

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробної і харчової
промисловості»
Хорольський В.П.
« ____ » _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ
КОНЦЕНТРУВАННЯ РІДКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ
ВИМОРОЖУВАННЯМ»**

Виконав:
здобувач вищої освіти _____ **Пестушко Юрій Євгенійович** _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: _____ **доцент, к.п.н., Цвіркун Л.О.** _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2024

4. Аналіз результатів досліджень.
5. Висновки.
6. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням.
Удосконалення скребкового кристалізатора для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням.
Дослідження концентрування апельсинового соку виморожуванням.

6. Дата видачі завдання «1» вересня 2024 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	4.09-20.09.2024 р.
2	Аналітичний огляд обладнання для концентрування рідких харчових продуктів	21.09-18.10.2024 р.
3	Удосконалення обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням	19.10-08.11.2024 р.
4	Аналіз результатів досліджень	09.11-15.11.2024 р.
5	Висновки по роботі	16.11-22.11.2024 р.
6	Оформлення роботи і подання до захисту	23.11-26.11.2024 р.

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Пестушко Ю.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Цвіркун Л.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура магістерської роботи. Повний обсяг магістерської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 45 сторінок. Робота містить: 1 таблицю, 12 рисунків. Список використаних джерел складається з 18 найменувань.

Об'єкт роботи – скребковий кристалізатор.

Предмет роботи – процес концентрування апельсинового соку.

Мета роботи – удосконалення обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням.

У роботі зазначено, що концентрація заморожування – це метод концентрації, при якому водний розчин або рідка їжа концентрується шляхом часткового або повне заморожування води і відділення льоду від незамерзлої рідкої фракції. У порівнянні з іншими методами концентрування, концентрація заморожування має деякі переваги через низькі температури, які використовуються для забезпечення мінімальних втрат летких речовин.

На основі аналізу наукових джерел, узагальнено порівняльну характеристику методів концентрації заморожування та традиційного процесу термічної концентрації, виокремлено переваги та недоліки. Здійснено оптимізацію скребкового кристалізатора за рахунок, перш за все форми скребка.

Запропоновано для спрощення процесу кристалізації поєднати два етапи процесу, а саме кристалізатора із змішуваннями сегментами. Судина росту кристалів може бути усунена і безперервна циркуляція між кристалізатором і судиною для росту більше не потрібна. Змішувальний сегмент, розташований між двома сегментами кристалізації, має роздільники, які забезпечують ефективно радіальне та осьове переміщення. Удосконалений кристалізатор складається з двох торцевих кришок, центрального валу з удосконаленої конструкції скребка і змінного числа сегментів кристалізації, відокремлених один від одного. Концепція нового кристалізатора полягає в модульній системі, яка розміщує кілька сегментів однакового визначеного діаметра один на одному.

Досліджено концентрування апельсинового соку виморожуванням. У досліджуваних соках визначили вміст сухих речовин за допомогою рефрактометра, які склали: у апельсиновому соку – 15,0%, а у свіжовичавленому апельсиновому соку – 18,0%. Результати показали, що зі збільшенням вмісту сухих речовин у вихідному соку питома кількість вимороженого льоду монотонно знижується.

Для визначення величини сухого речовини продукту, винесеного з льодом, виморожений лід розплавляли, термостатували при температурі 20°C і визначали вміст сухих речовин при допомозі рефрактометра. При підвищенні початкового вмісту сухих речовин в апельсиновому соку вміст сухих речовин у розчині, отриманому при розплавленні вимороженого льоду збільшується. Змодельовано криві впливу початкового вмісту сухих речовин у вихідному соку на величину питомої кількості вимороженої криги та криві розплавлення вимороженого льоду при різних концентраціях вмісту сухих речовин.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: концентрування, апельсиновий сік, скребковий кристалізатор, моделювання, виморожування вологи, лід.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОНЦЕНТРУВАННЯ РІДКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	7
1.1 Процес концентрації заморожуванням	7
1.2 Концентрація заморожуванням як альтернативний метод термічної обробки	9
1.3 Методи концентрації заморожування	11
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОНЦЕНТРУВАННЯ РІДКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ВИМОРОЖУВАННЯМ	20
2.1 Кінетика процесу виморожуванням вологи	20
2.2 Термограма заморожування та плавлення рідких харчових речовин	22
2.3 Удосконалення скребкового кристалізатора для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням	27
РОДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
3.1 Якість апельсинового соку	35
3.2 Дослідження концентрування апельсинового соку виморожуванням	37
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44
ДОДАТКИ	45

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Пестушко</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>	
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>				5	1		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							
Удосконалення обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням								

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що концентрація заморожування – це метод концентрації, при якому водний розчин або рідка їжа концентрується шляхом часткового або повне заморожування води і відділення льоду від незамерзлої рідкої фракції. У порівнянні з іншими методами концентрування, концентрація заморожування має деякі переваги через низькі температури, які використовуються для забезпечення мінімальних втрат летких речовин.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу наукових джерел, узагальнено порівняльну характеристику методів концентрації заморожування та традиційного процесу термічної концентрації, виокремлено переваги та недоліки. Здійснено оптимізацію скребкового кристалізатора за рахунок, перш за все форми скребка.

Запропоновано для спрощення процесу кристалізації поєднати два етапи процесу, а саме кристалізатора із змішуваннями сегментами. Судина росту кристалів може бути усунена і безперервна циркуляція між кристалізатором і судиною для росту більше не потрібна. Змішувальний сегмент, розташований між двома сегментами кристалізації, має роздільники, які забезпечують ефективно радіальне та осьове перемішування. Удосконалений кристалізатор складається з двох торцевих кришок, центрального валу з удосконаленої конструкції скребка і змінного числа сегментів кристалізації, відокремлених один від одного. Концепція нового кристалізатора полягає в модульній системі побудови. Він розміщує кілька сегментів однакового визначеного діаметра один на одному.

Досліджено концентрування апельсинового соку виморожуванням. У досліджуваних соках визначили вміст сухих речовин за допомогою рефрактометра, які склали: у апельсиновому соку – 15,0%, а у свіжовичавленому апельсиновому соку – 18,0%. Результати показали, що зі збільшенням вмісту сухих речовин у вихідному соку питома кількість вимороженого льоду монотонно знижується.

Для визначення величини сухого речовини продукту, винесеного з льодом, виморожений лід розплавляли, термостатували при температурі 20°C і визначали вміст сухих речовин при допомозі рефрактометра. При підвищенні початкового вмісту сухих речовин в апельсиновому соку вміст сухих речовин у розчині, отриманому при розплавленні вимороженого льоду збільшується. Змодельовано криві впливу початкового вмісту сухих речовин у вихідному соку на величину питомої кількості вимороженої криги та криві розплавлення вимороженого льоду при різних концентраціях вмісту сухих речовин.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Пестушко</i>				Удосконалення обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						6	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОНЦЕНТРУВАННЯ РІДКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

1.1 Процес концентрації заморожуванням

Концентрація заморожуванням – це процес, який використовується для збільшення концентрації рідини шляхом видалення частини вмісту води шляхом заморожування та подальшого видалення кристалів льоду. Процес також відомий як кріоконцентрація і він зазвичай використовується в харчовій промисловості для виробництва концентрованих соків, пюре та інших рідких продуктів. У процесі заморожування рідина спочатку заморожується з утворенням кристалів льоду. Потім суміші дають трохи відтанути, дозволяючи кристалам льоду відокремитися від концентрованої рідини. Кристали льоду видаляються з суміші, залишаючи після себе концентровану рідину з більш високим відсотком сухих речовин.

Процес сублімаційного концентрування використовується для отримання концентрованих продуктів без використання тепла, що може пошкодити або змінити смакові та поживні властивості продукту. Крім того, процес можна використовувати для зменшення обсягу рідких продуктів, що робить їх простішими та економічно вигіднішими для транспортування та зберігання. Сублімаційне концентрування використовується для виробництва широкого спектру концентрованих продуктів, включаючи соки, пюре та концентрати. Деякі з найбільш часто концентрованих сублімованих продуктів включають яблучний сік, апельсиновий сік і журавлинний сік [1-3]. Сублімаційне концентрування є поширеним методом обробки, який використовується в харчовій промисловості для різноманітних харчових продуктів. Деякі приклади харчових продуктів, які обробляються за допомогою сублімаційного концентрування, включають:

1. Фруктові соки: фруктові соки можна сублімувати, щоб збільшити їх концентрацію та зменшити об'єм, що полегшує їх зберігання та транспортування. Концентрований сік можна відновити водою перед вживанням.

2. Пюре: фруктові та овочеві пюре можна сублімувати, щоб збільшити їх концентрацію та зменшити об'єм, що полегшує їх зберігання та транспортування. Концентроване пюре можна використовувати як інгредієнт різних харчових продуктів, таких як дитяче харчування та смузі.

3. Кава та чай: каву та чай можна сублімувати для створення миттєвих порошків для зручності та зручності використання.

4. Бульйони та бульйони: бульйони та бульйони можна сублімувати, щоб покращити їх смак і зробити їх більш концентрованими. Цього можна досягти,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Пестушко</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>					7	13
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>						

видаливши частину вмісту води з бульйону або бульйону.

5. Вино: вино можна сублімувати, щоб збільшити вміст алкоголю та створити більш концентрований смак. Цей процес зазвичай використовується для виробництва крижаного вина, десертного вина, виготовленого із замороженого винограду.

6. Молочні продукти: деякі молочні продукти, такі як сир і масло, можна сублімувати або сублімувати, щоб збільшити термін їх зберігання та полегшити транспортування та зберігання.

Сублімаційне концентрування є універсальним і широко використовуваним методом обробки, який може бути застосований до широкого спектру харчових продуктів для підвищення їх концентрації та покращення терміну зберігання та транспортабельності. Заморожування-концентрування працює за принципом заморожування та розморожування рідкої суміші для відділення вмісту води від твердого вмісту. Процес включає в себе наступні етапи [1-3]:

1. Рідка суміш, що підлягає концентруванню, заморожується в холодильній установці. Цей процес замерзання призводить до того, що вміст води в рідині утворює кристали льоду.

2. Потім заморожена суміш частково розморожується в контрольованих умовах, що змушує кристали льоду відокремлюватися від рідини. Потім рідкий концентрат видаляється з кристалів льоду, залишаючи після себе більш концентровану рідину.

3. Щоб залишилися кристали льоду додатково переробляються для залишкового вмісту води. Цей етап зазвичай досягається за допомогою вакууму або шляхом сублімації, яка перетворює лід безпосередньо на водяну пару.

4. Потім кінцевий концентрований продукт упаковують і зберігають для використання.

Принцип заморожування полягає в тому, що вода та інші домішки в рідкій суміші замерзають при більш високій температурі, ніж бажані розчинені речовини. Заморожуючи, а потім розморожуючи суміш, вміст води відокремлюється від твердого вмісту, в результаті чого виходить більш концентрований продукт. Перевага заморожування полягає в тому, що це делікатний процес, який не передбачає застосування тепла, що може призвести до пошкодження або деградації продукту. Процес також дозволяє концентрувати термочутливі сполуки, такі як ферменти та вітаміни, без шкоди для їхніх властивостей. Це робить сублімаційне концентрування ідеальним методом обробки для виробництва високоякісних концентрованих харчових продуктів. Світовий ринок ліофілізованих продуктів харчування та напоїв неухильно зростає протягом багатьох років, що зумовлено зростаючим попитом на високоякісні, натуральні та мінімально оброблені продукти харчування та напої.

Очікується, що ринок продовжить зростати із середньорічним темпом зростання близько 7% протягом прогнозованого періоду (2021-2026 роки). Одним з ключових показників ринку сублімаційного концентрування є зростаючий попит на концентровані фруктові та овочеві соки. Заморожування є ефективним способом збільшення концентрації фруктових та овочевих соків

									Арк.
									8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ				

без використання тепла, яке може пошкодити смак та поживні властивості соку. Сублімовані соки також легше транспортувати та зберігати, що робить їх популярним вибором серед виробників. Ще одним параметром ринку сублімаційного концентрування є зростаючий попит на натуральні та мінімально оброблені харчові продукти.

Сублімаційне концентрування – це м'який і нехімічний процес, який зберігає природний смак, колір і поживні властивості харчових продуктів. Це робить його привабливим методом обробки для виробників, які хочуть виробляти високоякісні натуральні та мінімально оброблені харчові продукти. Ринок сублімаційного концентрування також обумовлений зростаючим попитом на функціональні продукти харчування та напої. Сублімаційне концентрування можна використовувати для концентрації біологічно активних сполук, таких як антиоксиданти та поліфеноли, які корисні для здоров'я.

Сублімовані продукти з високим вмістом біологічно активних сполук користуються високим попитом серед споживачів, які піклуються про своє здоров'я. Ринок заморожування також підтримується розробкою нових та інноваційних технологій заморожування, які роблять процес більш ефективним та економічно вигідним. Виробники інвестують у нові технології для підвищення врожайності, якості та ефективності процесу заморожування. Очікується, що ринок сублімаційного концентрування продовжить зростати в найближчі роки завдяки зростаючому попиту на натуральні, мінімально оброблені та функціональні продукти харчування та напої. Очікується, що виробники, які можуть запропонувати високоякісні сублімовані продукти з натуральними ароматизаторами та функціональними інгредієнтами, матимуть хороші можливості для використання переваг цього зростаючого ринку.

1.2 Концентрація заморожуванням як альтернативний метод термічної обробки

Сучасна індустрія напоїв пропонує широкий асортимент корисних фруктових і овочевих соків. Чутливість цих інгредієнтів до тепла вимагає м'якого методу концентрації, який видаляє воду не пошкоджуючи термічно крихкі компоненти з плодів нашої землі Існує кілька способів збереження фруктів після того, як вони були зірвані. Аромат ніжних фруктів можна зберегти методом випаровуванням, коли летючі компоненти можуть бути збережені, а отриманий фруктовий продукт має набагато кращі смакові якості.

В даний час харчова промисловість пропонує велику різноманітність продуктів, які вимагають процесів концентрації для досягнення бажаних характеристик. Враховуючи, що фруктові та овочеві містять велику кількість води, подаючи їх процесу концентрації можна підвищити ефективність переробки наприклад, соків або молока, полегшуючи отримання сухої речовини. Крім того, такий процес може продовжити термін придатності продукту, а також надає переваги при пакуванні, транспортуванні та зберіганні, знижуючи витрати. З промислової точки зору, випаровування є основною операцією, яка застосовується для зменшення вмісту води деяких продуктах. Однак для кипіння води потрібна теплова енергія, що підвищує виробничі

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						9
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

витрати. Крім того, підвищені температури випаровування можуть знизити рівень деяких сполук, таких як вітаміни, ферменти, біологічно активні сполуки, що перешкоджає сенсорним властивостям продукту. Можуть бути застосовані інші нетермічні процеси, такі як мембранне розділення.

Протягом багатьох років нові технології та процеси удосконалювалися, щоб гарантувати стандартизовану та високоякісну продукцію на ринку. Метод концентрації заморожування заснований на поділі рідких харчових фаз (твердої та рідкої) при контрольованих низьких температурах і може бути альтернативою концентрації продуктів з великим вмістом білка, ферментів і вітамінів, оскільки такі сполуки можуть відновлюватися або інактивуватися при впливі високих температур [6-8]. Крім того, за допомогою цих методів зберігаються оригінальні леткі сполуки та харчові пігменти, що зберігають смак та сенсорні характеристики продукту. Процеси концентрації заморожуванням демонструють кілька систем застосування у великих масштабах, що є привабливою можливістю для промисловості, дозволяючи їм вибирати різні методи зазначеної технології відповідно до особливостей кожного з їхніх виробничих процесів.

Одним із методів видалення води з фруктових соків без її нагрівання та зміни смаку є концентрація заморожування. Концентрація заморожування заснована на фракційній кристалізації води в лід і подальшому відділенні кристалів льоду від концентрованої рідини. Цей процес зберігає якість свіжого соку. Експлуатація при мінусових температурах зберігає ароматизатори, які мають властивість випаровуватися в процесі нагрівання. Додатковою перевагою є те, що концентрація заморожування не термічно пошкоджує тендітні компоненти, такі як колір, вітаміни та поживні речовини. Сублімовані рідкі продукти та соки часто набагато смачніші, ніж випарні концентрати.

Концентрація заморожування або кріоконцентрація (від грец. *krúos*, що означає «холод») – це техніка, яка застосовується для концентрації рідких продуктів на етапі попереднього заморожування з подальшим відділенням чистих кристалів льоду. Після кристалізації видаляється фракція води, що збільшує вміст розчинних твердих речовин у розчині. Під час процесу рідина, що містить розбавлені розчинені речовини, охолоджується нижче точки замерзання в контрольованих умовах, уникаючи евтектичної температури. У цей конкретний момент розчинник (тобто вода для рідких продуктів) і одна з розчинених речовин замерзають одночасно [1]. При контролі замерзання рідкої їжі утворюються кристали льоду вище евтектичних температур, що підвищує чистоту кристалізованої води, зберігаючи всі властивості вихідного розчину. Враховуючи початкове рішення, верхня межа концентрації заморожування становить від 40% до 50% від вмісту твердих речовин, що змінюється відповідно до харчової матриці та швидкості розчинних сухих речовин. Концентрацію можна проводити багаторазово для зменшення вмісту води, хоча це залежить від бажаної мети, виходу кожного етапу концентрації та складу сировини.

Чим більш концентрований розчин, тим нижча температура потрібна для його замерзання, оскільки тверді речовини мають тенденцію знижувати температуру замерзання, що ускладнює кристалізацію розчинників. Час

									Арк.
									10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ				

замерзання також пов'язаний з формою та матеріалом контейнера для концентраційного розчину. При зіткненні зі стінками ємності теплообмін буде відбуватися швидше в самих зовнішніх шарах розчину, в той час як у внутрішніх шарах замерзання відбувається поступово до досягнення його центру. Кристали льоду утворюються в результаті включення частинок води в ядро кристалізації, однак в концентрованих розчинах вода твердне поруч з розчинними твердими речовинами, утворюючи кристали неправильної форми. Щоб запобігти нерівномірному утворенню кристалів льоду, температуру концентрації замерзання і час замерзання необхідно контролювати на всіх етапах відділення.

З економічних міркувань фруктові соки зазвичай концентруються. Для видалення води з соку використовуються різні методи. Класичні методи термічної концентрації, такі як випаровування, є найбільш поширеними для концентрації рідкої їжі. Однак вони призводять до значних втрати вихідних ароматичних сполук, а отримані концентрати прийнято оцінювати як низької якості. Крім того, енергія, що витрачається при термічній концентрації, висока. На кристалізацію потрібно набагато менше енергії, ніж на випаровування. Наприклад, для води ентальпія кристалізації становить 334 кДж/кг порівняно з ентальпією пароутворення, яка при атмосферному тиску становить 2260 кДж/кг.

Принцип функціонування звичайної концентрації заморожування Фракційна кристалізація води в лід і подальше відділення кристалів льоду від концентрованої рідини є основним процесом звичайної концентрації заморожування. Процес містить шість основних етапів заморожування кристалізації [1-3]:

- заливка рідини, яку необхідно сконцентрувати, в ємність для подачі;
- фракційна кристалізація води в лід за допомогою скребкового кристалізатора;
- вирощування кристалів льоду в судині для росту;
- безперервна циркуляція рідини між кристалізатором і посудиною за допомогою насоса;
- видалення великих кристалів льоду (замороженої води) з рідини в промивній колоні;
- використання концентрованої рідини для наступного етапу виробництва.

1.3 Методи концентрації заморожування

1. Концентрація замерзання суспензії. Техніка забезпечує кристали льоду обмеженого розміру, щоб ефективно відокремити лід від маточного розчину, дрібні частинки льоду повинні пройти дозрівання при якому дрібні кристали з часом переосідають у більші кристали. У такому випадку виникає потреба в складній системі, що містить теплообмінники зі скребковою поверхнею для подачі льоду, охолодження поверхні та підвищення коефіцієнта теплопередачі, рекристалізатора для збільшення розмірів дрібних кристалів, що дозволяє відділяти кристали льоду від кінцевого концентрованого розчину (рис. 1.1).

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Процес суспензії заснований на початковому зародженні (кристалізації) при якому кристали льоду переміщуються на великі частинки, експоненціально збільшуючи свій об'єм. За такою фазою слідує ядра льоду в розчині [1-6]. У такій складній системі, як ця, успішне розділення може утворювати кристали льоду високої чистоти, залежно від швидкості скребка та концентрації розчину. Завдяки високій швидкості сепарації концентрація заморожування суспензії застосовується як ключова технологія при обробці рідких харчових продуктів у промислових умовах. Тим не менш, дана технологія вимагає великої кількості комплектів обладнання та збільшеного часу роботи, тому обмежується масштабними процесами в режимі безперервної роботи.

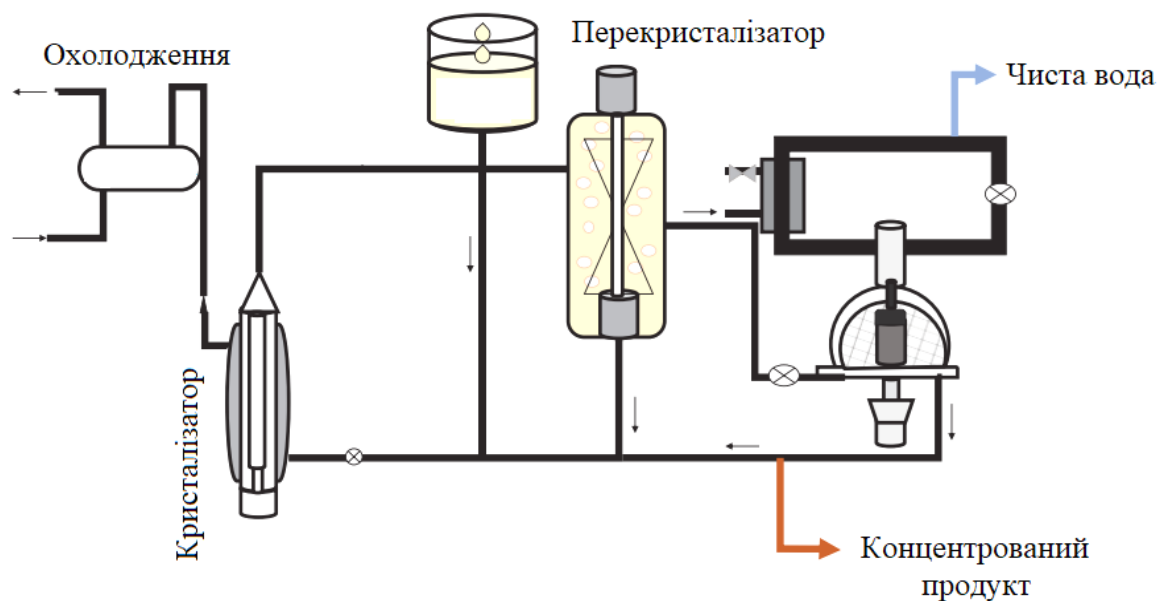


Рисунок 1.1 – Кристалізація замерзання суспензії

2. Прогресивна концентрація заморожування. На відміну від методу концентрації замерзання суспензії прогресивна концентрація заморожування заснована на кристалізації шару, де утворюється шаруватий лід великої маси або один великий кристал льоду, що полегшує розділення завдяки зчепленню кристала з холодною поверхнею. Окрім концентрації заморожування плівки, цей метод став одним із найважливіших способів концентрування рідкої їжі, зберігаючи її термолабільні сполуки (рис. 1.2).

Процес полягає в частковому заморожуванні розчину при постійному перемішуванні, яке зазвичай використовується для зменшення розчиненої речовини в шарі льоду. Як правило, шар льоду утворюється в стінках резервуара (холодна поверхня) і легко відділяється від кінцевої концентрації. Цей поділ може бути виконаний тим самим обладнанням, що зменшує експлуатаційні витрати, а також витрати на техніку та технічне обслуговування. Однак, з промислової точки зору, інвестиційні витрати все ще високі через потребу у великій зоні охолодження, необхідній для досягнення значної продуктивності. Крім того, утворені шари льоду мають тенденцію захоплювати рідкі фракції, що призводить до серйозної втрати розчиненої речовини.

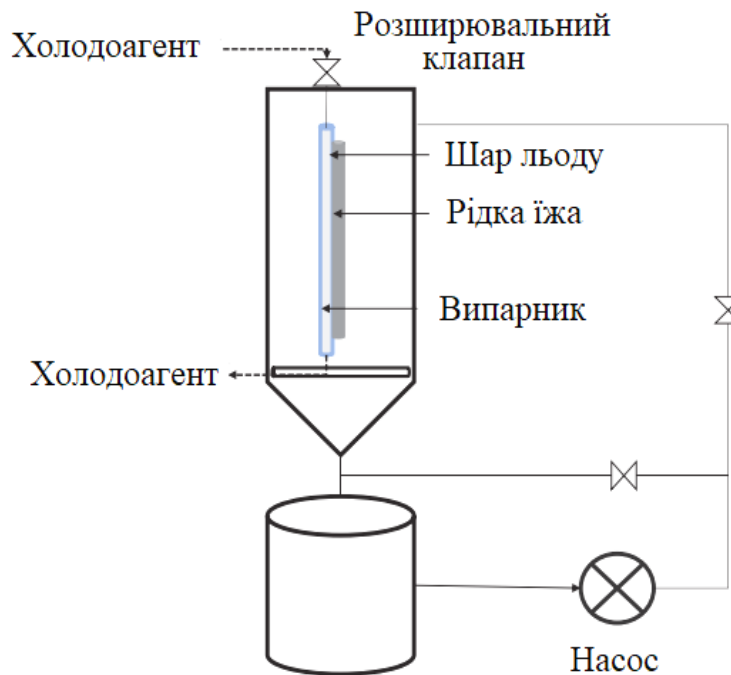


Рисунок 1.2 – Система концентрації замерзання плівки

Масообмін є одним із найбільш заважаючих явищ у співвідношенні лід/концентрат, що підтверджує необхідність зменшення включення розчиненої речовини у фракцію льоду. Надходження розчиненої речовини в граничний шар льоду/концентрат залежить від тепло- масообміну, що збільшує як товщину льоду, так і швидкість інтерфейсу лід/концентрат, знижуючи ефективність процесу. Крім того, зростання кристала льоду в поєднанні з високою швидкістю розділу лід/концентрат збільшує фізичне захоплення розчиненої речовини у фракцію льоду, що призводить до однакової концентрації розчиненої речовини як у фракціях льоду, так і в концентраті.

Вертикальна система концентрації заморожування наведена на рисунку 1.3. Механічне перемішування індукує конвекцію і збільшує перенесення маси розчиненої речовини з фракції льоду в концентровану фракцію. Така вертикальна система є ефективним методом концентрування знежиреного молока. Вуглеводи з низькою вагою показали більшу тенденцію до поділу та концентрації порівняно з білками через їх вищу молекулярну масу [3-8]. Крім того, на рухливість розчиненої речовини можуть впливати розмір молекули та концентрація. Тим не менш, така система може бути чудовою технікою для майбутніх застосувань, що включають один або кілька методів концентрації, завдяки її низьким витратам на обладнання та обслуговування, а також відносно швидкому часу обробки, оскільки механічне перемішування збільшує явище масообміну та знижує тиск, покращуючи процес поділу.

У зв'язку з тим, що обмежувальний коефіцієнт розподілу залежить від осмотичного тиску та швидкості потоку в системі, частинки розчиненої речовини неминуче затримуються у фракції льоду при підвищенні початкового осмотичного тиску та концентрації твердої речовини.

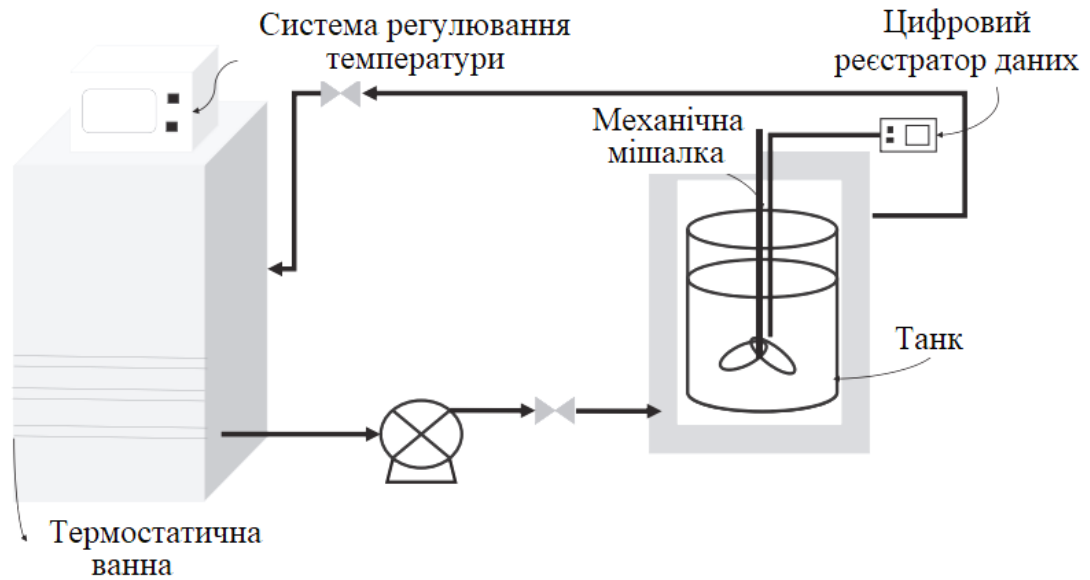


Рисунок 1.3 – Вертикальна прогресивна концентрація заморожування

Тому була запропонована трубчаста систему, де циркулюючий потік підвищує вихід концентрату та зменшує утримання твердих фракцій у шарі льоду (рис. 1.4). Усередині трубок кристали льоду ростуть за рахунок охолоджуючого агента. Поверхня охолоджувальної пластини посилюється послідовно з'єднаними трубками, що сприяє великому виробництву, що призводить до приблизно 50% вихідного розчину як кінцевого концентрату. Цей метод також може бути альтернативою концентрації молочних продуктів з великим виходом і зниженими витратами, якщо порівнювати зі складністю і дорогим обладнанням попереднього методу.

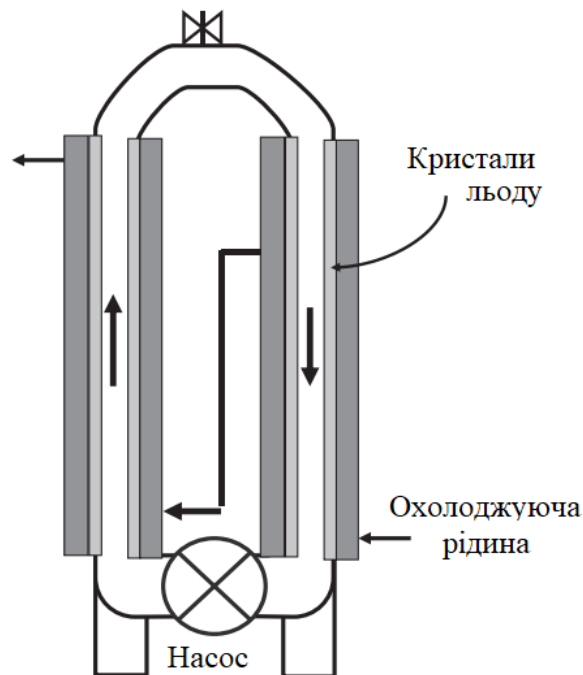


Рисунок 1.4 – Трубчаста система льоду для поступової концентрації замерзання

3. Концентрація блокового заморожування. Метод є одним з найбільш вивчених і застосовуваних методів концентрації заморожування. Концентрація блокового заморожування, також відома як заморожування, полягає в повному заморожуванні розчину, тобто центральна температура розчину нижче його точки замерзання. За ним слідує часткове розморожування, що виконується за допомогою методу гравітаційного розморожування (рис. 1.5). Блок льоду діє як тверда матриця, пропускаючи рідини з високою кількістю розчинних твердих речовин. Температура розморожування є первинною для підвищення ефективності концентрації, що дозволяє подолати швидкість 90%, зменшуючи вміст твердих речовин, що утримуються у фракції льоду. Гравітація сприяє розділенню розчинних твердих речовин шляхом дифузії, а з контрольованою масою та часом процесу гравітаційний цикл розморожування призводить до приблизно 50% концентрації [1-3]. Відділення фракції льоду від кінцевого концентрованого розчину пов'язуватиме гравітацію та додаткові методи, такі як вакуум, відцентрова сила, відпал, мікрохвильова піч або білок зародження льоду, покращуючи продуктивність розчиненої речовини. Така методика повідомляється як найбільш перспективна та ефективна практика отримання концентрованих рідких продуктів з великою харчовою цінністю, а також зі збереженням сенсорних властивостей.

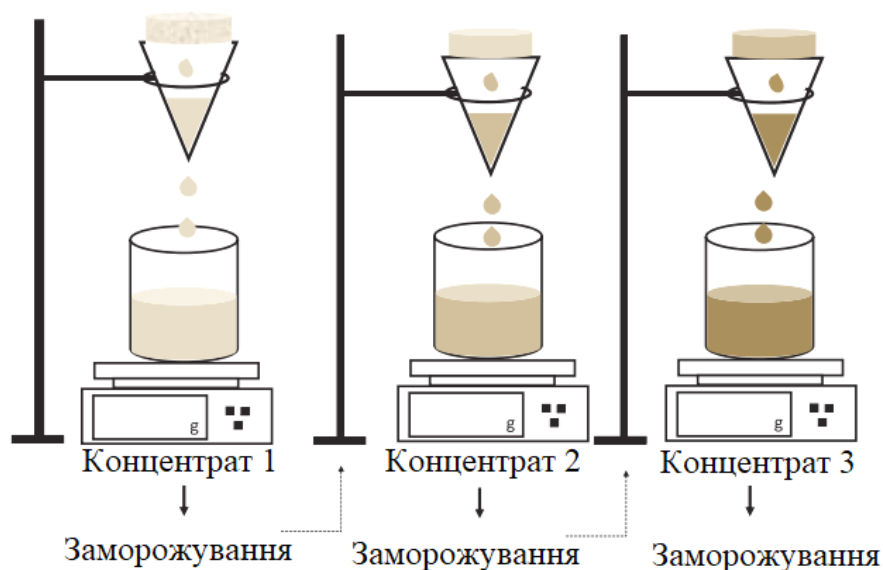


Рисунок 1.5 – Система концентрації заморожування блоків

Однією з головних переваг цього процесу є відсутність рухомих частин механізму (мішалок або насосів), що знижує витрати на виробництво. Техніка проста у виконанні, що робить її загальною вартістю (енергетичні, експлуатаційні витрати та витрати на обладнання) найнижчою з усіх процесів концентрації заморожування. Тим не менш, ефективність концентрації такої техніки обмежена, а шар льоду має поганий коефіцієнт теплопередачі. Для отримання високих рівнів концентрації необхідні кілька операцій, які також вимагають великого споживання енергії, що робить його неможливим для застосування в

промислових масштабах.

Головною перевагою сублимаційного концентрування рідких продуктів є максимальне збереження термолабільних сполук, оскільки вони не передбачають процедур рідина-пара, що робить таку методику цікавим варіантом для багатьох галузей промисловості, які прагнуть покращити якість свого продукту. Випаровування, наприклад, вимагає великої енергії для того, щоб вода кипіла при більш високій температурі, ніж максимальна межа збереження термолабільних біологічно активних сполук. Крім того, у порівнянні з традиційними процесами випаровування, концентрація замерзання вимагає приблизно 335 кДж кг води при замерзанні, що нижче в порівнянні з необхідною енергією в процесах випаровування (~2260 кДж кг води), оскільки прихована теплота пароутворення вища, ніж прихована теплота [2]. Переваги та недоліки методів концентрації заморожування та традиційного процесу термічної концентрації наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки методів концентрації заморожування та традиційного процесу термічної концентрації

Техніки концентрації	Переваги	Недоліки
Концентрація замерзання суспензії	<ul style="list-style-type: none"> – висока чистота кристалів льоду; – теплообмінник зі скребковою поверхнею ефективний для очищення поверхні охолодження від накипу – збереження термочутливих сполук; – збереження кольору, смаку та харчової цінності сировини; – застосовується в промисловості як ключова технологія у виробництві рідких харчових продуктів. 	<ul style="list-style-type: none"> – складність системи; – низькі темпи росту кристалів; – складність у відділенні кристалів льоду; – найдорожчий серед усіх методів концентрації заморожування; – високі витрати на інвестиції та обслуговування, що перешкоджає його застосуванню у великих масштабах; – наявність забруднення.
Прогресивна концентрація заморожування	<ul style="list-style-type: none"> – просте управління операціями; – висока швидкість росту кристалів; – легке відділення льоду/концентрату за допомогою процесу дренажу – відсутність забруднення; – обладнання без рухомих частин (крім насосів і клапанів); – збереження кольору, смаку та харчової цінності молочних продуктів. 	<ul style="list-style-type: none"> – високі інвестиційні витрати на великомасштабне виробництво; – високе споживання енергії (35–40 кВт·год); – для практичного застосування потрібна величезна площа охолоджуючої поверхні; – шар льоду має тенденцію захоплювати рідкі фракції та спричиняє сильну втрату розчиненої речовини.

Концентрація блокового заморожування	<ul style="list-style-type: none"> – найдешевший процес серед усіх методів концентрації заморожування; – відсутність рухомих частин; – вважається зеленою технологією; – збереження кольору, смаку та харчової цінності молочних продуктів. 	<ul style="list-style-type: none"> – багатоступінчасті операції для отримання високого рівня концентрації; – шар льоду має поганий коефіцієнт теплопередачі менше; – втрата значного вмісту розчинних сухих речовин у крижаній фракції.
Випаровування	<ul style="list-style-type: none"> – найбільш застосовувана технологія концентрації в молочному виробництві; – здатність відновлювати теплову енергію; – низькі витрати на енергію з використанням багатоступеневих випарників; – збільшення терміну зберігання концентрованих продуктів. 	<ul style="list-style-type: none"> – високі витрати на встановлення та експлуатацію; – біологічно активні сполуки (білки, ферменти, вітаміни) можуть знижуватися при високих температурах; – інтенсивна термічна обробка може вплинути на рівновагу мінералів та чутливість до рН; – небажані зміни сенсорних властивостей (смаку, кольору та текстури) у конкретних продуктах.

Ще одним обмежуючим фактором процесів випаровування є загальна перешкода теплообмінників при концентруванні продуктів зі значним вмістом мінералів. Також якість теплообміну залежить від енерговитрат при концентрації. При концентрації заморожування економія енергії пов'язана з можливістю пасивного розморожування як етапу відновлення концентрованої фракції. Таким чином, низька потреба в енергії при заморожуванні в поєднанні з пасивним розморожуванням підвищує ефективність процесу та знижує експлуатаційні витрати.

Наприклад, у молочному виробництві традиційний процес концентрації молока повинен проводитися в багатоступінчастих випарниках при температурі приблизно 75°C в першій секції обладнання. Однак при нагріванні молока при температурі 60°C відбувається незворотна агрегація термочутливих сироваткових білків, що ініціює явище денатурації, що призводить до значної втрати водорозчинних вітамінів. Щоб зберегти харчову цінність, використання методів без нагрівання є чудовою альтернативою. Процеси мембранної технології застосовуються для збереження температури, таким чином зберігаючи чутливі компоненти молока. Тим не менш, мембранні пори часто закупорюються через велику кількість відокремлених твердих речовин, що також вимагає великої кількості води для очищення.

Розглядаючи концентрацію харчових продуктів, необхідно також

враховувати сенсорні, фізико-хімічні та харчові якості. У порівнянні з традиційними процесами випаровування, концентрація заморожування є найбільш підходящою та новою технологією завдяки низькотемпературному застосуванню, отже, зберігаючи основні біологічно активні сполуки, що містяться в молочних матрицях, які відповідають за смак, сенсорні аспекти та функціональність продукту. Тим не менш, здатність забезпечувати високу сенсорну якість, широке прийняття клієнтами та зниження витрат є постійними цілями всіх харчових галузей.

На основі вище зазначеного можна вважати, що концентрація заморожуванням – це процес, який використовується для збільшення концентрації рідини шляхом видалення частини вмісту води шляхом заморожування та подальшого видалення кристалів льоду. Процес сублімаційного концентрування використовується для отримання концентрованих продуктів без використання тепла, що може пошкодити або змінити смакові та поживні властивості продукту. Крім того, процес можна використовувати для зменшення обсягу рідких продуктів, що робить їх простішими та економічно вигіднішими для транспортування та зберігання. Сублімаційне концентрування використовується для виробництва широкого спектру концентрованих продуктів, включаючи соки, пюре та концентрати. Деякі з найбільш часто концентрованих сублімованих продуктів включають яблучний сік, апельсиновий сік і журавлинний сік. Сублімаційне концентрування є поширеним методом обробки, який використовується в харчовій промисловості для різноманітних харчових продуктів.

Одним із методів видалення води з фруктових соків без її нагрівання та зміни смаку є концентрація заморожування. Концентрація заморожування заснована на фракційній кристалізації води в лід і подальшому відділенні кристалів льоду від концентрованої рідини. Цей процес зберігає якість свіжого соку. Експлуатація при мінусових температурах зберігає ароматизатори, які мають властивість випаровуватися в процесі нагрівання. Додатковою перевагою є те, що концентрація заморожування не термічно пошкоджує тендітні компоненти, такі як колір, вітаміни та поживні речовини. Сублімовані рідкі продукти та соки часто набагато смачніші, ніж випарні концентрати.

Концентрація заморожування або кріоконцентрація (від грец. *krúos*, що означає «холод») – це техніка, яка застосовується для концентрації рідких продуктів на етапі попереднього заморожування з подальшим відділенням чистих кристалів льоду. Після кристалізації видаляється фракція води, що збільшує вміст розчинних твердих речовин у розчині. Під час процесу рідина, що містить розбавлені розчинені речовини, охолоджується нижче точки замерзання в контрольованих умовах, уникаючи евтектичної температури. У цей конкретний момент розчинник (тобто вода для рідких продуктів) і одна з розчинених речовин замерзають одночасно. При контролі замерзання рідкої їжі утворюються кристали льоду вище евтектичних температур, що підвищує чистоту кристалізованої води, зберігаючи всі властивості вихідного розчину. Враховуючи початкове рішення, верхня межа концентрації заморожування становить від 40% до 50% від вмісту твердих речовин, що змінюється відповідно до харчової матриці та швидкості розчинних сухих речовин.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Концентрацію можна проводити багаторазово для зменшення вмісту води, хоча це залежить від бажаної мети, виходу кожного етапу концентрації та складу сировини.

Розглянуто методи концентрації заморожуванням.

1. Концентрація замерзання суспензії. Техніка забезпечує кристали льоду обмеженого розміру, щоб ефективно відокремити лід від маточного розчину, дрібні частинки льоду повинні пройти дозрівання при якому дрібні кристали з часом переосідають у більші кристали. Завдяки високій швидкості сепарації концентрація заморожування суспензії застосовується як ключова технологія при обробці рідких харчових продуктів у промислових умовах. Тим не менш, дана технологія вимагає великої кількості комплектів обладнання та збільшеного часу роботи, тому обмежується масштабними процесами в режимі безперервної роботи.

2. Прогресивна концентрація заморожування. На відміну від методу концентрації замерзання суспензії прогресивна концентрація заморожування заснована на кристалізації шару, де утворюється шаруватий лід великої маси або один великий кристал льоду, що полегшує розділення завдяки зчепленню кристала з холодною поверхнею. Окрім концентрації заморожування плівки, цей метод став одним із найважливіших способів концентрування рідкої їжі, зберігаючи її термолабільні сполуки. Процес полягає в частковому заморожуванні розчину при постійному перемішуванні, яке зазвичай використовується для зменшення розчиненої речовини в шарі льоду. Як правило, шар льоду утворюється в стінках резервуара (холодна поверхня) і легко відділяється від кінцевої концентрації. Цей поділ може бути виконаний тим самим обладнанням, що зменшує експлуатаційні витрати, а також витрати на техніку та технічне обслуговування.

3. Концентрація блокового заморожування. Метод є одним з найбільш вивчених і застосовуваних методів концентрації заморожування. Концентрація блокового заморожування, також відома як заморожування, полягає в повному заморожуванні розчину, тобто центральна температура розчину нижче його точки замерзання. За ним слідує часткове розморожування, що виконується за допомогою методу гравітаційного розморожування. Блок льоду діє як тверда матриця, пропускаючи рідини з високою кількістю розчинних твердих речовин. Температура розморожування є первинною для підвищення ефективності концентрації, що дозволяє подолати швидкість 90%, зменшуючи вміст твердих речовин, що утримуються у фракції льоду. Відділення фракції льоду від кінцевого концентрованого розчину пов'язуватиме гравітацію та додаткові методи, такі як вакуум, відцентрова сила, мікрохвильова піч або білок зародження льоду, покращуючи продуктивність розчиненої речовини. Така методика повідомляється як найбільш перспективна та ефективна практика отримання концентрованих рідких продуктів з великою харчовою цінністю, а також зі збереженням сенсорних властивостей.

Здійснено порівняльну характеристику методів концентрації заморожування та традиційного процесу термічної концентрації, виокремлено переваги та недоліки.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОНЦЕНТРУВАННЯ РІДКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ВИМОРОЖУВАННЯМ

2.1 Кінетика процесу виморожуванням вологи

Концентрація заморожування практикується в харчовій промисловості вже більше 30 років. Технологія використовується для овочевих та фруктових соків. Концентрація заморожування використовується для виробництва екстрактів кави та чаю, створення сухого молока або оцту для загущення. Пиво і вино концентруються для зручності зберігання і транспортування. Кристали льоду утворюються на холодній стінці кристалізатора і зішкрібаються з цієї стінки. Механізм процесу концентрування рідких середовищ виморожуванням вологи визначається в основному режимом проведення зазначеного процесу та характером зв'язку вологи з матеріалом чи умовами міграції молекул води до поверхні фронту кристалізації та вбудовування в кристалічну структуру льоду. Режим виморожування вологи, визначальний механізм процесу, характеризується наступними параметрами: температурою середовища або теплообмінної поверхні, що сприймає теплоту кристалізації вологи, швидкостями переміщення та площею поверхні контакту теплообмінних середовищ, видом та концентрацією розчинених речовин. Так виявляється залежність механізму виморожування від зовнішніх факторів, що об'єднуються поняттям режиму виморожування.

У процесі концентрування виморожуванням розрізняють також видалену і невидалену вологу. Водовмісне рідке середовище може бути сконцентроване виморожуванням тільки до евтектичної концентрації, відповідає максимальному вмісту розчинених речовин і мінімальній температурі при якій середовище, що виморожується, замерзає без поділу на складові компоненти. Буде виділятися волога, що зумовлює вміст розчинних речовин у середовищі нижче евтектичної, а невдалої – що зумовлює вміст розчинних речовин у середовищі вище евтектичної. Евтектична концентрація залежить від виду та природи розчинних речовин.

Процес виморожування вологи є комплексними процесами тепло- та масообміну рідкого середовища з поверхнею теплообміну та масопередачі всередині рідкого середовища. Така складність механізму виморожування, що залежить від великої кількості факторів і, насамперед від властивостей самої середовища, що виморожується, створює труднощі, як вивченні процесу, так і в узагальненні результатів дослідів та математичному їхньому оформленні [13]. Теплофізична сутність теплообмінних процесів полягає в тому, що поверхня теплообміну забирає теплоту від виморожуваного середовища, причому, теплота частково передається при кристалізації води в лід, а частково

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Пестушко				Удосконалення обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Цвіркун						20	15
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО			
Затверд.	Хорольський							

передається в рідкому середовищі внаслідок теплопровідності. При цьому виникають дифузійні процеси: волога на поверхні контакту з поверхнею теплообміну перетворюється на тверду фазу, та якщо з внутрішніх шарів Середовище відбувається міграція вологи до більш концентрованого шару Насправді описані теплові та масообмінні процеси ускладнюються побічними явищами та процесами, що виникають при концентрування виморожуванням.

Тепловіддача відбувається виключно на поверхні теплообміну, кристалізація ж вологи тільки на початку процесу виморожування відбувається на теплообмінній поверхні в апараті, а потім поверхню теплообміну з геометричною поверхні охолодження апарату переміщається разом із фронтом кристалізації, утворюється шар льоду, товщина якого збільшується, а теплота, що відводиться при кристалізації вологи, крім подолання термічного опору прикордонного шару, має долати все час, що зростає термічний опір шару вимороженого льоду – зони кристалізації, передача теплоти у цьому шарі відбувається лише шляхом теплопровідності, а це означає, що в міру утворення та поглиблення зони кристалізації вологи інтенсивність льодоутворення зменшується, швидкість виморожування падає.

Вода замерзає при температурі при 0°C. При додаванні у воду розчинних твердих речовин, таких як цукор температура замерзання знижується в міру того, як відбувається концентрація. При певній температурі рідини певна кількість води замерзає в лід, а решта води зберігає розчинні тверді речовини для отримання більш концентрованого розчину. Якщо температуру матеріалу знизити, більша частина води перетворюється на лід і концентрація розчинних твердих речовин у рідині, що залишилася, збільшується. Так триває до тих пір, поки рідина не стане настільки концентрованою, що деяка розчинна тверда речовина в розчині досягне насичення для існуючої температури [14]. Після цього посилене охолодження викличе кристалізацію як води, так і розчинної твердої речовини, яка була сконцентрована до насичення. Інші розчинні тверді речовини, які не досягли насичення, можуть бути ще концентрованими. Оскільки весь принцип концентрації соків шляхом заморожування заснований на поділі води у вигляді льоду, вивчення утворення кристалів льоду повинно дати можливість користувачеві впливати на розвиток льоду та ефективність відділення від концентрованого розчину. Знання розміру, форми та напрямку кристалічних агрегатів. Тому необхідно узагальнити фактори, що впливають на їх характеристики.

Кристалічний візерунок льоду та утворення кристалічних агрегатів льоду в розчині може відрізнитися за формою, розміром, розташуванням і напрямком. Було відзначено, що в міру зростання агрегатів в цукрових розчинах при повільному замерзанні вони ставали в кілька разів довшими та ширшими. На розмір кристалічних агрегатів льоду впливає швидкість розвитку кристалів льоду, повільна швидкість обумовлює великі розміри.

Також впливає концентрація розчину, низький відсоток води викликає невеликі розміри. Швидкість заморожування визначається декількома факторами:

- температурою холодильного середовища;
- видом середовища, повітря якого є повільним провідником тепла;

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- кількістю розчину на одиницю відкритої поверхні, на яку впливає розмір і форма сировини;
- глибиною утворення льоду або кількістю іншої речовини;
- концентрація розчину.

Наявність розчинних твердих речовин знижує температуру замерзання і тим самим зменшує швидкість замерзання при будь-якій заданій температурі. Це також зменшує кількість води, доступної для фризуння, що є більш важливим, і кінцевим результатом є менші кристали, ніж можна було б отримати при менш концентрованому розчиненні.

Розташування та напрямок утворення кристалів льоду в розчині цукру або фруктового соку регулюється:

- щільністю розчину при різних температурах;
- кількістю впливу розчину холодоагентом або охолоджувальним агентом, на який впливає розмір і форма контейнера;
- концентрацією розчинних твердих речовин у незамерзеної частині.

Густина розчину цукру більше, ніж води, тому питома різниця ваги між цим розчином і льодом навіть більше, ніж між водою і льодом. Перший лід, який утворюється, знаходиться на верхній поверхні, якщо охолодження однакове на всіх поверхнях. Перші кристали йдуть горизонтально, а утворені пізніше агрегати розвиваються далеко від джерела охолодження.

2.2. Термограма заморожування та плавлення рідких харчових речовин

Концентрація заморожуванням – це нова технологія концентрації натуральних продуктів у точках замерзання шляхом утворення кристалів і подальшого відділення кристалів льоду. Ця технологія була запропонована як життєздатна альтернатива звичайним методам концентрації, таким як випаровування та мембрана технологія, які традиційно використовуються в харчовій промисловості. Найбільша перевага використання концентрації заморожування пов'язана з низькими температурами, які досягаються у процесі та відсутністю межі розділу рідина-пара. Немає втрати летких речовин, що робить цю техніку дуже придатною для концентрації термочутливих рідин і дозволяє уникнути проблем частотої заміни мембрани.

Перед початком процесу концентрування фруктових соків заморожуванням необхідно здійснити характеристика їх фізико-хімічних властивостей (криві замерзання, вміст сухих речовин, щільність, в'язкість) задля аналізу процесу концентрації заморожуванням. Наприклад, розчини з високими концентраціями розчинних твердих речовин мають високі значення густини, а в'язкість є одним із обмежуючих факторів у процесі концентрування заморожуванням [9]. Робочі температури під час процесу знижуються, а рідини підвищують свою концентрацію, що призводить до збільшення їх значення в'язкості. Число Рейнольдса прямо пропорційно густині і непрямо пропорційно в'язкості рідин. Крім того, в'язкість також впливає на утворення кристалів льоду на пластинах, ускладнюючи процеси зародження та росту кристалів. Велику роль у процесах теплопередачі відіграють питома теплоємність і

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

теплопровідність. З цими характеристиками пов'язані такі фактори, як кількість тепла, яке потрібно видалити і розрахунковий час заморожування.

Температура замерзання кожного розчину залежить від типу розчинних твердих речовин, присутніх у розчині та їх концентрації. Точка замерзання знижується зі збільшенням концентрації до досягнення точки евтектики. При температурах нижче цієї точки утворюються лише лід і розчинні тверді кристали. Експериментальні криві заморожування можна використовувати для оптимізації умов обробки обладнання для концентрування заморожуванням: умови роботи та вимоги до охолодження в основному залежать від температури замерзання. Тому вибір раціональної температури охолодження є однією з найважливіших завдань при реалізації технології низькотемпературного концентрування методом виморожування вологи. Кристалізація вологи в рідких харчових середовищах є складними багатокомпонентними розчинами, які обумовлюється наявністю великої кількості евтектичних сумішей, що виникають при зниженні температури харчового середовища та виділення розчинника у вигляді чистого льоду.

Температура, за якої вся волога продукту затвердіває може вважатися максимальною температурою повного затвердіння. Вона може служити нижньою межею щодо температурної зони заморожування. Температура, за якої заморожений харчовий продукт починає плавитися хоча б частково, може вважатися мінімальною температурою плавлення. Мінімальна температура плавлення відрізняється від максимальної температури повного застигання і набагато вище її. Це пов'язано з тим, що у процесі заморожування проміжні евтектичні суміші переохолоджуються, затримуючи подальшу кристалізацію. Тому продукт необхідно охолоджувати до більш низької температури. Слід враховувати, що заморожені проміжні суміші розплавляються при більш високій температурі.

Для таких розчинів є евтектична температурна зона, у межах якої і відбувається кристалізація вологи. Визначення таких температурних зон для продуктів, що піддаються заморожування та вимороженню вологи, вкрай необхідно для правильного вибору режимних параметрів їхньої обробки. Для рідких харчових середовищ, які є складними біологічними системами, евтектична температура визначається неоднозначно і може бути представлена у вигляді набору точок фазового перетворення.

Сутність «термографічного» аналізу полягає у вивченні фазових перетворень, що виникають у речовинах та супроводжуються тепловими ефектами. Досліджуваний зразок піддається поступовому охолодження або нагріванню із безперервним контролем температури. При виникненні у речовині перетворення того чи іншого характеру відбувається зміна швидкості його нагрівання або охолодження за рахунок поглинання чи виділення теплоти фазового переходу [10]. Ці зміни відбиваються на термограмі різким відхиленням температурної кривої від лінійного запису. За отриманими термограмами визначають характерні температури фазових перетворень, що є специфічними для кожної речовини. Отримані термограми заморожування та плавлення апельсинового соків представлені на рисунку 2.1.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Процеси підвищення чи зниження температури досліджуваного продукту завжди супроводжується більш-менш значною зміною внутрішнього тепломістку системи. При виникненні екзотермічного ефекту при заморожуванні виражається різким відхиленням диференціальної кривої вгору, ендотермічний ефект при плавленні замороженого продукту викликає відхилення диференціальної кривої вниз.

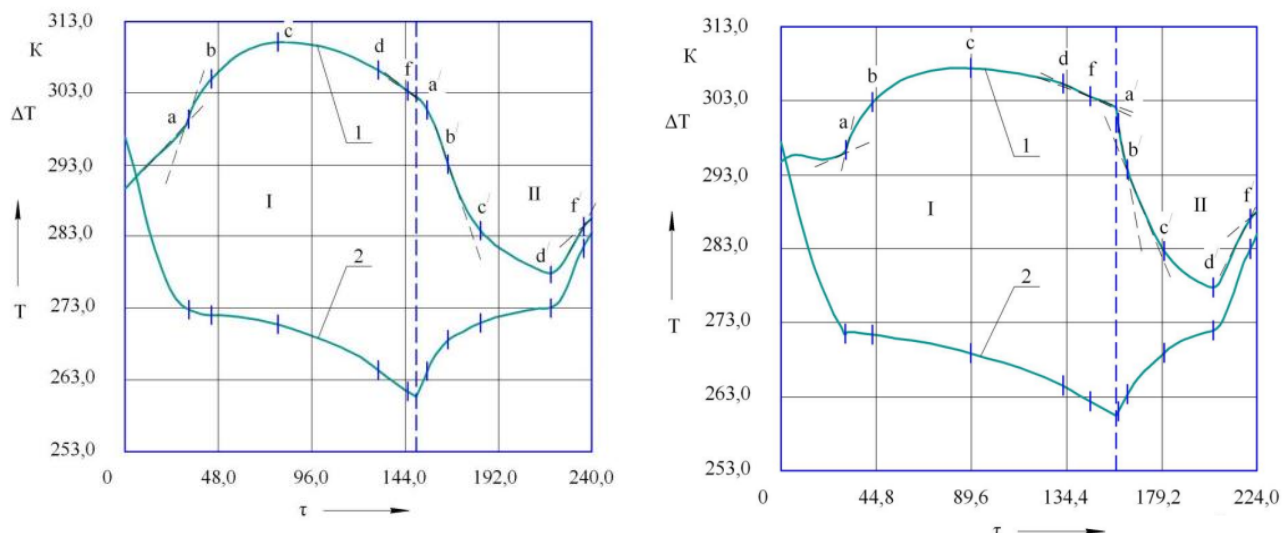


Рисунок 2.1 – Термограма заморожування та плавлення апельсинового соку: I – період заморожування; II – період плавлення; 1 – показання диференціальної терморпари; 2 – показання терморпари (апельсиновий сік та свіжовичавлений апельсиновий сік)

Для процесу заморожування характерна наявність кількох різких зламів на диференціальній кривій, що відповідають температурам фазових переходів, позначених ділянками: a – переохолодження; ab – утворення зародків кристалів льоду та початок кристалізації; bcd – подальша інтенсивна кристалізація вологи. Для процесу плавлення характерно більш плавне початок процесу, відзначене на диференціальній кривій прямолінійною ділянкою a/b' далі ділянка b/c', що відображає плавний перехід до зони інтенсивного плавлення, а ділянка c/d' – зона інтенсивного плавлення. Найнижча температура кривої замерзання показує початок процесу утворення кристалів льоду (зародження). Після цього відбувається підвищення температури за рахунок прихованої теплоти зміни фази. Найвища температура, досягнута в цій точці, відповідає точці замерзання зразка. Це пов'язано з фазою росту (кристалізації) кристалів льоду. Різниця між точкою замерзання та найнижчою досягнутою температурою називається переохолодженням.

Аналіз та порівняння отриманих термограм процесів заморожування і плавлення плодкових соків дозволило встановити, що термограма процесу плавлення дозволяє виявити наявність кількох температурних зон, відповідних досліджуваних фазових переходів. Термограма процесу заморожування дозволило відзначити лише одну невідому зону – зону інтенсивної кристалізації при температурі точки c до температури точки d. При цьому процес

кристалізації вологи в досліджуваних соках не завершується за температури точки d, оскільки при цій температурі вода кристалізується в повному обсязі. Термограма плавлення дозволила встановити, що при температурі, що відповідає температурі точки d відбувається інтенсивне плавлення, а початок процесу спостерігається при температурі точки a'. Отже, повна кристалізація вільної вологи в плодovих соках відбувається в зоні температур нижче за точку a', відповідних їх евтектичних концентрацій.

Проведений аналіз показує, що термограма плавлення відбиває найповніше картину фазових переходів вологи у продукті. При визначенні евтектичної точки при підвищенні температури досліджуваних соків спостерігається значне розходження між кривою охолодження та кривою подальшого отеплення. При заморожуванні у зв'язку з явищем переохолодження продукту, повна кристалізація вологи в ньому досягається при температурі значно нижчою, ніж температура плавлення евтектичної концентрації. Криві охолодження не дуже точно збігаються і відрізняються одна від одної у різних дослідах. Тому лише температура плавлення евтектичної концентрації, що виявляється при нагріванні плодovого соку відповідає його евтектичній точці.

Проведений термографічний аналіз для всіх досліджуваних соків дозволив з великою точністю виявити ендотермічні процеси. Характерним для термограм соків є згладжений початок процесу плавлення. Характер температурних кривих аналогічний всім видів соків, а температурні зони, куди розбиті ці криві, трохи відрізняються одна від одної. Для апельсинового соку та свіжовичавленого апельсинового соку процесу плавлення відбивається прямолінійною ділянкою a'b' на диференціальній кривій. Цьому відповідає характерна зміна кута нахилу, а для зони інтенсивного плавлення не зазначена наявність проміжних точок перегину диференціальної кривої, що свідчить про відсутність плавлення проміжних евтектик.

Аналіз термограм плавлення заморожених середовищ дозволив встановити три температурні зони плавлення: зона початку плавлення, перехідна зона початку інтенсивного плавлення та зона інтенсивного плавлення. Температурні зони, виявлені методом диференціального термічного аналізу, що характеризують певні фазові переходи в процесі плавлення досліджуваних соків показали, що теплофізичний характер цього процесу має складний характер. Процес плавлення плодovих соків залежно від виду його, вмісту сухих речовин і хімічного складу відбувається при різній температурі та з різною інтенсивністю [15]. Плавлення кристалізованої вологи в соках може бути представлено на підставі кінетичної теорії рідини як процес розпорядження взаємно орієнтованих молекул у разі підвищення температури. Ступінь порядку розташування центрів взаємної орієнтації молекул виявляє тенденцію до зменшення ще до точки плавлення. Процес розпорядження набуває, так званого, самоприскорювального характеру, полягає в тому, що для подальшого зменшення ступеня порядку потрібно тим менше витрат енергії, що більше він порушений. На початку процесу плавлення кристалізованої вологи відбувається плавне відхилення диференціальної кривої, яке можна пояснити наявністю великої кількості розчинених сполук вихідної сировини, а

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

отже і велику кількість окремих евтектик в соку. Бо як частка кожної евтектики у загальному обсязі дуже мала, те й фазові переходи не можуть бути яскраво виражені на диференціальній температурній кривій.

Отримати на кривій яскраво виражене відхилення від початкового напрямки, що відповідає певній евтектичній точці, вдається тільки за досить великого змісту відповідного компонента у розчині. Явище плавного міжфазового переходу води в кригу при концентруванні апельсинового соку можна пояснити і низькою теплопровідністю соків, що викликає деяку різницю температур навішування в периферичній та центральній частинах зразка. Коли плавлення починається біля стінки бюкси, то температура у спаю термопари кілька нижче.

Оскільки фазовий перехід води в лід здійснюється за постійної температури, то ця різниця температур поступово зменшується і призводить до уповільнення підвищення температури у спаю термопари, в той час як швидкість зміни температури зразка залишається постійною. Таке явище викликає поступове наростання різниці температур між спаями диференціальної термопари, що викликає плавлення кристалізованої вологи і, відповідно, плавне закруглення кривою.

Таким чином, можна вважати, що початкова зона плавлення відображає початкову стадію процесу розпорядження молекул взаємно орієнтованих навколо центрів кристалізації. Температура процесу визначається по початку та кінцю прямолінійного відхилення диференційного запису. Потім процес плавлення прискорюється, переходячи в критичну область другої температурної зони, вищої, де поступово наростає кількість дезорієнтованих молекул і порушується стан термодинамічної кристалічної стійкості грати льоду в продукті.

Найбільшій інтенсивності процес плавлення досягає у третій зоні фазового перетворення при досягненні температури повного розплавлення кристалізованої вологи, що підтверджується стрибкоподібним характером його перебігу. Кінець процесу характеризується різким відхиленням ходу диференціальної кривої запису температури. Проекція цієї точки на криву простий запис температури відповідає кінцю похилого (прямолінійного) відрізка кривої простого запису [9-12]. Для цієї ділянки кривої характерно наявність деякого майданчика, який з'являється внаслідок повільного проходження процесу повного розплавлення льоду у продукті. Повернення диференціальної кривої до первісного горизонтальному напрямку вказує на остаточне вирівнювання температур між зразком та еталоном.

Використовуючи отримані термографічні криві для всіх досліджуваних плодкових соків було знайдено енергію активації процесів кристалізації та плавлення вологи, яка пов'язана зі значенням диференціальної температури в області температур зразка від температури початку піку до температури максимуму піку відхилення диференціальної кривою. Зробивши припущення, що кристалізація вологи настає у точці переохолодження, позначеної на диференціальній кривій літерою а, плавлення льоду починається безпосередньо в точці b' рівняння для процесів кристалізації та плавлення плодового соку запишеться наступним чином:

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

для процесу кристалізації [9]

$$E = \frac{R(\ln(T_c - T_a) - \ln(T_f - T_c))}{\frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_a}}$$

де T_a , T_c та T_f – значення температур, що відповідають характерним точкам на кривий простий запис температури при кристалізації плодового соку, К.

для процесу плавлення

$$E = \frac{R(\ln(T_{b'} - T_{c'}) - \ln(T_{f'} - T_{c'}))}{\frac{1}{T_{f'}} - \frac{1}{T_{c'}}}$$

де $T_{b'}$, $T_{c'}$ і $T_{f'}$ – значення температур, що відповідають характерним точкам на кривий простого запису температури при плавленні плодового соку, К.

При цьому характерні точки початку та закінчення процесів кристалізації та плавлення визначалися як точки перетину нульових ліній термограми з продовженням прямолінійних ділянок ендо та екзотермічних піків. Деяке відхилення значень величин енергії активації процесів кристалізації та плавлення вологи в плодovих соках виникло в результаті усунення характеристичних точок термограми через неоднаковість умов відведення та підведення теплоти.

2.3 Удосконалення скребкового кристалізатора для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням

Кристалізація льоду – це надзвичайно складний зв'язаний рідинний і двофазний потік з теплопередачею, які викликають зародження льоду та ріст кристалів. Існує великий інтерес до розуміння цього процесу та параметричного впливу, такого як температура, рівень насичення та інші умови процесу, на кінетику зародження та росту кристалів льоду. Це пов'язано з широким застосуванням цього процесу в консервуванні харчових продуктів, приготуванні льоду та заморожених десертів, концентрації фруктового соку.

Всі методи заморожування включають в себе два основних етапи. Перший етап – це кристалізація льоду шляхом відведення тепла води, де в морозильній камері (або кристалізаторі) відбувається зародження і зростання льоду при певній температурі переохолодження. Другий етап – сепарація і плавлення. На цьому останньому етапі утворені кристали льоду відокремлюються від кінцевого концентрату, а потім розплавляються для отримання соку як кінцевого продукту. Звичайна секція кристалізації системи безперервної концентрації заморожування заснована на принципі розділеного

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

зародження і росту [11]. Поверхневий теплообмінник зі скребками забезпечений безкристалізованим маточним розчином, який отримують шляхом зіскрабованого льоду в рекристалізаторі. Із системи відводиться необхідне тепло для забезпечення кристалоутворення. Вихідний отвір містить кристали льоду, які закачуються в рекристалізатор. Рекристалізатор забезпечує достатній час перебування для росту кристалів, що відбувається в результаті ефекту дозрівання. З рекристалізатора суспензія транспортується в промивну колону, де кристали льоду відокремлюються від концентрату з дуже високою ефективністю, утворюючи надчистий водний потік.

Існують різні методи кристалізації заморожування, основними чотирма методами яких є прямий контакт, непрямий контакт, вакуум і евтектична заморожування кристалізація. Хоча останні розробки в області кристалізації заморожування ввели два нових методи утворення кристалів льоду, які підпадають під непрямую контактну кристалізацію: кристалізацію суспензією і кристалізацію на холодній поверхні. При кристалізації прямого контактного заморожування використовується холодоагент у безпосередньому контакті з розчином, що заморожується. В основному, цей метод має робочу температуру -5°C , що характеризує його як процес низького енергоспоживання.

При кристалізації непрямого контактного заморожування холодоагент без прямого контакту з розчином, що кристалізується, тобто енергія холодоагенту буде проходити через стінки теплообмінника. В цілому непряме заморожування можна класифікувати на два основних класи: заморожування суспензією та заморожування на холодильній плиті. Прогресивне заморожування включає трубку, заповнену розчином, для концентрації та поступове занурення в холодний холодоагент. У трубці з розчином використовується мішалка для зниження вмісту домішок поблизу шару росту льоду. Крім того, заморожування падаючої плівки є динамічним методом кристалізації, коли розчин, що підлягає концентруванню, знаходиться в безпосередньому контакті з охолодженою вертикальною поверхнею [12]. При вакуумному заморожуванні кристалізація використовує високий вакуум для випаровування частини води, який потім забезпечує ефект охолодження за рахунок зниження температури розчину, що викликає кристалізацію льоду.

У порівнянні з конкурентними технологіями концентрації, такими як випаровування та зворотний осмос, перевагами концентрації заморожування є: висока вибірковість – відокремлена вода може бути безпосередньо скинута або повторно використана в процесі; збереження енергії щодо випаровування; Застосовність до широкого спектру складів стічних вод. Поточними недоліками концентрації заморожування є складність роботи кристалізаційного обладнання і пов'язана з цим висока інвестиційна вартість.

Для хорошого ефекту шабрування необхідна надзвичайно гладка поверхня в зоні контакту скребка і сталевого циліндра з сорочкою. Це дозволяє уникнути скупчення кристалів на охолодженій стінці, що з часом призвело б до крижаної пластини. Пластини для льоду ізолюють – ефект, відомий з морозильної камери в домашніх умовах, що призводить до зниження передачі температури в положенні пластин льоду і з часом до збільшення витрат на енергію та процес. Тому необхідно враховувати процес, що відбувається

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

всередині загального охолоджуючого кристалізатора або всередині евтектичного заморожуваного кристалізатора, уникаючи подряпин поверхні теплообмінника з метою вдосконалення скребка та конструкції кристалізатора. Одним з обмежуючих факторів теплообміну в процесах в процесі кристалізації є утворення шару льодового накипу на поверхні теплообмінника. Чим більші теплові потоки, які можуть бути збережені до осідання шару льоду, тим більша швидкість виробництва льоду може бути досягнута. Ці теплові потоки пов'язані з різницею температур між теплоносієм і розчином.

Незважаючи на те, що скребки використовуються для збільшення тепловіддачі на стороні розчину, а також для уникнення утворення ізоляційного шару крижаної накипу, такі скребки ефективні лише для збереження поверхні вільною від льоду до певної різниці температур. Після цієї різниці температур скребок втрачає свою ефективність, а утворення льоду знижує швидкість теплопередачі до точки, коли процес не може бути продовжений [16]. Дослідження свідчать, що ефективність скребоків залежить від їх форми, матеріалу з якого вони виготовлені та від сили, з якою вони діють на поверхню. Також зазначено, що тенденція до лушення льоду зростає в евтектичних системах з присутніми кристалами розчиненої речовини та льоду. Молекули розчиненої речовини повинні дифундувати від поверхні льоду, щоб лід ріс. Коли цей надлишок розчиненої речовини може бути поглинений зростаючими кристалами, рушійна сила для росту льоду стає більшою, що призводить до більш високої швидкості росту льоду на поверхні теплообмінника. Це узгоджується з тим, що найбільш схильні до утворення накипу чисті розплави, тут чиста вода.

Для горизонтальної поверхні теплообмінника, яка рівномірно охолоджувалася знизу і рівномірно зішкрябається зверху, накип все одно переважно починається на певних ділянках поверхні. Оскільки утворення льодового накипу в певному місці на поверхні теплообмінника є наслідком місцевої різниці температур між поверхнею і розчином то з цього випливає, що температура на поверхні відрізняється локально. Ці коливання місцевих температур, швидше за все, будуть викликані полем потоку всередині кристалізатора. Тому форма скребка має великий вплив на турбулентний потік рідини. Поточні обмеження звичайної концентрації заморожування у процесі великомасштабного застосування включають:

- недостатнє циклювання скребоків на охолоджуваній стінці;
- недостатнє перемішування і масообмін на охолодженій стінці з основною масою циркулюючого соку;
- механічно складні конструкції з високими витратами на обслуговування та експлуатацію.

Тому для усунення цих недоліків необхідно здійснити оптимізацію скребкового кристалізатора за рахунок, перш за все форми скребка. Вплив скребоків на динаміку потоку залежить не тільки від їх положення і швидкості, але і від їх особливої форми. Тому особливу увагу необхідно приділити геометрії скребка. Скребок видаляє прикордонний шар рідини на поверхні та турбулентно змішує цю рідину з сипучою рідиною, що збільшує тепловіддачу. У деяких конструкціях кристалізаторів не використовуються змішувачі, а

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

скребки забезпечують єдину механічну дію, яка відповідає за поле потоку і, отже, за температуру і розподіл частинок. В умовах, коли накладений тепловий потік викликає шар накипу, стабільна робота все ще можлива до тих пір, поки кристали, що утворилися близько до або на поверхні апарату відводяться від поверхні. Геометрія скребка повинна направляти частинки в об'ємний розчин, де вони або розчиняються, або ростуть в розподіл кристалів за розмірами. Таким чином, роль геометрії скребка не обмежується його впливом на потік, але також визначає ефективність видалення прикордонного шару рідини та швидкість видалення кристалів з поверхні.

Скребок має вертикальну форму, яка закінчується гострим наконечником і кріпиться до важеля скребка за допомогою верхнього тримача. Нормальне зусилля на пластину теплообмінника прикладається пружинами або повітряними балонами, які розташовані між тримачем і скребком. Ці види скребоків зазвичай використовуються в різних типах охолоджуючих кристалізаторів. Вертикальна форма скребка призводить до накопичення частинок перед скребком (рис. 2.2). Тому запропоновано застосовувати скребок з більш обтекаємою формою без зовнішніх тримачів або інших виступів. Скребки кріпляться до валу за допомогою внутрішнього металевого стрижня, а сила, що діє на поверхню теплообмінника, прикладається шляхом кручення цього стержня.

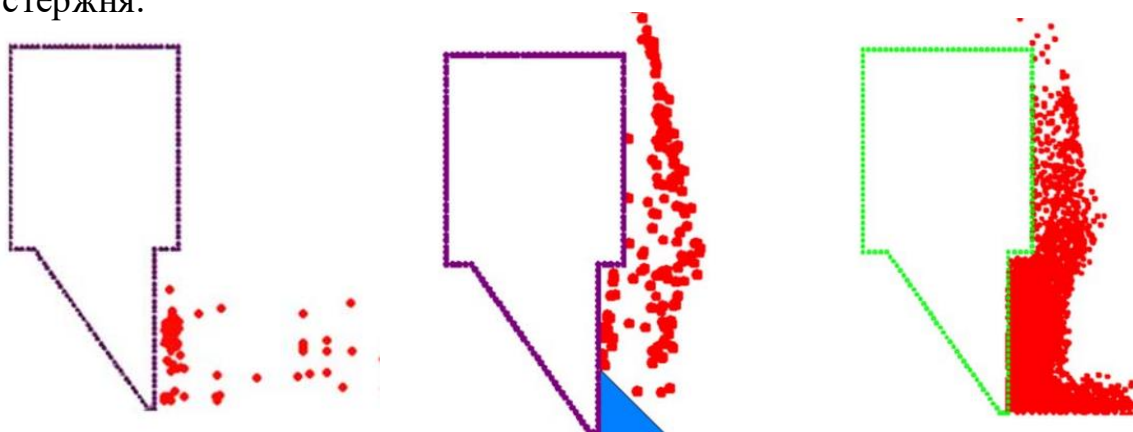


Рисунок 2.2 – Вертикальна форма скребка [16]

Важливим є вплив геометрії скребка на параметри, що впливають на стабільність процесу кристалізації, такі як ефективність вишкрябання, змішування розчиненої речовини та кристалів, а також спрямування зіскоблених кристалів до основної маси кристалізатора. У цьому відношенні порівнювалися дві конкретні геометрії скребка. У випадку з більш оптикаємим скребком частинки льоду плавно слідує за потоком, який транспортує їх через верхню частину скребка, але перенаправляються на поверхню в задній частині скребка. Також, завдяки своїй формі, тепловий шар, що знімається з поверхні зіскобленого теплообмінника, залишається близько до зони шабрування і не сильно змішується з сипучою рідиною. На відміну від цього, вертикально орієнтований скребок змішує знятий термічний шар вище з основною масою. Недоліком вертикально орієнтованого скребка є сильне скупчення частинок у його передній частинці. Це може сприяти утворенню

більших шматків кристалів (льоду) під час накопичення агломерації. Ці великі агломерати, що вивільняються в кристалізаторі, створюють серйозний ризик для стабільності процесу.

Кілька процесів охолодження кристалізації складаються з розчинів або розплавів, які під дією теплообмінників виводяться в пересичені області, де будуть утворюватися кристали. У промислових безперервних процесах, де в кристалізатор постійно подається рідина, обов'язковим є контроль і стабільність температури сипучого розчину. З цієї причини ступінь турбулентного потоку в кристалізаторах необхідний для досягнення хорошого перемішування всього розчину. Коефіцієнти теплопередачі безпосередньо відповідають за темпи виробництва. Час перебування суспензії в кристалізаторі буде визначати розмір і якість кристалів.

Для отримання необхідного перенасичення при охолодженні або кристалізації евтектичного заморожування розплав або розчин охолоджують теплообмінниками апаратами, що знаходяться в безпосередньому контакті з рідиною. Біля поверхні апаратів існує тепловий прикордонний шар, товщина якого залежить від характеристик потоку кристалізатора. У цьому шарі перенасичення вище, ніж в сипучому розчині. Через більш високу перенасичення зародження і зростання кристалів на поверхні відбуваються швидше, ніж в сипучій рідині. Така ситуація відповідає за утворення ізоляційного шару кристалів на поверхні апаратів в тих випадках, коли різниця температур між сипучою рідиною і охолоджуючою рідиною занадто велика. Як наслідок, знижується тепловіддача, що позначається на стабільності процесу кристалізації. Щоб уникнути утворення шару накипу, часто використовують механічні дії, такі як скребкові кристалізатори. Залежно від складу розчину та характеристик механічної дії скребка (швидкості та форми скребка, а отже, і сил, що прикладаються скребком) максимальна різниця температур між рідиною та поверхнею теплообмінного апарату може підтримуватися без появи накипу. Температура по всій поверхні також повинна бути максимально однорідною, щоб уникнути холодних точок, де почнеться утворення накипу і згодом розповсюджуватиметься по поверхні.

Основний фізичний підхід перенесення тепла із зіскобленої пластини в рідину забезпечується теорією проникнення [5, 17]. В основі теорії лежить кондуктивна теплопередача, тобто явища течії і в'язкість технологічного середовища не мають ніякого впливу. Процес теплообміну поділяється на такі етапи:

- тепло проникає шляхом провідності в застійний прикордонний шар над поверхнею теплообміну;
- при проходженні леза скребка відбувається зняття ламінарного прикордонного шару;
- знятий прикордонний шар повністю і миттєво змішується з основною масою;
- знову замінений шар має температуру, що дорівнює наливній температурі.

Для того щоб описати загальний процес теплообміну з таким співвідношенням, час між двома проходками скребка має бути менше або,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

принаймні, дорівнює часу, необхідному для повного проникнення тепла в прикордонний шар. Глибина проникнення характеризується [17]

$$\delta = \sqrt{\frac{\pi \cdot \lambda \cdot t}{\rho \cdot C_p}}$$

При цьому час, необхідний для вироблення шару з глибиною проникнення δ становить

$$t_\delta = \frac{\delta^2 \cdot \rho \cdot C_p}{\pi \cdot \lambda}$$

Повністю розвинений тепловий прикордонний шар в турбулентному потоці має товщину [17]

$$\delta = \frac{\lambda}{\alpha_{\text{turb}}}$$

Отримаємо мінімальну швидкість обертання:

$$N_{\text{min}} = \frac{\pi \cdot \alpha_{\text{turb}}^2}{n \cdot \lambda \cdot \rho \cdot C_p}$$

При збільшенні обсягу кристалізатора процес спрощується і може бути поєднаний два етапи процесу (рис. 2.3). Судина росту кристалів може бути усунена і безперервна циркуляція між кристалізатором і судиною для росту більше не потрібна.

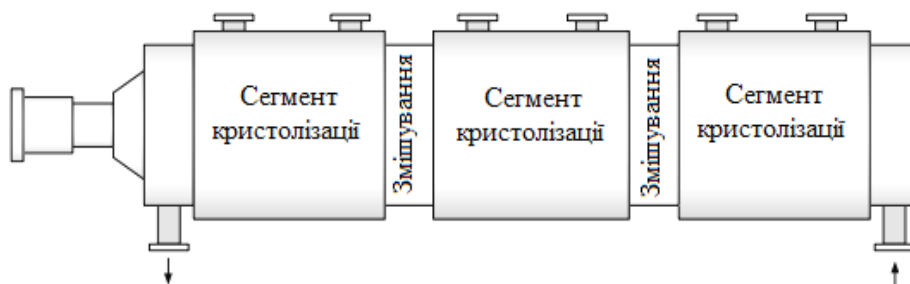


Рисунок 2.2 – Поєднання кристалізатора із змішувальними сегментами

Промивна колонка розташована безпосередньо після кристалізатора із змішувальним сегментом (рис. 2.4). Сегменти кристалізації мають розміри при яких точна обробка зіскобленої стінки все ще можлива без використання спеціальних, дорогих токарних верстатів. Змішувальний сегмент, розташований між двома сегментами кристалізації, має роздільники, які називаються

перегородками, які забезпечують ефективне радіальне та осьове перемішування. Це призводить до збільшення середнього розміру кристалів і запобігає агломерації кристалів. Удосконалений кристалізатор складається з двох торцевих кришок, центрального валу з удосконаленої конструкції скребка і змінного числа сегментів кристалізації, відокремлених один від одного.

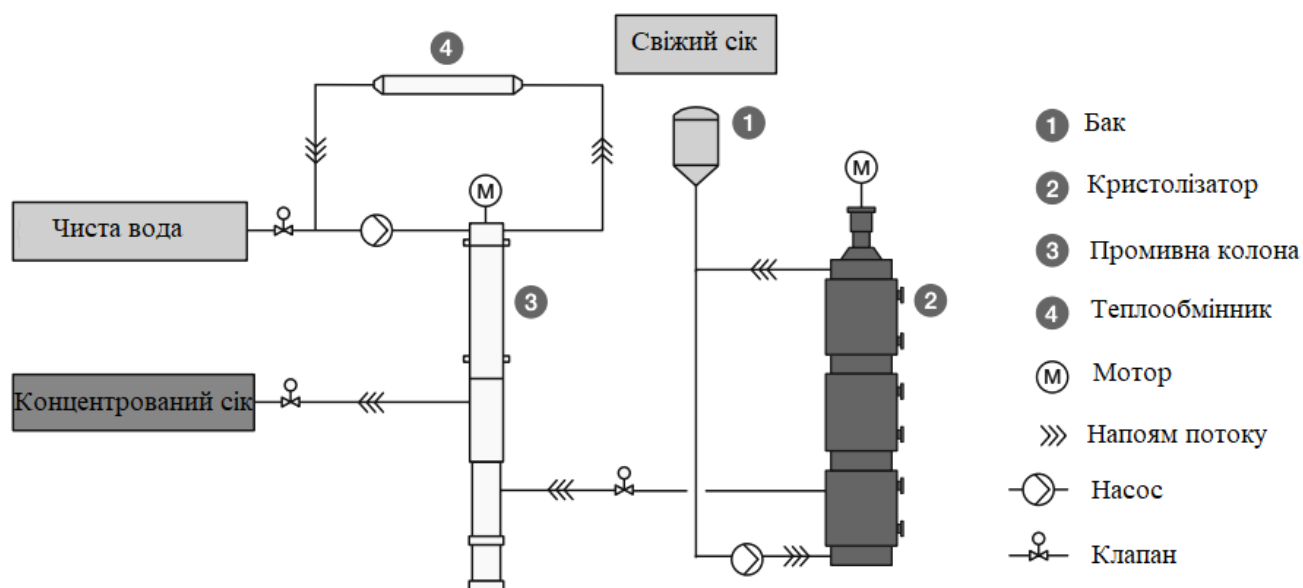


Рисунок 2.4 – Процес концентрації з кристалізатором

Концепція нового кристалізатора полягає в модульній системі побудови. Він розміщує кілька сегментів однакового визначеного діаметра один на одному. Площа установки не збільшується при більшому обсязі кристалізації. Завдяки усуненню судини росту, конструкція навіть зменшується.

На основі вище зазначеного можна вважати, що режим виморожування вологи, визначальний механізм процесу, характеризується наступними параметрами: температурою середовища або теплообмінної поверхні, що сприймає теплоту кристалізації вологи, швидкостями переміщення та площею поверхні контакту теплообмінних середовищ, видом та концентрацією розчинених речовин. Так виявляється залежність механізму виморожування від зовнішніх факторів, що об'єднуються поняттям режиму виморожування.

Зазначено, що поточні обмеження звичайної концентрації заморожування у процесі великомасштабного застосування включають: недостатнє циклювання скребків на охолоджуваній стінці; недостатнє перемішування і масообмін на охолодженій стінці з основною масою циркулюючого соку; механічно складні конструкції з високими витратами на обслуговування та експлуатацію. Тому для усунення цих недоліків необхідно здійснити оптимізацію скребкового кристалізатора за рахунок, перш за все форми скребка.

Вплив скребків на динаміку потоку залежить не тільки від їх положення і швидкості, але і від їх особливої форми. Тому особливу увагу необхідно приділити геометрії скребка. Скребок видаляє прикордонний шар рідини на

поверхні та турбулентно змішує цю рідину з сипучою рідиною, що збільшує тепловіддачу. У деяких конструкціях кристалізаторів не використовуються змішувачі, а скребки забезпечують єдину механічну дію, яка відповідає за поле потоку і, отже, за температуру і розподіл частинок. В умовах, коли накладений тепловий потік викликає шар накипу, стабільна робота все ще можлива до тих пір, поки кристали, що утворилися близько до або на поверхні апарату відводяться від поверхні. Геометрія скребка повинна направляти частинки в об'ємний розчин, де вони або розчиняються, або ростуть в розподіл кристалів за розмірами. Таким чином, роль геометрії скребка не обмежується його впливом на потік, але також визначає ефективність видалення прикордонного шару рідини та швидкість видалення кристалів з поверхні.

Важливим є вплив геометрії скребка на параметри, що впливають на стабільність процесу кристалізації, такі як ефективність вишкрябання, змішування розчиненої речовини та кристалів, а також спрямування зіскоблених кристалів до основної маси кристалізатора. У цьому відношенні порівнювалися дві конкретні геометрії скребка. У випадку з більш оптичним скребком частинки льоду плавно слідує за потоком, який транспортує їх через верхню частину скребка, але перенаправляються на поверхню в задній частині скребка. Також, завдяки своїй формі, тепловий шар, що знімається з поверхні зіскобленого теплообмінника, залишається близько до зони шабрування і не сильно змішується з сипучою рідиною. На відміну від цього, вертикально орієнтований скребок змішує знятий термічний шар вище з основною масою. Недоліком вертикально орієнтованого скребка є сильне скупчення частинок у його передній частинці. Це може сприяти утворенню більших шматків кристалів (льоду) під час накопичення агломерації. Ці великі агломерати, що вивільняються в кристалізаторі, створюють серйозний ризик для стабільності процесу.

При збільшенні обсягу кристалізатора процес спрощується і може бути поєднаний в два етапи процесу, а саме кристалізатора із змішуваннями сегментами. Судина росту кристалів може бути усунена і безперервна циркуляція між кристалізатором і судиною для росту більше не потрібна. Промивна колонка розташована безпосередньо після кристалізатора із змішувальним сегментом. Сегменти кристалізації мають розміри при яких точна обробка зіскобленої стінки все ще можлива без використання спеціальних, дорогих токарних верстатів.

Змішувальний сегмент, розташований між двома сегментами кристалізації, має роздільники, які називаються перегородками, які забезпечують ефективне радіальне та осьове перемішування. Це призводить до збільшення середнього розміру кристалів і запобігає агломерації кристалів. Удосконалений кристалізатор складається з двох торцевих кришок, центрального валу з удосконаленої конструкції скребка і змінного числа сегментів кристалізації, відокремлених один від одного. Концепція нового кристалізатора полягає в модульній системі побудови. Він розміщує кілька сегментів однакового визначеного діаметра один на одному. Площа установки не збільшується при більшому обсязі кристалізації. Завдяки усуненню судини росту, конструкція навіть зменшується.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Якість апельсинового соку

Апельсиновий сік відомий як найпопулярніший фруктовий сік у всьому світі. Протягом багатьох років напій виготовляється за допомогою різних методів та у якості різних форм, таких як заморожений концентрований, пастеризований сік, а останнім часом як свіжовичавлений апельсиновий сік. Найважливішими елементами, які впливають на якість апельсинового соку є цукор і кислоти, смак і колір, а також вітамін С. Ці показники аналізуються для визначення якості отриманого апельсинового соку. Погіршення якості соку є наслідком в основному погіршення смаку, неферментативного потемніння та втрати поживних речовин. Активність ферментів впливає на відчуття соку в роті, а утворення лимоніну робить смак соку гірким. Апельсиновий сік високо цінується споживачами за його поживну цінність, привабливий колір і освіжаючий кисло-солодкий смак.

Існує дві основні категорії продуктів з апельсинового соку: готовий до вживання апельсиновий сік і соковий концентрат. Деякі з цих термінів згадуються в національних нормативних актах, інші терміни використовуються лише в маркетингу та торгівлі соками [4]. Стандарти і нормативи, що регулюють походження продукції, переробку соків, якість соку і маркування продукції, впроваджуються рядом регулюючих органів в різних торгових блоках. У всьому світі існує загальне прагнення до гармонізації чинних стандартів.

Для харчових продуктів загалом якість є суб'єктивною, що стосується і апельсинового соку. Споживачі пов'язують якість апельсинового соку з такими показниками, як смак та колір. Однак, оскільки апельсиновий сік продається і споживається в усьому світі, його якість не може бути визначена виключно суб'єктивними оцінками. Щоб зробити оцінки більш об'єктивними, було визначено кілька параметрів якості: вміст цукру, смак, вміст кислот, вміст вітаміну С, колір.

Основна якість апельсинового соку визначається при переробці фруктів прийнятих у зоні прийому, часом зберігання фруктів і способом екстракції соку. Подальші етапи обробки не можуть поліпшити основні параметри якості даної виробничої партії. Поліпшення можна досягти лише шляхом змішування певного соку з апельсиновим соком або концентратом вищої якості. Вся переробка і зберігання соку на шляху його до споживача повинні бути спрямовані на максимальне збереження початкової якості. Не менш важливою є якість води, яка використовується для відновлення апельсинового соку, оскільки сік, виготовлений з концентрату, містить 85% доданої води. Вплив

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Пестушко</i>				Удосконалення обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						35	7
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

обробки на якість в основному пов'язаний з погіршенням смаку, тоді як неоптимальні умови зберігання можуть призвести до потемніння соку, втрати вітаміну С і зміни смаку. Найважливішими властивостями апельсинового соку є вміст цукру та співвідношення вмісту цукру та кислотності це співвідношення вказує на баланс між солодкістю і кислотністю в соку. Коли плід дозріває, співвідношення збільшується в міру утворення цукрів і зниження вмісту кислот. Цукрами в основному є сахароза, глюкоза і фруктоза у співвідношенні приблизно 2:1:1.

На якість соків впливають, серед іншого: якість сировини, що використовується у виробництві соків, ступінь зрілості плодів, спосіб збирання, післязбиральні операції. Зрілість плодів визначається відсотком соку в плодах, загальною кількістю розчинних сухих речовин і кольором фрукта. Розмір, форма, відсутність плям, деформацій та інших пошкоджень, а також відсутність збудників хвороб і шкідників також є важливими параметрами при визначенні якості плодів. Важливим фактором є умови вирощування сировини, з якого виробляється сік, бо умови вирощування впливають на вміст вітаміну С в плодах. Температура і кількість світла впливають, що пов'язано з тим, що чим менше світла під час росту, тим менше вітаміну С в рослині. Вітамін С підвищує імунітет організму за рахунок пригнічення розмноження вірусів, що дуже важливо в наш час пандемій, а надходження вітаміну С у великих дозах підвищує імунітет організму, а точніше, кількість лейкоцитів.

Фруктові соки стали дуже популярними, тому що споживачі вимагають високоякісних і поживних рідких продуктів. Цей споживчий попит призвів до пошуку вдосконалених харчових технологій, що застосовуються до рідких харчових продуктів (зокрема, до виробництва фруктових соків). Серед методів, що застосовуються для концентрації рідких продуктів, особливе значення має концентрація заморожування в зв'язку з використовуваними мінусовими температурами [18]. Концентрація заморожування – це метод концентрації, при якому водний розчин або рідка їжа концентрується шляхом часткового або повне заморожування води і відділення льоду від незамерзлої рідкої фракції. У порівнянні з іншими методами концентрування, концентрація заморожування має деякі переваги через низькі температури, які використовуються для забезпечення мінімальних втрат летких речовин. Крім того, ця техніка споживає менше енергії, ніж традиційні методи концентрації шляхом випаровування і захисту цінних термолабільних компонентів рідких продуктів (наприклад, аскорбінової кислоти у фруктових соках).

На види і пропорції розчинних сухих речовин у фруктах впливають: вид фруктів, сорт і зрілість. На склад фруктових соків впливають і інші фактори. Деякі види розчинних твердих речовин більше за інших впливали на процес концентрації. Концентрування підвищує в'язкість, розчинні тверді речовини та кислоти. Соки з високим вмістом пектинових матеріалів, такі як чорниця і варені яблука, показали більш швидке збільшення в'язкості, ніж інші фактори. Холод підвищував в'язкість і зменшував розчинність багатьох речовин. Хоча будь-який фактор може обмежити кількість концентрації, яку можна зробити, в'язкість зазвичай є обмежуючим фактором для фруктових соків.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3.2 Дослідження концентрування апельсинового соку виморожуванням

Концентрація заморожування видаляє воду з рідких продуктів і розчинів за допомогою заморожування. Крім того, концентрація заморожування є ефективним методом розділення, оскільки концентрат займає меншу вагу та простір, а споживачам потрібно лише додавати воду як завершальний етап виробництва. Концентрація фруктового соку дає комерційні переваги при зберіганні, пакуванні та розповсюдженні. У випадку з апельсиновим соком вміст води становить приблизно 85–90%. На етапі концентрації видалення більшої частини води значно зменшує об'єм. З цих причин виробництво концентрованого апельсинового соку поширене у всьому світі.

Концентрація заморожування здійснювалася за допомогою морозильної камери. Було використано 200 мл апельсинового соку, який заморожували за допомогою відповідної форми. Обсяги ємностей будь-якої заданої форми, але різних розмірів змінюються з більшою швидкістю, ніж поверхні. При цьому забезпечується один з методів регулювання швидкості промерзання і розмірів льодовикових покривів. При збільшенні обсягу зменшується кількість виставленої поверхні на одиницю об'єму, сповільнюється швидкість замерзання і збільшується розмір кристалів, і навпаки. Форми контейнерів одного об'єму в значній мірі впливають на кількість поверхні на одиницю об'єму, а отже, і на швидкість замерзання і розмір кристалів льоду. Форма також впливає на напрямок утворення льоду та легкість видалення незамерзлого концентрату.

Для дослідження було використано три контейнери для випробування, як ємності для рідини у процесі заморожування. Одна ємність циліндричної форми, інша конусоподібної форми, а третя у формі сфери (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Отримані зразки льоду з різних ємностей

Дослідження отриманого льоду з цих ємностей показало, що у першій ємності циліндричної форми незамерзлою частиною є серцевина, що простягається через більшу частину довжини всієї ємності. Отриманий лід у формі конуса показав, що лід підлягала занадто швидкому замерзання у верхній частині і меншою мірою на краю навколо бортів. Кристалічне

утворення було вертикальним або похилим. Виявилось, що ємність у формі конуса є кращим засобом для зберігання рідини, ніж ємність з паралельними сторонами. Нахил в 60° був занадто гострим, і область біля вершини конуса цілком могла бути не достатньою для замерзання, тому що заморожування було занадто швидким. Отриманий лід у формі сфери показав, що незамерзлою частиною є серцевина сфери, що є не досить перспективним.

Напрямок утворення кристалів льоду був від поверхні охолодження до центру і від менш щільної або менш концентрованої частини до більш концентрованої. Коли розчин заморожувався в ємності незамерзлі простори ставали вужчими в міру того, як кристали наближалися до центру. Лід, що утворюється біля прикореневої кромки, вигнутий всередину. Ця крива затримувала концентрат і тому необхідно було підібрати ємність, яка б усунула цю труднощі. На основі отриманих результатів можна стверджувати, що ємність у формі конуса є кращим засобом для зберігання рідини, ніж ємність з паралельними сторонами.

Температури замерзання залежать від концентрації розчинних твердих речовин. Щоб визначити їх, необхідно працювати з кривими заморожування кожного зразка. У роботі досліджується апельсиновий сік та свіжовичавлений апельсиновий сік. Температурні зони визначалися для досліджуваних соків термографічним методом як при їх заморожуванні так і при плавленні. У досліджуваних соках визначали вміст сухих речовин за допомогою рефрактометра РФ-22, які склали: у апельсиновому соку – 15,0%, а у свіжовичавленому апельсиновому соку – 18,0% [8]. Значення температури реєстрували за допомогою датчика термопар модель 177-Т4 з точністю $0,1^\circ\text{C}$. Виморожена крига поміщалася в заздалегідь зважену колбу і сумарна вага колби з льодом визначався на аналітичних терезах. Вплив початкового вмісту сухих речовин у вихідному соку на величину питомої кількості вимороженої криги наведено на рисунку 3.2. Результати показали, що зі збільшенням вмісту сухих речовин у вихідному соку питома кількість вимороженого льоду монотонно знижується.

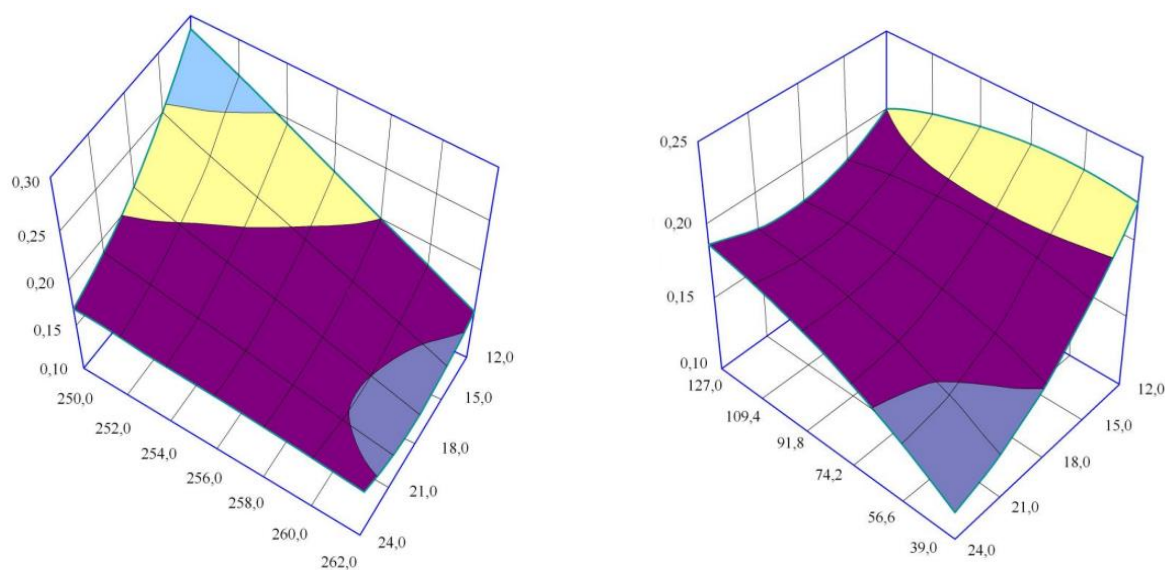


Рисунок 3.2 – Криві заморожування при різних концентраціях вмісту сухих речовин (апельсиновий сік та свіжовичавлений апельсиновий сік)

суперечить теоретичним основам зазначеного процесу та відображає його фізичну сутність при дотримання інших раціональних параметрів процесу.

На основі вище зазначеного можна вважати, що апельсиновий сік відомий як найпопулярніший фруктовий сік у всьому світі. Протягом багатьох років напій виготовляється за допомогою різних методів та у якості різних форм, таких як заморожений концентрований, пастеризований сік, а останнім часом як свіжовичавлений апельсиновий сік. Найважливішими елементами, які впливають на якість апельсинового соку є цукор і кислоти, смак і колір, а також вітамін С. Концентрація заморожування видаляє воду з рідких продуктів і розчинів за допомогою заморожування. Концентрація заморожування є ефективним методом розділення, оскільки концентрат займає меншу вагу та простір, а споживачам потрібно лише додавати воду як завершальний етап виробництва. Концентрація фруктового соку дає комерційні переваги при зберіганні, пакуванні та розповсюдженні. У випадку з апельсиновим соком вміст води становить приблизно 85–90%. На етапі концентрації видалення більшої частини води значно зменшує об'єм. З цих причин виробництво концентрованого апельсинового соку поширене у всьому світі.

Вважається, що на види і пропорції розчинних сухих речовин у фруктах впливають: вид фруктів, сорт і зрілість. Концентрування підвищує в'язкість, розчинні тверді речовини та кислоти. Соки з високим вмістом пектинових матеріалів, такі як чорниця і варені яблука, показали більш швидке збільшення в'язкості, ніж інші фактори. Холод підвищував в'язкість і зменшував розчинність багатьох речовин. Хоча будь-який фактор може обмежити кількість концентрації, яку можна зробити, в'язкість зазвичай є обмежуючим фактором для фруктових соків. Зазначено, що точка замерзання знижується зі збільшенням концентрації до досягнення точки евтектики. Тому вибір раціональної температури охолодження є однією з найважливіших завдань при реалізації технології низькотемпературного концентрування методом виморожування вологи.

Концентрація заморожування здійснювалася за допомогою морозильної камери. Було використано 200 мл апельсинового соку, який заморожували за допомогою відповідної форми. Обсяги ємностей будь-якої заданої форми, але різних розмірів змінюються з більшою швидкістю, ніж поверхні. При цьому забезпечується один з методів регулювання швидкості промерзання і розмірів льодовикових покриттів. При збільшенні обсягу зменшується кількість виставленої поверхні на одиницю об'єму, сповільнюється швидкість замерзання і збільшується розмір кристалів, і навпаки. Форми контейнерів одного об'єму в значній мірі впливають на кількість поверхні на одиницю об'єму, а отже, і на швидкість замерзання і розмір кристалів льоду. Форма також впливає на напрямок утворення льоду та легкість видалення незамерзлого концентрату.

Для дослідження було використано три контейнери для випробування, як ємності для рідини у процесі заморожування. Одна ємність циліндричної форми, інша конусоподібної форми, а третя у формі сфери. Дослідження отриманого льоду з цих ємностей показало, що у першій ємності циліндричної форми незамерзлою частиною є серцевина, що простягається через більшу

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

частину довжини всієї ємності. Отриманий лід у формі конуса показав, що лід підлягала занадто швидкому замерзанню у верхній частині і меншою мірою на краю навколо бортів. Кристалічне утворення було вертикальним або похилим. Виявилось, що ємність у формі конуса є кращим засобом для зберігання рідини, ніж ємність з паралельними сторонами. Нахил в 60° був занадто гострим, і область біля вершини конуса цілком могла бути не достатньо для замерзання, тому що заморожування було занадто швидким. Отриманий лід у формі сфери показав, що незамерзлою частиною є серцевина сфери, що є не досить перспективним.

Напрямок утворення кристалів льоду був від поверхні охолодження до центру і від менш щільної або менш концентрованої частини до більш концентрованої. Коли розчин заморожувався в ємності незамерзлі простори ставали вужчими в міру того, як кристали наближалися до центру. Лід, що утворюється біля прикореневої кромки, вигнутий всередину. Ця крива затримувала концентрат і тому необхідно було підібрати ємність, яка б усунула цю труднощі. На основі отриманих результатів можна стверджувати, що ємність у формі конуса є кращим засобом для зберігання рідини, ніж ємність з паралельними сторонами.

Досліджено процес концентрування апельсинового та свіжовичавлений апельсиновий соку виморожуванням. Температурні зони визначалися для досліджуваних соків термографічним методом як при їх заморожуванні так і при плавленні. У досліджуваних соках визначали вміст сухих речовин за допомогою рефрактометра РФ-22, які склали: у апельсиновому соку – 15,0%, а у свіжовичавленому апельсиновому соку – 18,0%. Значення температури реєстрували за допомогою датчика термопар модель 177-Т4 з точністю $0,1^\circ\text{C}$. Виморожена крига поміщалася в заздалегідь зважену колбу і сумарна вага колби з льодом визначався на аналітичних терезах. Результати показали, що зі збільшенням вмісту сухих речовин у вихідному соку питома кількість вимороженого льоду монотонно знижується.

Для визначення величини сухої речовини продукту, винесеного з льодом, виморожений лід розплавляли, термостатували при температурі 20°C і визначали вміст сухих речовин при допомозі рефрактометра РФ-22. Проте, зазначено, що вплив початкового вмісту сухих речовин у апельсиновому соку та величина вмісту сухих речовин у розчині, отриманому при розплавленні вимороженого льоду також нелінійне. При підвищенні початкового вмісту сухих речовин в апельсиновому соку вміст сухих речовин у розчині, отриманому при розплавленні вимороженого льоду збільшується.

Змодельовано криві впливу початкового вмісту сухих речовин у вихідному соку на величину питомої кількості вимороженої криги та криві розплавлення вимороженого льоду при різних концентраціях вмісту сухих речовин (апельсиновий сік та свіжовичавлений апельсиновий сік). Аналіз отриманих графічних залежностей дозволяє встановити, що характер отримання концентрованого апельсинового соку виморожуванням вологи не суперечить теоретичним основам зазначеного процесу та відображає його фізичну сутність при дотримання інших раціональних параметрів процесу.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена удосконаленню обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням. У роботі зазначено, що концентрація заморожування – це метод концентрації, при якому водний розчин або рідка їжа концентрується шляхом часткового або повне заморожування води і відділення льоду від незамерзлої рідкої фракції. У порівнянні з іншими методами концентрування, концентрація заморожування має деякі переваги через низькі температури, які використовуються для забезпечення мінімальних втрат летких речовин.

У першому розділі здійснено аналітичний огляд обладнання для концентрування рідких харчових продуктів. Зазначено, що концентрація заморожуванням – це процес, який використовується для збільшення концентрації рідини шляхом видалення частини вмісту води шляхом заморожування та подальшого видалення кристалів льоду. Процес також відомий як кріоконцентрація і він зазвичай використовується в харчовій промисловості для виробництва концентрованих соків, пюре та інших рідких продуктів. У процесі заморожування рідина спочатку заморожується з утворенням кристалів льоду. Потім суміші дають трохи відтанути, дозволяючи кристалам льоду відокремитися від концентрованої рідини. Кристали льоду видаляються з суміші, залишаючи після себе концентровану рідину з більш високим відсотком сухих речовин.

Розглянуто методи концентрації заморожуванням, а саме: концентрація замерзання суспензії (завдяки високій швидкості сепарації концентрація заморожування суспензії застосовується як ключова технологія при обробці рідких харчових продуктів у промислових умовах); прогресивна концентрація заморожування (заснована на кристалізації шару, де утворюється шаруватий лід великої маси або один великий кристал льоду, що полегшує розділення завдяки зчепленню кристала з холодною поверхнею); концентрація блокового заморожування (відома як заморожування, яке полягає в повному заморожуванні розчину, тобто центральна температура розчину нижче його точки замерзання).

Здійснено порівняльну характеристику методів концентрації заморожування та традиційного процесу термічної концентрації, виокремлено переваги та недоліки.

Другий розділ присвячено удосконаленню обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням. Здійснено оптимізацію скребкового кристалізатора за рахунок, перш за все форми скребка. Вплив скребоків на динаміку потоку залежить не тільки від їх положення і швидкості, але і від їх особливої форми. Скребок видаляє прикордонний шар рідини на поверхні та турбулентно змішує цю рідину з

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Пестушко</i>				Удосконалення обладнання для концентрування рідких харчових продуктів виморожуванням	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						42	2
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

сипучою рідиною, що збільшує тепловіддачу. Роль геометрії скребка не обмежується його впливом на потік, але також визначає ефективність видалення прикордонного шару рідини та швидкість видалення кристалів з поверхні.

Здійснено порівняння скребоків різної геометрії скребка. У випадку з більш оптичним скребком частинки льоду плавно слідує за потоком, який транспортує їх через верхню частину скребка, але перенаправляються на поверхню в задній частині скребка. Також, завдяки своїй формі, тепловий шар, що знімається з поверхні зіскобленого теплообмінника, залишається близько до зони шабрування і не сильно змішується з сипучою рідиною. На відміну від цього, вертикально орієнтований скребок змішує знятий термічний шар вище з основною масою. Недоліком вертикально орієнтованого скребка є сильне скупчення частинок у його передній частинці.

Запропоновано для спрощення процесу кристалізації поєднати два етапи процесу, а саме кристалізатора із змішуваннями сегментами. Судина росту кристалів може бути усунена і безперервна циркуляція між кристалізатором і судиною для росту більше не потрібна. Змішувальний сегмент, розташований між двома сегментами кристалізації, має роздільники, які забезпечують ефективне радіальне та осьове перемішування. Це призводить до збільшення середнього розміру кристалів і запобігає агломерації кристалів. Удосконалений кристалізатор складається з двох торцевих кришок, центрального валу з удосконаленої конструкції скребка і змінного числа сегментів кристалізації, відокремлених один від одного. Концепція нового кристалізатора полягає в модульній системі побудови. Він розміщує кілька сегментів однакового визначеного діаметра один на одному.

У третьому розділі досліджено концентрування апельсинового соку виморожуванням. Досліджено процес концентрування апельсинового та свіжовичавлений апельсиновий соку виморожуванням. У досліджуваних соках визначали вміст сухих речовин за допомогою рефрактометра РФ-22, які склали: у апельсиновому соку – 15,0%, а у свіжовичавленому апельсиновому соку – 18,0%. Виморожена крига поміщала в заздалегідь зважену колбу і сумарна вага колби з льодом визначався на аналітичних терезах. Результати показали, що зі збільшенням вмісту сухих речовин у вихідному соку питома кількість вимороженого льоду монотонно знижується.

Для визначення величини сухої речовини продукту, винесеного з льодом, виморожений лід розплавляли, термостатували при температурі 20°C і визначали вміст сухих речовин при допомозі рефрактометра РФ-22. Проте, зазначено, що вплив початкового вмісту сухих речовин у апельсиновому соку та величина вмісту сухих речовин у розчині, отриманому при розплавленні вимороженого льоду також нелінійне. При підвищенні початкового вмісту сухих речовин в апельсиновому соку вміст сухих речовин у розчині, отриманому при розплавленні вимороженого льоду збільшується.

Змодельовано криві впливу початкового вмісту сухих речовин у вихідному соку на величину питомої кількості вимороженої криги та криві розплавлення вимороженого льоду при різних концентраціях вмісту сухих речовин (апельсиновий сік та свіжовичавлений апельсиновий сік).

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Freeze-concentrating. URL: <https://pmg.engineering/Technology/361/freeze-concentrating/>.
2. Freeze concentration techniques as alternative methods to thermal processing in dairy manufacturing: A review. URL: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1750-3841.16027>.
3. Freeze concentration for juice preparation. URL: <https://www.researchgate.net/publication/318860139>.
4. Orange juice quality and categories. URL: <https://orangebook.tetrapak.com/chapter/orange-juice-quality-and-categories>
5. Мординський Всеволод Петрович. Удосконалення обладнання для концентрування рідких харчових продуктів методом блочного виморожування: Дис... канд. наук: 05.18.12. 2011.
6. Марценюк О.С., Мельник Л.М. Процеси і апарати харчових виробництв К.: НУХТ, 2011. 407 с.
7. Ханік Я.М., Семенишин Є.М., Станіславчук О.В. Теплові процеси, нагрівання, охолодження, конструкції теплообмінників, випарювання. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2006. 340 с.
8. Рефрактометр. Класифікація, принцип дії і застосування. Режим доступу: <https://mpr-lab.com/ua/a289388-refraktometr-klassifikatsiya-printsip.html>.
9. Determination of fruit juice freezing curves to optimize multi-plate freeze concentration process. URL: <https://www.researchgate.net/publication/257384927>.
10. Thermogravimetric Analysis. URL: https://resources.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/faq_analysis_009380c_01.pdf.
11. Development of a vacuum crystallizer for the freeze concentration of industrial waste water. URL: <https://repository.tudelft.nl/record/uuid:92968e32-7edd-478e-8d25-0a04727452a8>.
12. Desalination by freeze crystallization: an overview. URL: <https://www.researchgate.net/publication/321867932>.
13. Моделювання тепломасопереносу та зниження енерговитрат при блочному виморожуванні. Режим доступу: <https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/0c82c8c0-99df-4400-8c62-73e8a1809eac/content>.
14. Спосіб отримання шляхом виморожування концентрованих рідких продуктів. <https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d6d430b2-497f-49dd-b358-072b3a7bf2ba/content>.
15. Власенко О. В. Дослідження теплообміну в об'ємі двофазної рідини за умов вимушеної її конвекції. Вісник ВПІ. 2021. №6. С. 14 – 20.
16. Flow and particle motion in scraped heat exchanger crystallizers. URL: <https://sites.ualberta.ca/~jos/pbl/ces64p5153.pdf>.
17. Heat transfer in scraped eutectic crystallizers. URL: <https://www.researchgate.net/publication/245094416>.
18. Апельсиновий сік: користь, шкода, вітамінний склад. Режим доступу: <https://myfood.net.ua/apelsynovyj-sik-koryst-shkoda-vitaminnyj-sklad-kalorijnist-yak-zrobyty-zberigaty-ta-pravylno-vykorystovuvaty/>.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44