

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Холодильні машини і установки»
_____ Омельченко О.В.
«_____» _____ 2026 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
за освітньою програмою «Холодильні машини і установки»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ ШВИДКОМОРОЗИЛЬНОГО
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ РІДКОЇ СИРОВИНИ»**

Виконав:
здобувач вищої освіти _____ Озарчук Владислав Сергійович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: _____ зав.каф., к.т.н., доцент, Омельченко О.В. _____
(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
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна
Ступінь бакалавр
Галузь знань Енергетична інженерія
Освітня програма Холодильні машини і установки

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Гарант освітньої програми «Холодильні
машини і установки»
_____ Омельченко О.В.
« _____ » _____ 2026 року

З А В Д А Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Озарчуку Владиславу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення швидкоморозильного обладнання для заморожування рідкої сировини»

Керівник роботи к.т.н., доцент, Омельченко О.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом ректора Криворізького національного університету від «31» грудня 2025 р. № 85-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 12 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.
2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.
3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Аналіз обладнання для заморожування рідини.
3. Оптимізація холодильного обладнання для кріоконцентрування рідкої сировини.
4. Аналіз результатів досліджень.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

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

Обладнання для заморожування рідини.

Оптимізація холодильного обладнання для кріоконцентрування рідкої сировини.

6. Дата видачі завдання «02» січня 2026 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	05.01.2026-15.02.2026
2	Аналіз обладнання для заморожування рідини	16.02.2026-10.03.2026
3	Оптимізація холодильного обладнання для кріоконцентрування рідкої сировини	11.03.2026-15.04.2026
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2026-30.04.2026
5	Висновки по роботі	01.05.2026-12.05.2026
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2026-12.06.2026

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Озарчук В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Омельченко О.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 47 сторінки. Робота містить 7 рисунків, 1 таблицю. Список використаних джерел складається з 26 найменувань.

Об'єкт роботи – кріоконцентратор з падаючою плівкою.

Предмет роботи – процес заморожування рідкої харчової сировини.

Мета роботи – удосконалення швидкоморозильного обладнання для заморожування рідкої сировини.

У роботі зазначено, що заморожування рідини – це спеціалізована технологія, яка полягає у концентрації сировини шляхом видалення води та його заморожуванні для тривалого зберігання та транспортування. Концентрування широко застосовується завдяки отриманню продуктів з високим вмістом сухої речовини, зменшеним об'ємом та збільшенням терміну придатності.

На основі аналізу, було зазначено, що концентрування заморожуванням – технологія нетермічного концентрування, яка базується на розділенні твердої та рідкої речовин за низьких температур при якому водна фракція заморожується, перетворюється на чисті кристали льоду та видаляється з концентрованого розчину.

Запропоновано систему кріоконцентрації, яка складається з кріоконцентратора з падаючою плівкою, системи охолодження, гідравлічної системи та електричної системи. Холодильна система працює за циклом стиснення з конденсацією повітрям і герметичним компресором потужністю 1,38 кВт. Завдяки такому розташуванню утворюється тонка плівка приблизно 2 мм завтовшки, яка стікає з обох боків пластини і збирається в резервуар для повторної циркуляції. Гідравлічна система оснащена відцентровим насосом потужністю 0,75 кВт, який подає рідину до системи розподілу.

В кріоконцентраторі можливе нерівномірне утворення льоду на пластинах, бо у деяких випадках лід може утворюватися більше в нижній частині, а в деяких випадках на краях пластин. Запропоновано удосконалення кріоконцентратора з падаючою плівкою, яке засноване на наступних засадах:

- потік рідини має розподілятися по пластинах рівномірно, задля цього встановлені на вході розподільники, щоб отримати оптимальний розподіл рідини;

- усі охолоджувальні пластини повинні працювати однаково, задля цього необхідно забезпечити однакову відстань між пластинами, що можна досягається завдяки системі розподілу потоку рідини, яка вбудована в кріоконцентратор, пристосовуючись до нерівностей пластин.

Оптимізовано холодильну установку для кріоконцентрації. В холодильній установці для кріоконцентрації є два компресори: компресор I потужністю 3 кВт та компресор II потужністю 6 кВт для холодильної установки. Охолоджувальна система розділена на дві підсистеми: одна конденсує за допомогою зовнішнього повітря, а інша конденсує з льодом, який поступово тане.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: кріоконцентратор з падаючою плівкою, заморожування, система охолодження, гідравлічна система, електрична система.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ РІДИНИ	7
1.1 Концентрація рідини шляхом заморожування	7
1.2 Методи заморожування концентрату	10
1.3 Обладнання для заморожування рідин	13
РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КРІОКОНЦЕНТРУВАННЯ РІДКОЇ СИРОВИНИ	22
2.1 Параметри системи кріоконцентрації рідини	23
2.2 Основні компоненти установки для кріоконцентрування рідин	26
2.3 Удосконалення кріоконцентратора з падаючою плівкою	35
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
3.1 Удосконалена холодильна установка для кріоконцентрації	42
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46
ДОДАТКИ	48

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Озарчук			Удосконалення швидкоморозильного обладнання для заморожування рідкої сировини			Літ.		Арк.	Аркуші	
Перевір.		Омельченко								5	1	
								ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Н. Контр.		Омельченко										
Затверд.		Омельченко										

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що заморожування рідини – це спеціалізована техніка консервування, яка полягає у концентрації сировини шляхом видалення води та його заморожуванні для тривалого зберігання та транспортування. Концентрування широко застосовується у виробництві молочних продуктів завдяки отриманню продуктів з високим вмістом сухої речовини, зменшеним об'ємом та збільшенням терміну придатності.

Мета та задачі дослідження. Удосконалення швидкоморозильного обладнання для заморожування рідкої сировини.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що концентрування заморожуванням – технологія нетермічного концентрування, що застосовується в рідких харчових продуктах, яка базується на розділенні твердої та рідкої речовин за низьких температур при якому водна фракція заморожується, перетворюється на чисті кристали льоду та видаляється з концентрованого розчину.

Запропоновано систему кріоконцентрації, яка складається з кріоконцентратора з падаючою плівкою, системи охолодження, гідравлічної системи та електричної системи. Холодильна система працює за циклом стиснення з конденсацією повітрям і герметичним компресором потужністю 1,38 кВт. Завдяки такому розташуванню утворюється тонка плівка приблизно 2 мм завтовшки, яка стікає з обох боків пластини і збирається в резервуар для повторної циркуляції. Гідравлічна система оснащена відцентровим насосом потужністю 0,75 кВт, який подає рідину до системи розподілу. Електрична система оснащена механізмами контролю, безпеки та захисту.

В кріоконцентраторі можливе нерівномірне утворення льоду на пластинах, бо у деяких випадках лід може утворюватися більше в нижній частині, а в деяких випадках на краях пластин. Запропоновано удосконалення кріоконцентратора з падаючою плівкою, яке засноване на наступних засадах:

– потік рідини має розподілятися по пластинах рівномірно, задля цього встановлені на вході розподільники, щоб отримати оптимальний розподіл рідини;

– усі охолоджувальні пластини повинні працювати однаково, задля цього необхідно забезпечити однакову відстань між пластинами, що можна досягається завдяки системі розподілу потоку рідини, яка вбудована в кріоконцентратор, пристосовуючись до нерівностей пластин.

Оптимізовано холодильну установку для кріоконцентрації. В холодильній установці для кріоконцентрації є два компресори: компресор I потужністю 3кВт та компресор II потужністю 6 кВт для холодильної установки. Охолоджувальна система розділена на дві підсистеми: одна конденсує за допомогою зовнішнього повітря, а інша конденсує з льодом, який поступово тане.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Озарчук			Удосконалення швидкоморозильного обладнання для заморожування рідкої сировини				Літ.		Арк.	Аркушів		
Перевір.		Омельченко									6	1		
Н. Контр.		Омельченко												
Затверд.		Омельченко			ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО									

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ РІДИНИ

1.1 Концентрація рідини шляхом заморожування

Заморожування молока, соку – це спеціалізована техніка консервування, яка полягає у концентрації сировини шляхом видалення води та його заморожуванні для тривалого зберігання та транспортування. Концентрування молочних продуктів широко застосовується у виробництві молочних продуктів завдяки отриманню продуктів з високим вмістом сухої речовини, зменшеним об'ємом та збільшенням терміну придатності. Традиційні процеси термічного концентрування є найбільш застосовуваними в молочній промисловості, проте високі температури можуть пошкодити біоактивні сполуки в молоці, а також змінити фізико-хімічні, сенсорні та харчові характеристики концентрованих продуктів [4, 16]. Важливо замінити традиційні методи концентрування нетрадиційними, а саме нетермічними процесами, які можуть надати молочній промисловості нові можливості завдяки концентруванню заморожуванням, що дозволяє зберегти білки, ферменти, вітаміни, колір та смак продукту. Серед процесів концентрування, кріоконцентрування є найзручнішою технікою для видалення води з рідких продуктів харчування з мінімальними змінами якості продукту. Кріоконцентрування – це окрема операція метою якої є концентрація рідин шляхом зниження температури. Основна перевага цього методу у порівнянні з випарюванням полягає у збереженні летких компонентів та зменшенні деградації продукту під дією низьких температур, що використовуються під час процесу, що робить техніку дуже привабливою для обробки фруктових соків.

Технологія кріоконцентрації або концентрації шляхом заморожування є процесом, який представляє інтерес у промисловості рідких харчових продуктів. З точки зору якості, це безсумнівно метод концентрації, який дозволяє максимально зберігати органолептичні та поживні властивості рідких харчових продуктів. Вона полягає в концентрації розчинних твердих речовин з водяного розчину, що передбачає поступове зниження температури до досягнення часткового або майже повного заморожування харчового середовища [1-3, 16]. Концентрація шляхом заморожування рідких харчових продуктів застосовувалася до широкого спектра продуктів, хоча не всі вони використовуються комерційно. До них належать фруктові соки, молочні продукти, оцет, кава, чай, пиво, вино та інші продукти. Процес кріоконцентрації рідкого харчового продукту складається з двох основних етапів: заморожування рідкого харчового продукту без досягнення евтектичної точки та фазове розділення.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Озарчук			Удосконалення швидкоморозильного обладнання для заморожування рідкої сировини				Літ.		Арк.	Аркуші
Перевір.		Омельченко									7	15
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
Н. Контр.		Омельченко										
Затверд.		Омельченко										

Серед методів збереження продуктів, які застосовуються до великих обсягів продукції заморожування є найкращим, якщо мета полягає в тому, щоб отримати якісні продукти та зберігати їх протягом відносно тривалого часу з дуже високою текстурною та органолептичною якістю порівняно з іншими способами збереження [2, 6]. Як і в усіх процесах збереження, необхідно враховувати кілька аспектів заморожування для досягнення найкращого продукту. Для цього важливо знати всі характеристики продукту, пов'язані з його можливістю передавати тепло, а саме: склад, форму, розмір обладнання для заморожування та його умови роботи: температура холодоагентного середовища, рух продукту всередині обладнання, можливості контакту охолоджувального середовища з продуктом та його вплив на коефіцієнти теплопередачі, можливість охолодження продукту в одному або кількох напрямках. Усі згадані параметри впливають на час перебування продукту в обладнанні. Час перебування, у свою чергу, впливає на кінцеву якість харчового продукту на виробничу потужність обладнання і, отже, на витрати ресурсів, що є найважливішим з точки зору операційних витрат: енергоспоживання.

Нетрадиційні процеси концентрування привертають все більшу увагу з боку молочної промисловості як засіб зменшення негативного впливу традиційних технологій переробки. Нетермічні технології зберігають максимум біологічно активних сполук молока, отримуючи концентрований молочний продукт з високою якістю, харчовою та функціональною цінністю, що добре сприймається сенсорно та компенсує загальні виробничі витрати [4, 5]. Досягнення нових досліджень підтримують промисловість у застосуванні технологій у виробництві молочних продуктів відповідно до виробничого потоку, методу роботи та типу молочних продуктів, оскільки альтернативні технології розробляють продукти зі специфічними властивостями для кожного типу методу, що також стає фактором вибору для промислового сектору при великомасштабному застосуванні.

Процес концентрування заморожуванням – це технологія нетермічного концентрування, що застосовується в рідких харчових продуктах, яка базується на розділенні твердої та рідкої речовин за низьких температур при якому водна фракція заморожується, перетворюється на чисті кристали льоду та видаляється з концентрованого розчину. Цей метод може бути використаний для концентрування або попереднього концентрування термочутливих сполук, що є перспективним для виробництва молочних продуктів завдяки збереженню харчової цінності, летких сполук та смаку молочних продуктів [1-3]. Заморожені концентровані молочні продукти можуть використовуватися в різноманітних харчових рецептурах або як проміжна матриця в молочній промисловості. Процес базується на зниженні та контролі температури розчину нижче точки замерзання, щоб уникнути одночасного замерзання всіх компонентів в евтектичній точці. Чистота кристалів льоду збільшується при контрольованому заморожуванні вище евтектичної точки розчину, зберігаючи всі властивості вихідної рідкої матриці. Зазвичай верхня межа концентрації заморожування, що стосується вихідного рідкого продукту, коливається від 40

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

до 50% вмісту твердих речовин, залежно від рівня розчинних твердих речовин та складу харчової матриці.

Кріоконцентрація або концентрація методом заморожування ґрунтується на відділенні розчинних твердих речовин від рідкої фази шляхом часткового заморожування в ній води. Розчин охолоджують нижче його точки замерзання для утворення кристалів льоду, які потім видаляють. Передбачається, що утворений лід буде дуже чистим, тобто складатиметься виключно з води без утримання твердих речовин. Відділення цього льоду має на меті отримати концентрований рідкий продукт [5]. Цей процес заморожування найбільше наближається до ідеальної мети – відділення води від харчового продукту без впливу на інші компоненти. Основні переваги цієї технології пов'язані з низькими температурами при яких проводиться робота, що призводить до уповільнення хімічних та біохімічних реакцій, відповідальних за псування продукту, таким чином, що вони практично не впливають на інші компоненти, максимально зберігаючи органолептичну та поживну якість. Саме тому не відбувається втрати летких компонентів, що робить цю технологію дуже корисною для концентрації термочутливих рідин.

Оскільки цей процес не передбачає поверхні розділу рідина-пара, забезпечується максимальне збереження термолабільних сполук, що підвищує якість концентрованого продукту. Крім того, з термодинамічної точки зору, сублімаційне концентрування є дуже цікавим, оскільки споживання енергії нижче порівняно з процесами випаровування та розпилювального сушіння. Прихована теплота заморожування води становить майже одну сьому від прихованої теплоти випаровування води (335 кДж/кг проти 2260 кДж/кг), що є потенціалом для економії енергії для зневоднення рідких харчових продуктів. У методах сублімаційного концентрування економія енергії також може бути пов'язана з можливістю використання пасивного розморожування як етапу відновлення концентрованої фази, що підвищує енергоефективність та якість концентрованих продуктів [1, 4]. Оскільки вихід концентрату невисокий порівняно з іншими методами концентрування, відділення замороженої води від розчину концентрату може бути проведене один раз або через кілька послідовних етапів заморожування в одному рідкому харчовому продукті. Процедура, яка збільшує вміст розчинних твердих речовин, залежатиме від початкового складу рідкої матриці, бажаної мети та виходу кожного етапу концентрування заморожуванням. Процес кріоконцентрації рідкої сировини включає два основні етапи: заморожування рідкої сировини без досягнення евтектичної точки та подальше відділення концентрату від льоду. Тому процес кріоконцентрації в основному складається з двох етапів: заморожування та розділення.

Рідкі продукти за своєю складовою можуть розглядатися як складні водні розчини з реальним поведінкою. Температура заморожування рідких продуктів не є постійною, бо вона нижча за 0°C. Заморожування – це операція в якій частина води в продукті піддається зміні стану для утворення льодових кристалів шляхом зниження температури. Процес заморожування води включає два безперервні процеси: зниження температури нижче точки рівноваги

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заморожування та фазову зміну від рідкого стану до твердого (утворення льоду). Етап заморожування характеризується кристалізацією води, яка включає два явища: утворення крихітної стабільної сітчастої структури розчину або зростання кристалів льоду.

Під час процесу кристалізації спостерігається зниження температури нижче точки замерзання. Коли досягається критична маса ядер, система утворює ядра, виділяючи латентне тепло швидше, ніж тепло виводиться з системи. Розчин повністю заморожується до досягнення температури холодоносія. Під час етапу заморожування неконцентрована фаза піддається кріоконцентрації. Швидкість охолодження визначатиме кількість утворених ядер та розмір кристалів льоду. Після завершення кристалізації температура знижується, виділяючи енергію у вигляді відчутного тепла, де неконцентрована фракція кристалізується (евтектична точка) або перетворюється на максимально кріоконцентровану матрицю.

Нуклеація полягає у виникненні малих стабільних частинок, здатних до спонтанного зростання. Для того щоб це відбулося, частинки повинні досягти мінімального розміру, визначеного критичним радіусом. Контроль явища нуклеації, незалежно від кінетики росту кристалів є критичним для формування кристалів відповідного розміру з метою подальшого оптимального розділення. Швидкість заморожування зазвичай є параметром, який використовують для контролю розміру та розподілу кристалів льоду в системі [1-5]. Після нуклеації слідує ріст кристалів, який вимагає, щоб молекули могли дифундувати на поверхню зародків росту. Швидкість процесу дуже чутлива до ступеня перенасичення або переохолодження, температури та наявності домішок. Ріст контролюється швидкістю виділення прихованої теплоти під час фазового переходу та швидкістю масопереносу. У міру збільшення кількості кристалів льоду та зниження температури концентрація розчиненої речовини в концентрованій незамерзлій фазі зростає, досягаючи певної максимальної концентрації розчинених речовин, після якої кристалізація зупиняється.

Під час росту кристалів можуть утворюватися два типи форми росту: деревоподібна форма або форма диска. Причина утворення тієї чи іншої форми полягає в температурі охолодження. Якщо температура дуже низька, кристали ростуть у деревоподібній формі, а навпаки, при вищих температурах вони мають форму диска. Після того, як кристали розвинені, їх необхідно ефективно відокремити від концентрованої рідини. Цей етап є ключовим у процесі кріоконцентрації. Відокремлення льоду від концентрованої рідини може здійснюватися за допомогою різних механізмів.

1.2 Методи заморожування концентрату

Заморожування є поширеним методом збереження швидкопсувних продуктів. Було розроблено широкий спектр методів заморожування рідкої сировини. Щоб метод був придатний для використання він має відповідати наступним критеріям [10]:

– швидкість заморожування – час, який необхідний для охолодження

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

будь-якої частинки молока до кінцевої температури зберігання;

- форма кінцевого замороженого продукту впливає на його обробку, зберігання та розморожування, а також на методи, які необхідно застосовувати.

- складність системи – процес, який потрібно реалізувати повинен бути якомога простішим для підвищення надійності та зниження витрат на обслуговування;

- заморожений продукт повинен бути простим у поводженні, транспортуванні та розморожуванні у обсягах, що зустрічаються на виробництві та в умовах переробки, дозволяючи йому стати стандартним товаром;

- система повинна бути придатною для обсягів виробництва, що зустрічаються на виробництві й вимагати мінімальної інфраструктури для встановлення. Ідеальною є придатність для великих виробничих операцій.

Заморожування молока – це спеціалізована техніка консервування, яка полягає у концентрації молока шляхом видалення води та його заморожуванні для тривалого зберігання та транспортування. Процес починається з концентрації свіжого молока різними способами, зазвичай зменшуючи вміст води на 30-50%. Це концентроване молоко потім швидко заморожується і зберігається при температурах нижче -18°C . Заморожений концентрат можна ефективно транспортувати на великі відстані, а потім розморожувати та розводити для відновлення початкової консистенції [3-5]. Системи кріоконцентрації можна встановлювати залежно від типу контакту між охолоджуючою рідиною та харчовим продуктом. Вони можуть бути прямого або непрямого контакту. У прямих системах холодоагент виступає як середовище для передачі тепла, тому поверхня теплообміну не потрібна. Для кріоконцентрації харчових продуктів пряме розширення холодоагенту в продукті спричиняє значну втрату смаку, що схоже на ситуацію, яка виникає під час випарювання. У системі непрямого заморожування передача тепла відбувається через стіну або твердий бар'єр, всередині якого протікає охолоджуюча рідина. Існує три непрямі кріоконцентрації, а саме суспензійний, прогресивний та блочний метод заморожування та відділення кристалів льоду.

Суспензійне заморожування концентрату є найскладнішим та найрозвиненішим методом заморожування концентрації, заснованим на утворенні окремих кристалів льоду, коли рідка матриця піддається низьким температурам. Відбувається початкова фаза кристалізації, де кристали льоду позиціонуються у великі частинки льоду, збільшуючи об'єм, а на другій фазі всередині розчину ростуть зародки льоду. Розмір цих кристалів льоду обмежений, а розділення концентрату є складним з використанням типового обладнання зі специфічними цілями. Система складається з кристалізатора (теплообмінника) для сприяння росту кристалів. При температурі попереднього заморожування рідка матриця охолоджується та просувається до кристалізатора для утворення кристалів льоду, які видаляються з фракції концентрату всередині сепаратора [3-5]. Залишки замерзлої чистої води відокремлюються від концентрованої рідини в промивній колоні зі стисненням для обробки

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кристалів льоду високої чистоти. Між поверхнею кристала, що зростає та розчином встановлюються градієнти температури та концентрації. Система складається з першої фази утворення кристалів льоду (нуклеація), яку слідує друга фаза, що включає ріст кристалів льоду в розчині, що призводить до часткової кристалізації води та подальшого відокремлення кристалів від розчину. Недоліком цього методу є те, що, утворюючи кристали льоду в суспензії в рідині їхнє відділення стає більш складним. Крім того, необхідне використання зішкребних теплообмінників для формування кристалів і рекристалізатора для їх росту.

Прогресивне заморожування концентрату є одним з найважливіших методів концентрування рідких харчових продуктів і базується на шаровій кристалізації при якій на холодній поверхні утворюється велика маса льоду, яка легше відділяється завдяки кристалам льоду, що прилипають до поверхні. Цей процес є простішим і повинен бути розроблений відповідно до конкретних властивостей рідкого харчового продукту, фракції концентрату та його виходу в кінці процедури [4]. Витрати на експлуатацію, обладнання та обслуговування є низькими, що робить цей процес перспективним для застосування у великих масштабах та заміни складності концентрування суспензійною кристалізацією. Прогресивна система концентрування заморожуванням була запропонована для розділення знежиреного молока та виявилась ефективним методом концентрування молока та пропонує цікаву економію енергії порівняно з методом суспендування та збереженням поживних речовин у концентрованому знежиреному молоці. У цій експериментальній вертикальній системі рідка матриця поміщається в резервуар з перемішуванням та охолоджувальною сорочкою. Низька температура призводить до утворення шару льоду на охолоджувальних стінках резервуара і застосовується механічне перемішування для зменшення накопичення розчинених речовин у фракції льоду.

Розчин, що концентрується, залишається в контакті з холодною поверхнею на якій кристал прилипає під час процесу так що подальше відділення кристала льоду від концентрованого розчину є легшим і відбувається в тому ж обладнанні [5]. Кріоконцентрацію цього методу можна класифікувати на два типи: пластинчасту та прогресивну. Різниця між цими двома методами полягає в обладнанні, яке використовується для формування крижаної структури. Прогресивна передбачає кристалізацію у нижній або бічній частині посудини, тоді як у пластинчастій кристалізація відбувається на пластинах. Прикладом недоліків цього методу є високе утримання розчинених речовин у льоді, що виправдовує відновлення цих речовин шляхом поетапного розморожування.

У методі блочного заморожування та концентрування рідкий харчовий продукт заморожується та частково розморожується методом гравітаційного розморожування для розділення фракцій льоду та концентрату. За контрольованої температури льодовий блок діє як тверда туша, і завдяки явищу дифузії концентрат зливається. Серед усіх методів заморожування та концентрування цей метод є перспективним завдяки простоті експлуатації, простішому обладнанню та нижчій загальній вартості, з різноманітним

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосуванням та дослідженнями в молочному секторі. Рідина повністю заморожується і температура в центрі продукту опускається нижче точки замерзання [3-5]. Потім частина відокремлюється від частини льоду за допомогою гравітації. У деяких випадках розділення за допомогою гравітації доповнюється іншими методами, такими як вакуум, центрифугування тощо. Кріоконцентрація шляхом заморожування-розморожування була визначена як перспективна та ефективна технологія концентрації для виробництва харчових рідин із високими органолептичними властивостями та високою поживною цінністю. Однією з основних переваг цієї технології є відсутність рухомих частин, таких як мішалки або насоси, що робить її перспективною з точки зору витрат.

1.3 Обладнання для заморожування рідин

Охолодження та заморожування – це два найвідоміші види холодової обробки, які відрізняються залежно від досягнутої температури зберігання та впливу на фізичні та хімічні властивості продукту. Охолодження є методикою короткострокового збереження, яка передбачає застосування температур трохи вище 0°C. Натомість заморожування дозволяє зберігати продукти тривалий час і передбачає температурні умови нижчі за охолоджувальні, у діапазоні від -15 до -25°C або нижче. Аналогічно, варто розрізняти два види холодкових установок, які нині використовуються в промисловості, залежно від фізичних принципів, застосованих для зниження температури. Це механічні холодкові установки, що використовують стискання холодоагентів та кріогенні холодкові установки, які застосовують рідкий азот N₂ або діоксид вуглецю CO₂ за температур нижчих за їх точку кипіння у прямому контакті з продуктом.

Хоча зберігання за холодом за допомогою механічних процесів є широко використовуваною технологією з тривалим досвідом у промисловості, воно має деякі недоліки, наприклад, у кінцевій якості продуктів, високі початкові інвестиційні витрати та інші, що спричинило пошук нових методів зниження температури харчових продуктів. Метою було знайти технології зберігання за холодом, які не спричиняють погіршення сенсорних характеристик, що визначають ідентичність продукту. Для цього необхідно було знайти метод, який дозволяє швидко зниження температури, оскільки чим швидше відбувається заморожування продукту, тим менші льодові кристали утворюються і тим менше шкоди вони можуть завдати цілісності харчової матриці [11]. Так виникла технологія кріогенних рідин, оскільки при переході з рідкого стану в газоподібний вони абсорбують велику кількість тепла раптово і, як наслідок цієї передачі тепла, відбувається швидке зниження температури елементів, що знаходяться в прямому контакті. Останнє є найбільш характерною особливістю технології кріогенного холоду. Коли температура швидко знижується вода замерзає, утворюючи багато дрібних кристалів, які не пошкоджують мікроструктуру продукту, на відміну від повільного заморожування, коли вода замерзає формуючи великі кристали, що руйнують матрицю і погіршують якість продукту. Варто також зазначити, що коли

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продукти, оброблені кріогенним холодом, розморожуються, вони зберігають свою цілісність і сенсорну якість, яку іноді втрачають при механічному заморожуванні.

Щоб речовина змінила свій стан, необхідно мати певну кількість енергії у вигляді тепла, що називається прихованим теплом, оскільки, незважаючи на втрату або набуття енергії у вигляді тепла, змін температури не спостерігається (будь-яка зміна стану здійснюється при постійна температура). З часу створення перших пристроїв для механічного охолодження або заморожування використовується латентне тепло, яке виділяє холодоагент при переході зі стану рідини в газ, для зниження температури продуктів [10-11]. Тобто це латентне тепло використовується в холодильних камерах як відчутне тепло, створюючи різницю температур, оскільки холодоагент завжди має температуру нижчу за температуру продуктів, і тому передача тепла відбувається від продуктів, які втрачають тепло і знижують свою температуру до холодоагенту, який не змінює своєї температури але випаровується. У таких пристроях для збереження при механічному холоді газ холодоагенту перебуває в системі, де виконується безперервний цикл стискання, конденсації, розширення, випаровування та нового стискання. Інноваційність у використанні кріогенних рідин, яка відрізняє його від циклів механічного охолодження, полягає в тому, що зміна стану (випаровування) відбувається, коли рідини перебувають у прямому контакті з продуктами, і, як правило, немає циклу для їх повторного використання, оскільки вони безпосередньо вивільняються в атмосферу після переходу з рідкого стану в газоподібний.

Кріогенні рідини: зріджений азот N_2 та зріджений вуглекислий газ CO_2 . N_2 та CO_2 характеризуються як інертні, безбарвні гази, придатні для контакту з харчовими продуктами, які є частиною атмосфери і, отже, не є токсичними. Тому вони використовуються в різних процесах харчової промисловості, наприклад, CO_2 у надкритичному стані застосовується для екстракції ароматів, антиоксидантів або інших речовин, що представляють інтерес у промисловості. Обидва є газами за кімнатної температури і коли їх стискають вони переходять у рідкий стан, тобто є зрідженими газами, і досягають у цьому стані дуже низьких температур [7, 10, 11]. Наприклад, рідкий N_2 , має приблизно температуру $-187^\circ C$, а рідкий CO_2 досягає температури $-20^\circ C$. Потім, коли ці рідини розширюються до атмосферного тиску вони випаровуються і поглинають велику кількість енергії, що відповідає їхній прихованій теплоті, що спричиняє різке зниження температури всього, що контактує з цими речовинами. Принцип роботи технології кріогенних рідин, тобто кріогенні рідини, що зберігаються в рідкому стані, розширюються та випаровуються безпосередньо на харчовий продукт, що забезпечує швидкий тепловий обмін від продуктів до рідини та зниження їхньої температури.

Вибір між N_2 або CO_2 для процесу залежатиме від продукту або продуктів, що підлягають обробці, аналізуючи, який із цих двох газів краще відповідає вимогам виробничої лінії: N_2 характеризується більшою швидкістю заморожування, оскільки температура в рідкому стані значно нижча за температуру CO_2 і, отже, теплопередача відбувається швидше. Зі свого боку,

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

CO₂ є бактеріостатичним газом, тому, крім зниження температури продукту, він також надає антимікробну дію, хоча швидкість теплопередачі менша. Обладнання, яке входить до складу установки для обробки кріогенним середовищем повинно бути спеціально розроблене для цього застосування та відповідати відповідним нормам безпеки та гігієни. Завдяки великій універсальності експлуатації технології кріогенних середовищ та її легкому монтажу стало можливим успішно проектувати та впроваджувати широкий спектр промислового обладнання, яке задовольняє потреби підприємств і дозволяє розробляти нові продукти.

Тунелі кріогенного безперервного заморожування є одними з найпоширеніших у промисловості завдяки своїй універсальності та легкості встановлення й інтеграції в виробничі лінії. Використовують зріджений N₂, який надходить у тунель різними способами залежно від конструкції обладнання, загалом N₂ подається у вигляді спрею й таким чином розподіляється на продуктах, що рухаються по стрічці. Вкидання рідини в рідкий холодоагент, що призводить до її замерзання у сферичні частинки, пропонувалося у різних варіантах виконання (рис. 1.1). Однак цей метод прямого контакту потребує холодоагенту, який є безпечним для харчових продуктів і випаровується при низькій температурі за атмосферного тиску. Холодоагенти, що випаровуються при відповідних температурах за тисків, вищих або нижчих за атмосферний [7, 10, 11]. Холодоагент також повинен бути придатним для викиду в атмосферу з погляду руйнування озонового шару та впливу на парникові гази. В результаті, рідкий азот N₂ є найчастіше використовуваним холодоагентом. Виробництво N₂ є енергоємним процесом, що потребує приблизно 1800-2600 кДж/кг. Заморожування N₂ зазвичай потребує 1-1,5 кг N₂ на кожен кг замороженого продукту. Таким чином, заморожування N₂ має низьку енергоефективність, а виробництво N₂ здійснюється на централізованих заводах. Для оптимізації ефективності кріогенного середовища деяке обладнання оснащено системами рециркуляції його над продуктами. Основна перевага кріогенних тунелів охолодження – мала площа, яку вони займають на підприємстві, що водночас і відрізняє їх від великих установок механічного охолодження.

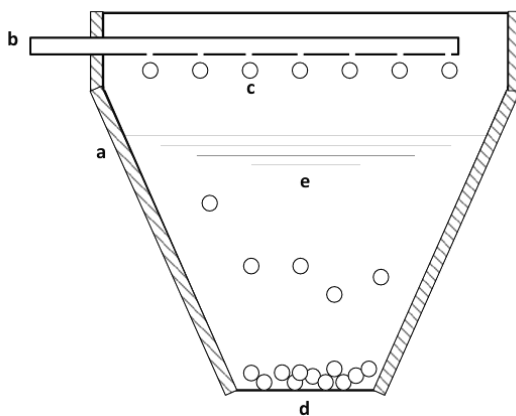


Рисунок 1.1 – Заморожування рідкої сировини шляхом занурення у рідкий холодоагент

На рисунку 1.1 позначено: а – ізольована технологічна ємність, б – розподільник рідкого продукту, с – краплі рідкого продукту, d – заморожений продукт, е – рідкий холодоагент.

Метод швидкого заморожування рідин полягає у формуванні крапель рідини та їх зануренні у потік холодного повітря або рідкий охолоджувальний агент, який охолоджує краплі та заморожує їх, запобігаючи при цьому злипанню. Форма та якість продукту, отриманого цими методами, відмінні, оскільки малі сферичні частинки легко обробляти масово і швидко розморожувати через невелику характерну відстань. Ці системи можуть бути сильно механізованими, щоб зменшити необхідність втручання в процес, проте складність системи робить їх недоступними та невідповідними для невеликих ферм.

Тунелі кріогенного напівбезперервного заморожування продуктів працюють подібно до тунелів але переривчасто. Вони корисні для заморожування продуктів партіями. Перевагою є простота установки та мінімальна зайнята площа на підприємстві, а також легкість обслуговування та чищення обладнання завдяки практичному дизайну. Деякі з цих партійних морозильних камер мають спіральну конструкцію, яка дозволяє оптимізувати простір і обробляти більший обсяг продукції за одну операцію [8, 10, 11]. Метод охоплює низку варіантів виконання, які всі ґрунтуються на одному й тому ж основному принципі, але відрізняються деталями. Рідину, яку потрібно заморозити, упаковують у герметичний контейнер і поміщають у швидкозаморожувальну камеру, охолоджувальний тунель або морозильник, де утримують до досягнення бажаної температури. Контейнери можуть бути занурені в охолоджувальну рідину або на них може розпилюватися рідкий охолоджувач для підвищення швидкості тепловіддачі. Заморожені контейнери потім зберігають у холодному складі до повного розморожування. Час розморожування визначається аналогічними факторами, що й час охолодження, і може бути значним для контейнерів з великими характерними розмірами та малими тепловими потоками.

Барабані заморожувачі для рідини та невеликих продуктів поштучно були розроблені з метою забезпечення заморожування продуктів поштучно, гарантуючи якість кожного з них уникаючи пошкоджень через злипання або прилипання під час виробничої лінії, що призводить до погіршення стану при розморожуванні. Технологія відзначається високою якістю отриманих продуктів [10-11]. Вона застосовується головним чином для дрібних продуктів або шматочків, які схильні прилипати один до одного. Барабани оснащені механічною системою обертання, яка переміщує продукти, одночасно вводячи кріогенний флюїд, таким чином досягається рівномірне заморожування, оскільки продукти занурюються у рідину. Технологія має великі переваги, крім якості отриманих продуктів, вона проста в установці і може бути інтегрована в безперервні виробничі лінії.

Обладнання для швидкого заморожування за прямого контакту на конвеєрних стрічках – це системи технології, які працюють ефективніше, оскільки дозволяють більш раціонально використовувати кріогенну рідину, ніж

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ротаційні барабани. Таке обладнання оснащено конвеєрною стрічкою з спеціального полімеру, придатного для контакту з харчовими продуктами, що насичується кріогенною рідиною. Таким чином продукти заморожуються за прямого контакту зі стрічкою знизу, одночасно над продуктами розпилюється надкритична рідина, забезпечуючи рівномірне заморожування. Деяке обладнання обладнане вібраційною системою на конвеєрній стрічці для оптимізації індивідуального заморожування продуктів, які мають тенденцію злипатися між собою. Використовується для заморожування продуктів, що потребують швидкого заморожування для збереження форми.

Зазвичай краплі або тонкі шари продуктів, які потрібно заморозити, розташовують на гнучкому конвеєрі, який проходить через охолоджену камеру і заморожується холодним повітряним потоком, що проходить над продуктом, або за допомогою розпилення кріогену на продукт. Часто цей конвеєр розміщують у вертикальну спіраль, щоб максимально збільшити довжину конвеєра для наявної площі підлоги. Форму замороженого продукту можна налаштувати відповідно до застосування [10, 11]. Технологія масштабована – від невеликих обсягів до значних, якщо на місці є достатньо площі та енергії. Невелика характерна відстань продукту, що підлягає заморожуванню, дозволяє цим морозильникам швидко охолоджувати продукти до їхньої кінцевої температури зберігання, якщо коефіцієнти теплопередачі охолоджуючої рідини достатньо високі. Через наявність рухомого конвеєра в охолодженій зоні холодильна система також повинна видаляти енергію, що надходить від приводних моторів. Вентилятори для циркуляції повітря також сприяють тепловому навантаженню, яке необхідно видаляти.

Переваги та недоліки кріогенного заморожування наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки кріогенного заморожування

Переваги	Недоліки
Високий тепловий обмін між кріогенним флюїдом і продуктом, що сприяє ефективності процесу, зменшуючи втрати енергії.	Високі експлуатаційні витрати через потребу в зріджених кріогенних рідинах
Висока швидкість заморожування, що дозволяє підтримувати органолептичну якість продуктів після розморожування.	Кріогенна рідина у більшості обладнання, доступного для цієї технології, не може бути повторно використана.
Початкові інвестиції менші за необхідні для встановлення систем механічного охолодження або заморожування.	Потрібні додаткові холодіві установки для зберігання заморожених продуктів.
Використання інертних газів, які не становлять ризику для безпеки операторів або самого процесу.	

Крапельні морозильні апарати. Краплі рідкого продукту, які призначені для заморожування, скочуються по похилій площині проти охолодженого

потоків повітря. Краплі не прилипають через малу площу контакту між краплею та поверхнею. Краплі заморожуються у вільно сипучі сферичні частинки, якими можна легко керувати та швидко розморожувати (рис. 1.2). Лід прилипає до водовідштовхувальних поверхонь в конденсуючій атмосфері при температурах нижче -20°C до -25°C [10-11]. Зчеплення льоду може відбуватися на нахилених поверхнях, спричиняючи подальше наростання льоду, яке буде важко виявити під час роботи та важко усунути без підвищення температури системи вище точки замерзання.

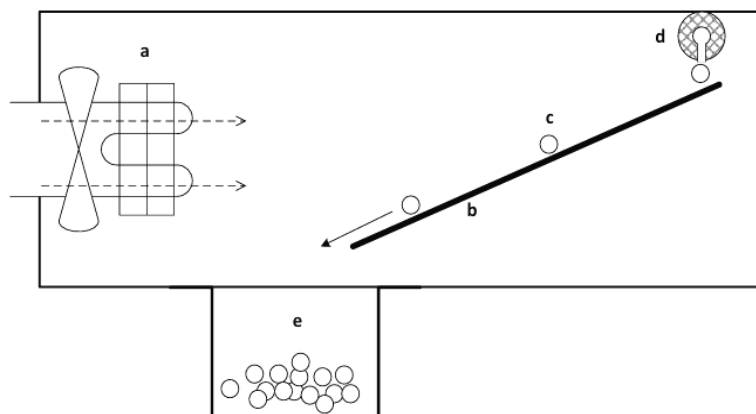


Рисунок 1.2 – Роликовий капельний морозильника

На рисунку 1.2. позначено: а – повітрооброблювальний блок, який включає холодильну систему, б – нахилена поверхня, в – крапля продукту, г – генератор крапель, д – бункер для зберігання продукту.

Плівкові морозильні апарати. У системі з падаючою плівкою продукт, який підлягає заморожуванню протікає у вигляді падаючої плівки по вертикальних пластинах, вертикальних трубах або вертикальних кільцях. З іншого боку пластини або всередині труб/кільць протікає охолоджуюча рідина, яка може бути теплоносієм, наприклад розчином пропіленгліколю або киплячим холодоагентом. Продукт замерзає на охолодженій поверхні, утворюючи шар льоду, який зростає до бажаної товщини, після чого лід видаляють шляхом нагрівання, що розплавляє тонкий шар льоду, дозволяючи більшій частині льоду відшаровуватись під дією гравітації. Утворення твердих речовин з падаючих плівок також використовується для концентрування апельсинового соку, яблучного та грушевого соку, кави і молока, а також для фракціонування молочного жиру [10, 16]. Отриманий заморожений продукт має форму крапель, які легко обробляти як насипний матеріал. Невелика характерна відстань між краплями також забезпечує швидке розморожування замороженого продукту. Системи працюють при атмосферному тиску та мають низьку або середню складність, а принципи масштабування досить прості: збільшення потужності можна досягти шляхом збільшення площі поверхні морозильника разом з відповідним збільшенням потужності охолоджувача.

Щоб привести розчин, який потрібно концентрувати у контакт з холодною поверхнею, щоб утворився лід і підвищилася його концентрація. Залежно від способу встановлення контакту між рідиною та охолоджувальним блоком розрізняють непряму кристалізацію у статичному режимі та непряму

кристалізацію у динамічному режимі. У статичному режимі рідина залишається нерухомою перед охолодженою поверхнею. Динамічний режим представляє всі процеси в яких харчова рідина транспортується на холодну поверхню за допомогою механічного пристрою у вигляді спадної, підйомної плівки або обох варіантів [8, 16]. Кріоконцентрація на шарі у вигляді спадної плівки базується на концентрації шляхом часткового заморожування непрямым способом рідкого харчового продукту, що спадає у вигляді плівки по холодній поверхні. Найвища ефективність процесу, з точки зору більшої концентрації рідини та меншого утримання розчинених речовин у льоду, може бути досягнута при встановленні відносно низьких швидкостей росту льоду. Наразі процес концентрації шляхом заморожування на шарі у вигляді спадної плівки застосовується в різних сферах розділення рідин, наприклад в концентрації фруктових соків або рідких харчових продуктів.

Коли лід зростає на холодній поверхні, швидкість зростання впливає на розподіл та включення розчинених речовин у льодовому шарі – це явище спричинене градієнтом температури. Існують дві взаємопов'язані поведінки домішок при кристалізації льоду в шарі: одна – це включення розчину під час росту льодового шару, а інша – міграція захопленого розчину під час процесу. Включення розчину потрапляють у льодовий шар під час його зростання та одночасно відсуваються градієнтом температури між охолодженою поверхнею та твердотілково-рідкою межею [2, 8, 16]. У першій зоні відбувається затримка розчиненої речовини в льоду через високий переохолодження, яке відчуває рідина при контакті з холодною пластиною, що зумовлене зниженням температури нижче точки замерзання. У другій зоні затримка розчинених речовин визначається швидкістю росту льоду, тобто чим вища швидкість росту, тим більша затримка розчинених речовин, а у третій зоні це зумовлено високою в'язкістю через концентрацію рідини та сильне охолодження.

Заморожування є ключовим процесом для збереження продуктів харчування, проте все більше з'являється досліджень з різними методами поліпшення техніки заморожування. Під час проведення традиційного заморожування спостерігаються втрати органолептичних властивостей, таких як втрата смаку, кольору чи зміни текстури та розміру продукту, серед іншого. Основною причиною цього погіршення якості продуктів є розмір кристалів льоду, що утворюються під час заморожування. Найважливішими параметрами для зменшення кристалів льоду є час нуклеації, кінцевий час замерзання та час фазового переходу. Одним із найвизначальніших чинників у кінцевій якості харчового продукту є його збереження [12]. Саме тому з появою нових технологій, які виникають дедалі частіше, проводиться велика кількість досліджень, пов'язаних із збереженням продуктів харчування. Промисловість дедалі більше прагне зберегти сенсорні властивості свіжих продуктів у консервованих продуктах, а також ставить за мету зберігати ці властивості якомога довше, адже таким чином продукцію можна експортувати в більш віддалені країни, не втративши якостей свіжих продуктів, і таким чином досягати більшої кількості людей. Найпоширенішим і найчастіше використовуваним методом цього процесу збереження продуктів є

заморожування.

Нові методи збереження продуктів харчування намагаються вирішити покращити органолептичні властивості, пропонуються різні методи збереження продуктів харчування, серед яких наразі найбільше використовуються ультразвукове опромінення, електричні поля та високий тиск. Застосування ультразвуку базується на ідеї скорочення часу заморожування, що, у свою чергу, зменшує розмір кристалів. Цей ефект зумовлений акустичною кавітацією, яка сприяє нуклеації льоду за рахунок мікропухирців, утворюючи кристали льоду меншого розміру.

Заморожування під високим тиском. Застосування високого тиску є системою збереження продуктів харчування при якій за допомогою великих гідростатичних тисків деактивується велика частина патогенів у продуктах. Температура рівноважного замерзання води за атмосферного тиску становить 0°C , однак підвищення тиску системи знижує цю температуру. Мінімальна температура замерзання -22°C досягається при 207,5 МПа. Ця властивість води може бути використана для збільшення нуклеації шляхом охолодження продукту нижче 0°C під підвищеним тиском, а потім скидання тиску, що призводить до значного переохолодження та гомогенної нуклеації по всьому об'єму продукту і може бути корисним для заморожування продуктів, де бажано рівномірне розподілення кристалів льоду на великому об'ємі [10-14]. При тиску 900 МПа можна утворити лід за кімнатної температури без будь-якого охолодження. Продукти зазвичай розміщують у контейнерах, які придатні для високого тиску і занурюють у рідину, що передає тиск і тепло, всередині установки для високотемпературного заморожування. Форма цього процесу варіюється і відрізняється в залежності від продукту, тому складно робити висновки щодо легкості обробки та розморожування замороженого продукту.

Застосування магнітних полів має на меті зменшити температуру утворення ядер кристалів та час фази шляхом застосування магнітного поля, будь то одновекторне, двовекторне або тривимірне. Механізм ще повністю не з'ясований, але було запропоновано, що магнітне поле спричиняє переорієнтацію молекул води в харчовому продукті, що призводить до утворення більш дрібних кристалів у більшій кількості, оскільки застосування магнітного поля стимулює виникнення магнітних вібраційних сил у молекулах води, які запобігають ранньому формуванню кристалів льоду та їх росту, що викликає зниження температури утворення ядер. Таким же чином це також забезпечує рівномірне кристалізацію по всьому продукту.

Наразі з'являється новий метод заморожування, який називається ізохоричне заморожування, що полягає у модифікації традиційного ізобаричного заморожування при якому продукти заморожуються за постійного атмосферного тиску [12]. У випадку ізохоричного заморожування продукти заморожуються за постійного об'єму: їх запаковують у жорсткий контейнер, наповнений водою і під час процесу заморожування продукт у жодний момент не перетворюється на суцільний блок льоду. Проведені дослідження підтверджують, що зменшується витрата енергії та вуглецевий слід при цьому

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

процесі ізохоричного заморожування, також зазначається, що значно підвищується якість продуктів порівняно з традиційним ізобаричним заморожуванням.

На основі вище зазначеного можна вважати, що заморожування молока, соку – це спеціалізована техніка консервування, яка полягає у концентрації сировини шляхом видалення води та його заморожуванні для тривалого зберігання та транспортування. Концентрування молочних продуктів широко застосовується у виробництві молочних продуктів завдяки отриманню продуктів з високим вмістом сухої речовини, зменшеним об'ємом та збільшенням терміну придатності.

Зазначено, що процес концентрування заморожуванням – це технологія нетермічного концентрування, що застосовується в рідких харчових продуктах, яка базується на розділенні твердої та рідкої речовин за низьких температур при якому водна фракція заморожується, перетворюється на чисті кристали льоду та видаляється з концентрованого розчину. Кріоконцентрація – це технологія, що використовується для перетворення та очищення водних розчинів, метою якої є підвищення концентрації розчинених речовин шляхом заморожування. Технологія застосовується в різних галузях промисловості і має особливе значення в харчовій сфері, оскільки дозволяє зберігати поживні, функціональні та сенсорні властивості продукту завдяки низьким температурам, які використовуються. Процес кріоконцентрації рідкої сировини включає два основні етапи: заморожування рідкої сировини без досягнення евтектичної точки та подальше відділення концентрату від льоду. Тому процес кріоконцентрації в основному складається з двох етапів: заморожування та розділення.

Аналіз наукових джерел дав змогу констатувати, що розрізняють два види холододових установок, які нині використовуються в промисловості, залежно від фізичних принципів, застосованих для зниження температури. Це механічні холододові установки, що використовують стискання холодоагентів та кріогенні холододові установки, які застосовують рідкий азот N_2 або діоксид вуглецю CO_2 за температур нижчих за їх точку кипіння у прямому контакті з продуктом. Інноваційність у використанні кріогенних рідин, яка відрізняє його від циклів механічного охолодження, полягає в тому, що зміна стану (випаровування) відбувається, коли рідини перебувають у прямому контакті з продуктами, і, як правило, немає циклу для їх повторного використання, оскільки вони безпосередньо вивільняються в атмосферу після переходу з рідкого стану в газоподібний.

Вважається, що кріоконцентрація у вигляді плівки – це техніка, що розвивається і представляє собою альтернативу обробки при отриманні концентровано молока чи соку, яка зберігає біологічно цінні сполуки. Наразі процес концентрації шляхом заморожування у вигляді спадної плівки застосовується в різних сферах розділення рідин, наприклад в концентрації фруктових соків або рідких харчових продуктів. Також впроваджуються нові методи збереження продуктів харчування, серед яких наразі найбільше використовуються ультразвукове опромінення, електричні поля та високий тиск.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КРІОКОНЦЕНТРУВАННЯ РІДКОЇ СИРОВИНИ

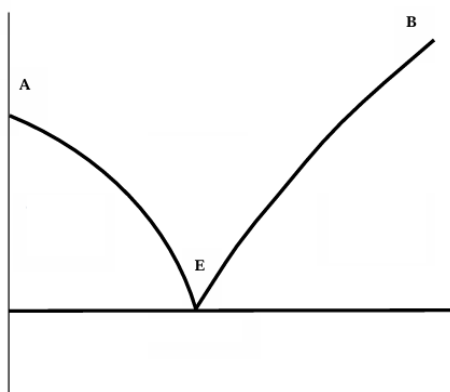
2.1 Параметри системи кріоконцентрації рідини

Використання низьких температур для збереження харчових продуктів є широко застосовуваним методом у промисловості – це один із найстаріших методів для цієї мети, застосування якого на промисловому та комерційному рівнях має понад столітню історію розвитку та вдосконалення. Значення холодового збереження проявляється у широкому впливі на різні сектори, оскільки воно дозволяє підтримувати якість більшості харчових продуктів за конкурентоспроможною ціною. Саме тому у всіх процесах виробництва та переробки включається щонайменше один етап збереження за низьких температур, будь то сировина чи кінцевий продукт. Зазвичай використовуються системи збереження за холодом, тобто охолодження або заморожування для підтримки якості та продовження строку придатності рослинних продуктів, молочних продуктів, продуктів з високим вмістом жиру, кондитерських та хлібобулочних виробів, соків та пюре [11]. Тобто всі ті продукти, які характеризуються високим вмістом води, близьким до одиниці, і одночасно високим вмістом вологи, що визначає їхню високу чутливість до псування, будь то мікробіологічне, фізичне, хімічне чи біохімічне. В цьому контексті охолодження або заморожування є ефективними для запобігання або уповільнення таких процесів, оскільки низькі температури зменшують швидкість хімічних або біохімічних реакцій, що призводять до втрати якості продуктів. Це дозволяє зупинити або пригнічувати ріст патогенних або псувальних мікроорганізмів та також зменшити активність ферментів, що викликають псування.

Холодове зберігання, як і будь-яка технологія зберігання не покращує якість кінцевого продукту, а лише запобігає або сповільнює його псування, тому якість сировини є ключовою. Також існують інші фактори, які впливають на якість охолоджених або заморожених продуктів, головним чином: застосований процес, матеріал і тип упаковки, час і температура, використані в ланцюзі холодного зберігання, а також розморожування [11, 16]. Тому у харчовій промисловості надзвичайно важливо знати і передбачати взаємний вплив певних процесів на властивості продуктів харчування, насамперед для проектування та контролю обладнання. Перед тим як приступити до оптимізації обладнання для кріоконцентрування необхідно розглянути деякі властивості продуктів харчування, які мають особливе значення в цьому процесі такі як: точка замерзання, в'язкість, щільність, питома теплоємність та теплопровідність.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Озарчук			Удосконалення швидкозаморозильного обладнання для заморожування рідкої сировини				Лім.		Арк.	Аркушів	
Перевір.		Омельченко									22	20	
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Н. Контр.		Омельченко											
Затверд.		Омельченко											

1. Точка замерзання водних розчинів дозволяє контролювати стан та розвиток ряду властивостей, пов'язаних із збереженням, якістю, цілісністю та харчовою цінністю продуктів. Також вона дозволяє аналізувати, оцінювати або прогнозувати термофізичні характеристики харчових рідин на основі кореляцій загального або специфічного характеру. Проектування системи концентрування методом заморожування повинно враховувати точку замерзання харчової рідини. Вона визначається як температура при якій рідкий та твердий стани харчової речовини перебувають у рівновазі при даному тиску. Фазова діаграма є простим зображенням систем у рівновазі [11, 16, 22]. Справжня рівновага зрідка досягається, хоча може бути наближеною. Тепловий аналіз на основі діаграми фаз дозволяє візуалізувати та визначати різні стани харчових продуктів залежно від вмісту води, концентрації розчинених речовин та температури. На рисунку 2.1 представлено фазову діаграму розчину за сталої тиску. Можна спостерігати криву замерзання та області температур і концентрацій, де можлива кріоконцентрація. Крива замерзання описує рівновагу між розчином та утвореним льодом. Будь-яка точка кривої представляє точку замерзання розчину при певній температурі та концентрації.



Крива АЕ показує температури замерзання розчину.

Крива ВЕ показує склади насиченого розчину залежно від температури.

У евтектиці Е співпадають три фази в рівновазі. Температура є найнижчою, яку можна досягти.

Рисунок 2.1 – Фазова діаграма

Точка замерзання, залежить від молярної частки розчиненої речовини у розчині, а не від маси. Пониження точки замерзання приблизно обернено пропорційне молекулярній масі розчиненої речовини у розчині. Наприклад, при однаковій концентрації яблучні та грушеві соки, з особливою роллю фруктози та глюкози як розчинників, мають нижчу точку замерзання порівняно з персиковим соком, де основним розчиненим компонентом є сахароза. Білки, будучи порівняно дуже великими молекулами не мають вимірюваного ефекту на точку замерзання. Розмір кристалів льоду у харчовій рідині також може впливати на точку замерзання. У той час як лід, утворений з води, має точку замерзання 0°C , відомо, що харчові рідини з дрібними кристалами льоду мають трохи нижчу точку замерзання порівняно з рідинами з великими кристалами.

2. В'язкість. У різних операціях переробки продуктів харчування для вибору найвідповіднішого обладнання важливо знати в'язкість оброблюваної рідини. В'язкість соків зазнає суттєвих змін під час переробки, що особливо стосується процесів, що передбачають нагрівання, охолодження, заморожування, гомогенізацію та концентрацію. В'язкість збільшується при

зниженні температури та підвищенні концентрації наприклад, апельсинового сік, в'язкість рідини залежить від міжмолекулярних сил та взаємодії водорозчинена речовина, що обмежує молекулярний рух. Сили залежать від міжмолекулярних відстаней та сили водневих зв'язків і зазнають впливу змін концентрації та температури. Важливо контролювати в'язкість залежно від температури, тиску та концентрації, головним чином через неефективність кріоконцентрації та інших операцій (випаровування, зворотний осмос), коли продукт стає високов'язким [16]. Наприклад, під час кріоконцентрації швидкість теплопередачі залежить від змін в'язкості. Зі збільшенням в'язкості швидкість теплопередачі зменшується, що призводить до більшого споживання енергії. Зростання в'язкості визначає максимальну межу концентрації під час процесу. Таким чином, зі збільшенням в'язкості зменшується здатність відділяти кристали льоду. Під час кріоконцентрації харчових рідин здатність відокремлювати лід від концентрованої рідини обернено пропорційна в'язкості продукту.

3. Щільність визначається як відношення маси до об'єму. Фізичні властивості харчових продуктів, такі як щільність та їх реакція на умови обробки є вирішальними при аналізі операцій, що беруть участь у переробці харчових продуктів. Щільність є показником того, як речовина організована в певному тілі. Матеріали з більш компактною молекулярною структурою мають більшу щільність [16, 22]. Щільність рідких харчових продуктів поступово збільшується зі зростанням концентрації сухої речовини та зниженням температури рідини, наприклад, персиковий та апельсиновий соки. Щільність твердої води (льоду) менша, ніж щільність рідкої води. Таким чином, щільність заморожених продуктів буде меншою за щільність незаморожених продуктів.

4. Теплопровідність харчового матеріалу є мірою його здатності проводити тепло. Теплопровідність харчових рідин під час кріоконцентрації залежить від трьох факторів: складу продукту, структури та умов його приготування. Більшість продуктів із високим вмістом вологи мають значення теплопровідності, яке ближче до води [11, 16, 22]. Вміст льоду відіграє значну роль у теплопровідності через відносну величину теплопровідностей льоду та води в заморожених продуктах. Теплопровідність льоду у чотири рази вища за теплопровідність води. У рідкому стані теплопровідність трохи залежить від концентрації розчиненої речовини та незначно залежить від температури. У твердому стані, однак, вона сильно залежить як від концентрації розчиненої речовини так і від температури.

5. Питома теплоємність є важливою частиною теплового аналізу при обробці харчових продуктів. Питома теплоємність харчового продукту зростає зі збільшенням його вологості. Вона визначається як кількість тепла, яку набуває або втрачає продукт на одиницю маси для того, щоб змінити температуру на одну одиницю. Для процесів, де відбувається зміна агрегатного стану, таких як заморожування або розморожування, використовується явна питома теплоємність [11, 22]. Явна питома теплоємність включає, окрім тепла, пов'язаного зі зміною агрегатного стану, також чутливе тепло. Інший спосіб отримання даних або значень питомої теплоємності – використання прогнозних

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

рівнянь. Прогнозні рівняння є емпіричними виразами, отриманими шляхом збору експериментальних даних на основі математичних моделей. Математичні моделі базуються на одному або декількох компонентах харчового продукту. Як зазначалося раніше, процес кріоконцентрації в основному включає два етапи: заморожування та відділення.

Рідкі продукти харчування відповідно до їх складу можна вважати складними водними розчинами з реалістичною поведінкою. Температура заморожування рідких продуктів харчування не є постійною, вона нижча за 0°C. Заморожування є одиничною операцією при якій частина води в продукті піддається зміні стану для утворення кристалів льоду шляхом зниження температури. Процес заморожування води включає два безперервні процеси: зниження температури нижче точки рівноваги замерзання та фазовий перехід від рідини до твердого стану (утворення льоду). Обидва процеси сильно залежать від властивостей теплопередачі, властивостей масопереносу та змінних продукту. На практиці кристалізація води включає два явища: нуклеація або утворення крихітної кристалічної решіткової структури розчину; зростання кристалів, що відповідає збільшенню розміру кристалів льоду.

Нуклеація є найважливішим етапом для контролю розподілу розмірів кристалів під час кристалізації. Вона є фундаментальною для розвитку технологій кріоконцентрації. Нуклеація розуміється як утворення кристалічних частинок, здатних спонтанно рости з певного мінімального розміру. Під час нуклеації вивільняється латентне тепло плавлення. Існують два типи нуклеації: гомогенна та гетерогенна. Гомогенна нуклеація полягає у спонтанному утворенні кристалів льоду, вільних від домішок та механічних впливів, а гетерогенна нуклеація відбувається у присутності домішок або сторонніх частинок [16]. У складних системах, таких як харчові розчини, відбувається гетерогенна нуклеація. Після того як відбувається нуклеація, утворення і збільшення розміру кристалів льоду контроль здійснюється швидкістю відведення прихованого тепла, що виділяється під час фазового переходу. Якщо швидкість видалення тепла повільна, замерзання води відбувається навколо небагатьох ядер, що призводить до утворення великих кристалів льоду при якому великі кристали ростуть за рахунок менших у результаті різниць у температурі рівноваги, що спричинені внеском енергія на поверхні.

Рідкі харчові продукти є складними сумішами різних компонентів, де розділення є ключовим етапом у процесі кріоконцентрації. Основною метою операції розділення під час процесу кріоконцентрації є виділення певних компонентів для підвищення їхньої доданої вартості, яким може бути виділений компонент, залишок або обидва [11, 22]. Альтернативним підходом до розділення компонентів у харчовій рідині є індукція фазового переходу на основі їхніх точок замерзання. У процесі кріоконцентрації кристалізація передбачає операцію розділення бажаної фракції (концентрована частина). Розділення льоду від концентрованої рідини може здійснюватися за допомогою різних механізмів, наприклад: фільтрації, промивання льоду, центрифугування, екстракції під тиском та розморожування, що включає покрокове розморожування як альтернативний механізм концентрації рідин у процесі

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кріоконцентрації. Як і заморожувальна установка у процесі концентрації сировини методом заморожування використовувалися різні пристрої для розділення.

2.2 Основні компоненти установки для кріоконцентрування рідин

Одна з технік для відділення розчинних твердих речовин від водного розчину полягає у заморожуванні води, яку він містить, що відома як кріоконцентрація. Виняткова якість концентрату, отриманого цим методом заморожування, пояснюється підвищеним теплопереносом (через контакт із холодильним середовищем) та різницею температур (між рідиною та охолоджувачем). Явище кріоконцентрації за допомогою спадної плівки можна назвати «холодна дистиляція твердого та рідкого», оскільки компоненти рідини (вода у вигляді льоду та, відповідно, концентрат, що утворюється) відділяються одночасним застосуванням холоду та тепла [18, 24]. Усе зводиться до виготовлення концентратів високої якості, які можуть додавати додаткову цінність харчовим рідинам за допомогою цього методу падаючої плівки з використанням відомих холодильних технологій. Метод, заснований на фізичних принципах є кращим за класичну термічну дистиляцію, якщо бажано отримати концентрати, які багаті на свої початкові складові. При виробництві фруктових соків він має перевагу у збереженні їх смаку та вітамінів. У комерційному апельсиновому соці було отримано концентрат 45% фруктового соку (решта – вода з 1% слідів соку) без втрати ароматів, а в кавовому продукті (з його 800 летючими компонентами) у процесі концентрації вдалося отримати 55% концентрованої кави (решта – вода з 1% слідів) без втрати ароматів та смаку.

Фізичний процес кріоконцентрації полягає в поступовому відділенні води у вигляді льоду з одного боку та концентрату, що формується з потоку, що можна робити одноетапно або в кілька етапів, залежно від бажаного ступеня концентрації, таким чином можна зводити до мінімуму залишкову концентровану частину. Кріоконцентрація у харчовій промисловості напоїв дуже корисна для концентрації різних видів соків, а також концентратів кави, чаю, різноманітних настоїв тощо [18, 26]. Також вона може бути доречною для отримання концентратів вина та пива, а також їхніх похідних. Процес дозволяє видаляти воду з розчину шляхом його охолодження до утворення кристалів льоду високої чистоти, що дозволяє отримати концентрат у бажаній концентрації в залежності від необхідності. Основні переваги полягають у тому, що концентрати, отримані за цією технологією, зберігають свої природні поживні та сенсорні властивості, демонструючи якість, вищу за ту, що досягається при звичайній концентрації продуктів методом випаровування.

Робота з цим процесом «на низькій температурі» дозволяє передбачати та уникати небажаних хімічних і біохімічних змін, максимально мінімізуючи втрати органолептичних властивостей і уповільнюючи природний процес деградації. Це представляє низку переваг, коли потрібен концентрований продукт, який зберігає більше оцінених властивостей, таких як аромати та леткі

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовини або який може бути чутливим до тепла. Кріоконцентрація також підходить для рідин, що походять з промивних вод, наприклад, як у харчовому, так і в промисловому секторі з високим вмістом води та різних розчинів, які можна відновити, де інші методи (сепарація, випаровування, вакуум тощо) не дають бажаного результату і при цьому значно дорожчі. Система кріоконцентрації складається з кріоконцентратора, системи охолодження, гідравлічної системи та електричної системи (рис. 2.2).

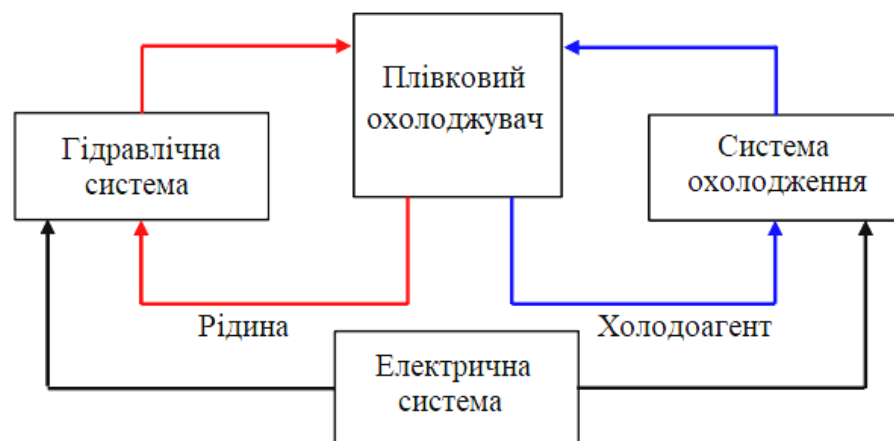


Рисунок 2.2 – Схема процесу кріоконцентрації

Система кріоконцентрації складається з системи охолодження, гідравлічної системи, електричної системи та плівкового морозильного апарату. Система є контактного типу з непрямим охолодженням із внутрішнім охолодженням та формуванням льоду по шарах. Теплопередача в випарній установці відбувається шляхом теплопровідності між рідиною та п'ятьма паралельними пластинами, розташованими вертикально. Кожна пластина складається з двох зварених між собою сторін, всередині яких циркулює охолоджуюча рідина у формі змійовика. Гідравлічна система складається з насоса, який подає харчову рідину з резервуара, розташованого в нижній частині кріоконцентратора до колектора у верхній частині, де рідина розподіляється по поверхні випарників у вигляді плівки через отвори малого діаметра. Гідравлічна схема оснащена відцентровим насосом потужністю 0,75 кВт, який подає рідину до колектора. Електрична система складається з набору елементів, які призначені для транспортування та розподілу електроенергії, оснащених механізмами контролю, безпеки та захисту.

1. Холодильна система складається з чотирьох ключових елементів: компресор, конденсатор, розширювальний клапан та випарник. Холодильна система працює за циклом стиснення з конденсацією повітрям і герметичним компресором потужністю 1,38 кВт (холодопродуктивність 2,870 кВт при -5°C). Завдяки такому розташуванню утворюється тонка плівка приблизно 2 мм завтовшки, яка стікає з обох боків пластини і збирається в резервуар для повторної циркуляції [16, 17, 25]. Холодоагент – рідина, яка використовується для передачі тепла. Вона поглинає тепло при низьких температурах і тиску та віддає його при вищих температурах і тиску. Холодильна система призначена

для охолодження рідкого середовища, зазвичай води, через тепловий обмін. Вона також може працювати в режимі теплового насоса для нагрівання цієї рідини. Холодильні машини є широко використовуваним обладнанням завдяки їх здатності охолоджувати або нагрівати, залежно від потреби.

У холодильній машині охолодження зазвичай досягається за рахунок випаровування холодильного агента, тобто рідини, що використовується для передачі тепла, яка в холодильній системі поглинає тепло при низьких температурах і тиску, передаючи його при вищих температурі та тиску. Процес зазвичай відбувається зі зміною стану рідини [22-23]. Система охолодження дотримується типовий цикл механічного охолодження, тобто для охолодження певної рідини охолоджувальна рідина випаровується у випарнику, щоб теплота, необхідна для випаровування, витягувалася з рідини, яку потрібно охолодити. Пар, що утворюється під час кипіння охолоджувальної рідини, збирається й стискається в компресорі, охолоджується в конденсаторі і знову перетворюється на рідину, яка може знову випаровуватися, виробляючи більше холоду. Окрім цих основних процесів виробництва холоду, що складають основний контур, для більш ефективного використання машини наша система має два вторинні контури з різними цілями. Охолоджувач відводиться в різні точки основного контуру до цих вторинних контурів для регулювання мінімального тиску випаровування та потоку охолоджувальної рідини.

Механічне стиснення називається продуктивністю компресора під час виконання роботи, яке полягає у підвищенні тиску твердого тіла, здатного деформуватися або до безперервного середовища та має дві характеристики: зменшує об'єм і підвищує температуру. Компресор – це обладнання, яке використовується для зменшення об'єму рідини або газу за допомогою тисків; його функція полягає в тому, що за допомогою застосування двох протилежних сил рідина тиснеться і таким чином вона отримує рух (кінетичну енергію) з достатнім тиском для потоку [22, 23]. Компресор – це один з ключових компонентів, який забезпечує живлення системи. За постійних температурних умов компресор всмоктує холодоагент у вигляді пари під низьким тиском і випускає пару під високим тиском (стиснений), що зменшує об'єм. Компресор є елементом, що потребує найбільшої уваги в установці і підлягає систематичним перевіркам. Крім того, це єдиний елемент, який потребує споживання механічної енергії для свого функціонування. Його основна функція полягає в тому, щоб підвищити тиск випарника до такого рівня, щоб відбувся перехід газоподібного стану в рідкий у конденсаторі. Хоча очікується ізентропний цикл у компресорі, підвищення тиску відбувається разом зі збільшенням температури.

Стиснення – це процес механічного примусового переміщення рідини таким чином, щоб вона циркулювала в замкненому циклі, який створює області високого та низького тиску. Метою є видалення тепла з небажаного місця та перенесення його в потрібне місце, де його можна відкинути або розсіяти. Охолодження за допомогою стиснення – це метод охолодження, який полягає у стисненні потоку холодоагенту в замкненому циклі, який, як вже зазначалося, розділений на дві зони: високого та низького тиску [19, 22]. Мета цього процесу

полягає у забезпеченні теплового обміну від холодоагенту до навколишнього середовища та від холодоагенту до тіла або середовища, яке потрібно охолодити. У випарнику відбувається зона низького тиску та низької температури, де відбувається обмін з тілом або середовищем, яке потрібно охолодити, а в конденсаторі знаходиться зона високої температури та високого тиску, де холодоагент віддає тепло середовищу.

Система охолодження для свого функціонування потребує кількох елементів або частин. Компресор – це машина, яка підвищує тиск стисливого флюїду, такого як газу або пари. Це генератор стислого повітря, який полягає в тому, щоб піддавати повітря двом протилежним силам, щоб його об'єм зменшився і виник більший тиск. За сталої температури об'єм обернено пропорційний тиску, тобто чим більший об'єм, тим менший тиск, і навпаки, чим менший об'єм тим більший тиск. Компресори класифікують згідно з їхніми характеристиками, вони можуть бути відкритими, напівгерметичними або закритими [22, 23]:

- відкритими компресорами називають ті, що використовуються в застосуваннях, де їх приводить у дію зовнішній електродвигун. Відкриті компресори. Двигун приводу та компресор працюють незалежно один від одного. Двигун і компресор можуть бути з'єднані за допомогою ременів або безпосередньо, встановивши двигун на колінчастий вал. Для великих компресорів, тобто високої потужності, використовують відкриті компресори;

- закриті або герметичні компресори – це ті, основною характеристикою яких є герметичність, і зазвичай вони використовуються для загального охолодження. Двигун і компресор, крім того, що вони мають спільний вал, розміщені в одному корпусі, що забезпечує більший відбір тепла, яке виділяється двигуном через холодоагент;

- напівгерметичні компресори – це ті, що мають інтегрований двигун, але не є повністю герметичними, що полегшує їхній ремонт під час технічного обслуговування. Двигун і компресор мають спільний вал. Частина тепла, що виділяється двигуном, відновлюється у холодоносії, завдяки чому ефективність вища, ніж у відкритих компресорів. Для середньої потужності (зазвичай повітря-вода теплові насоси) використовуються напівгерметичні компресори.

Центробіжні компресори – це турбомашини, що складаються з ротора, який обертається всередині корпусу, який оснащено отворами для входу та виходу робочого середовища. Ротор є елементом, який перетворює механічну енергію вала на кінетичну енергію робочого середовища. Коли вони працюють на повному навантаженні, вони дуже ефективні. Цей компресор не є поширеною системою, проте він дуже часто використовується в промисловому середовищі [19, 22]. Поршневі компресори також їх називають рециркуляційними – це компресори для охолодження. Вони засновані на механізмі шатуна та колінчастого вала або колінвала, мають клапани зворотного струму, керовані залежно від тиску. Тобто у випускному клапані, коли тиск у циліндрі перевищує тиск випуску, ця різниця тисків піднімає пластину і відбувається процес випуску у всмоктуючому клапані відбувається протилежне: коли тиск у циліндрі менший за тиск у зоні всмоктування, різниця

тисків піднімає пластину і починається процес всмоктування. Їхні основні переваги: змінна здатність до стиснення, адаптивність і можливість використання протягом тривалих періодів. Застосування поршневих компресорів є поширеним у комерційних та промислових процесах або застосуваннях, головним чином у стаціонарних системах, також у зберіганні м'ясних продуктів та криогенному збереженні.

Основною характеристикою гвинтових компресорів є те, що вони складаються з двох гвинтів або роликів, які зчеплені і обертаються у протилежних напрямках один від одного, що забезпечує безперервний цикл стиснення, оскільки повітря входить з одного боку і одночасно виходить з іншого кінця за один прохід, при цьому простір між роликками або гвинтами розподіляє стиснення повітря, як показано на рисунку. Їх основні переваги: стабільність, дозволяє працювати з великими обсягами холодоагенту, полегшує обслуговування та очищення компонентів, зменшення рівня шуму. Гвинтові компресори можуть бути напівгерметичними, герметичними або відкритими і їх обирають відповідно до застосування для якого вони будуть використовуватися [19, 22]. Роторні компресори являють собою герметичні компресори, що складаються з двох спіралей, розташованих у верхній частині компресора: одна нерухома, розташована зверху, і одна рухома внизу, яка описує траєкторію обертання відносно попередньої. Рухома спіраль з'єднана з валом двигуна і здійснює орбітальний рух. Основні переваги спіральних компресорів такі: їх конструкція має на 70% менше рухомих деталей, низький рівень шуму, низькі вібрації, ефективні при високих температурах, менша вага та компактні розміри, надійні та міцні в роботі.

Для правильного вибору компресора були проведені відповідні розрахунки [23]

$$w = m_R * (h_2 - h_1)$$

де w – робота компресора

$$m_R - \text{масовий потік холодоагенту} \quad 0,264596 \frac{kg}{s}$$

$$h_2 - \text{ентальпія в компресорі} \quad 271,5188 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_1 - \text{ентальпія в випарнику} \quad 234,2051 \frac{kJ}{kg}$$

$$w = 0,264596 \frac{kg}{s} * (271,5188 \frac{kJ}{kg} - 234,2051 \frac{kJ}{kg})$$

$$w = 9,8730 kW$$

Установку обладнано герметичним компресором із трифазним трансформатором вторинної напруги 230/400 В, 50 Гц. Теплова потужність або вихідна потужність компресора залежатиме від температури випаровування та

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конденсації холодоагенту.

Конденсатор є повітряним охолоджуваним теплообмінником із примусовою циркуляцією. Контур відведення тепла конденсатора складається з охолоджувальної машини типу осьового вентилятора потужністю 0,16 кВт. Серце конденсатора складається з 60 трубок, розташованих у три ряди. Теплова потужність конденсатора становить 5760 ккал/год при ΔT 12⁰С, що підходить для видалення тепла компресора та тепла, відведеного випарником [15-18, 22]. Випарник є теплообмінником, який, на відміну від конденсатора, переводить холодоагент зі стану рідини в газоподібний стан, тобто на цьому етапі холодоагент поглинає тепло з навколишнього середовища і одночасно охолоджується з метою боротьби з вологою, щоб уникнути викиду дрібних частинок кристалізованої води при низькій температурі. Також можна говорити про переміщення або вилучення тепла з небажаного місця до бажаного, його називають випарником тому, що на цьому етапі холодоагент переходить у газоподібний стан, входить при низькій температурі та низькому тиску, проходить через випарник і поглинає тепло від тіла або середовища, після чого виходить при високій температурі та низькому тиску, таким чином відбувається процес випаровування.

Для правильного вибору конденсатора були проведені відповідні розрахунки [23]

$$Q_S = m_R * h_f$$

де Q_S – тепло, що виділяється в конденсаторі

$$m_R - \text{масовий потік холодоагенту} \quad 0,264596 \frac{kg}{s}$$

$$h_f - \text{ентальпія конденсату} \quad 25,49 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_S = 0,264596 \frac{kg}{s} * 25,49 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_S = 6,7445 kW$$

Розрахунок витрати конденсатора [23]

$$m_R * h_f = m_a (h_2 - h_1)$$

де m_R – масовий потік холодоагенту

$$h_f - \text{ентальпія конденсату} \quad 0,264596 \frac{kg}{s}$$

$$m_a - \text{масовий потік повітря} \quad 25,49 \frac{kJ}{kg}$$

h_2 – ентальпія повітря при 22°C $295,32 \frac{kJ}{kg}$

h_1 – ентальпія повітря при 13°C $286,294 \frac{kJ}{kg}$

$$0,264596 \frac{kg}{s} * 25,49 \frac{kJ}{kg} = m_a \left(295,32 \frac{kJ}{kg} - 286,294 \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$m_a = 0,74723 \frac{kg}{s}$$

Масовий потік повітря в конденсаторі [23]

$$Q = \frac{m_a}{\rho}$$

де Q – масовий потік повітря в конденсаторі

m_a – масовий потік повітря $0,74723 \frac{kg}{s}$

ρ – густина повітря $1,202 \frac{kg}{m^3}$

$$Q = \frac{0,74723 \frac{kg}{s}}{1,202 \frac{kg}{m^3}}$$

$$Q = 0,6216 \frac{m^3}{s}$$

Обрано повітряний конденсатор з продуктивністю 8,007 кВт.

Рідинний холодоагент, що надходить від компресора у стані перегрітого пару і при високій температурі, віддає тепло середовищу, яке потрібно нагріти. При цьому зниженні температури відбувається конденсація холодильного агенту. Цей процес теплопередачі можна покращити, використовуючи ребристі труби. Так, наприклад, коли використовується охолоджувальна вода, найчастіше застосовують пластинчасті або трубчасто-оболочкові конденсатори. У трубчасто-оболочкових, коли відбувається конденсація рідини, вона проходить по стороні оболонки, і зазвичай використовують затоплені конденсатори.

Розширювальні клапани використовуються як регулятори машини для стиснення пари. Розширювальний клапан забезпечує регулярне надходження холодоагенту до випарника, завжди підтримуючи певний перегрів на виході з

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випарника. Його функція полягає в постачанні та регулюванні потоку холодоагенту до випарника відповідно до теплового навантаження. Клапан розроблений відповідно до типу холодоагенту [9]. Вони розташовані на кожній з плит, щоб працювати незалежно. Також є клапан, розташований у конденсаторі для здійснення інверсії циклу. Термостатичний клапан марки із зовнішнім вирівнювачем і температурним діапазоном випаровування від -30 до $+10^{\circ}\text{C}$. Клапан оснащений гвинтом регулювання потужності, щоб можна було змінювати потужність вони мають картриджі, які можна замінити на інші з отворами різного діаметра.

Для вибору розширювального клапана було проведено розрахунок холодопродуктивності цього компонента [23]

$$Q_o = m_R \times (h_o - h_c)$$

де Q – холодопродуктивність клапана розширення

$$m_R - \text{масовий потік холодоагенту} \quad 0,264596 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$h_o - \text{на виході з випарника} \quad 234,2051 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_c - \text{на вході з випарника} \quad 217,4064 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Холодопродуктивність розширювального клапана

$$Q_o = 0,264596 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (234,2051 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 217,4064 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$Q_o = 4,4448 \text{ kW}$$

Терморегулюючий клапан для холодоагенту R134a з холодопродуктивністю 5,25 кВт. Пресостати використовуються для захисту від надто низького всмоктуючого тиску або високого тиску викиду. Також використовуються для запуску та зупинки компресорів і вентиляторів у конденсаторах. У обладнанні для кріоконцентрації є чотири пресостати з наступними функціями: контролювати кінець відтавання, регулювати цикл вентиляції конденсатора, захищати від низьких навантажень, зупиняти компресор у разі аномального зниження всмоктуючого тиску, забезпечувати захист при аномальному підвищенні тиску викиду [16]. Манометри дозволяють отримувати дуже важливу інформацію щодо роботи установки. Установки кріоконцентратора оснащені парою манометрів, які дозволяють визначати

низький і високий тиск. Манометр низького тиску синього кольору підключений до всмоктування компресора (тиск випаровування). Манометр високого тиску червоного кольору підключений до випускної трубки, забезпечуючи показники тиску газу на виході компресора в реальному часі (тиск конденсації).

Резервуар для рідини розташований перед компресором, а його основна функція полягає в запобіганні потрапляння рідини в компресор, коли рідина, що осідає, може зрештою випаровуватися під впливом тепла зовнішніх джерел. Компресор призначений для стиснення лише пари, акумулятор на всмоктуючій лінії запобігає пошкодженню компресора від раптового надходження рідкого холодоагенту, оскільки масло може потрапити в компресор із всмоктуючої лінії. Акумулятор всмоктуючої лінії є тимчасовим резервуаром, призначеним для того, щоб як рідкий холодоагент так і масло поверталися до компресора з прийнятною швидкістю, що запобігає пошкодженню клапанів. Цей сталевий резервуар призначений для збору холодоагенту у випадку необхідності проведення втручання в холодильний контур. У резервуарі встановлюється запобіжний клапан, розрахований на відкриття при досягненні тиском обраного значення, яке є нижчим за межу, що витримують матеріали.

Зворотні клапани встановлюються головним чином у обладнанні, насосах тепла і їхня функція полягає в тому, щоб пропускати холодоагент в одному напрямку, але не у зворотному. Вони можуть бути кулькового та поршневого типу. Клапан реверсу циклу відповідає за зміну напрямку руху холодильного агента всередині холодильного контуру [9]. Його робота полягає в дії електромагнітної котушки на внутрішній напрямний елемент, який здатний змінювати напрямок руху холодоагенту так, що випарник перетворюється на конденсатор, а конденсатор на випарник, завершуючи етап реверсивного циклу. Соленіодний клапан використовується як механізм перекриття потоків у трубопроводах. Як закриття, так і відкриття відбувається електромагнітним способом. Створене магнітне поле впливає на вал, який відкриває потік холодоагенту, а коли струм припиняється, пружина повертає вал у вихідне положення, перекриваючи потік.

2. Гідравлічна система. Гідравлічна система передає потужність між двома точками, розташованими на певній відстані: резервуар, який знаходиться в нижній частині та колектор, який розташований у верхній частині. Переміщення робочої рідини зазвичай розвивається в розподільчих системах, що передбачає прямі трубопроводи, зазвичай циліндричні, різного діаметра, з'єднані зручними сполуками, вигинами, колінами, клапанами тощо. Через ці системи рідина рухається за допомогою насоса. Переміщення харчової рідини зазвичай розвивається в системах розподілу, що передбачає прямі труби, зазвичай циліндричної форми різних діаметрів, з'єднані відповідними з'єднаннями, вигинами, колінами, клапанами тощо. Через ці системи рідина рухається за допомогою насоса. Система насоса базується на наступних концепціях [16]:

– всмоктуючий напір – це значення енергії, яку має рідина при надходженні до всмоктуючого отвору гідравлічного насоса. Він визначається як

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сума напору тиску, кінетичного напору та висоти або рівня на всмоктуючому отворі насоса;

– напір на виході – це значення енергії, яку має рідина безпосередньо в точці виходу з гідравлічного насоса. Він визначається як сума напору тиску, кінетичного напору та висоти на вихідному отворі насоса.

Насос є відцентровим, потужністю 0,75 кВт і продуктивністю 30-100 л/хв. Його робота забезпечується електродвигуном, який приводить у дію вал насоса, на якому встановлений робочий колесо. Рідина, яка надходить осьово в робоче колесо через отвір всмоктування та впускний патрубок відхиляються за допомогою лопатей робочого колеса в радіальному напрямку. Центробіжні сили, що діють на кожну частинку рідини під час проходження рідини через зону лопатей викликають збільшення тиску та швидкості викиду.

Для регулювання витрати рідини установка має такі запірні клапани [16]:

– клапан на насосі – це перший клапан на вихідній трубі насоса, його функція – забезпечити вихід рідини, всмоктуаної насосом. Також, після закриття, він запобігає поверненню рідини в насос після його очищення.

– клапан колектора трохи вище клапана на насосі. Його функція – направляти рідину до розподільників. Якщо він закритий, весь потік направляється до зворотної труби.

– зворотний клапан розташований на відгалуженні вихідної труби насоса між двома попередніми клапанами. Він повертає в бак ту кількість рідини, що всмоктується насосом, яку не потрібно направляти до колектора. Таким чином, він регулює витрату, що надходить до колектора.

– клапани розподільників: розташовані на відгалуженнях колекторної труби і служать для регулювання витрати рідини, що надходить до розподільних труб і, відповідно, циркулює через випарні пластини.

Прилади вимірювання, які встановлені на кріоконцентраторі. Клапани – це елементи, які регулюють тиск або потік рідини, що подається гідравлічним насосом. Згідно з їхньою функцією, клапани для регулювання потоку рідини в установці класифікуються на: розподільчі клапани, блокуючі клапани, клапани потоку, запірні клапани [16-18]. Для вимірювання параметрів роботи контуру та перевірки чи перебуває воно в нормальному робочому діапазоні. Для визначення цих параметрів використовуються наступні прилади: потокомір для вимірювання витрати встановлюється безконтактний електромагнітний потокомір. Встановлений потокомір є електромагнітного типу марки виготовлений з нержавіючої сталі для рідин. Діапазон вимірювань становить від 0,13 до 3,37 л/с, а точність – 0,3%. Амперметр і вольтметр для вимірювання сили струму, що проходить через електричний ланцюг, і для вимірювання різниці потенціалів між двома точками електричного ланцюга встановлюються амперметр і вольтметр класу 1-2, обладнані трансформаторами з відношенням 100/5.

2.3 Удосконалення кріоконцентратора з падаючою плівкою

У системі з падаючою плівкою продукт, який підлягає заморожуванню

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

протікає у вигляді плівки по вертикальних пластинах, вертикальних трубах або вертикальних кільцях. З іншого боку пластини або всередині труб/кільця протікає охолоджуюча рідина, яка може бути теплоносієм, наприклад розчином пропіленгліколю або киплячим холодоагентом. Продукт замерзає на охолодженій поверхні, утворюючи шар льоду, який зростає до бажаної товщини, після чого лід видаляють шляхом нагрівання, що розплавляє тонкий шар льоду, дозволяючи більшій частині льоду відшаровуватись під дією гравітації. Утворення твердих речовин з падаючих плівок використовується для концентрування апельсинового соку, яблучного та грушевого соку, кави і молока, а також для фракціонування молочного жиру [10, 16]. Отриманий заморожений продукт має форму крапель, які легко обробляти як насипний матеріал. Невелика характерна відстань між краплями також забезпечує швидке розморожування замороженого продукту. Системи працюють при атмосферному тиску та мають низьку або середню складність, а принципи масштабування досить прості: збільшення потужності можна досягти шляхом збільшення площі поверхні морозильника разом з відповідним збільшенням потужності охолоджувача. У циклі заморожування можна розглядати наступні етапи (рис. 2.3).

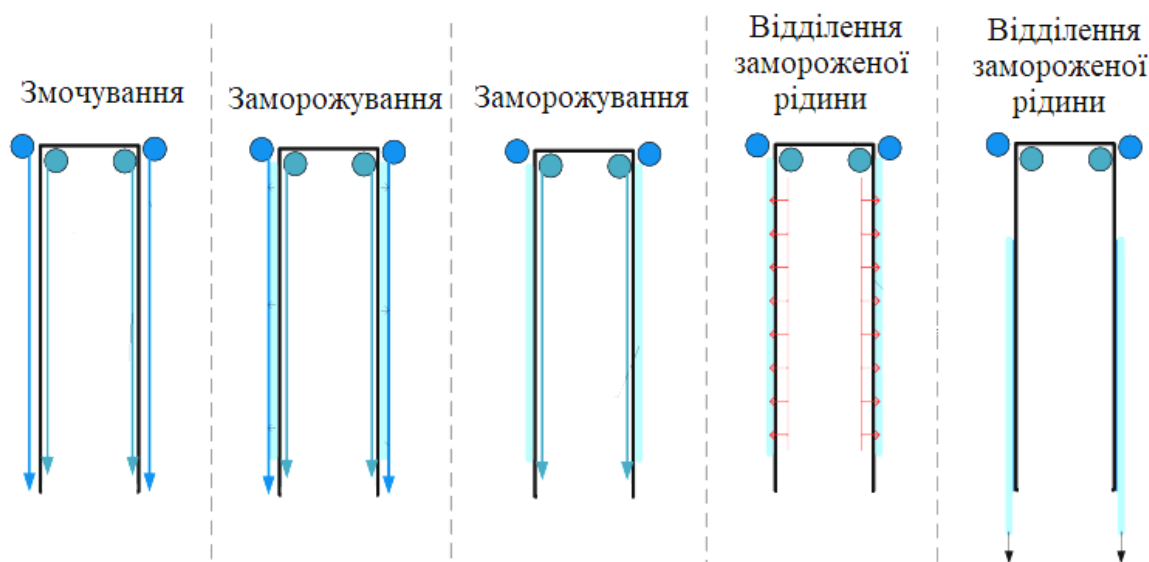


Рисунок 2.3 – Охолодження рідини за допомогою падаючої плівки

Проте можуть виникати низка проблем у процесі заморожування. Наприклад, пластини не змочуються однаково, що викликає погане випаровування унаслідок чого не відбувається належне розділення [18]. Лід містить більшу частину розчиненої речовини до того ж кількість різниться від пластини до пластини, тому очевидно, що якщо не вдається забезпечити правильний відтік рідини, система не може працювати належним чином. За таких умов вхідний розширювальний клапан теплообмінника не може рівномірно розподілити холодоагент по кожній пластині. Холодоагент, що циркулює всередині пластин випаровувача, змінюється, залишаючись у більшій кількості в одних пластинах, ніж в інших, і як наслідок, ті пластини, де

зливається менше рідини, замерзають раніше, ніж ті, де зливається більше.

Для ефективної роботи поверхня охолоджувача з падаючою плівкою повинна бути повністю змоченою протягом усього процесу. Повністю змочена поверхня сприяє рівномірному наростанню льоду та ефективному використанню наявної поверхні теплопередачі. Вода у розчині замерзає на холодній поверхні пластини. Молекули води переміщуються через розчин до твердозрідкого інтерфейсу, де вони знаходять енергетично більш вигідні місця в структурі кристалів льоду. Безперервний потік рідини, що тече вниз під дією гравітації, поступово збільшує товщину шару зверху донизу [10, 22]. Рух є мало турбулентним і передається на контактну поверхню за рахунок теплопровідності. Під час заморожування відбувається передача тепла за допомогою теплопровідності в непостійному стані, що супроводжується фазовим переходом. Необхідно враховувати опір теплопередачі, що спричинений зовнішнім середовищем, яке іноді відбувається за рахунок конвекції.

Мінімальна кількість рідини, яка необхідна для повного змочування вертикальної поверхні (перебуває в межах від 0,03 до 0,3 кг/м·с). Мінімальна швидкість залежить від геометрії та природи вертикальної поверхні, поверхневого натягу рідини та масообміну між рідиною та оточуючим газом. Ламінарний потік для падаючих вертикальних плівок на плоских поверхнях або вертикальних труб з невеликою товщиною плівки [18, 20, 21]. Необхідно розрізняти умови, які виконуються для повільного потоку тонкої і в'язкої плівки або для тих плівок рідини, що збільшують свою швидкість або в'язкість залежно від інших умов. Експериментально було встановлено, що при збільшенні швидкості плівки, при збільшенні товщини і при зменшенні кінематичної в'язкості поступово змінюється характер потоку. За цією поступовою зміною можна спостерігати три різні типи потоку, більш-менш стабільні: ламінарний потік з прямими лініями току, ламінарний потік з хвилеподібними коливаннями, турбулентний потік.

Вода у розчині замерзає на холодній поверхні пластини. Молекули води переміщуються через розчин до твердозрідкої межі, де знаходять енергетично більш сприятливі місця для структури кристалів льоду. Безперервний потік рідини, що тече вниз під дією гравітації, поступово збільшує товщину шару зверху донизу. Рух є мало турбулентним і передається на контактну поверхню за рахунок теплопровідності. Під час заморожування відбувається передача тепла за допомогою теплопровідності в непостійному стані, що супроводжується фазовим переходом [18]. Необхідно враховувати опір теплопередачі, спричинений зовнішнім середовищем, який іноді відбувається за рахунок конвекції. Під час формування льоду важливий час охолодження на поверхнях випарника, так само як і швидкість проходження через них. Потік на вертикальну пластину можна змінювати залежно від того, чи це вільне падіння, чи рух з початковою швидкістю за допомогою насосної системи. Режим може змінюватися від ламінарного з хвилеподібними рухами до турбулентного, залежно від в'язкості рідини, а також від розташування розподільників.

Коли формується перший шар льоду, рухлива рідина утворює більш-

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

менш рівні гладкі шари. Швидкість потоку залежить від товщини шару, який накопичується. Товщина отриманого льоду варіюється від рідини до рідини, хоча її можна контролювати за допомогою температури [18]. Надійність льоду значною мірою залежить від властивостей рідини (густина, в'язкість, температура, поверхневий натяг тощо). Кристали білого кольору, з малою або відсутньою прозорістю, свідчать про утримання газів. Щоб отримати дуже чистий лід, швидкість росту кристалів не повинна перевищувати швидкість дифузії розчинених речовин від інтерфейсу. Важливо забезпечити потік з дуже малою турбулентністю через усі випарювальні пластини. Однорідність потоку гарантуватиме належну роботу та високий ефект, бо у протилежному випадку температура на кожній пластині буде різною.

На рисунку 2.4 запропоновано удосконалена схема кріоконцентратора з падаючою плівкою.

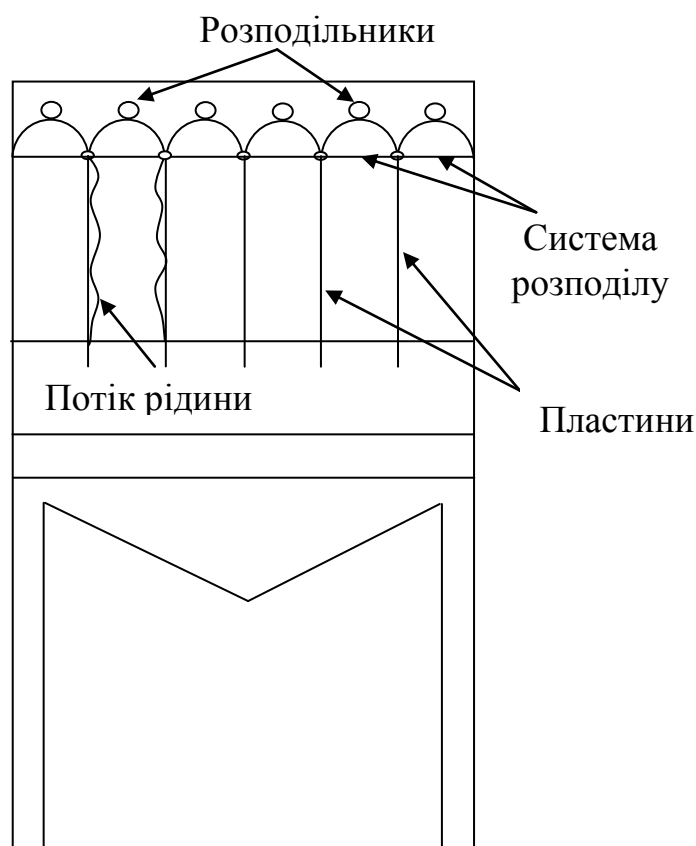


Рисунок 2.4 – Удосконалення кріоконцентратора для рідини

В кріоконцентраторі можливе нерівномірне утворення льоду на пластинах: у деяких випадках лід може утворюватися більше в нижній частині, а в деяких випадках на краях пластин. Все це частково зумовлено нерівномірним розподілом рідини по пластинах. Холодоагент, що циркулює всередині пластин може залишатися у більшій кількості в одних пластинах, ніж в інших, і як наслідок, ті пластини, де зливається менше рідини, замерзають раніше, ніж ті, де зливається більше. Тому запропоновано удосконалення кріоконцентратора з падаючою плівкою, яке засноване на наступних засадах:

- потік рідини має розподілятися по пластинах рівномірно, без

турбулентності, що впливає на шар рідини. Швидкість входу рідини має бути певним чином контрольованою, бо вона повинна дозволити підтримувати постійний потік. Запропоновано на вході розподільники, щоб отримати оптимальний розподіл рідини. Повністю змочена поверхня сприятиме рівномірному наростанню льоду та ефективному використанню доступної поверхні теплообміну;

- усі охолоджувальні пластини повинні працювати однаково, щоб отримати збалансований і більш об'ємний лід. Для цього необхідно забезпечити однакову відстань між пластинами, що можна досягається завдяки системі розподілу потоку рідини, яка вбудована в устаткування, пристосовуючись до нерівностей пластин.

Рідина рівномірно розподілятиметься по верхній пластини утворюючи тонку плівку завтовшки близько 2 мм, яка спускається та безперервно циркулює завдяки тиску насоса [17]. Після того як концентрат зібрано, кристали, що утворилися на пластині, розчиняються за допомогою оборотного циклу, щоб їх можна було легко видалити. Кожен етап починається з тієї ж кількості розчину з концентрацією з якою завершився попередній етап. З цієї причини на початку кожного етапу необхідно приготувати кількість розчину, рівну кількості льоду, видаленого на попередньому етапі, але з початковою концентрацією. Між двома етапами концентрування розчин зберігають у холодильній камері при $\pm 0^{\circ}\text{C}$.

Вибір охолоджуючої рідини. Існує два варіанти відведення тепла від продукту: пряме розширення холодоагенту або плівкова охолоджуюча рідина. Кожен варіант має переваги та недоліки. Переваги прямого розширення [10]:

- вищі коефіцієнти теплообміну з боку холодоагенту;
- можливість використання гарячого газового відтавання;
- низький ризик забруднення продукту у разі витоку холодоагенту.

Недоліки прямого розширення:

- потрібна більш складна конструкція з протистисним та газонепроникним захистом;

- високий внутрішній тиск холодоагенту є викликом з точки зору безпеки харчових продуктів;

- підвищена складність управління;

- екологічні наслідки у разі будь-яких витоків;

- асортимент доступних та високопродуктивних холодоагентів обмежений через екологічні норми;

- складність зміни геометрії морозильного апарату для оцінки концепцій.

Переваги падаючої плівки охолоджуючої рідини [10]:

- конструкція не потребує герметичності під тиском;

- контроль потоку та температури розділений – можна змінювати температуру та потік окремо;

- система охолодження може використовуватися як для скребкових так і для плівкових морозильників.

Недоліки падаючої плівки охолоджуючої рідини.

- нижчий коефіцієнт теплообміну на стороні охолоджувача;

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- потрібна обережність при виборі охолоджувача, щоб забезпечити безпеку харчових продуктів;
- необхідно використовувати трубу з подвійними стінками для забезпечення безпеки харчових продуктів.

Оскільки для відведення тепла від продукту буде використовуватися падаюча плівка охолоджуючої рідини, необхідно обрати відповідний склад охолоджуючої рідини. Ідеальна рідина мала б температуру замерзання на 5-10°C нижчу за мінімальну очікувану робочу температуру, щоб запобігти утворенню льоду в холодильній установці. Рідина також мала б низьку в'язкість і високу об'ємну теплоємність, що зменшує об'єм циркуляції та необхідну потужність насоса, а також збільшує коефіцієнт теплопередачі. Вищий коефіцієнт теплопередачі дозволяє мати меншу площу і систему теплообміну, швидші темпи росту льодової фронту та більшу гнучкість у робочих умовах установки [10, 22]. Щоб обладнання працювало як тонка плівка, масовий потік на одиницю довжини по поверхні повинен перевищувати певне значення. Вище цього значення, яке називається мінімальною швидкістю змочування потік рідини змочує всю поверхню. Нижче цього значення з'являються стабільні сухі ділянки і потік рідини не покриває всю поверхню. Для ефективної роботи поверхня кріоконцентратора повинне бути повністю змочена протягом всього часу роботи.

На основі вище зазначеного можна вважати, що процес концентрування заморожуванням – технологія нетермічного концентрування, що застосовується в рідких харчових продуктах, яка базується на розділенні твердої та рідкої речовин за низьких температур при якому водна фракція заморожується, перетворюється на чисті кристали льоду та видаляється з концентрованого розчину. Можливо здійснити концентрацію будь-якого соку за допомогою кріоконцентратора шляхом процесу охолодження, таким чином зберігаючи його властивості та, відповідно, зберігаючи кінцевий продукт без змін. Процес реалізується через різні фази кріоконцентрації доки не буде досягнутий необхідний рівень розділення рідкої сировини та концентрату.

У системі з падаючою плівкою продукт, який підлягає заморожуванню протікає у вигляді плівки по вертикальних пластинах, вертикальних трубах або вертикальних кільцях. З іншого боку пластини або всередині труб/кільця протікає охолоджуюча рідина, яка може бути теплоносієм, наприклад розчином пропіленгліколю або киплячим холодоагентом. Продукт замерзає на охолодженій поверхні, утворюючи шар льоду, який зростає до бажаної товщини, після чого лід видаляють шляхом нагрівання, що розплавляє тонкий шар льоду, дозволяючи більшій частині льоду відшаровуватись під дією гравітації.

Запропоновано систему кріоконцентрації, яка складається з кріоконцентратора з падаючою плівкою, системи охолодження, гідравлічної системи та електричної системи. Холодильна система складається з чотирьох ключових елементів: компресор, конденсатор, розширювальний клапан та випарник. Працює за циклом стиснення з конденсацією повітрям і герметичним компресором потужністю 1,38 кВт (холодопродуктивність: 2,870 кВт при -5°C).

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Завдяки такому розташуванню утворюється тонка плівка приблизно 2 мм завтовшки, яка стікає з обох боків пластини і збирається в резервуар для повторної циркуляції.

Установка оснащена терморегулюючим клапаном для холодоагенту R134a з холодопродуктивністю 5,25 кВт. Пресостати використовуються для захисту від надто низького всмоктуючого тиску або високого тиску викиду. Також використовуються для запуску та зупинки компресорів і вентиляторів у конденсаторах. У обладнанні для кріоконцентрації є чотири пресостати з наступними функціями: контролювати кінець відтавання, регулювати цикл вентиляції конденсатора, захищати від низьких навантажень, зупинка компресора у разі аномального зниження всмоктуючого тиску. Манометри дозволяють отримувати дуже важливу інформацію щодо роботи установки. Установки кріоконцентратора оснащені парою манометрів, які дозволяють визначати низький і високий тиск. Манометр низького тиску синього кольору підключений до всмоктування компресора (тиск випаровування). Манометр високого тиску червоного кольору підключений до випускної трубки, забезпечуючи показники тиску газу на виході компресора в реальному часі (тиск конденсації).

Гідравлічна система складається з насоса, який подає харчову рідину з резервуара, який розташований в нижній частині кріоконцентратора до системи розподілу, де рідина розподіляється по поверхні випарників у вигляді плівки через отвори малого діаметра. Гідравлічна система оснащена відцентровим насосом потужністю 0,75 кВт, який подає рідину до системи розподілу. Електрична система складається з набору елементів, які призначені для транспортування та розподілу електроенергії, оснащених механізмами контролю, безпеки та захисту.

В кріоконцентраторі можливе нерівномірне утворення льоду на пластинах, бо у деяких випадках лід може утворюватися більше в нижній частині, а в деяких випадках на краях пластин. Все це частково зумовлено нерівномірним розподілом рідини по пластинах. Холодоагент, що циркулює всередині пластин може залишатися у більшій кількості в одних пластинах, ніж в інших, і як наслідок, ті пластини, де зливається менше рідини, замерзають раніше, ніж ті, де зливається більше. Тому запропоновано удосконалення кріоконцентратора з падаючою плівкою, яке засноване на наступних засадах:

- потік рідини має розподілятися по пластинах рівномірно, без турбулентності, що впливає на шар рідини. Швидкість входу рідини має бути певним чином контрольованою, бо вона повинна дозволити підтримувати постійний потік. Запропоновано на вході розподільники, щоб отримати оптимальний розподіл рідини. Повністю змочена поверхня сприятиме рівномірному наростанню льоду та ефективному використанню доступної поверхні теплообміну;

- усі охолоджувальні пластини повинні працювати однаково, щоб отримати збалансований і більш об'ємний лід. Для цього необхідно забезпечити однакову відстань між пластинами, що можна досягається завдяки системі розподілу потоку рідини, яка вбудована в устаткування, пристосовуючись до нерівностей пластин.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Удосконалена холодильна установка для кріоконцентрації

Процес концентрування заморожуванням – технологія нетермічного концентрування, що застосовується в рідких харчових продуктах, яка базується на розділенні твердої та рідкої речовин за низьких температур при якому водна фракція заморожується, перетворюється на чисті кристали льоду та видаляється з концентрованого розчину. Можливо здійснити концентрацію будь-якого соку за допомогою кріоконцентратора шляхом процесу охолодження, таким чином зберігаючи його властивості та, відповідно, зберігаючи кінцевий продукт без змін. Процес реалізується через різні фази кріоконцентрації доки не буде досягнутий необхідний рівень розділення рідкої сировини та концентрату. Отриманий концентрований сік має всі органолептичні властивості (смакові якості, аромати, текстуру, запах) соку, який отриманий безпосередньо зі свіжих фруктів. За допомогою кріоконцентратора на проміжному етапі отримують перший дистилат, а на фінальному етапі, з одного боку, прозорі крижинки (майже чиста вода), а з іншого – концентрат соку найвищої якості.

Запропоновано систему кріоконцентрації, яка складається з кріоконцентратора з падаючою плівкою, системи охолодження, гідравлічної системи та електричної системи. Холодильна система складається з чотирьох ключових елементів: компресор, конденсатор, розширювальний клапан та випарник. Працює за циклом стиснення з конденсацією повітрям і герметичним компресором потужністю 1,38 кВт (холодопродуктивність: 2,870 кВт при -5°C). Завдяки такому розташуванню утворюється тонка плівка приблизно 2 мм завтовшки, яка стікає з обох боків пластини і збирається в резервуар для повторної циркуляції.

Компресор – це обладнання, яке використовується для зменшення об'єму рідини або газу за допомогою тисків. Його функція полягає в тому, що за допомогою застосування двох протилежних сил рідина тиснеться і таким чином вона отримує рух (кінетичну енергію) з достатнім тиском для потоку [22, 23]. Компресор – це один з ключових компонентів, який забезпечує живлення системи. За постійних температурних умов компресор всмоктує холодоагент у вигляді пари під низьким тиском і випускає пару під високим тиском (стиснений), що зменшує об'єм. Компресор є елементом, що потребує найбільшої уваги в установці і підлягає систематичним перевіркам.

В холодильній установці для кріоконцентрації є два компресори: компресор (I) потужністю 3 кВт для холодильної установки (за потребою для 2 випарних пластин) та компресор (II) потужністю 6 кВт для холодильної установки (залежно від потреби для 4 випарних плит).

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Озарчук</i>			Удосконалення швидкоморозильного обладнання для заморожування рідкої сировини	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					42	2
						ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Омельченко</i>						

Використовується конденсатор з повітряним охолодженням, який своїм вентилятором створює необхідний повітряний потік для відведення тепла конденсації. Температура конденсації залежить від траєкторії трубок, по яких циркулює гарячий холодоагент та від ефективності відведення тепла. Конденсатор є повітряним охолоджуваным теплообмінником із примусовою циркуляцією. Контур відведення тепла конденсатора складається з охолоджувальної машини типу осьового вентилятора потужністю 0,16 кВт.

Застосовується удосконалений кріоконцентратор з падаючою плівкою, де запропоновано на вході розподільники, щоб отримати оптимальний розподіл рідини. Повністю змочена поверхня сприятиме рівномірному наростанню льоду та ефективному використанню доступної поверхні теплообміну. Усі охолоджувальні пластини повинні працювати однаково, щоб отримати збалансований і більш об'ємний лід. Для забезпечення однакових відстаней між пластинами, запропоновано систему розподілу потоку рідини, яка вбудована в устаткування, пристосовуючись до нерівностей пластин.

Охолоджувальна система розділена на дві: одна конденсує за допомогою зовнішнього повітря, а інша конденсує з льодом, який поступово тоне (рис. 3.1).

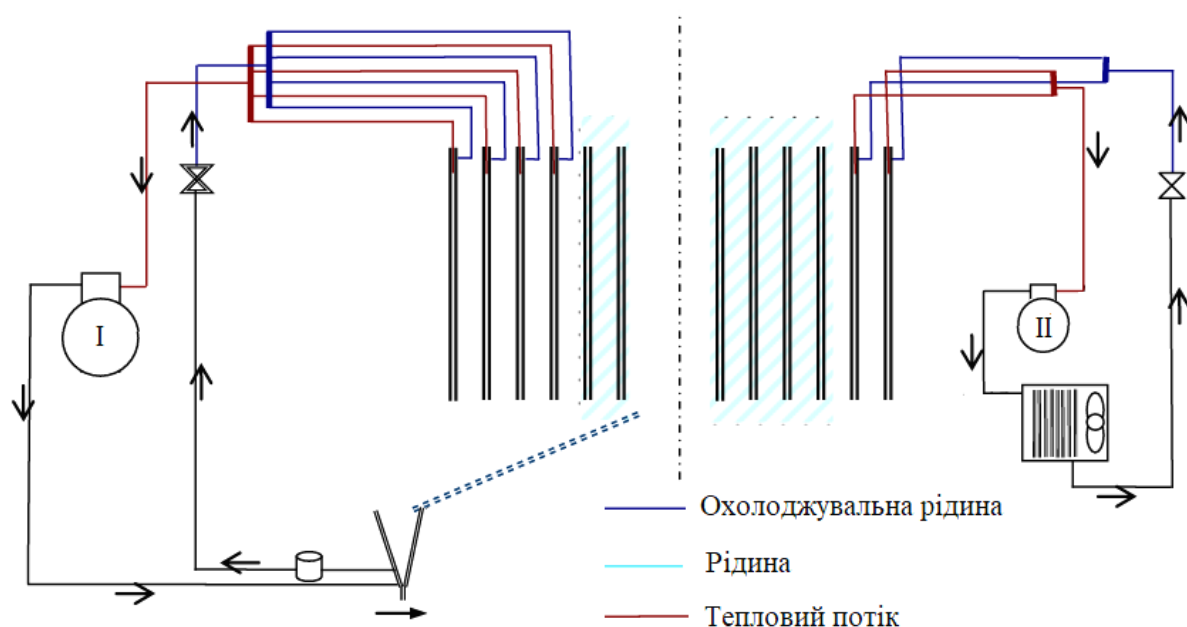


Рисунок 3.1 – Схема холодильної установки для кріоконцентрації

Блок I. Дві пластини працюють таким чином: всмоктування за допомогою компресора потужністю 3 кВт (компресор I), який стискає повітря проти повітряного конденсатора (конденсатор I), а рідина проходить через розширювальний клапан і випарюється на обох пластинах.

Блок II. Чотири працюючі пластини: лід (з шести пластин) падає на основу конденсатора, конденсатор з внутрішнім контуром типу «сорочка» (конденсатор II). Цей V-подібний нагрітий контейнер дозволить розтопити лід. Всмоктування з чотирьох пластин надходить у компресор потужністю 6 кВт (компресор II) і конденсується в конденсаторі (конденсатор II). Конденсована рідина, яка потрапляє в резервуар для рідини, проходить через розширювальний клапан, щоб випаруватися на чотирьох пластинах.

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню швидкоморозильного обладнання для заморожування рідкої сировини. У роботі зазначено, що заморожування рідини – це спеціалізована техніка консервування, яка полягає у концентрації сировини шляхом видалення води та його заморожуванні для тривалого зберігання та транспортування. Концентрування молочних продуктів широко застосовується у виробництві молочних продуктів завдяки отриманню продуктів з високим вмістом сухої речовини, зменшеним об'ємом та збільшенням терміну придатності.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання для заморожування рідини. Зазначено, що процес концентрування заморожуванням – це технологія нетермічного концентрування, що застосовується в рідких харчових продуктах, яка базується на розділенні твердої та рідкої речовин за низьких температур при якому водна фракція заморожується, перетворюється на чисті кристали льоду та видаляється з концентрованого розчину. Кріоконцентрація – це технологія, що використовується для перетворення та очищення водних розчинів, метою якої є підвищення концентрації розчинених речовин шляхом заморожування. Процес кріоконцентрації рідкої сировини включає два основні етапи: заморожування рідкої сировини без досягнення евтектичної точки та подальше відділення концентрату від льоду. Тому процес кріоконцентрації в основному складається з двох етапів: заморожування та розділення.

Аналіз наукових джерел дав змогу констатувати, що розрізняють два види холодових установок, які нині використовуються в промисловості, залежно від фізичних принципів, застосованих для зниження температури. Це механічні холодові установки, що використовують стискання холодоагентів та кріогенні холодові установки, які застосовують рідкий азот N_2 або діоксид вуглецю CO_2 за температур нижчих за їх точку кипіння у прямому контакті з продуктом. Під час процесу кріоконцентрації рідини за допомогою падаючої плівки продукт, який підлягає заморожуванню протікає у вигляді плівки по вертикальних пластинах, а в пластинах протікає охолоджуюча рідина, яка може бути теплоносієм, наприклад, холодоагентом. Продукт замерзає на охолодженій поверхні, утворюючи шар льоду, який зростає до бажаної товщини, після чого лід видаляється шляхом нагрівання, що розплавляє тонкий шар льоду, дозволяючи більшій частині льоду відшаруватись під дією гравітації.

Другий розділ присвячено оптимізації холодильного обладнання для кріоконцентрування рідкої сировини. Запропоновано систему кріоконцентрації, яка складається з кріоконцентратора з падаючою плівкою, системи охолодження, гідравлічної системи та електричної системи. Холодильна система складається з чотирьох ключових елементів: компресор, конденсатор, розширювальний клапан та випарник. Працює за циклом стиснення з

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Озарчук			Удосконалення швидкоморозильного обладнання для заморожування рідкої сировини				Літ.		Арк.		Аркуші	
Перевір.		Омельченко									44		2	
Н. Контр.		Омельченко							ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО					
Затверд.		Омельченко												

конденсацією повітрям і герметичним компресором потужністю 1,38 кВт (холодопродуктивність: 2,870 кВт при -5°C). Завдяки такому розташуванню утворюється тонка плівка приблизно 2 мм завтовшки, яка стікає з обох боків пластини і збирається в резервуар для повторної циркуляції. Гідравлічна система оснащена відцентровим насосом потужністю 0,75 кВт, який подає рідину до системи розподілу. Електрична система складається з набору елементів, які призначені для транспортування та розподілу електроенергії, оснащених механізмами контролю, безпеки та захисту.

В кріоконцентраторі можливе нерівномірне утворення льоду на пластинах: у деяких випадках лід може утворюватися більше в нижній частині, а в деяких випадках на краях пластин. Все це частково зумовлено нерівномірним розподілом рідини по пластинах. Холодоагент, що циркулює всередині пластин може залишатися у більшій кількості в одних пластинах, ніж в інших, і як наслідок, ті пластини, де зливається менше рідини, замерзають раніше, ніж ті, де зливається більше. Тому запропоновано удосконалення кріоконцентратора з падаючою плівкою, яке засноване на наступних засадах:

- потік рідини має розподілятися по пластинах рівномірно, без турбулентності, що впливає на шар рідини. Швидкість входу рідини має бути певним чином контрольованою, бо вона повинна дозволяти підтримувати постійний потік. Запропоновано на вході розподільники, щоб отримати оптимальний розподіл рідини. Повністю змочена поверхня сприятиме рівномірному наростанню льоду та ефективному використанню доступної поверхні теплообміну;

- усі охолоджувальні пластини повинні працювати однаково, щоб отримати збалансований і більш об'ємний лід. Для цього необхідно забезпечити однакову відстань між пластинами, що можна досягається завдяки системі розподілу потоку рідини, яка вбудована в устаткування, пристосовуючись до нерівностей пластин.

В третьому розділі запропоновано оптимізацію холодильної установки для кріоконцентрації. В холодильній установці для кріоконцентрації є два компресори: компресор (I) потужністю 3 кВт для холодильної установки (за потребою для 2 випарних пластин) та компресор (II) потужністю 6 кВт для холодильної установки (залежно від потреби для 4 випарних плит). Охолоджувальна система розділена на дві: одна конденсує за допомогою зовнішнього повітря, а інша конденсує з льодом, який поступово тане.

Блок I. Дві пластини працюють таким чином: всмоктування за допомогою компресора потужністю 3 кВт (компресор I), який стискає повітря проти повітряного конденсатора (конденсатор I), а рідина проходить через розширювальний клапан і випарюється на обох пластинах.

Блок II. Чотири працюючі пластини: лід (з шести пластин) падає на основу конденсатора, конденсатор з внутрішнім контуром типу «сорочка» (конденсатор II). Цей V-подібний нагрітий контейнер дозволить розтопити лід. Всмоктування з чотирьох пластин надходить у компресор потужністю 6 кВт (компресор II) і конденсується в конденсаторі (конденсатор II). Конденсована рідина, яка потрапляє в резервуар для рідини, проходить через розширювальний клапан, щоб випаруватися на чотирьох пластинах.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сутність процесу заморожування, кріоскопічна температура харчових продуктів. Режим доступу: <https://yak.koshachek.com/articles/sutnist-procesu-zamorozhuvannja-krioskopichna.html>.
2. Біляков В.П. Кріогена техніка та технологія. К.:Колос, 2004. 272 с.
3. Огляд перспективних способів заморожування харчових продуктів. Режим доступу: <https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/nesterov-23.pdf>.
4. Conventional and alternative concentration processes in milk manufacturing: a comparative study on dairy properties. URL: <https://www.scielo.br/j/cta/a/pDKnX84ZQBcz5JRFtwH9WsH/?format=html&lang=en>.
5. Recuperación de los solutos retenidos en el hielo procedente de crioconcentración de productos lácteos. URL: <https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/af45f82a-c5e0-45cf-96cd-decaa3781427/content>.
6. Diseño de equipos para la congelacion de alimentos. URL: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1411/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
7. Баррон Р.Ф. Кріогені системи. К.:Колос, 2006. 408 с.
8. Замороження харчових продуктів. Режим доступу: <https://www.zahidholod.com.ua/tpost/4006jk4p21-zamorozhennya-harchovih-produktiv>.
9. Клапани. Режим доступу: <https://www.elektronika-sa.com.ua/uk/produkty/holodopostachannia/klapany>.
10. Development of a rapid liquid freezer. URL: <file:///C:/Users/admin/Downloads/MorelPhDThesis%20.pdf>.
11. Tecnologías de frío: fluidos criogénicos. URL: https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_28_Criogenicos.pdf.
12. Congelación asistida por campos magnéticos en alimentos líquidos. URL: <https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/8a0639cf-9f0a-4abe-aa39-af7d865b7083/content>.
13. Ізохорне заморожування продуктів – новітня технологія. Режим доступу: https://harch.tech/2021/10/28/izohorne_zamorozuvannia/.
14. Ізохоричний процес. Режим доступу: https://stud.com.ua/104694/prirodovnavstvo/izohorichniy_protse.
15. Конденсатори для холодильних систем: основи, які потрібно знати. Режим доступу: <https://profportal.com.ua/blog/kondensatory-dlya-kholodylnykh-system-osnovy-yaki-potribno-znaty/>.
16. Recuperación de solutos del hielo proveniente de un crioconcentrador de placas: cinética y concentración. URL: <https://upcommons.upc.edu/entities/publication/de1c636e-2df5-407f-9453-d257f96c74a5>.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

17. Equipo de crioconcentración de fluidos por placas de película descendente. URL: <https://www.researchgate.net/publication/33421759>.

18. Millors en un crioconcentrador per plaques de pel·lícula descendent. Disseny de nous prototips per líquids industrials i residuals. URL: <https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/cdfe5f40-28eb-402d-9212-90fe51c792e6/content>.

19. Види компресорів холодильного обладнання. Переваги та недоліки. Режим доступу: <https://redmedua.com/uk/rnews/61-vidy-kompressorov-holodilynogo-oborudovaniya-dostoinstva-i-nedostatki>.

20. Класифікація та типи випарників холодильних машин. Режим доступу: <https://zaoknom.com.ua/tekhnolohii/klasifikatsiia-ta-typy-vyparnykv-kholodylnykh-mashyn/>.

21. Три різні типи випарників для холодильників. Режим доступу: <https://nenwell.com/uk/news/three-types-of-refrigerator-evaporators-and-their-performance/>.

22. Automatización de un sistema de refrigeración industrial mediante un PLC, interface hmi y control remoto desde dispositivos móviles. URL:

23. Diseño de un sistema de evaporación de refrigerante a presión y temperatura controlada para la alimentación de turbinas de generación eléctrica. URL:

https://www.academia.edu/122168426/Automatizaci%C3%B3n_De_Un_Sistema_De_Refrigeraci%C3%B3n_Industrial_Mediante_Un_PLC_Interface_Hmi_y_Control_Remoto_Desde_Dispositivos_M%C3%B3viles.

24. Холодильні установки та способи отримання холоду. Компресори та насоси. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/10704349/page:7>.

25. Холодильні установки. Проективання / Чумак І.Г., Чепурненко В.П., Лагутін А.Ю., Лар'яновський С.Ю. Одеса: Друк, 2008. 186 с.

26. Хмельнюк М.Г. Холодильні установки спеціального призначення. Одес. нац. акад. харч. технологій. Херсон: Вид. Грінь Д.С., 2013. 488 с.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47