
 - регулювати режими роботи устаткування, що обслуговується, попереджати можливі відхилення від технологічних режимів;
 - стежити, щоб засоби захисту, сигналізація, блокування, запобіжні пристрої завжди перебували у справному стані;
 - усувати порушення та несправності в роботі обладнання;
 - проводити прибирання, своєчасно видаляти з підлоги розливи;
 - при виявленні стороннього шуму в устаткуванні, вібрації, запаху гару оперативно зупинити обладнання виявлення та усунення причини, попередивши про це безпосереднього керівника;
 - працювати тільки справним інструментом, пристроями;
 - огляд, очищення та ремонт обладнання проводити тільки при знеструмлених електродвигунах. На пусковому пристрої повинен бути вивішений попереджувальний плакат: "Не включати - працюють люди";
 - перед проведенням ремонтних робіт обладнання необхідно звільнити від залишків продуктів та зачистити;
2. Для безпечного утримання робочого місця:
- стежити за чистотою робочого місця. Не допускати скупчення пилу біля обладнання, в проходах, своєчасно прибирати їх;
 - за потреби застосування місцевого освітлення допускається використання переносних ламп напругою не вище 12В, захищених справною металевією сіткою.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3. Бути гранично уважним до можливих впливів небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

- гострі ріжучі грані та кромки (інструмент, задирки тощо);
- підвищений рівень шуму, що викликає нездужання та порушення слухової функції (при роботі обладнання);
- слизька, брудна підлога, на якій можливе падіння працівника;
- підвищена температура в робочій зоні (понад 31 °С), що викликає головний біль і швидку стомлюваність;
- електричний струм (за відсутності чи несправності захисного заземлення, ізоляції струмоприймачів);
- поверхня стінок обладнання з температурою понад 45 °С;
- робота на висоті.

4. Найбільш небезпечними аварійними ситуаціями є:

- раптове припинення подачі електроенергії;
- неполадка у роботі обладнання, виникнення масштабних розливів;
- виникнення пожежі.

5. Під час роботи працівнику забороняється:

- залишати робоче місце без нагляду з обладнанням, що працює;
- працювати у хворобливому стані;
- працювати на висоті без засобів захисту;
- проводити ремонт, мастило та чищення обладнання під час його роботи;
- торкатися електроустаткування, клем та електропроводів;
- працювати на несправному апараті;
- передавати або приймати будь-які предмети через незайнятий простір апарату, що працює;
- ставати або сідати на поверхні працюючого апарату, перелазити через них використовувати їх як опору при виконанні будь-яких робіт.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

11.4. Вимоги безпеки після закінчення роботи.

1. При завершенні роботи переконатися у справності обладнання, електроприладів та заземлення.

2. Перевірити санітарний стан робочого місця, справність інструменту, обладнання, огорожі, засобів пожежогасіння, аптечку та освітлення.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		76

12. ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи була проведена всебічна дослідницька та проектна діяльність щодо розробки мікрохвильового вакуум-випарного апарату для концентрації яблучного соку. Перш за все були проаналізовані сучасні наукові публікації як вітчизняних так і закордонних видавництв на теми випарювання та концентрації рідких харчових продуктів. Особлива увага приділялась мікрохвильовому випарюванню в умовах вакууму. Завдяки цьому була визначена основна перевага технології мікрохвильового випарювання над класичними методами – прискорення процесу концентрації за зниженої температурою випарювання вторинної пари при збереженні необхідних фізико-хімічних, біохімічних та сенсорних властивостей яблучного соку.

Наступним кроком розробки стала проектна частина, перед початком якої були розглянуті необхідні діючі стандарти і нормативні документи, регулюючі розробку та експлуатацію тепломасообмінного обладнання, що забезпечило відповідність апарата до технічних та енергоефективних вимог. Завдяки цьому були закладені початкові дані, на основі яких провели необхідні розрахунки – технологічний та силовий. Результатом проектної роботи стало створення необхідної конструкторської документації до пропонованого апарата.

Таким чином, ця дипломна робота є основою для науково-дослідної роботи та технічною базою для подальшого виготовлення та випробування дослідного зразку мікрохвильового вакуум-випарного апарату.

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

13. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Украинский производитель занял 10% мирового рынка сока.
URL:<https://agroportal.ua/ru/news/novosti-kompanii/ukrainskii-proizvoditel-zanyal-10-mirovogo-rynka-soka> (Дата звернення 14.02.2025 р.)
2. Галиця О., Богонос М., Огляд ринку свіжих фруктів та овочів у європейському союзі та Україні за окремими культурами: Стаття – Київ, 2024, 33 с.
3. Яблука свіжі для промислового перероблення: Загальні технічні умови. ДСТУ 7075:2009.
4. Тара транспортна металева: Загальні технічні умови. ДСТУ ГОСТ 30765:2003.
5. Сік яблучний, концентрати соків яблук, напитки, що вміщують яблучний сік. ДСТУ ISO 8128-2:2014.
6. Тертишний О.О., Півоваров О.А., Кошулько В.С.: Теплові процеси та обладнання в харчових виробництвах: Навчальний посібник – Дніпро, 2023, 356 с.
7. Aider, M., & de Halleux, D. (2009). Cryoconcentration technology in the bio-food industry: Principles and applications. LWT – Food Science and Technology, 42(3), 679–685. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.08.013>
8. IceCon Freeze Concentration – Continuous freeze concentration systems.
URL:<https://www.gea.com/ru/products/evaporators-crystallizers/freeze-concentrators-water-removal/icecon/> (Дата звернення 24.02.2025 р.)
9. Конспект лекцій з курсу „Процеси та апарати хімічної технології”, розділ «Мембранні процеси» для студентів II-V курсів усіх спеціальностей / Укл.: О.О. Тертишний, О.В. Тертишна. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2011. – 79 с.
10. Aguiar, I. B., Miranda, N. G. M., Gomes, F. S., Santos, M. C. S., Freitas, D. de G. C., Tonon, R. V., & Cabral, L. M. C. (2012). Physicochemical and sensory properties of apple juice concentrated by reverse osmosis and osmotic

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

evaporation. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 16, 137–142.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.05.003>

11. CN204767453 – Microwave-evaporation plant.
URL:https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN159452717&_cid=P21-M8U1Z7-54999-1. (Дата звернення 26.02.2025 p.)
12. CN210159224 - Microwave-enhanced continuous flash evaporation system with feed liquid moving in thin layer and liquid drop flow manner.
URL:https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN292018353&_cid=P21-M8U2FA-65418-1 (Дата звернення 27.02.2025 p.)
13. Cassano, A., Jiao, B., & Drioli, E. (2004). Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process. Food Research International, 37(2), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.08.009>
14. Bozkir, H., & Baysal, T. (2017). Concentration of apple juice using a vacuum microwave evaporator as a novel technique: Determination of quality characteristics. Journal of Food Process Engineering, 40(5), e12535. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12535>
15. Asawarchan, R., & Noomhorm, A. (2008). Effect of operating condition on the kinetic of color change of concentrated pineapple juice by microwave vacuum evaporation. Journal of Food, Agriculture and Environment, 6, 47–53.
16. Assawarchan, R., & Noomhorm, A. (2011). Mathematical models for vacuum-microwave concentration behavior of pineapple juice. Journal of Food Process Engineering, 34, 1485–1505.
17. Assawarachan, R., & Noomhorm, A. (2009). Mathematical models for vacuum-microwave concentration behavior of pineapple juice. Journal of Food Process Engineering, 34(5), 1485–1505. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00536.x>

					КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

18. Yousefi, G., Yousefi, S., & Emam-Djomeh, Z. (2013). A comparative study on different concentration methods of extracts obtained from two raspberries (*Rubus idaeus* L.) cultivars: Evaluation of anthocyanins and phenolics contents and antioxidant activity. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 1179–1186.
19. Fazaeli, M., Yousefi, S., & Emam-Djomeh, Z. (2013b). Investigation on the effects of microwave and conventional heating methods on the phytochemicals of pomegranate (*Punica granatum* L.) and black mulberry juices. *Food Research International*, 50, 568–573.
20. Burdo O.G., Levitsky A.P., Sirotjuk I.V., Burdo A.K., Kepin N.I., Petrovsky V.V., Yevtushenko I.N. Improvement of Energy Efficiency of Dehydration Processes in the Conditions of Selective Supply of Electromagnetic Energy. *Problemele Energeticii Regionale*, 2025, 2(66), 62-73.
<https://doi.org/10.52254/1857-0070.2025.2-66.06>
21. Чепурний М.М., Резидент М.В. Тепломасообмін в прикладах і задачах. URL:https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/chepurnij_teplomasoob/d.htm
(Дата звернення 29.03.2025 р.)
22. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2 кн./В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и др.; Под ред. В.Г. Айнштейна. М.: Университетская книга; Логос; Физматкнига, 2006. Кн. 1. 912 с.
23. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. – М.: Химия, 1991. – 493 с.

					<i>КРБ.ПОтаЕМ.1.738-03.3.4</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		80