

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту

_____ Сергій Блаженко
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2023 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Валентин Петренко
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 142 Енергетичне машинобудування

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми _____

Холодильні техніка та технологія

на тему Аналіз методів розрахунку процесу заморожування в криогенному швидкоморозильному апараті: оптимізація технологічного процесу та якості заморожених продуктів

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ХМ-2-8М

_____ Нечипоренко Максим Юрійович _____

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник _____ Масліков Максим Михайлович _____

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Консультант _____

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Рецензент _____

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

_____ (підпис та прізвище здобувача)

Київ – 2023 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Холодильні техніка та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **ТЕХТ**

Валентин ПЕТРЕНКО

“20” листопада 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Нечипоренка Максима Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз методів розрахунку процесу заморожування в кріогенному швидкоморозильному апараті: оптимізація технологічного процесу та якості заморожених продуктів

керівник роботи к.т.н., Масліков М.М.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 20.11.2023 року № 940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 06.02.2022 року

3. Вихідні дані до роботи Аналіз методів заморожування в кріогенному швидкоморозильному апараті з акцентом на впровадженні новаторських технологічних рішень.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ, 1 Аналіз та визначення проблематики кріогенного заморожування, 2 Порівняння механічного заморожування з кріогенним, 3 Опис кріогенної установки, 4 Розрахунок витрати рідкого азоту на кріогенний тунельний морозильний апарат, 5 Вплив кріогенного заморожування на фізико-хімічні властивості продуктів, 6 Оптимізаційно-технологічні рішення, 7 Екологічні наслідки, 8 Економічний аналіз використання кріогенної технології, 9 Вплив на здоров'я та безпеку, 10 Шляхи розвитку та візія промисловості кріозаморожування, 11 Висновки, Додатки, Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 20.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	20.11-24.11.2023	
	Виконання розділів кваліфікаційної роботи	24.11.23-29.01.24	
	Оформлення ПЗ, презентація, консультація з розділів	29.01-05.02.2024	

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Максим НЕЧИПОРЕНКО
(прізвище та ініціали)

Максим МАСЛІКОВ
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Актуальність даної роботи полягає у вирішенні суттєвих завдань, що стосуються сучасного виробництва заморожених продуктів. Зокрема, зростаючий попит на такі продукти, відкриває широкі можливості для виробників, але одночасно вимагає постійного удосконалення технологічних процесів.

У зв'язку з ростом екологічної свідомості та постійним прагненням до енергоефективності, розробка нових технологій заморожування, спрямованих на зменшення споживання енергії, є актуальним завданням. Впровадження інновацій у конструкції кріогенних апаратів та вдосконалення систем управління можуть виявитися вирішальними факторами у досягненні цих цілей.

Метою даної роботи є удосконалення технології кріогенного заморожування. Основний акцент роботи робиться на аналізі та оптимізації технологічного процесу заморожування в кріогенному швидкоморозильному апараті.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що вона представляє собою аналіз методів заморожування в кріогенному швидкоморозильному апараті з акцентом на впровадженні новаторських технологічних рішень. Робота фокусується на розробці та оптимізації технологічного процесу з метою поліпшення ефективності заморожування та підвищення якості кінцевого продукту.

Отримані результати роботи мають практичне значення, сприяючи вдосконаленню технології кріогенного заморожування, що може позитивно вплинути на ефективність виробництва та підвищення якості заморожених продуктів.

Інформативною базою роботи виступили праці вітчизняних та зарубіжних науковців, статті в наукових та періодичних виданнях.

***Ключові слова:* кріогенне заморожування, кріогенні швидкоморозильні апарати, кристал льоду, рідкий азот.**

ABSTRACT

This thesis focuses on addressing significant challenges related to modern frozen products manufacturing. The increasing demand for such products presents broad opportunities for manufacturers but also requires continuous improvement of technological processes.

Due to the growing ecological awareness and the ongoing pursuit of energy efficiency, the development of new freezing technologies aimed at reducing energy consumption is a crucial task. Implementing innovations in cryogenic equipment designs and enhancing control systems can be decisive factors in achieving these goals.

The aim of this work is to improve cryogenic freezing technology. The main emphasis of the thesis is on analyzing and optimizing the freezing process in a cryogenic flash freezer.

The scientific novelty of this work lies in its analysis of freezing methods in a cryogenic flash freezer with a focus on implementing innovative technological solutions. The work centers on the development and optimization of the technological process to improve freezing efficiency and enhance the quality of the final product.

The results obtained from this work are practically significant as they contribute to the advancement of cryogenic freezing technology, which can positively impact production efficiency and the quality of frozen products.

The research draws upon the works of domestic and international scholars as well as articles from scientific and periodical publications.

Keywords: cryogenic freezing, cryogenic flash freezers, ice crystals, liquid nitrogen.

ЗМІСТ

с.

Вступ

- 1 Аналіз та визначення проблематики кріогенного заморожування
 - 2 Порівняння механічного заморожування з кріогенним
 - 3 Опис кріогенної установки
 - 4 Розрахунок витрати рідкого азоту на кріогенний тунельний морозильний апарат
 - 5 Вплив кріогенного заморожування на фізико-хімічні властивості продуктів
 - 6 Оптимізаційно-технологічні рішення
 - 7 Екологічні наслідки
 - 8 Економічний аналіз використання кріогенної технології
 - 9 Вплив на здоров'я та безпеку
 - 10 Шляхи розвитку та візія промисловості кріозаморожування
 - 11 Висновки
- Додатки
- Список використаних джерел

					00.КР.142.008.005.РПЗ					
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Розрахунково- пояснювальна записка					
Розробив	Нечипоренко									
Перевірів	Масліков									
Т.контр										
Затв					НУХТ ХМ-2-8м					

Вступ

Заморожування є важливим етапом в технології продуктів харчування, особливо в контексті кріогенних швидкоморозильних апаратів. Впровадження новітніх технологій та методів у цьому процесі відіграє ключову роль у досягненні оптимальної якості та ефективності заморожування.

Сучасне споживання вимагає не лише наявності продуктів, але й їхньої високої якості та збереження корисних властивостей. Отже, дослідження має на меті аналіз методів розрахунку процесу заморожування в кріогенному швидкоморозильному апараті та впровадження оптимальних технологій заморожування, спрямованих на забезпечення якісного та ефективного збереження продуктів харчування.

Вимоги до продуктів споживання збільшують необхідність удосконалення технологій заморожування, щоб забезпечити не лише ефективність процесу, але й збереження найвищої можливої якості продуктів. З урахуванням цього контексту, важливо розглядати різні аспекти оптимізації, такі як розрахунок температурних режимів, часу заморожування та інших параметрів, що впливають на якість заморожених продуктів. Дипломна робота також спрямована на вивчення сучасних наукових досягнень, але під час оптимізації слід проводити розрахунки використовуючи різні методи.

В цілому, дослідження спрямоване на підвищення ефективності та конкурентоспроможності виробників заморожених харчових продуктів на ринку.

1 Аналіз та визначення проблематики кріогенного заморожування

У постійно мінливому середовищі харчової промисловості прагнення підвищити якість продуктів харчування, подовжити термін їх зберігання та забезпечити максимальну безпеку спричинило значний процес у сфері харчових технологій. Важливість цих передових трансформаційних технологій неможливо переоцінити. Кріогенні технології, дозволяють зберігати продукти харчування у найсвіжішому вигляді, зберігаючи смак і поживні речовини та подовжуючи термін їхнього зберігання. У світі, що стикається з такими викликами, як зростання населення, зміна клімату та дефіцит ресурсів, ці передові технології трансформації пропонують проблиск надії. Мінімізуючи харчові відходи шляхом тривалого зберігання, підвищуючи харчову цінність і забезпечуючи безпеку продуктів харчування, ці інновації відповідають глобальній меті створення сталого та безпечного ланцюга постачання продуктів харчування. Більше того, вони прокладають шлях для нових кулінарних творінь, радує смак і розширюючи гастрономічні горизонти.

Кріогенне заморожування, процес, який передбачає вплив на продукти харчування надзвичайно низьких температур, пропонує безліч переваг як для підтримки якості, так і для довготривалого зберігання. Цей метод, який використовує зріджені гази, такі як рідкий азот, став незамінним інструментом у харчовій промисловості.

Кріогенне заморожування, що відбувається при температурі набагато нижчій за точку замерзання води, дозволяє швидко і рівномірно заморожувати харчові продукти. Цей швидкий процес заморожування мінімізує утворення великих кристалів льоду в структурі продукту, зберігаючи його природну текстуру. На відміну від звичайних методів заморожування, кріогенне заморожування запобігає пошкодженню клітин і гарантує, що їжа збереже свою початкову консистенцію після розморожування. Крім того, цей метод допомагає

зберегти харчову цінність продуктів харчування, мінімізуючи руйнування чутливих сполук, таких як вітаміни та ферменти.

Пригнічуючи ріст мікроорганізмів і ферментативну активність, кріогенне заморожування значно подовжує термін зберігання швидкопсувних продуктів харчування. Таке тривале збереження гарантує, що продукти залишаються свіжими на відчуття після розморожування, безпечними та смачними протягом тривалого часу, зменшуючи втрати харчових продуктів і підвищуючи економічну стійкість.

Процес швидкого заморожування з використанням кріогенних технологій зберігає природний аромат і смак харчових продуктів. Запобігаючи втраті летких сполук, що відповідають за смак і аромат, кріогенне заморожування гарантує, що заморожені продукти зберігають смакові якості навіть після розморожування. Збереження сенсорних властивостей є особливо важливим у виробництві делікатесних або спеціальних продуктів харчування, де структура і якість продукту суттєво впливає на його ринкову вартість.

Процеси кріогенного заморожування за своєю суттю є безпечними, оскільки вони не передбачають використання хімічних добавок. Крім того, контрольоване застосування кріогенних температур забезпечує безпеку харчових продуктів, усуваючи шкідливі бактерії та патогени. Крім того, ефективність методів кріогенного заморожування з точки зору споживання енергоресурсів робить їх екологічно чистими, що відповідає принципам сталого розвитку харчової промисловості. Адже сама технологія кріогенного заморожування не передбачає використання озоноруйнуючих речовин.

Однією з головних проблем, що розглядається, є необхідність покращення технології кріогенного заморожування. Спрямованість дослідження полягає в ідентифікації можливостей удосконалення етапів заморожування.

Під час пошуку технологічних покращень у процесі кріогенного заморожування без прямого розрахунку конкретних параметрів виокремлюються ключові аспекти, спрямовані на поліпшення загальної ефективності та якості кінцевого продукту. Однією з головних проблем, на яку акцентується у

дослідженні, є необхідність удосконалення етапів заморожування, які не потребують глибокого числового аналізу, але можуть суттєво вплинути на усі процеси виробництва.

У цьому контексті ідентифікуються можливості оптимізації робочих процесів, що включають покращення конструкції та ергономії обладнання, вдосконалення систем автоматизації та контролю, а також розробку нових методів введення рідкого азоту. Заморожування безпосередньо впливає на якість та збереження структури продуктів, тому важливим аспектом є розробка оптимальних умов заморожування для різноманітних типів продукції. Ця робота також враховує можливості вдосконалення енергоефективності та екологічної стійкості процесу заморожування. Використання новітніх технологій теплоізоляції та оптимізації енерговитрат може виявитися ефективним для підвищення сталості та довговічності обладнання, а також зменшення енергоспоживання виробництва.

Покращення технології кріогенного заморожування має потенціал значно збільшити її доступність для різних галузей харчової промисловості. Удосконалені методи, які не вимагають складного числового аналізу, відкривають можливості для впровадження цієї технології навіть в середні та малі підприємства.

По-перше, спрощені методи заморожування можуть зменшити вартість обладнання та технологічних рішень, що стає ключовим чинником зниження витрат для підприємств. Це особливо актуально для менших гравців на ринку, які можуть знайти у вдосконалених технологіях більш економічні альтернативи.

По-друге, вдосконалення процесу може призвести до зменшення необхідності висококваліфікованих спеціалістів для експлуатації та обслуговування обладнання. Це спростить процес впровадження технології на різних виробництвах та забезпечить ефективну роботу на різних етапах виробництва, що, в свою чергу, зменшить витрати на навчання та утримання персоналу.

По-третє, з урахуванням новітніх розробок в області енергоефективності, витрати на електроенергію та рідкий азот можуть бути оптимізовані. Це сприятиме зниженню експлуатаційних витрат та робить технологію більш доступною для різних гравців на ринку.

Коротко кажучи, впровадження поліпшених методів кріогенного заморожування не лише покращить якість та ефективність процесу, але й сприятиме зростанню доступності цієї технології для широкого кола виробників у харчовій промисловості.

Незважаючи на потенціал та важливість впровадження покращень у технології кріогенного заморожування, наразі існує обмежена кількість досліджень, які активно вивчають цей напрямок. Більшість наукових зусиль спрямовані на загальний аналіз процесів заморожування та використання кріогенних методів, але деталізований підхід до технологічних вдосконалень залишається менш вивченим.

Однією з причин такого обмеження є висока складність та витратність досліджень у цьому напрямку. Вимагається комплексне вивчення впливу кожного можливого покращення на конкретний тип продукції та технічні аспекти заморожування. Внаслідок цього, багато науковців віддають перевагу більш загальним дослідженням, які вивчають базові принципи кріогенного заморожування.

Недостатня кількість досліджень у сфері технологічних вдосконалень веде до втрати можливостей для розвитку та оптимізації процесу. Зокрема, не вивчені можливості зниження вартості технології та удосконалення її доступності для різних підприємств.

Впровадження інновацій у великомасштабному кріогенному заморожуванні вимагає ретельного аналізу ризиків та розробки ефективних заходів безпеки для запобігання можливим аварійним ситуаціям під час заморожування. З урахуванням нових технологічних вирішень та збільшених виробничих обсягів, необхідно переглянути та адаптувати системи безпеки для забезпечення стабільного та надійного функціонування.

Важливим етапом є визначення основних ризиків, які можуть виникнути в процесі кріогенного заморожування. Це може включати потенційні небезпеки для робітників, зокрема взаємодію з рідким азотом, можливість витоків газу та ризик аварії обладнання. Ретельний аналіз усіх можливих сценаріїв дозволить заздалегідь визначити та нейтралізувати загрози.

Однак інновації в технологіях заморожування такого масштабу вимагають не лише виявлення ризиків, але і впровадження ефективних заходів для їх запобігання. Це може передбачати вдосконалення систем вентиляції та безпеки на робочому місці, регулярні тренування персоналу з екстрених ситуацій та впровадження передових технологічних засобів моніторингу та автоматизації.

Окрім того, перегляд та оновлення стандартів безпеки, а також розробка нових документів з безпеки на робочому місці, є важливими компонентами безпечного впровадження інновацій. Наявність чітких та деталізованих інструкцій щодо взаємодії з обладнанням та безпечних процедур стає вирішальною у запобіганні надзвичайних ситуацій.

Загальні заходи безпеки також повинні враховувати вплив на довкілля, і тому необхідно визначити та застосувати технології, спрямовані на мінімізацію негативного впливу кріогенного заморожування.

2 Розрахунок криогенного швидкоморозильного апарата за методом Планка.

2.1 Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі при заморожування ягід смородини в апараті. Середній радіус ягоди $R = 5.2 \cdot 10^{-3}$ м; густина $\rho = 930$ кг/м³; температура повітря $t_{\text{пов.}} = -30$ C⁰.

2.1.1 Параметри повітря при $t_{\text{пов.}} = -30$ C⁰; $\rho_{\text{пов.}} = 1.4$ кг/м³; $\lambda_{\text{пов.}} = 0.022$ Вт/(м·К); $\mu_{\text{пов.}} = 1.58 \cdot 10^{-5}$ Па·с;

2.1.2 Критерій Архімеда [2] (приклад 2.3):

$$Ar = \frac{g \cdot d_e^3 (\rho - \rho_{\text{пов.}}) \rho_{\text{пов.}}}{\mu_{\text{пов.}}^2} \quad (2.1)$$

$$Ar = \frac{9.8(1.04 \cdot 10^{-3})^2 (930 - 1.4) \cdot 1.4}{(1.58 \cdot 10^{-5})^2} = 5.7 \cdot 10^7$$

2.1.3 Знайдемо критерій Рейнольдса [2] (2.16), приймаємо $\varepsilon = 0.55$.

$$Re = \frac{\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4.75}}}{0.61} \quad (2.2)$$

$$Re = \frac{\sqrt{5.7 \cdot 10^7 \cdot 0.55^{4.75}}}{0.61} = 3 \cdot 10^3$$

2.1.4 Тоді швидкість над шаром [2] (приклад 2.3):

$$v = \frac{Re \cdot \mu_{\text{пов.}}}{d_e^3 \cdot \rho_{\text{пов.}}} \quad (2.3)$$

$$v = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 1.58 \cdot 10^{-5}}{1.04 \cdot 10^{-2} \cdot 1.4} = 3.2 \text{ м/с}$$

2.1.5 Знайдем критерій Нуссельта [2] (2.17):

$$Nu = 0.4 Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{Re}{\varepsilon} \right)^{2/3} \quad (2.4)$$

$$Nu = 0.4 \cdot 0.75^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{3 \cdot 10^3}{0.55} \right)^{2/3} = 110$$

2.1.6 Звідци коефіцієнт тепловіддачі [2] (приклад 2.3):

$$\alpha = \frac{\lambda_{\text{пов.}} \cdot Nu}{d_e} \quad (2.5)$$

$$\alpha = \frac{0.022 \cdot 110}{1.04 \cdot 10^{-2}} = 230 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

2.2 Розрахуємо час заморожування ягід смородини. Параметри: радіус ягоди $R = 5.2 \cdot 10^{-3}$ м; щільність $\rho = 930$ кг/м³; $W = 88\%$; $t_{\text{кр.}} = -1$ C⁰; $c_0 = 3.68$ $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $c =$

					00.KP.142.008.005.PПЗ	Арк..

$1,88 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$; температура холодоагента $t_{\text{хл.}} = -30 \text{ C}^0$; теплопровідність замороженої частини ягід $\lambda = 1.3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; незомороженої $\lambda_0 = 0.5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; початкова температура $t_{\text{поч.}} = 20 \text{ C}^0$; Коефіцієнт форми $\Phi = 1/3$; $k = 2$ (плоди смородини мають практично точну сферичну форму).

2.2.1 За формулою Планка знаходимо час заморожування [2] (4.1):

$$\tau_0 = \Phi \frac{R\rho q w}{t_{kp} - t_{\text{хл}}} \left(\frac{R}{2\lambda} + \frac{1}{a} \right) \quad (2.6)$$

$$\tau_0 = \frac{1}{3} \cdot \frac{5.2 \cdot 10^3 \cdot 930 \cdot 3.3 \cdot 10^5 \cdot 0.88}{-1 - (-30)} \cdot \left(\frac{5.2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1.3} + \frac{1}{230} \right) = 103 \text{ с.};$$

Тепер вирахуємо всі поправки.

2.2.2 Критерій Bi знаходим по наступній формулі [2] (приклад 4.1):

$$Bi = \frac{a \cdot R}{\lambda} = \frac{230 \cdot 5.2 \cdot 10^{-3}}{1.3} = 0.92 \quad (2.7)$$

$Bi = 0.92$ $Bi = Bi^*$ при $k=2$ ($k>1$), тоді

2.2.3 Поправка на теплоємність замороженої частини τ_1 розраховуємо за формулою [2] (4.5):

$$\tau_1 = \frac{\rho C R^2}{\lambda} \cdot \frac{1 + \ln\left(1 + \frac{0.65}{Bi^*}\right)}{4 + 2|k-1|} \quad (2.8)$$

$$\tau_1 = \frac{930 \cdot 1880 (5.2 \cdot 10^{-3})^2}{1.3} \cdot \frac{1 + \ln\left(1 + \frac{0.65}{0.92}\right)}{4 + 2 \cdot 1} = 9 \text{ с.};$$

2.2.4 Поправка на поступове виморожування води τ_2 розраховуємо з використанням формули [2] (4.6):

$$\tau_2 = - \frac{q w^{\rho} R^2}{\lambda (t_{kp} - t_x)} F(Bi; a, k) \quad (2.9)$$

а, знаходимо за формулою [2] (4.6):

$$a = \frac{t_0 - t_{kp}}{t_{kp} - t_{\text{хл}}} = \frac{0 - (-1)}{1 - (-30)} = 0.034 \quad (2.10)$$

, тоді функція $F(Bi, a, k) = F(0.92, 0.034, 2) = 0.12$, це значення табличне, тоді:

$$\tau_2 = \frac{3.3 \cdot 10^5 \cdot 0.88 \cdot 930 (5.2 \cdot 10^{-3})^2}{1.3 (-1 - (-30))} \cdot 0.12 = -23 \text{ с.};$$

2.2.5 Поправка на зміну теплопровідності замороженої частини τ_3 і коефіцієнта b розраховуємо по формулам [2] (4.7):

					00.KP.142.008.005.РПЗ	Арк..

$$b = \frac{2\lambda_0 + \lambda}{3\lambda_0} a \quad (2.11)$$

$$b = \frac{2 \cdot 0.5 + 1.3}{3 \cdot 0.5} \cdot 0.034 = 0.052, \text{ тоді}$$

$$\tau_3 = \Phi \frac{qw^\rho R^2}{\lambda(t_{kp.} - t_x)} \cdot \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda^2} \cdot \frac{b(Bi + 2)}{2Bi} \cdot \ln\left(1 + \frac{Bi}{b(Bi + 2)}\right)$$

$$\tau_3 = \frac{1}{3} \cdot \frac{3.3 \cdot 10^5 \cdot 0.88 \cdot 930 (5.2 \cdot 10^{-3})^2}{1.3(-1-(-30))} \cdot \frac{1.3-0.5}{1.3^2} \cdot \frac{0.052(0.92+2)}{2 \cdot 0.92} \cdot \ln\left(1 + \frac{0.92}{0.052(0.92+2)}\right) = 6 \text{ c.};$$

2.2.6 Поправка на початкову температуру тіла складається з τ_4 і $\tau_{\text{охол.}}$, значення τ_4 розраховуємо по формулі (2.18) для цього необхідно визначити A і X_0 які визначаються за наступним формулами [2] (4.8а, 4.8б):

$$A = \frac{\lambda_0 q w}{c_0(t_{kp} - t_{xH})\lambda} \quad (2.12)$$

$$A = \frac{0.5 \cdot 3.3 \cdot 10^5 \cdot 0.88}{3800 \cdot (-1 - (-30))} = 1$$

$$x_0 = \frac{(k+1)(k+5+2\sqrt{2k+6})}{4} \quad (2.13)$$

$$X_0 = \frac{(2+1)(2+5+2\sqrt{2 \cdot 2+6})}{4} = 9.9;$$

Крім цього за формулою [2] (3.35) розраховуємо температуру початку заморожування t_n . При визначенні t_n значення $A_{об}$ приймаємо ріним 1, а $A_{пов}$ розраховуємо по формулі [2] (3.31). Значення X_n розраховуємо за формулою [2] (3.32) і Bi_n [2] (4.3):

$$\text{Bi}_H = \frac{aR}{\lambda_0} \quad (2.14)$$

$$Bi_H = \frac{230 \cdot 5.2 \cdot 10^{-3}}{0.5} = 2.4;$$

$$x_H = \frac{Bi_H(k+1)(k+5+2\sqrt{2k+6})(Bi_H+\sqrt{2k+6})}{4(\sqrt{2k+6}+2+Bi_H)Bi_H+\sqrt{2k+6}(k+5+2\sqrt{2k+6})} \quad (2.15)$$

$$X_H = \frac{2.4(2+1)(2+5+2\sqrt{2 \cdot 2+6})(2.4+\sqrt{2 \cdot 2+6})}{4(\sqrt{2 \cdot 2+6}+2+2.4)2.4+\sqrt{2 \cdot 2+6}(2+5+2\sqrt{2 \cdot 2+6})} = 4.6;$$

$$A_{\text{поб}} = \frac{\phi X_n A_{06}}{Bi_u} \quad (2.16)$$

$$A_{\text{пов}} = \frac{0.33 \cdot 4.6 \cdot 1}{24} = 0,63;$$

$$\tau_{\text{H}} = t_{\text{ХЛ}} + (t_{kp} - t_{\text{ХЛ}}) \frac{A_{06}}{A_{\text{НОР}}} \quad (2.17)$$

$$t_H = -30 + (-1 - 30) \frac{1}{0.63} = 16 \text{ C}^0;$$

$$\tau_4 = \Phi c_0 \rho R \frac{t_H - t_{kp}}{t_{kp} - t_{xl}} \cdot \left(\frac{R}{\lambda} \left(2 + \frac{AX_0}{k+1} \cdot \frac{Bi+2}{Bi} \right)^{-1} + \frac{1}{a} \right) \quad (2.18)$$

$$\tau_4 = \frac{1}{3} \cdot 3800 \cdot 930 \cdot 5.2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{16 - (-1)}{-1 - (-30)} \cdot \left(\frac{5.2 \cdot 10^{-3}}{1.3} \cdot \left(2 + \frac{1 \cdot 9.9}{2+1} \cdot \frac{0.92+2}{0.92} \right)^{-1} + \frac{1}{230} \right) = 16 \text{ с.};$$

2.2.7 Тривалість $\tau_{\text{охол}}$ знаходимо за формулою [2] (3.34), попередньо розрахувавши m_H [2] (3.31):

$$m_H = \frac{\lambda_0}{c_0 \rho R^2} x_H \quad (2.19)$$

$$m_H = \frac{0.5}{3800 \cdot 930 (5.2 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 4.6 = 2.4 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1};$$

$$\tau_{\text{охол}} = \frac{1}{m_n} \ln \left(A_{\text{пов}} \frac{t_{\text{ноч}} - t_{xl}}{t_{kp} - t_{xl}} \right) \quad (2.20)$$

$$\tau_{\text{охол}} = \frac{1}{2.4 \cdot 10^{-2}} \cdot \ln \left(0.63 \frac{20 - (-30)}{-1 - (-30)} \right) = 1 \text{ с.};$$

2.2.8 Загальний час заморожування:

$$\tau_{\text{зам.}} = \tau_0 + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 102 + 9 - 23 + 6 + 16 = 110 \text{ с.}$$

2.2.9. Загальний час процесу:

$$\tau_{\text{заг.}} = \tau_{\text{зам.}} + \tau_{\text{охол.}} = 110 + 1 = 111 \text{ с.}$$

2.3 Розраховуємо кріоморозильний апарат, для заморожування смородини потужністю $G = 1000 \text{ кг/год.} = 0.27 \text{ кг/с.}$ кінцева температура $t_{\text{кін.}} = -18 \text{ C}^0$.

2.3.1 Розрахуємо місткість апарата:

$$M = G \cdot \tau_{\text{заг}} \quad (2.21)$$

$$M = 0.27 \cdot 111 \approx 30 \text{ кг.}$$

2.3.2 Густина завантаження продуктом, на 1 м^2 площі стрічки конвеєра при ширині стрічки $b_{\text{конв.}} = 1 \text{ м}$ і викладці $g_f = 4 \text{ кг/м}^2$. довжина лінії конвеєра [2] (приклад 7.7):

$$L_{\text{конв}} = \frac{M}{g_f b_{\text{конв}}} \quad (2.22)$$

$$L_{\text{конв.}} = \frac{30}{4 \cdot 1} = 7.5 \text{ м.}$$

2.3.3 Швидкість руху стрічки конвеєра [2] (приклад 7.7):

$$W_{\text{конв}} = \frac{L_{\text{конв}}}{\tau} \quad (2.23)$$

$$W_{\text{конв.}} = \frac{7.5}{1.5} = 5 \text{ м/хв.}$$

2.3.4 Габаритні розміри апарата з урахуванням всіх довжин:

Довжина з урахуванням барабану конвеєра (0,4 м.) розміром двох зазорів (2·0,1 м) і товщини ізоляційної конструкції (2·0,3 м), а також зони вирівнювання температури (1,2 м) складає:

$$L_{\text{ап}} = 7.5 + 0.4 + 2 \cdot 0.1 + 2 \cdot 0.3 + 1.2 = 9.9 \text{ м.}$$

Ширина апарата:

$$B_{\text{ап}} = 1 + 2 \cdot 0.1 + 2 \cdot 0.3 = 1.8 \text{ м.}$$

Розхід рідкого азоту (4.19):

$$G_{\text{аз}} = 0.351 \text{ кг/с.}$$

2.3.5 Об'ємний потік газопобідного азоту в зоні обдуву [2] (приклад 7.7) :

$$V_{\text{аз.ср}} = \frac{G_{\text{аз}}}{\rho_{\text{аз.ср}}} \quad (2.24)$$

, де $\rho_{\text{аз.ср}}$ – густина азоту при середньологарифмічній температурі в зоні обдуву = 1,8 кг/м³.

$$V_{\text{аз.ср}} = \frac{0.351}{1.8} = 0.195 \text{ м}^3/\text{с.}$$

2.3.6 Необхідне січення каналу для циркуляції азоту визначаємо із рівняння суцільності [2] (приклад 7.7):

$$S_{\text{кан}} = \frac{V_{\text{аз.ср}}}{w_{\text{аз}}} \quad (2.25)$$

$$S_{\text{кан.}} = \frac{0.195}{10} = 0.0195 \text{ м}^2;$$

, де $w_{\text{аз.ср}}$ швидкість азоту м/с; приймаємо 10 м/с.

2.3.7 Укладання продукту [2] (приклад 7.7):

$$\varepsilon = 1 - \frac{g_j}{\rho_{\text{смор.}} \cdot R} \quad (2.26)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{10}{930 \cdot 5.2 \cdot 10^{-3}} = 0.17$$

2.3.8 Січення для проходу азоту в шарі продукту [2] (приклад 7.7):

$$S_{\text{ж}} = b_{\text{конв.}} \cdot R \cdot \varepsilon \quad (2.27)$$

$$S_{\text{ж}} = 1 \cdot 5.2 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 = 0.0009 \text{ м}^2$$

00.KP.142.008.005.ППЗ

Арк..

2.3.9 Необхідна висота каналу [2] (приклад 7.7):

$$h_{\text{кан}} = R + \frac{S_{\text{кан}} - S_{\text{ж}}}{b_{\text{кан}}} \quad (2.28)$$

$$h_{\text{кан.}} = 5.2 \cdot 10^{-3} + \frac{0.0195 - 0.0009}{0.0009} = 0,023 \text{ м.}$$

2.3.10 Аеродинамічний опір руху азоту в зоні заморожування складається з втрат напору на тертя у смородині $\Delta p_{\text{тр.}}$, втрат напору на поворотах $\Delta p_{\text{пов.}}$, втрат напору на вході в вентилятор $\Delta p_{\text{вх.}}$ [2] (приклад 7.7):

$$\Delta p = 1,1(\Delta p_{\text{тр.}} + \Delta p_{\text{пов.}} + \Delta p_{\text{вх.}}) \quad (2.29)$$

2.3.11 Втрати напору при руху азоту в каналі у смородини [2] (приклад 7.7):

$$\Delta p_{\text{тр}} = \zeta_{\text{смор.}} \cdot z_{\text{смор.}} \cdot \rho_{\text{аз.}} \cdot \frac{w_{\text{аз.д}}^2}{2} \quad (2.30)$$

, де $\zeta_{\text{смор.}}$ - коефіцієнт місцевого опору у продукту;

$$\zeta_{\text{смор.}} = \left(1 - \frac{R - R(1 - \varepsilon)}{2R}\right) + \left(1 - \frac{R - R(1 - \varepsilon)}{2R}\right)^2 \quad (2.31)$$

$$\zeta_{\text{смор.}} = \left(1 - \frac{5.2 \cdot 10^{-3} - 5.2 \cdot 10^{-3}(1 - 0.17)}{2 \cdot 5.2 \cdot 10^{-3}}\right) + \left(1 - \frac{5.2 \cdot 10^{-3} - 5.2 \cdot 10^{-3}(1 - 0.17)}{2 \cdot 5.2 \cdot 10^{-3}}\right)^2 = 0.58;$$

$z_{\text{смор.}}$ - кількість смородини на шляху руху азоту, $\rho_{\text{аз.}}$ - 1,8 кг/м³ густина пари азоту.

$$\Delta p_{\text{тр.}} = 0.58 \cdot 7 \cdot 1.8 \cdot \frac{10^2}{2} = 360 \text{ Па.}$$

2.3.12 Втрати на трьох поворотах [2] (приклад 7.7):

$$\Delta p_{\text{пов}} = \zeta_{\text{пов}} n_{\text{пов}} \rho_{\text{аз.}} \cdot \frac{w_{\text{пов}}^2}{2} \quad (2.32)$$

$$\Delta p_{\text{пов.}} = 1.5 \cdot 3 \cdot 1.8 \cdot \frac{2.7^2}{2} = 29 \text{ Па.}$$

, де $\zeta_{\text{пов.}}$ - коефіцієнт місцевого опору повороту; $n_{\text{пов.}}$ - кількість поворотів, $w_{\text{пов.}}$ - швидкість азоту на поворотах.

$$w_{\text{пов.}} = \frac{V_{\text{аз.}}}{S_{\text{пов.}}} \quad (2.33)$$

$$w_{\text{пов.}} = \frac{0.195}{0.02} = 2,7 \text{ м/с}$$

, де $S_{\text{пов.}}$ - січення повороту, м²; $S_{\text{пов.}} = (h_{\text{кан.}} - R)b_{\text{конв.}} = 0,02 \text{ м}^2$

2.3.13 Швидкість в вхідному вікні вентилятора складає [2] (приклад 7.7):

$$w_{\text{вх.}} = \frac{4V_{\text{аз.кон}}}{\pi d_{\text{вен}}^2} \quad (2.34)$$

					00.KP.142.008.005.РПЗ	Арк..

$$w_{\text{вх.}} = \frac{4 \cdot 0.076}{\pi \cdot 0.25^2} = 1,55 \text{ м/с}$$

, де $V_{\text{аз.кон.}}$ об'єм азоту при температурі -30°C , $\text{м}^3/\text{с}$; $V_{\text{аз.кон.}} = 0,098/1,3 = 0,076 \text{ м}^3/\text{с}$; $d_{\text{вх.}} = \text{приймаємо } 0,25 \text{ м}$.

$$\Delta p_{\text{вх.}} = \zeta_{\text{вх.}} \rho_{\text{аз.кон.}} \frac{w_{\text{вх.}}^2}{2} \quad (2.35)$$

$$\Delta p_{\text{вх.}} = 0.5 \cdot 1.3 \cdot \frac{1,55^2}{2} = 0,8 \text{ Па.}$$

2.3.14 Сумарна втрата напору [2] (приклад 7.7):

$$\Delta p = 1.1 \cdot (360 + 29 + 0.8) = 428,8 \text{ Па}$$

2.4 За тих самих умов зробимо порівняльний розрахунок.

2.4.1 Початкову швидкість обдуву розраховуємо [2] (приклад 7.4):

$$w_{\phi} = \frac{v_{\text{в.}} Ar}{d_{\text{кр}} (1400 + 5,22 Ar^{0.5})} \quad (2.36)$$

$$w_{\phi} = 2,9 \text{ м/с}$$

, де $v_{\text{в.}}$ - кінематичний коефіцієнт вязкості повітря, $\text{м}^2/\text{с}$; $v_{\text{в.}} = 10,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

2.4.2 Швидкість виносу продукту з апарата [2] (приклад 7.4):

$$w_{\phi} = \frac{v_{\text{в.}} Ar}{d_m (18 + 0.6 Ar^{0.5})} \quad (2.38)$$

$$w_{\phi} = 26 \text{ м/с}$$

2.4.3 Таким чином оптимальна швидкість руху повітря в грузовому відсіку апарату $w_0 = (2 \dots 4) w_{\phi} = 5,8 \text{ м/с}$ і гарантує стабільний процес заморожування [2] (приклад 7.4):

2.4.4 Теплоприток від смородини що заморожується [2] (приклад 7.4):

$$Q_2 = G (c_H (t_{\text{поч}} - t_{\text{кр}}) + w \omega r + c_3 (t_{\text{кр}} - t_{\text{кон}})) \quad (2.39)$$

$$Q_2 = 101 \text{ кВт.};$$

2.4.5 Площа стрічки конвеєра знаходимо для величини $\Delta t_{\text{в}} = 3^\circ\text{C}$ [2] (приклад 7.4):

$$F_{\text{конв}} = \frac{Q_2}{w_0 \rho_B c_B \Delta t_B} \quad (2.40)$$

$$F_{\text{конв.}} = 3,9 \text{ м}^2;$$

2.4.6 Приймаємо ширину конвеєра $b_{\text{конв.}} = 1 \text{ м}$. Розраховуємо довжину конвеєра [2] (приклад 7.4):

					00.KP.142.008.005.РПЗ	Арк..

$$l_{\text{конв}} = \frac{F_{\text{конв}}}{b_{\text{конв}}} \quad (2.41)$$

$$l_{\text{конв.}} = 3,9 \text{ м.}$$

2.4.7 Розраховуємо об'ємну подачу повітря [2] (приклад 7.4):

$$V_B = F_{\text{конв.}} \cdot w_0 \quad (2.42)$$

$$V_B = 22,6 \text{ м}^3/\text{с}$$

2.4.8 Температурний напір ($^{\circ}\text{C}$) між температурою продукту і температурою повітря в апараті [2] (приклад 7.4):

$$\theta_B = \frac{\Delta t_B}{\ln\left(\frac{t_{\text{кон}} - t_{\text{пм}}}{t_{\text{кон}} - t_{B2}}\right)} \quad (2.43)$$

$$\text{, де } t_{B2} = t_{\text{пм}} + \Delta t_{B.} = -30 + 3 = -27 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

$$\theta_B = 8,4 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

2.4.9 Площа поверхні продукту, яка знаходиться на конвеєрі, розраховується за формулою [2] (приклад 7.4):

$$F_{\text{пр}} = \frac{Q_2}{a \theta_B} \quad (2.44)$$

$$F_{\text{пр.}} = 52,2 \text{ м}^2.$$

2.4.10 Місткість апарата [2] (приклад 7.4):

$$M = F_{\text{пр}} \rho_{\text{пр}} \frac{d_{\text{кр}}}{6} \quad (2.45)$$

$$M = 42 \text{ кг.}$$

2.4.11 Висота насипного шару продукту на стрічці конвеєра [2] (приклад 7.4):

$$H_{\text{нас}} = \frac{M}{F_{\text{конв}} \rho_{\text{нас}}} \quad (2.46)$$

, де $\rho_{\text{нас.}}$ – насипна густина продукту, для смородини $\rho_{\text{нас.}} = 560 \text{ кг/м}^3$

$$H_{\text{нас.}} = 0,02 \text{ м.}$$

2.4.12 Висота замороженого шару продукту [2] (приклад 7.4):

$$H_{\phi} = H_{\text{нас}} \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon} \quad (2.47)$$

, де ε_0 – порозність насипного шару, для смородини $\varepsilon_0 = 0,56$; ε – порозність замороженого шару, для смородини $\varepsilon = 0,7$.

$$H_{\phi} = 0,029 \text{ м.}$$

2.4.13 Загальна довжина апарата :

$$L_{\text{ап}} = 3,9 + 0,4 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,3 + 1,2 = 6,3 \text{ м.}$$

2.4.14 Загальна ширина апарата:

$$B_{\text{ап}} = 1 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,3 = 1,8 \text{ м.}$$

2.4.15 Теплоприток через огорожующі конструкції апарата [2] (приклад 7.4):

$$Q_1 = \sum (kF(t_{\text{ц}} - t_{\text{пм}})) \quad (2.48)$$

, де k – коефіцієнт теплопередачі огорожень апарата, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймаємо $k = 0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $t_{\text{ц}}$ – температура вв технологічному цеху; $t_{\text{ц}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$;

$$Q_1 = 1140 \text{ Вт.} = 1,1 \text{ кВт.}$$

2.4.16 Експлуатаційні теплопритоки від двигунів вентиляторів приймаємо [2] (приклад 7.4) :

$$Q_{4\text{дв.}} = 0,3 \cdot Q_2 = 30,3 \text{ кВт.}$$

2.4.17 Експлуатаційні теплопритоки через завантажуючі і розвантажуючі вікна [2] (приклад 7.4):

$$Q_{4\text{ок.}} = 0,5 \cdot Q_1 = 0,55 \text{ кВт.}$$

2.4.18 Сумарний теплоприток:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_{4\text{дв.}} + Q_{4\text{ок.}} = 1,1 + 101 + 30,3 + 0,55 = 132,95 \text{ кВт.}$$

3 Опис кріогенної установки

Підтримка оптимального рівня температури без значних коливань є невід'ємною частиною ланцюга постачання харчових продуктів, який охоплює різні сфери, такі як обробка харчових продуктів, пакування продуктів, зберігання та транспортування, а також роздрібні послуги. Різне обладнання використовується в харчовій промисловості для охолодження та заморожування на основі LN_2 (рідкий азот) залежно від необхідної пропускної здатності, бажаної площі установки та цільових стандартів якості.

Кріогенні морозильні тунелі використовуються для безперервного заморожування та охолодження. При використанні для охолодження продукту ці пристрої є корисними для випадків, у яких необхідно знизити температуру продукту для наступних процесів (наприклад, нарізання кубиками для зменшення кількості дрібних частинок) або для виконання нормативних вимог до гарячих продуктів, у яких зниження температури має бути досягнуто протягом певного часу, щоб запобігти росту патогенів. У кріогенних морозильних тунелях використовуються рухомі конвеєрні стрічки з рівномірно розташованими соплами, які розпилюють відміряні дози LN_2 на продукт, який потрібно заморозити або охолодити. У морозильному тунелі використовується підхід верхнього впорскування, при якому LN_2 розпилюється на харчові матеріали, які потрібно заморозити/охолодити, без прямого контакту між форсунками LN_2 та продуктом. LN_2 розпилюється у вигляді дрібного туману на продукт у зоні замерзання. Внутрішні вентилятори використовуються для покращення та рівномірного ефекту конвекції. Охолодження продукту в основному досягається шляхом зміни фази рідини в пару LN_2 з додатковим відведенням тепла від продукту за рахунок конвекційних ефектів протитечії холодного газу N_2 . Конструкція кріотунелю гарантує безперервну та вбудовану роботу з мінімальною площею та стандартами високої продуктивності з точки зору пропускної здатності та енергоефективності.

00.KP.142.008.005.РПЗ

Арк..

3.1 Кріогенна морозильна камера тунельного типу [2].

Кріогенна морозильна камера показана нижче і має наступні характеристики: годинна потужність заморожування: від 110 до 120 кг; розміри: 5220 x 750 x 1450 мм; вага: 500 кг; температура замороженого продукту: - 18 °С; довжина конвеєрної стрічки: 4,5 м; швидкість руху стрічки: 1,12 м/хв; час заморожування: $\approx$ 4 хв. На основі проведених випробувань з'ясували, що температура теплового ядра продукту ($t_C \leq -18^\circ\text{C}$) досягається в залежності від температури парів азоту, що відводяться, при постійній місткості морозильної камери і витраті розпиленого рідкого азоту на умови роботи кріогенної морозильної камери в стаціонарному режимі можуть впливати: температура зовнішнього повітря, вміст жиру в продукті, відстань між продуктами на стрічці, засміченість вентилятора примусової циркуляції повітря і товщина продукту.

Якщо температура відпрацьованих парів азоту підвищується, споживання азоту зменшується. При температурі парів -30 °С можна легко досягти температури -18 °С в ядрі продукту. Вважається, що відпрацьовані низькотемпературні пари азоту можна використовувати для охолодження тимчасового банку продуктів харчування, який використовується для зберігання продуктів перед відправкою. Температура тунелю вимірювалася кожні 30 секунд за допомогою 6 датчиків Pt100. Температура в центрі та на поверхні виробу вимірювалася за допомогою NTC. [3]

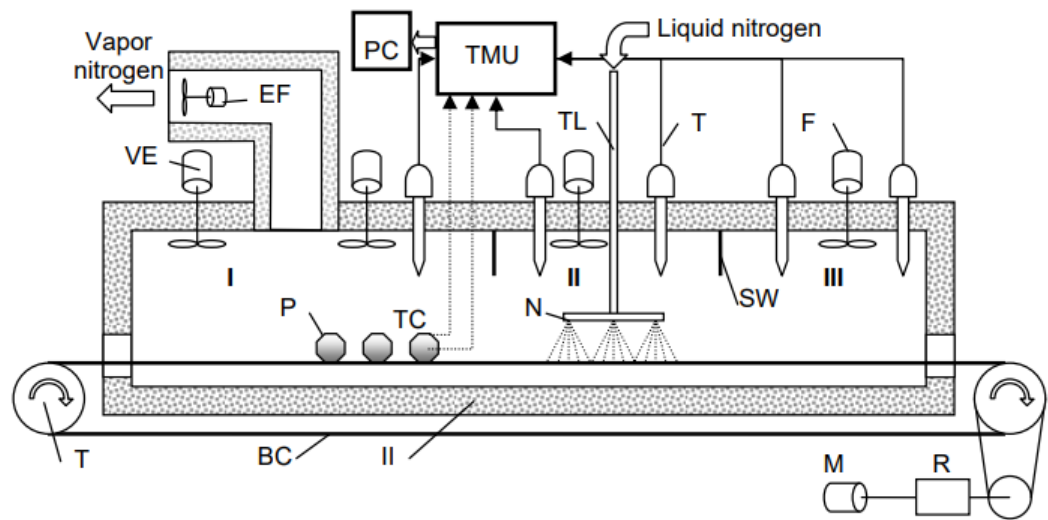


Рис. 1 Кріогенна морозильна камера

М - електродвигун; Р - продукт; ВС - стрічковий конвеєр; R - черв'ячний редуктор; F - вентилятор; EF - витяжний вентилятор; N- форсунка; SW - розділова стінка; TL- лінія передачі азоту;; Т - термометр; ТС - термopapa; TMU - блок вимірювання температури; PC - комп'ютер;

I - зона попереднього охолодження; II - зона заморожування; III - зона переохолодження.

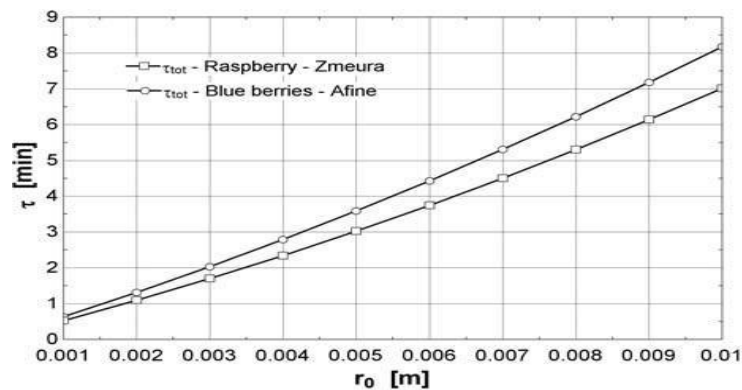


Рис. 2 Загальний час заморожування в залежності від радіусу продукту

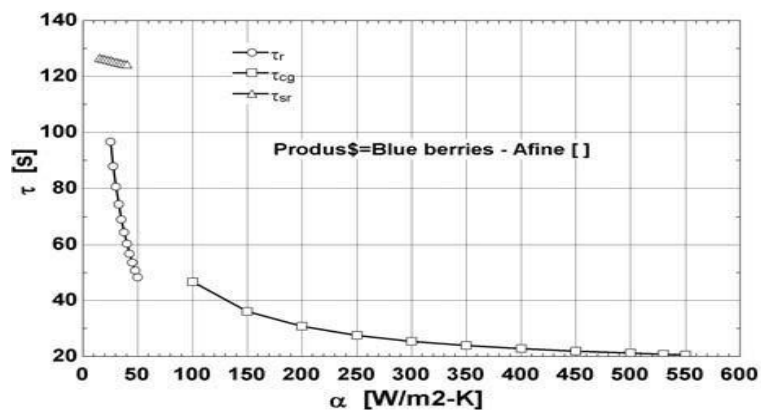


Рис. 3 Вплив коефіцієнтів конвекції на відповідні часи

00.KP.142.008.005.ППЗ

Арк..

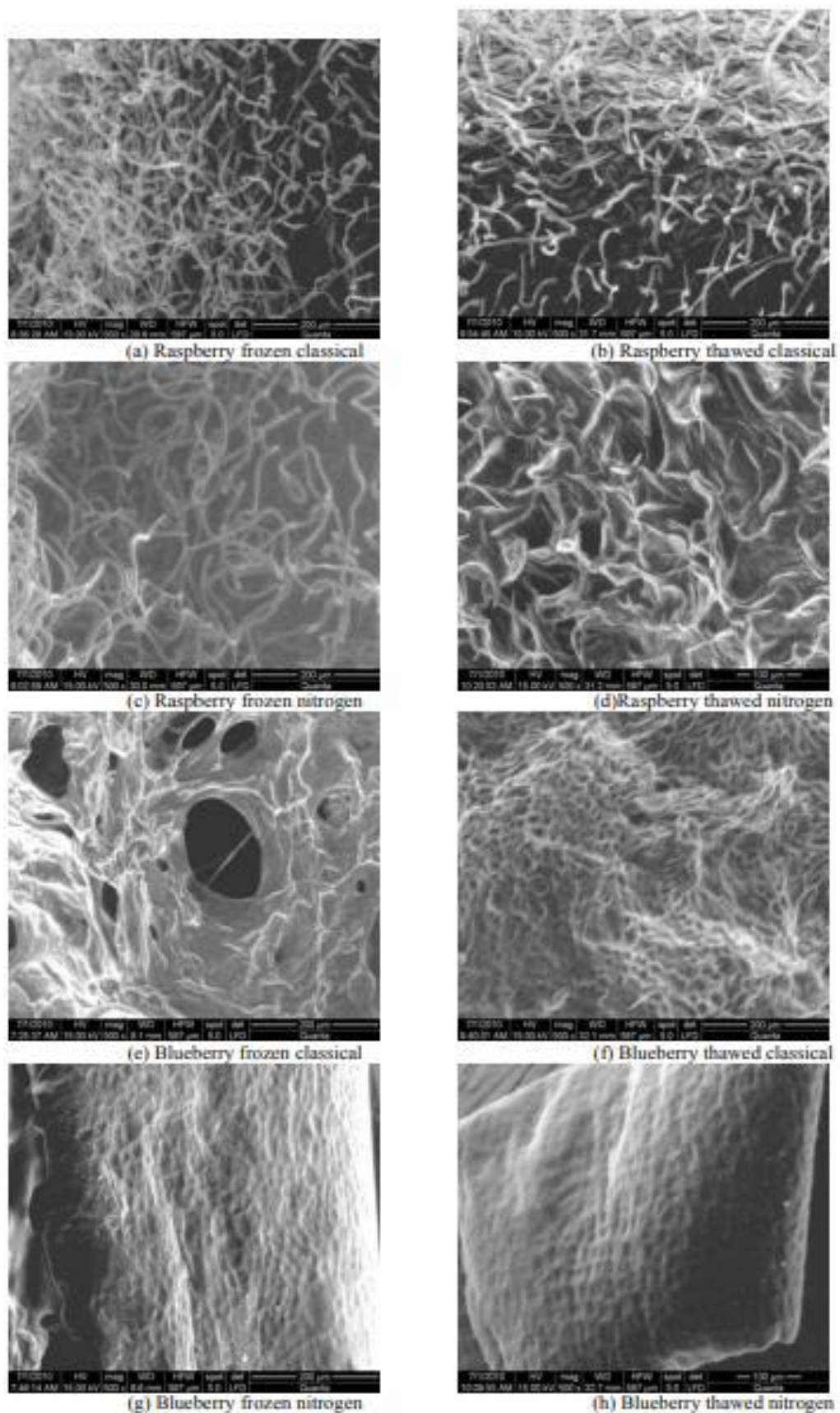


Рис. 4 Клітинна структура малини та чорниці замороженні кріогенним та механічним шляхом

00.KP.142.008.005.ПІЗ

Арк..

На рис. 4 можна помітити, що при (швидкому) криогенному заморожуванні рідким азотом ягоди зберігають початкову форму волокон, оскільки кристали льоду менші за клітини, а отже, не розривають їх. При (повільному) заморожуванні механічним охолодженням волокна ягід деформуються під дією кристалів льоду, які пронизують стінку клітин.

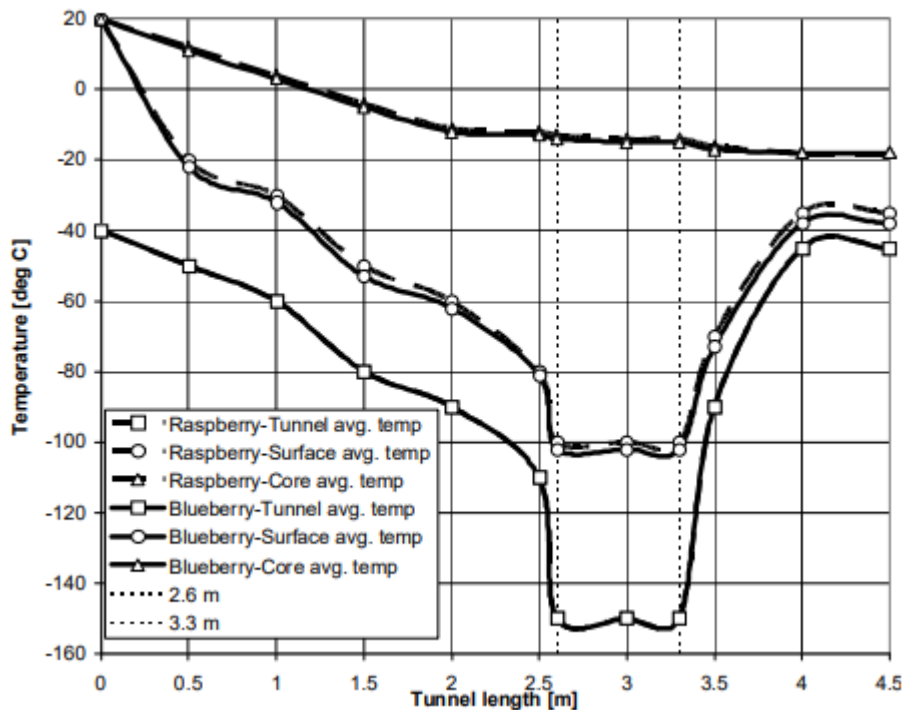


Рис. 5 Виміряна зміна температури навколишнього середовища (середня) та продукту (поверхні та серцевини) вздовж морозильного тунелю.

З рис. 5 можна помітити, що:

- приблизно через 3 хвилини температура серцевини виробу досягає -15°C , але вирівнювання температури в продукті продовжиться (умовою правильного заморожування є те, що $t_c \leq -18^{\circ}\text{C}$), а виміряна кінцева температура становила $t_c = -26^{\circ}\text{C}$;
- тепловий потік q_s і середній коефіцієнт тепловіддачі α_m максимальні в зоні розпилення рідкого азоту;
- після проходження зони обприскування тепловий потік все ще залишається високим, оскільки все ще залишаються краплі рідкого азоту, що випаровуються;
- Температура відпрацьованих парів азоту становить приблизно від -35 до -40°C і може бути визначена шляхом регулювання

00.KP.142.008.005.РПЗ

Арк..

швидкості обертання вентилятора відпрацьованих парів.

3.2. Переваги і недоліки.

Основні **переваги** заморожування рідким азотом (використовується переважно для дорогих продуктів, таких як рибне філе, морепродукти, кондитерські вироби, ягоди тощо):

- простий дизайн, невеликий простір і легке очищення;
- короткий час запуску та заморожування, рухомі морозильні камери;
- зменшилася втрата ваги;
- система може бути використана для різних харчових продуктів без будь-яких модифікацій;
- можлива повна автоматизація, розморожування не потрібне (немає випарників);
- завдяки високій швидкості заморожування кристали льоду, що утворюються, дуже малі і не пошкоджують клітини заморожених продуктів, зберігаючи початковий колір і смак; попереднє охолодження продукту не потрібне;

Недоліки. Хоча кріогенне охолодження пропонує багато переваг, як-от менші початкові капіталовкладення та витрати на технічне обслуговування, воно пов'язане з вищими експлуатаційними витратами через споживання LN_2 як прямого охолоджувача. Порівняння експлуатаційних витрат кріогенного заморожування та механічного заморожування ускладнюється географічними коливаннями та сезонною нестабільністю цін на електроенергію, причому збільшення витрат на електроенергію має більш значний вплив на економічність процесу механічного заморожування порівняно з кріогенним заморожуванням. У порівняльному дослідженні з вартістю електроенергії 0,047 євро/кВт-год і вартістю LN_2 0,08 євро/кг було повідомлено про вищу вартість 0,07 євро/кг продукту для кріозаморожування яловичого фаршу порівняно з

0,01 євро/кг продукту для механічного заморожування [4]. Однак загальна вартість обробки віддала перевагу кріотехнології в цій оцінці через покращену якість (0,14 євро/кг продукту для кріозаморожування проти 0,28 євро/кг продукту для механічного заморожування [4]). Наразі процес заморожування LN_2 обмежений продуктами з високою вартістю, такими як оброблені продукти з птиці/м'яса, морепродукти та фрукти, що швидко псуються (полуниця, малина тощо), для підвищення якості та додавання вартості за допомогою використання LN_2 може компенсувати додаткові витрати споживання LN_2 .

Хоча LN_2 був загальноприйнятим у харчовій промисловості та виробництві напоїв для кращого збереження якості заморожених продуктів, деякі дослідження показали погіршення якості заморожування LN_2 порівняно зі звичайними методами заморожування, особливо розтріскування продуктів при високій швидкості заморожування. Зовнішній шар спочатку заморожується під час процесу заморожування харчових продуктів, а фронт заморожування поступово переміщується всередину продукту. Тоді як зміна фази вода-лід пов'язана з об'ємним розширенням, охолодження замерзлого шару пов'язане з об'ємним скороченням. Це призводить до зовнішньої напруги розтягування (на замороженому зовнішньому шарі) та внутрішньої напруги стиску (на внутрішніх шарах, які замерзають). У процесі кріогенного заморожування високі швидкості заморожування не дають достатньо часу для розсіювання напруги всередині продукту, що іноді може спричинити тріщини в замороженому продукті [5]. Дослідження, проведені на лабораторній кріогенній системі, постійно спостерігали тріщини в продуктах з меншою пористістю та більшою щільністю (наприклад, маргарині та вершковому маслі). Навпаки, тріщин під час кріозаморожування не спостерігалося в продуктах з більшою пористістю та меншою щільністю (наприклад, французький хліб, кекс) [6]. Це пояснюється кращим розсіюванням напруги в продуктах з підвищеною пористістю, а також меншою щільністю в результаті меншого вмісту вологи в харчових продуктах [6].

Нарешті, впровадження кріогенних технологій вимагає безперебійного постачання LN_2 для установок харчової промисловості [7] . Залежно від рівня споживання LN_2 , найчастіше покладаються на резервуари для зберігання на місці, які заповнюються за допомогою доставки з причепа LN_2 . Таким чином, доступ до надійного постачання LN_2 для харчових продуктів, що відповідає застосовним нормативним і галузевим стандартам (наприклад, ISO 22000 і FSSC 22000), є необхідною умовою для впровадження кріотехнологій на основі LN_2 у харчовій промисловості та виробництві напоїв.

					00.KP.142.008.005.PПЗ	Арк..

4 Розрахунок витрати рідкого азоту на кріогенний тунельний морозильний апарат

3.1 Продуктивність апарата

$$G_{мор} := 1000 \cdot \frac{кг}{год} \quad G_{мор} = 0.278 \frac{кг}{с} \quad (4.1)$$

Прийнято, що у апараті є зони охолодження до кріоскопічної температури, заморожування, вирівнювання температури продукту.

З точки зору впливу азоту на продукти є зони зрошування та обдування азотом.

3.2 Температури продукту:

3.2.1 Початкова:

$$t_n := 20 \cdot ^\circ C \quad (4.2)$$

3.2.2 Середня кінцева:

$$t_{зам} := -20 \cdot ^\circ C \quad (4.3)$$

3.3 Для прикладу використаю смородину, її показники:

$$W = 88\%; \quad t_{кр.} = -1 \cdot ^\circ C; \quad c_{пр.} = 3,68 \frac{кДж}{кг \cdot K}; \quad c_{пр.мор.} = 1,88 \frac{кДж}{кг \cdot K};$$

3.4 Кінцева частка вимороженої вологи:

$$\omega := 1 - \frac{t_{кр}}{t_{зам}} \quad (4.4)$$

$$\omega = 0.95$$

3.5 Питома теплота кристалізації води:

$$r_f := 335.2 \cdot \frac{кДж}{кг}$$

3.6 Температура газоподібного азоту на виході з апарата (прийнято):

$$t_{N2_{вих}} := -30 \cdot ^\circ C$$

3.7 ТФХ азоту:

3.7.1 Температура кипіння:

$$t_{кип} := -196 \cdot ^\circ C$$

					00.КР.142.008.005.РПЗ	Арк..

3.7.2 Питома теплоємність:

$$c_{N_2} := 1.042 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

3.7.3 Питома теплота випаровування:

$$r_{N_2} := 197.6 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

3.8 Питома холодопродуктивність рідкого азоту:

$$q_{N_2} := r_{N_2} + c_{N_2} \cdot (t_{N_2_сух} - t_{кин}) \quad (4.5)$$

$$q_{N_2} = 370.572 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

3.9 Питома кількість теплоти, відведена на ділянці попереднього охолодження:

$$q_{31} := c_{np} \cdot (t_n - t_{кр}) \quad (4.6)$$

$$q_{31} = 77.28 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

3.10 Питома кількість теплоти, відведена на ділянці заморожування:

$$q_{32} := r_f \cdot W \cdot \omega + c_{np_мор} \cdot (t_{кр} - t_{зам}) \quad (4.7)$$

$$q_{32} = 315.947 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

3.11 Сумарна кількість відведеної теплоти:

$$q_3 := q_{31} + q_{32} \quad (4.8)$$

$$q_3 = 393.227 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

3.12 Теплонадходження від продукту:

$$Q_{mH2} := G_{мор} \cdot q_3 \quad (4.9)$$

$$Q_{mH2} = 109.23 \text{ кВт}$$

3.13 Потрібна витрата зрідженого азоту теоретична:

$$G_{N_2} := \frac{Q_{mH2}}{q_{N_2}} \quad (4.10)$$

					00.КР.142.008.005.РПЗ	Арк..

$$G_{N2} = 0.295 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

3.14 Питома витрата зрідженого азоту теоретична:

$$g_{N2} := \frac{G_{N2}}{G_{\text{мор}}} \quad (4.11)$$

$$g_{N2} = 1.061 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

3.15 Теплонадходження до апарата через огорожі (прийнято 10% від Q2) :

$$Q_{\text{тн1}} := 0.1 \cdot Q_{\text{тн2}} \quad (4.12)$$

$$Q_{\text{тн1}} = 10.923 \text{ кВт}$$

3.16 Теплонадходження від електродвигунів циркуляційних вентиляторів (прийнято 5% від Q2) :

$$Q_{\text{тн41}} := 0.05 \cdot Q_{\text{тн2}} \quad (4.13)$$

$$Q_{\text{тн41}} = 5.461 \text{ кВт}$$

3.17 Додаткове теплонадходження через вікна завантаження та вивантаження (прийнято 40% від Q_{тн1}) :

$$Q_{\text{тн42}} := 0.4 \cdot Q_{\text{тн1}} \quad (4.14)$$

$$Q_{\text{тн42}} = (4.369 \cdot 10^3) \text{ Вт}$$

3.18 Загальні теплонадходження до апарата:

$$Q_{\text{тн}} := Q_{\text{тн1}} + Q_{\text{тн2}} + Q_{\text{тн41}} + Q_{\text{тн42}} \quad (4.15)$$

$$Q_{\text{тн}} = (1.3 \cdot 10^5) \text{ Вт}$$

3.19 Дійсна масова витрата зрідженого азоту:

$$G_{N2\partial} := \frac{Q_{\text{тн}}}{q_{N2}} \quad (4.16)$$

$$G_{N2\partial} = 0.351 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

3.20 Дійсна питома витрата зрідженого азоту на 1 кг заморожуваного продукту:

					00.КР.142.008.005.РПЗ	Арк..

$$g_{N_{2\partial}} := \frac{G_{N_{2\partial}}}{G_{\text{мор}}} \quad (4.17)$$

$$g_{N_{2\partial}} = 1.263 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

3.21 Вартість рідкого азоту на заморожування 1 кг смородини (за ціни 30 грн/л):

$$B_{N_2} = 1.263 \cdot 30 = 37.89 \text{ грн/кг продукту}$$

					00.КР.142.008.005.РПЗ	Арк..

5 Вплив кріогенного заморожування на фізико-хімічні властивості продуктів

У цьому розділі ми розглянемо вплив кріогенного заморожування на фізико-хімічні характеристики заморожених продуктів. Глибокий аналіз параметрів, таких як рН, вміст розчинного білка, індекс якості та текстура, дозволить визначити переваги та можливі недоліки цього методу обробки продукції.

Цей розділ стане ключовим для розкриття взаємодії між кріогенним заморожуванням і фізико-хімічними властивостями продуктів. Аналіз результатів досліджень допоможе визначити оптимальні параметри заморожування, спрямовані на забезпечення не лише консервації продуктів, але й підтримання їхньої високої якості протягом тривалого періоду зберігання. Як прикладне дослідження було використано “cryogenic freezing” [1].

5.1 Аналіз впливу кріогенного заморожування на рН

Початкове вимірювання рН свіжої дині становило 6,02, що вказує на слабокислу природу. Після лікування він демонстрував підвищення, наближаючись до нейтрального рН (Додаток 1 табл. 1). Важливо відзначити, що як умови заморожування, так і тривалість зберігання мали значний вплив на рН (Додаток 2 табл. 2). Зміна рН була більш вираженою при кріогенному заморожуванні порівняно з механічним заморожуванням, як показано середніми значеннями для групи 6,60 і 6,43 відповідно. За терміном зберігання спостерігалася помітна тенденція до зниження значень рН. Протягом 90 днів значення рН знизилося на 6 % порівняно зі значенням за 7 днів. Примітно, що зразки, які зберігалися протягом 7 днів і 90 днів, показали значні відмінності в рН протягом усіх періодів зберігання. І навпаки, хоча зразки, що зберігалися протягом 30 і 60 днів, не показали суттєвих відмінностей між собою, вони залишалися відмінними від зразків, які зберігалися в інші терміни. Не було виявлено взаємодії між умовами заморожування та тривалістю зберігання на рН дині (Додаток 2 табл. 2). І навпаки, рН свіжих яблук (тобто 3,22), які демонстрували кислу природу,

знизився після обробки, в результаті чого фрукти стали більш кислими. Значні відмінності спостерігалися між свіжими зразками та тими, що зберігалися протягом 7 і 90 днів, незалежно від умов заморожування (Додаток 3 Таблиця 4). Повідомлялося, що рН яблук Golden Delicious знаходиться в діапазоні від 3,73 до 3,77, залежно від сорту (органічного чи звичайного). Умови заморожування не мали значного впливу на рН яблук, оскільки значення залишалися ідентичними (тобто 3,15 (кріогенний) проти 3,16 (механічний)) (Додаток 4 Таблиця 5). При зберіганні яблук показник рН суттєво підвищився від 7 до 30 діб (на 1,60 %), після чого настала відносно стабільна фаза до 60 діб. Однак рН значно знизився після досягнення 90-денної позначки (до 3,12), до точки, коли зразок мав рН, ідентичний рН 7-денного зразка (тобто 3,13). Подібно до динь, для зразків яблук ефект взаємодії не спостерігався (Додаток 4 таблиця 5). Значення рН є важливими, оскільки вони можуть спричинити зміни в певних поживних речовинах. Наприклад, каротиноїди чутливі до кислотності, і нижчі рівні рН вважаються одним із факторів, що сприяють більшій втраті вмісту хлорофілу (Gunawan & Barringer, 2000 ; Martínez, Pérez, Carballo, & Franco, 2013 ; Mínguez-Mosquera & Gandul- Roxas, 1994). Встановлено, що вплив умов обробки при заморожуванні (включаючи заморожування та зберігання) залежить від сорту фруктів. Тому не дивно спостерігати різні тенденції щодо яблук і динь, оскільки це різні види. Наприклад, якщо дивитися на різні сорти малини (такі як Heritage і Autumn Bliss), рН після обробки заморожуванням (включаючи заморожування та зберігання в замороженому стані) постійно виявляється нижчим, ніж у свіжого зразка (González et al., 2002). На відміну від цього, інші сорти малини (наприклад, Zeva та Rubi) або показали зниження, або залишалися відносно стабільними в рН до певного періоду зберігання, а потім підвищувалися під час зберігання. Повідомлялось про підвищення рН манго після заморожування для всіх досліджених сортів, але рН залишався стабільним під час зберігання до 120 днів при -18°C . Навпаки, в іншому дослідженні рН свіжих соків (апельсинового та апельсиново-динного змішаного) залишався стабільним після заморожування

(при $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$) і зберігання в замороженому стані (при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) протягом 120 днів для апельсинового соку та 96 днів для соку. апельсиново-динний змішаний сік.

5.2 Аналіз впливу кріогенного заморожування на індекс якості

Індекс якості відображає теоретичну прийнятність фруктів щодо смаку та аромату (цукри та органічні кислоти). Як правило, більш солодкі та ароматні/смачні фрукти асоціюються з вищими значеннями індексу якості. Процес заморожування, залежно від сорту фруктів, може збільшити або не мати впливу на індекс якості. У цьому дослідженні [2]. показник якості або підвищувався, або залишався подібним до свіжого, залежно від тривалості зберігання.

Індекс якості, представлений як співвідношення $^{\circ}\text{Brix}$ до титрованої кислотності, зразка свіжої дині був нижчим, ніж у всіх інших умовах, за винятком кріогенно заморожених зразків, які зберігалися протягом 7 днів і 90 днів, а також механічно замороженого зразка, який зберігався протягом 30 днів (що було значно нижче, ніж у свіжому вигляді, тобто $115,48 \pm 0,14$ проти $133,91 \pm 1,87$) (Додаток 1 табл. 1). Як індивідуальні ефекти, так і ефекти взаємодії виявилися значущими у зразках дині, з р-значеннями 0,000 для кожного аналізу.

Кріогенно заморожений зразок продемонстрував на 10 % вищий індекс якості порівняно з механічно замороженим зразком (Додаток 2 Таблиця 2). Помітна тенденція у значенні індексу якості спостерігалася до 60 днів, демонструючи значне збільшення на 55 % порівняно з 7-денним зберіганням, зі значенням 124,84. Однак після цього значення знизилося, що призвело до відсутності суттєвої різниці між 90-денними та 30-денними зразками (Додаток 2 Таблиця 2).

Щодо яблук, показник якості зразків, що зберігалися протягом 7 днів, заморожених обома способами, був подібним до свіжого зразка. Однак для зразків, які зберігалися від 30 до 90 днів з обох методів заморожування, індекс якості був вищим, ніж для свіжого зразка (Додаток 3 Таблиця 4). Подібно до дині, як індивідуальні ефекти, так і ефекти взаємодії були значущими для яблук, з р-значеннями в діапазоні від 0,000 до 0,001 (Додаток 4 Таблиця 5). Механічно

заморожений зразок продемонстрував значно вищий індекс якості, ніж кріогенно заморожений зразок (33,67 проти 32,06). Значення індексу якості збільшувалося зі збільшенням тривалості зберігання з 7 до 30 днів (28,58 проти 34,67). Через 30 днів значення залишалося стабільним, оскільки не спостерігалось значної різниці між зразками, які зберігалися за цих умов (Додаток 4 Таблиця 5).

5.3 Аналіз впливу кріогенного заморожування на твердість.

Текстура є вирішальним сенсорним аспектом і показником якості фруктів, що визначає перевагу споживача. Як правило, фрукти, як правило, відчують більшу втрату текстури порівняно з овочами через їх ніжну матрицю, вищий вміст вологи та менший вміст клітковини.

Твердість заморожених фруктів залежить від кількох факторів, у тому числі сорту, сорту, швидкості заморожування, часу та температури зберігання в замороженому стані, рівня зрілості та попередньої обробки, як-от бланшування та просочення кальцієм. І яблука, і дині змінили структуру після заморожування. Це явище не є унікальним для цих матриць, але спостерігається в багатьох плодових матрицях.

Зниження твердості можна пояснити втратою міцності та руйнуванням клітинної структури в результаті процесу заморожування. І навпаки, збільшення твердості, що спостерігається в дині, може бути пов'язане зі збільшенням кількості волокон на одиницю площі внаслідок ексудації.

Твердість зразка свіжої дині, виміряна в Н/см³ , була записана як 1,19. Значно вищі значення спостерігалися після 7-денного періоду зберігання порівняно зі свіжим зразком. Особливої уваги заслуговує механічно заморожений зразок, що зберігався протягом 60 днів, який продемонстрував значне збільшення твердості приблизно на 73 % порівняно зі свіжим зразком, як представлено в таблиці 1 . Основним фактором, що впливає на твердість, була тривалість зберігання (р-значення = 0,000), тоді як вплив умов заморожування був незначним (р-значення = 0,062), і не було виявлено ефекту взаємодії (р-значення = 0,428), як зазначено. у таблиці 2 . Однак варто зазначити, що середнє значення твердості механічно замороженої групи було менш віддаленим від свіжого зразка порівняно

з кріогенно замороженим зразком. Зокрема, механічно заморожені зразки були на 41% твердішими, тоді як кріогенно заморожені зразки були на 52% твердішими порівняно зі свіжими зразками. Підвищення міцності протягом періоду зберігання було очевидним до позначки 60 днів, де значення піднялося з 1,28 Н/см³ через 7 днів до 1,75 Н/см³ через 30 днів і далі до 2,03 Н/см³ після 60 днів. За межами 60-денного порогу спостерігалось невелике зниження значення, але воно суттєво не відрізнялося від значень, що спостерігалися під час 60-денного або 30-денного періодів зберігання, як показано в таблиці 2 . На відміну від дині, твердість свіжих яблук знижувалася незалежно від умов обробки. Найбільш значне зниження твердості на 59 % порівняно зі свіжим зразком спостерігалось для механічно замороженого зразка, який зберігався протягом 7 днів (як показано в таблиці 4, додаток 3). Незважаючи на те, що це не є статистично значущим, кріогенно заморожений зразок продемонстрував дещо вищу міцність порівняно з механічно замороженим зразком (1,61 проти 1,49 Н/см³), як показано в Таблиці 5, додаток 4 . Ці дещо вищі значення для кріогенних умов також свідчать про те, що стійкість цього стану наближається до стійкості свіжого зразка. Значення твердості залишалося відносно стабільним до 30 днів, коливаючись від 1,25 до 1,28 Н/см³ . Проте на 60-й добу вона зросла до 1,80 Н/см³ , а потім стабілізувалася, про що свідчить значення на 90-ту добу, яке становило 1,88 Н/см³ . Цікаво, що ефект взаємодії для цього параметра не спостерігався (Додаток 4 таблиця 5).

Часто важко виявити різницю в показниках міцності фруктів і овочів, оброблених різними швидкостями заморожування. Наприклад, попередні звіти вказували на відсутність суттєвої різниці в твердості яблук між швидкостями заморожування $8,27 \pm 2,01$ см/год і $28 \pm 5,25$ см/год (забезпеченими повітряними морозильниками). Однак обидва ці умови суттєво відрізнялися від замерзання на нерухомому повітрі, яке мало швидкість замерзання $0,97 \pm 0,10$ см/год.

Подібним чином дослідження показало, що заморожування при -74 °C призвело до кращого збереження твердості картоплі порівняно з заморожуванням при -30 °C, хоча суттєвої різниці між методами не існувало. Тим не менш, було

відзначено різницю між цими методами та тим, коли заморожування проводилося при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ у холодній кімнаті. Подібним чином повітряне заморожування зі швидкістю заморожування $1,80\text{ см/год}$ зменшило деградацію текстури манго порівняно з заморожуванням на повітрі ($0,2\text{ см/год}$), але ця різниця у швидкості заморожування не спричинила значного впливу (Prakobsang & Pornchalermpong, 2018).

Загальновідомим фактом є те, що вищі швидкості заморожування призводять до менших кристалів льоду в продукті, які мають вищу поверхневу вільну енергію та більш чутливі до рекристалізації під час зберігання. Крім того, кристали, утворені під час кріогенного заморожування, могли рости швидше під час розморожування, ніж ті, що утворилися під час механічного заморожування. У міру підвищення температури під час процесу розморожування зростає молекулярна рухливість, сприяючи міграційній рекристалізації, що призводить до кристалізації води, яка була кінетично пригнічена під час охолодження. Отже, переваги кріогенного заморожування могли бути зведені нанівець такими явищами, як перекристалізація та збільшення об'єму.

5.4 Аналіз впливу кріогенного заморожування на розчинність білку.

Як для яблук, так і для динь умови кріогенного заморожування показали більшу кількість розчинного білка порівняно з механічним заморожуванням [1], при цьому різниця була більш вираженою у випадку з динями. Зокрема, кріогенне заморожування призвело до збільшення розчинного білка в динях на 19% і в яблуках на 8% більше, ніж метод механічного заморожування, як зазначено в таблицях. Вплив періоду зберігання та ефект взаємодії факторів також були значущими для розчинного білка, з р-значеннями в діапазоні від $0,000$ до $0,008$. Тенденція протягом зберігання для обох досліджуваних зразків була різною; для яблук спостерігалось значне зниження (на 24%) розчинного білка після певного періоду зберігання (з 7-го дня до 30-го дня), потім не було змін (з 30-го дня до 60-го дня), а потім значне збільшення на 90-й день добу (до $0,62\text{ мг/г}$). З іншого боку, для динь тенденція була більшою коливанням.

Спостережуване збільшення вмісту розчинного білка у випадку механічного заморожування потенційно може бути пов'язане зі змінами іонної сили цитоплазми в результаті більшого механічного пошкодження, викликаного механічним заморожуванням. Зміна іонної сили могла призвести до значного збільшення розчинності білків, які були іонно зв'язані з клітинними стінками свіжої тканини. Подібним чином зберігання в замороженому стані може посилити механічні пошкодження, що може додатково підвищити іонну силу цитоплазми. У результаті це може призвести до вищої розчинності білків, пов'язаних із клітинною стінкою, як згадувалося раніше.

					00.KP.142.008.005.PПЗ	Арк..

6 Оптимізаційно-технологічні рішення

Явище, що включає тепло- та масообмін під час заморожування фруктів і овочів, викликає утворення ядер у матриці, що зрештою служить причиною утворення кристалів льоду. Ступінь переохолодження та тривалість фазового переходу під час процесу заморожування впливають на розмір кристалів льоду. Тому для оптимізації якісного збереження фруктів і овочів вкрай важливо контролювати утворення та ріст кристалів льоду під час різних операцій заморожування. У звичайних технологіях заморожування неможливо контролювати температуру зародження і пригнічувати утворення кристалів льоду в матриці. Таким чином, були розроблені різноманітні інноваційні та новітні технології для кращого збереження якості та захисту мікроструктури харчових продуктів, що піддаються заморожуванню. Контролюючи розмір кристалів льоду та пригнічуючи зародження, ці технології долають недоліки, пов'язані з методами заморожування, які зараз застосовуються в харчовій промисловості.

6.1 Оптимізація процесу кріогенного заморожування на основі на основі функції бажаності на шляху найкрутішого сходження

У виробництві заморожених продуктів харчування якість, яка потрібна споживачам, - це втрата ваги після заморожування з мінімальною втратою ваги, текстура та якість продукту, максимально наближена до свіжого. Тому в цьому дослідженні [8] було обрано вивчення втрати ваги після заморожування та розморожування (відсоток втрати при заморожуванні та відсоток краплинної втрати при розморожуванні), а також текстури продукту за допомогою значення сили зсуву за допомогою аналізатора текстури (сила різання). Статистичний дизайн та аналіз експериментів застосовується як інструмент для аналізу та порівняння експериментальних результатів. Цей інструмент складається з ортогонального проектування та аналізу (TDA) і методу найкрутішого сходження (SAM), заснованого на підході функції бажаності (DFA). DFA використовується тому, що розглядаються різні варіанти відповідей. Необхідно перетворити значення декількох відгуків в один для порівняння результатів поточного стану експлуатації з новим проектним станом.

					00.KP.142.008.005.РПЗ	Арк..

А. Повністю рандомізований дизайн (CRD) або One WayANOVA

Це експериментальний план для однофакторного експерименту. Його дизайн варіюється, щоб визначити ступінь, до якого різні рівні факторів (а) суттєво впливають на середнє значення відповіді чи ні. Гіпотеза CRD має такий вигляд:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \mu_2 = \dots \mu_a \\ H_0: \mu_i &\neq \mu_j, \text{ at least 1 pair.} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Лінійна статистична модель CRD може бути представлена наступним чином:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.2)$$

Де, y_{ij} – це j^{th} спостереження за i^{th} обробкою, μ - середнє значення по популяції, τ_i - це ефект від i^{th} обробки і ε_{ij} випадкова похибка або залишок.

One way-ANOVA це верхній тест з одним хвостом, який відкидає нульову гіпотезу, коли $F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a}$.

ANOVA показана в таблиці

Source of Variation	Sum of Squares	df	Mean Squares	F_0
Between Treatments	$SS_{\text{treatment}}$	$a-1$	$MS_{\text{treatment}} = \frac{SS_{\text{treatment}}}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_{\text{treatment}}}{MS_E}$
Within Treatments	SS_E	$N-a$	$MS_E = \frac{SS_E}{N-a}$	
Total	SS_T	$N-1$		

В. Підхід на основі функції бажаності

Функція бажаності використовується для врахування відповідей і служить для перетворення задачі оптимізації з декількома відповідями в задачу з однією відповіддю, яка залежить від кількості незалежних змінних. Значення задоволеності для бажаності $d_i(y_i)$ буде в діапазоні від 0 до 1. Коли $d_i(y_i)$ дорівнює

нулю, це означає, що відповідь знаходиться поза межами розпізнавання, але якщо збільшити d , то задоволеність також зросте. Коли $d_i(y_i)$ дорівнює одиниці вона повністю задоволена. У цьому дослідженні існує два типи трансформації для прогнозованих відповідей, які є номінальними найкращими:

$$d_i(y_i) = \begin{cases} 1 & ; \text{if } \hat{y}_i \leq y_i^{MIN} \\ \left(\frac{y_i^{MAX} - \hat{y}_i}{y_i^{MAX} - y_i^{MIN}} \right)^{x_i} & ; \text{if } y_i^{MIN} \leq \hat{y}_i \leq y_i^{MAX} \\ 0 & ; \text{if } \hat{y}_i \geq y_i^{MAX} \end{cases} \quad (6.3)$$

і менш - найкращі типи:

$$d_i(\hat{y}_i) = \begin{cases} 0 & , \text{if } \hat{y}_i \leq y_i^{min} \text{ or } \hat{y}_i \geq y_i^{max} , \\ \left[\frac{\hat{y}_i - y_i^{min}}{T_i^{min} - y_i^{min}} \right]^{P1_i} & , \text{if } y_i^{min} < \hat{y}_i \leq T_i^{min} , \\ \left[\frac{y_i^{max} - \hat{y}_i}{y_i^{max} - T_i^{max}} \right]^{P2_i} & , \text{if } T_i^{max} < \hat{y}_i \leq y_i^{max} , \\ 1 & , \text{if } T_i^{min} < \hat{y}_i \leq T_i^{max} \end{cases} \quad (6.4)$$

Коли $d_i(y_i)$ є функцією бажаності від y_i , варіюється від 0-1 y_i^{min} і y_i^{max} є нижньою та верхньою межами, відповідно. T_i^{min} і T_i^{max} є, відповідно, нижньою та верхня ціль реагування. Для того, щоб звести воедино індивідуальні бажаності, сукупна бажаність D буде розраховується за формулою:

$$D = \sqrt[n]{d_1(\hat{y}_1) + d_2(\hat{y}_2) + \dots + d_n(\hat{y}_n)} \quad (6.5)$$

де D - композитна бажаність, d_i - індивідуальна і n - кількість функцій бажаності. [9]

С.Проектування та аналіз за методом Тагуті на ДФ (TDADFA)

Метод Тагуті є ефективним інструментом для покращення якості. Він здійснюється шляхом підбору відповідних факторів за допомогою ортогонального масиву, щоб зменшити кількість експериментів і задовольнити умову. Використання стандартного ортогонального масиву залежить від рівня та кількості факторів. L використовується як символ разом з числом, яке вказує на кількість експериментів, дозволених для реалізації. У цьому прикладі значущі фактори були обрані за допомогою попереднього дослідження на основі CRD-аналізу. Всі чотири значущі фактори - задане значення, швидкість витяжного вентилятора, час утримання і напрямок потоку - використовуються для

визначення взаємозв'язку з усіма трьома реакціями. Вони складаються з відсотка втрат при замерзанні (Y_1), відсотка втрат при відтаванні крапель (Y_2) і значення сили зсуву при різанні (Y_3), включаючи можливі діапазони регулювання (Δ)(Таб.6).

Factor	Unit	Symbol	Feasible level	Δ	Current level
Set Point	°C	X_1	-60 to -100	5	-80
Exhaust Fan Speed	Hz	X_2	20 to 40	5	30
Retention Time	Minute	X_3	5 to 25	3	15
Direction Flow	Newton (N)	v	Co/Counter Current		Co-Current

Таб.6 Опис факторів та їх рівнів

У цьому випадку є чотири фактори і два рівні, і цікавий масив з деякими взаємодіями буде створено за допомогою експериментів L_8 ортогональний масив(Таб. 7).

Experimental run	Factors						
	X_1	X_2	X_1X_2	X_3	X_1X_3	X_2X_3	X_4
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Таб.7 Ортогональний масив

D. Метод найкрутішого сходження (SAMDFa)

Метод поверхні відгуку корисний для моделювання та аналізу промислових проблем. На реакцію, що нас цікавить, впливають впливає кілька факторів, і мета полягає в тому, щоб оптимізувати цю реакцію, і завдання полягає в оптимізації цієї реакції. Якщо є два фактори x_1 і x_2 , то необхідно максимізувати вихід (y) процесу визначається за допомогою наступної співвідношення:

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon \quad (6.6)$$

00.KP.142.008.005.ППЗ

Арк..

де функція f невідома. Припустимо, що модель першого порядку є адекватним наближенням до істинної поверхні у невеликій області x . Метод найкрутішого сходження (SAM) - це процедура послідовного переміщення вздовж траєкторії найкрутішого підйому, тобто в напрямку максимального збільшення відгуку, заснована на моделі першого порядку:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i \quad (6.7)$$

Поверхня відгуку першого порядку, тобто контур y , являє собою ряд паралельних ліній, як показано на рис.6 . Напрямок найкрутішого підйому - це напрямок, в якому y зростає найшвидше. Крок на цьому шляху пропорційний коефіцієнтам регресії $\{\beta_i\}$. Другий порядок пізніше застосовується для апроксимації справжнього зв'язку між y та незалежними змінними за допомогою поліноміальної моделі наступним чином:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (6.8)$$

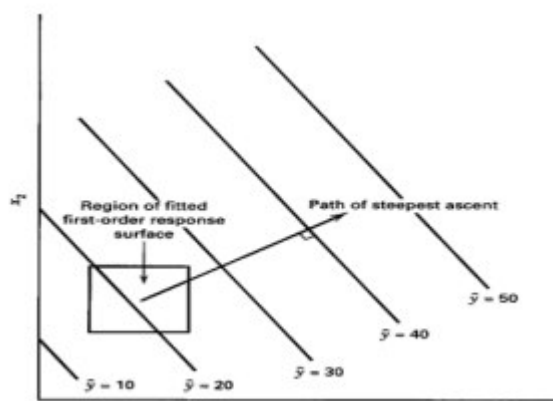


Рис.6 Покращення поверхні відгуку першого порядку шляхом найкрутішого підйому

А. Результати TDA

Для проектування та аналізу Taguchi низький та високий рівні були обрані на основі поточного стану експлуатації (Таблиця 8). Після кодування

природних рівнів у перетворені рівні фактори та деякі взаємодії були розміщені в ортогональному масиві (Таблиця 9).

Factor	Symbol	Level	
		1 (Low)	2 (High)
Set Point	X ₁	-80	-100
Exhaust Fan Speed	X ₂	20	30
Retention Time	X ₃	15	18
Direction Flow	X ₄	Co-Current	Counter Current

Таб.8 Вибрані фактори і рівні

Run#	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-80	20	15	Co-Current
2	-80	20	18	Counter Current
3	-80	30	15	Counter Current
4	-80	30	18	Co-Current
5	-100	20	15	Counter Current
6	-100	20	18	Co-Current
7	-100	30	15	Co-Current
8	-100	30	18	Counter Current

Таб.9 Ортогональний масив для TDA

Всі експерименти були проведені та проаналізовані відповіді класифіковані за їх типами (таблиця 10). відсоток замерзання втрат при заморожуванні та краплинних втрат при розморожуванні повинні досягати мінімуму, в той час як зусилля різання повинно бути близьким до сирії свинини, в даному випадку дорівнює 19,26 Н. Експериментальні результати методу Тагуті для кожної реакції показані в таблиці 11.

Response	Symbol	Target	Type of target
Freezing Loss	y ₁	minimum	smaller the better
Thawing Drip Loss	y ₂	minimum	smaller the better
Cutting Force	y ₃	close to raw product	nominal the best

Таб.10 Реакції та їх цілі

00.KP.142.008.005.ПІЗ

Арк..

Run#	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	y ₁	y ₂	y ₃
1	-80	20	15	Co-Current	1.0943	4.8310	21.64
2	-80	20	18	Counter Current	1.2835	4.4236	36.00
3	-80	30	15	Counter Current	1.0885	3.9239	26.79
4	-80	30	18	Co-Current	0.9925	5.3469	18.29
5	-100	20	15	Counter Current	0.9835	4.4618	29.07
6	-100	20	18	Co-Current	0.5648	6.2423	21.54
7	-100	30	15	Co-Current	0.5109	6.8163	19.04
8	-100	30	18	Counter Current	1.0101	3.7462	24.92

Таб.11 Результати експерименту TDA

На основі результатів усіх відповідей, отриманих від TDA, було визначено впливові фактори та ефекти взаємодії на реакцію відсоток втрат від вимерзання (Y_1) був X_1 , взаємодія між X_2X_3 та X_4 Рівень кожного фактору повинен бути встановлений як X_1 при рівні 2 (-100°C), X_2 на рівні 2 (30 Гц) і X_3 на рівні 2 (18 хвилину) і X_4 на рівні 1 (спільний струм). Фактор впливу на відгук відсотка відтавання краплинних втрат (Y_2) був X_4 і повинен бути встановлений на рівні 2 (протитечія), інші фактори, що залишилися, можуть бути встановлені на поточному рівні. інші фактори можна встановити на поточному рівні. Фактори впливу та ефекти взаємодії на реакцію сили різання (Y_3) були фактор X_4 і X_2 . Налаштування процесу для X_4 повинні бути на рівні 1 (Co-Current), X_2 - на рівні 2 (30 Гц).

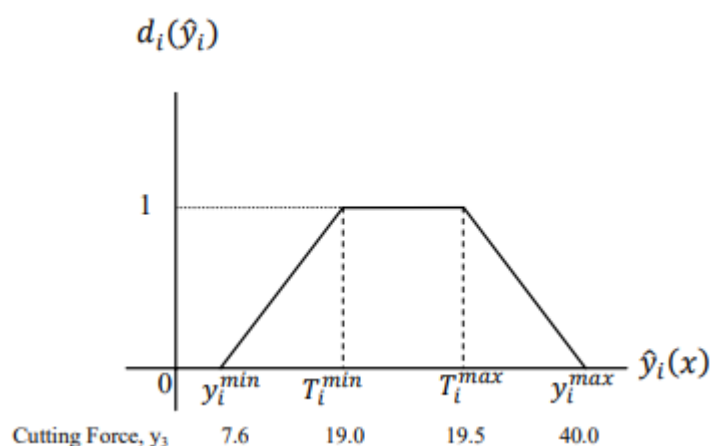


Рис.7 Перетворення бажаності для Y_3

Run#	X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	X ₃	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₄	d ₁	d ₂	d ₃	D
1	1	1	1	1	1	1	1	0.3381	0.5476	0.8958	0.5494
2	1	1	1	2	2	2	2	0.1804	0.6084	0.1952	0.2778
3	1	2	2	1	1	2	2	0.3429	0.6830	0.6446	0.5325
4	1	2	2	2	2	1	1	0.4229	0.4706	0.9296	0.5698
5	2	1	2	1	2	1	2	0.4304	0.6027	0.5332	0.5172
6	2	1	2	2	1	2	1	0.7794	0.3370	0.9005	0.6184
7	2	2	1	1	2	2	1	0.8242	0.2513	1.0000	0.5917
8	2	2	1	2	1	1	2	0.4082	0.7095	0.7248	0.5943

Таб.12 Ортогональний масив та рівні функції бажаності

Крім того, можна проаналізувати індивідуальну бажаність $d_i(y_i)$ та комбіновану бажаність (D) відповіді, щоб вказати метод з найвищою бажаністю, використовуючи специфікацію та ціль для кожної відповіді (таб. 13). специфікації та цілі для кожної відповіді (Таблиця 13). Для Y_1 та Y_2 були використані односторонні перетворення, задані формулою (Рис. 7), а для Y_3 - двосторонні перетворення, що описуються формулою(Рис. 8). Значення бажаності наведені в таблиці 12.

Response	Spec	Target	Type
% Freezing Loss, Y_1	0.3 - 1.5		Smaller the best
% Thawing Drip Loss, Y_2	1.8 - 8.5		Smaller the best
Cutting Force, Y_3	7.6 - 40	19.0 -19.5	Nominal the best

Таб.13 Специфікація та ціль для функції бажаності.

Для TDA зі складеною бажаністю ефективні фактори та ефекти їхньої взаємодії з найвищим рівнем бажаності: X_4 , X_1 , X_1X_3 , X_2 , X_1X_2 та X_2X_3 . Рівень фактора X_1 слід встановити на рівні 2 (-100°C), X_2 - на рівні 2 (30 Гц), X_3 - на рівні 2 (18 хвилин) і X_4 - на рівні 1 (Co-Current).

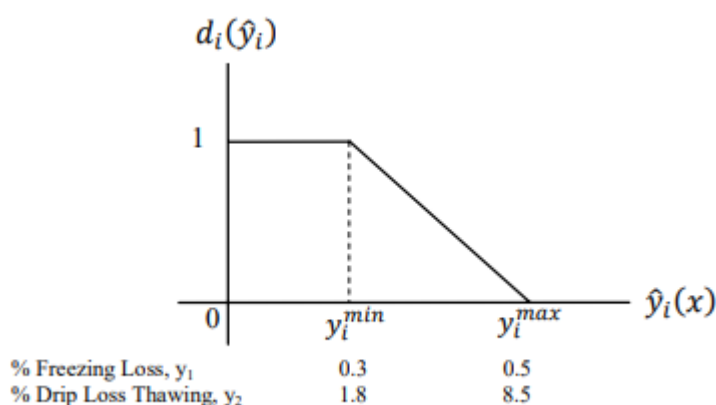


Рис.8 Перетворення бажаності для Y_1 та Y_2

00.KP.142.008.005.РПЗ

Арк..

В. Результати SAM

Значення композиційної бажаності (D) були розраховані з експериментальних прогонів ортогонального масиву. Було проаналізовано лінійну регресію, щоб сформуванати зв'язок між D та всіма впливовими факторами. Рівняння регресії:

$$D = 0,537 + 0,0980X_1 - 0,102X_4 \quad (6.9)$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	0.5327	0.1404	3.83	0.012	
X ₁	0.09802	0.06444	1.52	0.189	
X ₄	-0.10189	0.06444	-1.58	0.172	
S = 0.0911252 R-Sq = 49.1% R-Sq(adj) = 28.7%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P-Value
Regression	2	0.039978	0.019989	2.41	0.185
Residual Error	5	0.041519	0.008304		
Total	7	0.081497			
Source	DF	Seq SS			
X ₁	1	0.019215			
X ₄	1	0.020763			

Таб.14 Регресійний аналіз на основі функції бажаності

Шлях найкрутішого підйому потім генерується за допомогою рівняння нижче.

$$x_i^T = x_i + a \left(\frac{\hat{\beta}_i}{\sqrt{\hat{\beta}_1^2 + \dots + \hat{\beta}_k^2}} \right)$$

$$x_1^T = x_1 + a \frac{(0.0980)}{0.14145} \text{ or } x_1 + a(0.69)$$

$$x_4^T = x_4 + a(0.72) \quad (6.10)$$

Run#	Design Point	X ₁	X ₄	D
1	Original	-100	Co-Current	0.6184
2	1st	-95	Counter Current	0.6727
3	2nd	-90	Counter Current	0.7044

Таб.15 Рівень бажаності найкращого способу підйому

Це дослідження зосереджене на оптимізації процесу криогенного заморожування шляхом проведення експериментів з використанням методів планування експерименту та поверхні відгуку. Механізм і характеристики

процесу кріогенного заморожування є дуже складними і потребують вивчення. Крім того, повністю рандомізований дизайн був застосований до попереднього дослідження, дисперсійний аналіз був проведений для визначення оптимальної комбінації факторів процесу, які складаються з заданого значення, швидкості витяжного вентилятора, часу витримки і спрямованості потоку. Підхід функції бажаності за принципом "номінальне - найкраще" та "менше - найкраще" був використаний для компромісу між кількома характеристиками втрат при замерзанні, краплинних втрат при відтаванні та сили різання в одну характеристику, яка називається загальною бажаністю. По-перше, дизайн і аналіз Тагучі на основі натуральних і кодованих змінних були розроблені на основі статистично значущих параметрів. По-друге, мультирегресійна модель у вигляді шляху найкрутішого підйому перемістила область експериментальної ділянки до розрахункової точки з максимальним рівнем D. Результати експерименту показали, що спостерігається значне збільшення D до рівня 0,7044. Оптимальним станом змінних процесу є задане значення температури -90°C , частота обертання витяжного вентилятора 20 Гц, час витримки 18 хвилин та напрямок потоку в режимі протитечії.

6.2 Заморожування під високим тиском [11]

Заморожування під високим тиском (HPF) покращує якість заморожених харчових продуктів за рахунок покращення властивостей кристалів льоду. У HPF застосування тиску до 210 МПа знижує температуру замерзання води, тим самим підвищуючи ступінь переохолодження. Повідомлялося, що з кожним градусом К переохолодження відбувається приблизно 10-кратне збільшення швидкості зародження. Комбінація високого тиску і низької температури призводить до утворення різних поліморфних форм кристалів льоду, таких як лід II-VI. Ці кристали льоду рівномірно розподілені, навіть за розміром, і щільніші за воду, що спричиняє меншу кількість пошкоджень харчових тканин, пов'язаних із кристалізацією.

Три різні техніки HPF включають (a) PAF, який виконується під однорідним і постійним тиском; (b) замерзання зі зсувом тиску (PSF), яке

характеризується утворенням льоду, що супроводжується раптовим вивільненням тиску; та (с) заморожування, викликане тиском (PIF), при якому збільшення тиску призводить до зміни фази, тоді як весь процес заморожування здійснюється при рівномірному тиску. PIF, у порівнянні з двома іншими методами, погано вивчений через набагато більші вимоги до робочого тиску. Більшість досліджень, заснованих на HPF, стосуються застосування PSF, а не PAF. Порівнюючи два підходи. PSF є кращим за PAF через його підвищений ступінь переохолодження та рівномірний розподіл дрібних кристалів льоду. У PSF усунення тиску з системи теоретично призводить до швидкого утворення кристалічних ядер по всій їжі, що призводить до утворення дрібних, однорідних і рівномірно розподілених кристалів льоду. Отже, PSF призводить до скорочення часу фазового переходу, зменшення механічної напруги, викликаного утворенням кристалів; і утворення дрібних однорідних кристалів льоду.

Дослідження мікроструктури та текстури були проведені в бланшованій брокколі після піддавання її PSF при 210 МПа з обладнанням, загартованим до -20,5 °C. (Fernández, Préstamo et al., 2006) що призвело до рівномірної та миттєвої кристалізації, що призвело до кращого збереження текстурних властивостей. Подібні результати були отримані для персика та манго, оскільки великі кристали льоду не утворювалися через наявність значної кількості ядер.

Продемонстрували нову форму PSF, відому як занурення вуглекислого газу під високим тиском (HPCI). Цей процес заснований на ефекті охолодження Джоуля-Томсона, який передбачає введення вуглекислого газу під високим тиском всередину камери під тиском, що містить їжу, що призводить до рівномірного та швидкого заморожування після скидання тиску. HPCI скибочок моркви показала, що ця техніка дозволила зменшити втрату краплі при розморожуванні на 33% порівняно з заморожуванням при наднизькій температурі при -80°C протягом 13 хвилин. Незважаючи на те, що більшість досліджень PSF повідомляли про зменшення втрат крапель порівняно зі звичайними замороженими зразками, розморожування замороженої полуниці під високим тиском призвело до втрати ваги на 56%. Як припускають високопориста природа

полуниці може бути причиною її різноманітної реакції на HPF. Крім того, вливання полуниці пектинметилестерази та кальцію перед заморожуванням призвело до максимального утримання рідини після розморожування.

Піддавання рослинних продуктів PSF призвело до утворення кристалів льоду, які були дрібними та широко розподіленими, зменшили втрати крапель та зберегли загальну мікроструктуру; однак ще належить визначити, чи це призведе до кращого замороженого продукту з комерційної точки зору.

Підводячи підсумок, хоча підвищений ступінь переохолодження, утворення дрібних кристалів, зменшення крапель і збереження мікроструктури у фруктах і овочах, підданих HPF-техніці, зокрема PSF, здається мотивуючим критерієм з точки зору промислового застосування та може виправдати великі інвестиції та Експериментальні витрати, пов'язані з цими методами, необхідні додаткові дослідження, щоб краще зрозуміти вплив попередньої обробки на варіації, пов'язані з текстурою, про які повідомляється в літературі серед різних товарів, підданих PSF, а також для розуміння впливу інших менш вивчених методів HPF на фрукти та овочі.

6.3 Заморожування за допомогою ультразвуку [11]

Доведено, що потужний ультразвук (20–100 кГц) є ефективною технологією для збереження мікроструктури їжі під час заморожування, оскільки він сприяє утворенню ядер і контролює розподіл і розмір кристалів льоду. При високій потужності ультразвуку порожнини або бульбашки утворюються, коли негативний тиск, викликаний розрідженням, перевищує сили притягання, що виникають під час передачі хвилі. За даними Kiani et al. (2015), це явище кавітації призводить до мікропотоків і турбулентності в середовищі, що розповсюджується, і таким чином сприяє підвищенню швидкості тепло- і масообміну. Деякі дослідження вказують на те, що мікропотік, викликаний стабільною кавітацією, сприяє процесу зародження. Ґрунтуючись на своїх мікроскопічних спостереженнях, Чоу та ін. (2003) припустили, що ефект мікропотoku є ймовірною причиною індукції вторинної нуклеації в розчині сахарози. Таким чином, загалом, присутність ультразвукових хвиль під час

заморожування може забезпечити перевагу перед існуючими технологіями заморожування завдяки своїй здатності (а) індукувати швидшу первинну нуклеацію, (б) ініціювати вторинну нуклеацію з уже існуючих кристалів і (в) формувати однорідні та рівномірно розподілені дрібні кристали льоду. Незважаючи на те, що більшість досліджень передбачає застосування одночастотних ультразвукових хвиль, повідомляється про значне підвищення виходу кавітації із застосуванням багаточастотного ультразвуку (Xu et al., 2020 ; Yang et al., 2017). Чжен та ін. (2013) повідомили про більш глибокі зміни властивостей і структури крохмалю солодкої картоплі після двочастотного ультразвуку (80 і 25 кГц) порівняно з одночастотними хвилями. Посилення ефекту кавітації (у водному середовищі) з подвійним частотним режимом пояснюється додатковими частотами, які генеруються через нелінійну динаміку бульбашок. Таким чином, двочастотний ультразвук призводить до кавітації, яка є більш екстремальною, ніж та, що спостерігається при одночастотних хвилях.

UAF може здійснюватися як в занурювальних, так і в незанурювальних морозильних системах. Ультразвукова система, система циклу охолодження, система циркуляції охолоджуючої рідини та система вимірювання температури складають пристрій UAF типу повного занурення. Тверді зразки можна помістити безпосередньо в охолоджуючу рідину, тоді як напівтверді та рідкі зразки упаковують і потім занурюють у охолоджуючу рідину (Рис. 9). Хлорид кальцію, силіконова олія та етиленгліколь є одними з найбільш часто використовуваних охолоджувачів, і температура охолоджуючої рідини може досягати -30°C , тоді як замерзання прогресує (Ma et al., 2021). Система незанурювального типу, яка також називається прямим контактом UAF, використовується для заморожування твердих речовин і різних інших зразків, які не потребують охолоджувального середовища і тому можуть бути заморожені безпосередньо. Однак велика кількість ультразвукової енергії втрачається в таких системах через значну низьку ефективність пропускання UAF у повітрі.

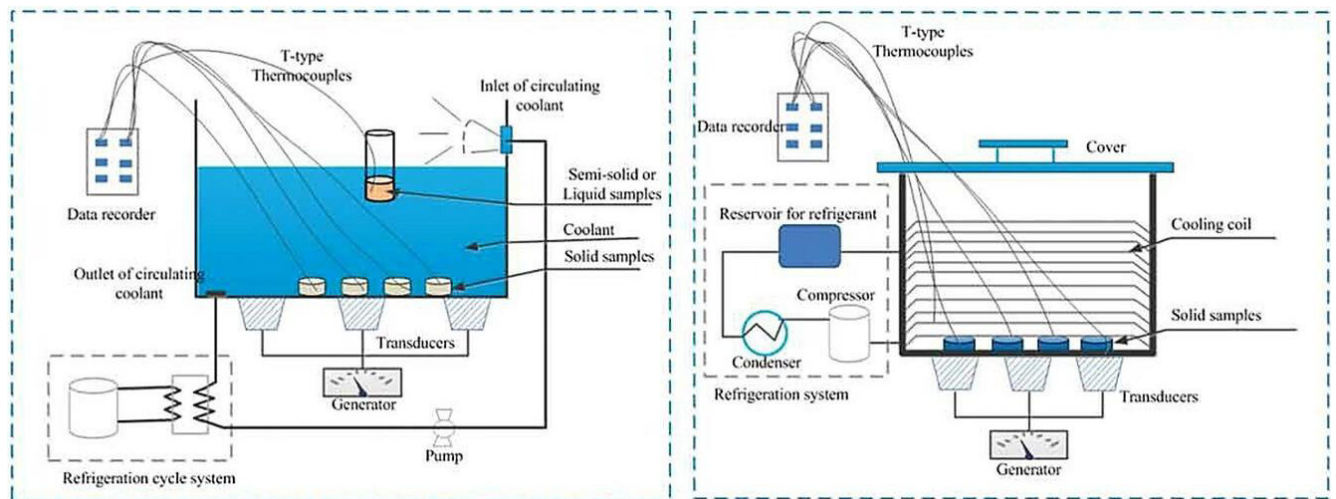


Рис.9 Схеми заморожування продукту з використанням ультразвуку.

Протягом багатьох років вплив UAF на зародження, ріст кристалів і якість фруктів і овочів було детально вивчено, і численні дослідження, що вказують на покращення заморожування за допомогою обробки ультразвуком, були опубліковані. Сан і Лі (2003) повідомили, що потужний ультразвук, який застосовувався до картоплі протягом 2 хвилин при частоті 25 кГц і інтенсивності 15,85 Вт під час процесу заморожування зануренням, не призводив до будь-якого руйнування клітинної стінки. Автори не спостерігали жодного розширення міжклітинних просторів і пояснювали це швидкою швидкістю заморожування, яке викликало утворення дрібних кристалів льоду всередині та зовні клітин. Різноманітні ультразвукові дослідження також показали, що UAF перевершує звичайне занурювальне заморожування з точки зору скорочення часу заморожування, сприяння рівномірній кристалізації, збереження мікроструктури клітин і зменшення втрат крапель. Tian та ін. (2020) повідомили про значно менший час заморожування (42%) і втрату крапель (30%) у картоплі, обробленої одночастотним/двочастотним UAF, ніж у зразках, які зазвичай заморожувалися методом занурення. Незважаючи на те, що підвищена швидкість тепло- та масообміну, скорочений час заморожування та подальше утворення дрібних кристалів льоду в UAF показали, що вони зменшують втрати крапель у різних продуктах, таких як брокколі (Xin та ін., 2014a, 2014b), червона редька (Xu et al. al., 2015) і картоплі (Tian et al., 2020), його вплив на структуру цих продуктів досить цікавий. Було помічено, що, незважаючи на те, що утворення кристалів під

час UAF призвело до зниження міцності фруктів і овочів після розморожування, їх текстура зберігалася краще, ніж при звичайному заморожуванні. Ультразвук високої інтенсивності (тобто більше енергії) призводить до посилення кавітації та більшого виробництва ядер, що призводить до сприяння нуклеації через більш високу швидкість передачі тепла. Результуюче скорочення часу заморожування сприяє утворенню рівномірно розподілених дрібних кристалів льоду по всьому продукту, що помітно зменшує пошкодження від заморожування та забезпечує міцнішу текстуру (Tian et al., 2020). Зразки брокколі, піддані ультразвуковому заморожуванню при 20 і 30 кГц у присутності 30% хлориду кальцію як охолоджувача, проте показали підвищену твердість, когезійність і жування (Xin et al., 2014b). Автори припустили, що скорочення часу заморожування, вищі рівні зв'язаного кальцію та утворення кальцієвих містків між молекулами пектину призвели до зменшення механічних пошкоджень, спричинених заморожуванням. Цікаво, що червона редька втрачає міцність під час оброблення UAF з використанням того самого охолоджувача (Xu et al., 2015).), автори стверджували, що шкідливі ефекти, викликані утворенням кристалів, були сильнішими, ніж захисний ефект кальцію.

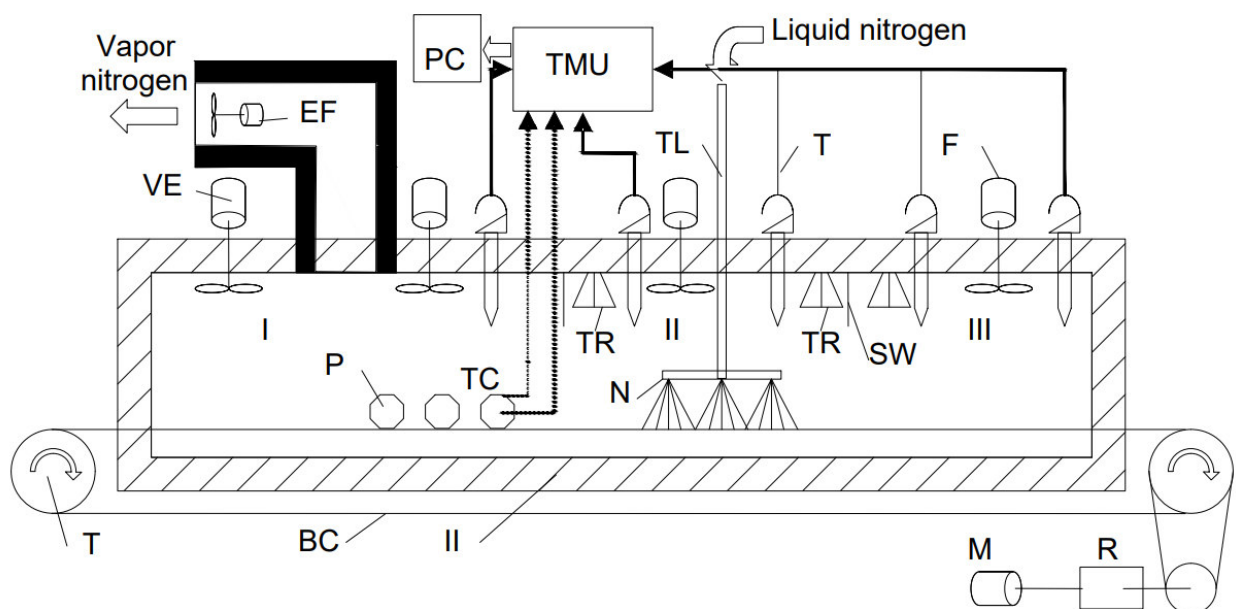


Рис. 10 Схематичне розміщення передавачів(TR) у криогеній морозильній камері.

Таким чином, можна зробити висновок, що застосування ультразвуку для посилення процесу заморожування фруктів і овочів вимагатиме розумного поєднання параметрів процесу, таких як інтенсивність ультразвуку, час експозиції, концентрація охолоджуючої рідини, імпульсний режим і температура опромінення, з параметрами продукту, щоб досягти кращих якісних результатів, оскільки фрукти та овочі є сильно ослабленими та неоднорідними матеріалами та виявляють різноманітні реакції під впливом ультразвуку різної частоти. Крім того, розробка обладнання та розширення до відповідного рівня промислового застосування також вимагатиме значних дослідницьких зусиль.

6.4 Замерзання повітряним ударом [11]

Ударне заморожування передбачає спрямування високошвидкісних струменів (до 50 м/с) рідини на поверхню твердих харчових матеріалів. В результаті тепер поверхню продукту оточує більш турбулентне текуче середовище, що відповідає за збільшення коефіцієнта конвективної тепловіддачі. Такі системи характеризуються більш ефективною теплопередачею та вищою швидкістю заморожування порівняно зі звичайними системами повітряного обдуву. Також з цією технологією пов'язано помітне зниження зневоднення продукту, що призводить до подальшого збільшення врожайності. У порівнянні з традиційними камерами швидкого заморожування, заморожування з ударом показало скорочення часу заморожування до 79%. Типова система удару складається з відповідного проходження парів азоту або повітря через вертикальні сопла або струмені з дуже високою швидкістю безпосередньо на поверхню харчового матеріалу, розміщеного на конвеєрній стрічці. Сопла (форсунки, прості отвори або отвори), відстань між соплами, зазор між поверхнею продукту та соплом і діаметр сопла відіграють важливу роль у теплообміні між продуктом і повітрям. Ця техніка ідеальна для продуктів із великим відношенням площі поверхні до ваги, а продукти товщиною менше 20 мм найбільш ефективно заморожуються в системі удару (Newman, 2001). Однак капітальні витрати на ці системи значно перевищують вартість традиційних камер швидкого заморожування. Крім того, через більш високу потужність, необхідну для

створення високошвидкісних струменів, витрати на енергію таких систем також мають тенденцію бути вищими. Однак, згідно з Winney (2012), ці витрати можуть бути виправданими при продуктивності 500 кг/год і більше.

6.5 Заморожування за допомогою магнітного поля [11]

Завдяки діамагнітній природі молекул води застосування зовнішнього магнітного поля призводить до індукції в них магнітного дипольного моменту. Було продемонстровано, що ефект зміцнення водневих зв'язків магнітного поля може призвести до модифікації таких фізичних властивостей, як поверхневий натяг, електропровідність, поглинання світла та теплоємність води (Zhang et al., 2010). Було проведено численні молекулярно-динамічні моделювання, щоб проаналізувати зміни властивостей води під впливом магнітних полів. У дослідженні, проведеному Александровим та ін. (2000) повідомлялося, що магнітне поле (0,5 Тл), прикладене до 0,5 г дистильованої води, призвело до затвердіння води при рівноважній точці замерзання. Ці дослідження показують, що піддавання води зовнішньому магнітному полю призводить до збільшення водневих зв'язків і зменшення її коефіцієнта самодифузії (Chang & Weng, 2006). Крім того, дослідження показали, що застосування магнітного поля може покращити водневі зв'язки, підвищити температуру плавлення та вплинути на поведінку кристалізації води, що може призвести до більшого ступеня переохолодження та вищої швидкості утворення зародків. Тому під час заморожування за допомогою магнітного поля утворюються дрібні однорідні та чисті кристали льоду, що корисно для збереження клітинної структури в заморожених продуктах (Li et al., 2018). Овада та Куріта (2001) запатентували застосування магнітного поля, стверджуючи, що можна підтримувати воду в метастабільному стані та генерувати високу ступінь переохолодження. Таким чином, зразки можна було швидко заморозити, знизивши температуру до низького значення або миттєво прибравши магнітне поле.

Три типи електромагнітних полів зазвичай використовуються в операціях заморожування: коливальне магнітне поле (OMF), статичне магнітне поле (SMF) і імпульсне магнітне поле. SMF не змінюється з часом щодо напрямку чи

інтенсивності (Kaur & Kumar, 2020). Він сприяє зародженню льоду, зміцнюючи водневі зв'язки між молекулами води та обмежуючи їх рух. Тан та ін. (2019) повідомили про зменшення часу переохолодження, тривалості зміни фази та точки зародження після застосування SMF до свинини. У недавньому дослідженні, проведеному Feng et al. (2023), використовуючи застосування SMF для заморожування (10 мТ при -20°C) і розморожування (10 мТ при 4°C) червоного перцю, вчені повідомили, що завдяки зменшеному розміру кристалів SMF ефективно зменшує втрату води (5% на відміну від 40% для традиційно заморожених і розморожених зразків); зберігаючи пружність, жувальну здатність і текстуру в стабільному діапазоні, а також показав значний внесок у збереження аскорбінової кислоти. Наприкінці шести циклів заморожування-розморожування зразки, піддані SMF, показали подвійне утримання аскорбінової кислоти порівняно зі звичайно замороженими зразками. SMF міцністю менше 150 мТ при застосуванні до картоплі не вдалося суттєво вплинути на утворення зародків, властивості заморожування або загальну якість продукту (Otero & Pozo, 2022).

OMF показує зміну з часом і обертається азимутально навколо центру лінії магнітного поля. У патентній літературі (Owada & Kurita, 2001 ; Owada, 2007) стверджується, що дія OMF на поляризовані молекули Н₂О призводить до затримки процесу утворення кристалів льоду. Отже, це сповільнене утворення льоду призведе до утворення більшості кристалів льоду в однаковий час, тим самим обмежуючи їх ріст і розмір.

Повідомлялося про різні дослідження впливу магнітного поля на заморожування фруктів і овочів, таких як чорниця, вишня, гуава, брокколі, картопля, морква, тканинна рідина огірка, яблуко та часник (Tang, Shao et al., 2020; Tang) . , Zhang et al., 2020 ; Panayampadan et al., 2022 ; Chen et al., 2021 ; Zhang, Yang et al., 2021 ; Purnell et al., 2017 ; James et al., 2015). Джеймс та ін. (2015) після застосування слабкого OMF (0–418 мкТ) до цибулин часнику повідомили, що в порівнянні з контрольною групою ці зразки не показали значних варіацій щодо ступеня переохолодження або характеристик заморожування. У подібному дослідженні, проведеному на картоплі та яблуках,

було помічено, що застосування ОМФ з різною концентрацією (0–0,4 мТ) і температурою не показало статистично значущого впливу на жоден із аналізованих параметрів (Purnell et al., 2017). ОМФ не має однакового впливу на властивості заморожування різних харчових продуктів, і такі властивості, як умови зберігання, швидкість заморожування, тип їжі та частота прикладеного магнітного поля, відіграють вирішальну роль у визначенні загального ефекту. Панаямпадан та ін. (2022) у своїй спробі заморозити кубики гуави за допомогою змінного магнітного поля (8,8 мТл) змогли зменшити час фазового переходу (на 62,42%) і втрати краплі. Ці автори, погоджуючись з Tang et al. (2019), пояснили це підвищенням швидкості теплопередачі в результаті індукції коливального електричного поля. Однак, згідно з Otero та ін. (2016), дослідники часто приходять до суперечливих висновків, аналізуючи вплив магнітних полів на заморожування їжі через деякі розбіжності в літературі. Таким чином, необхідна оптимізація параметрів процесу, яка призведе до оптимальної якості продукту.

7 Екологічні наслідки

Короткий термін зберігання овочів і фруктів та їх сезонний характер призводять до значних втрат і відходів. За даними останнього звіту Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, у 2016 році було втрачено 21,6% світового врожаю фруктів та овочів [10]. В Європі було оцінено близько 88 мільйонів тонн втрат продовольства по всіх харчових ланцюгах, що становить приблизно 143 мільярди євро. Велика кількість втрат і відходів, що утворюються при переробці овочів і фруктів, є екологічною проблемою і означає значні витрати для харчових компаній. Зменшення цих втрат є надзвичайно важливим для підвищення ефективності продовольчої системи та сприяння екологічній стійкості. Європейський Союз запропонував план дій щодо скорочення втрат харчових продуктів та відходів, заснований на підході циркулярної економіки. Побічні продукти переробки овочів та фруктів, такі як невідповідне листя, шкірка та насіння, є багатими джерелами біологічно активних сполук, що дає можливість розробляти продукти з доданою вартістю для харчової промисловості та одночасно боротися з втратами та відходами харчових продуктів.

В останні роки споживчий попит на здорові продукти, багаті на біологічно активні сполуки, мінімально оброблені та без синтетичних добавок, зростає в геометричній прогресії. У цьому контексті ринок зелених листових овочів набув популярності завдяки їх привабливим функціональним та органолептичним властивостям у поєднанні з доступністю для вживання. У кількох дослідженнях повідомляється, що зелені листові овочі є багатим джерелом фенольних, каротиноїдів, α -токоферолу (вітаміну Е), аскорбінової кислоти (вітаміну С) та інших біологічно активних сполук і мають вищу поживну цінність, ніж більшість овочів, які зазвичай вживаються в їжу.

Серед зелених листових овочів, які найчастіше споживають, виділяються своїм винятковим біологічно активним складом руколу, шпинат і крес-салат. Деякі біологічно активні сполуки рослинної їжі - наприклад, токоферолі, каротиноїди, фенольні кислоти та флавоноїди - можуть проявляти антиоксидантні, антимікробні, протипухлинні, протизапальні та інші властивості,

					00.KP.142.008.005.PПЗ	Арк..

пов'язані зі здоров'ям. Клінічні та епідеміологічні дослідження, пов'язані зі збільшенням споживання овочів і фруктів, свідчать про користь від серцево-судинних, хронічних, запальних, неврологічних і деяких онкологічних захворювань. Склад і концентрація біологічно активних сполук, присутніх у рослинній їжі, залежать від багатьох внутрішніх і зовнішніх факторів. Генетика рослин, умови вирощування та навколишнього середовища (наприклад, доступність води, тип ґрунту, освітленість, тиск комах і тварин), а також стадії дозрівання є життєво важливими параметрами. Післязбиральні умови, такі як умови транспортування та зберігання, також є критично важливими факторами для фітохімічного профілю овочів і фруктів. Крім того, підходи до переробки харчових продуктів є одним з найбільш важливих параметрів, які можуть сприяти хімічній модифікації або руйнуванню природних біологічно активних метаболітів. Однак сезонність та швидкопсувність рослинних продуктів харчування вимагає стратегій переробки та консервування для подовження терміну їх зберігання. Таким чином, гарантується доступність якісної та безпечної продукції в міжсезоння.

Заморожування є однією з найпоширеніших технологій переробки для довготривалого збереження рослинних продуктів промисловими компаніями та домогосподарствами. Час і температура заморожування можуть впливати на властивості овочів і фруктів через біохімічні та фізичні процеси, що відбуваються під час заморожування. Кристали льоду, що утворюються під час заморожування, можуть пошкоджувати клітинні мембрани залежно від місця розташування та розміру, сприяючи втраті фізичної цілісності та подальшій декомпозиції антиоксидантних сполук. Крім того, деякі автори описали ще один ефект: можливе вивільнення зв'язаних фенольних кислот і антоціанів і, як наслідок, підвищення антиоксидантної здатності. Однак, хоча кінетика деяких клітинних подій, таких як ферментативні та хімічні реакції, сповільнюється під час заморожування, вони не перериваються повністю. Відповідно, реакції, що відбуваються під час заморожування, можуть індукувати деградацію біологічно

активних сполук, що призводить до негативного впливу на функціональні властивості.

Використання кріозаморожування харчових продуктів, хоча й є ефективним методом зберігання, не залишається поза увагою з екологічної точки зору. Однією з ключових проблем є споживання енергії, пов'язане з експлуатацією кріогенних апаратів. Процес кріозаморожування вимагає великих кількостей електроенергії для підтримання низьких температур. Застосування кріогенних рідин, таких як рідкий азот, також пов'язане із значними втратами енергії під час виробничого процесу та транспортування. Це може спричинити збільшення викидів вуглекислого газу, що впливає на загальний вуглецевий слід та сприяє глобальному потеплінню.

Впровадження кріогенного заморожування вирішує важливу екологічну проблему, пов'язану з використанням фреонів у холодильних системах. Фреони, часто використовувані для механічного заморожування, визнані потенційно небезпечними речовинами, що сприяють руйнівному впливу на озоновий шар.

Відповідно до Монреальського протоколу, який був прийнятий для зменшення виробництва та використання речовин, що руйнують озоновий шар, фреони були визнані однією з таких речовин. Це спричинило важливу необхідність у пошуку екологічно безпечних альтернатив.

Кріогенне заморожування, яке використовує рідкий азот чи інші кріогенні речовини, дозволяє значно зменшити чи навіть уникнути використання фреонів. Це перехід на більш екологічно чисті методи заморожування є кроком вперед у напрямку сталого розвитку та виконання міжнародних зобов'язань щодо збереження озонового шару.

Враховуючи зростаючу увагу до екологічних питань та вимоги до впровадження зелених технологій, кріогенне заморожування стає не лише технологічно ефективним рішенням, але й важливим кроком у вдосконаленні екологічної сталості у галузі харчової та промислової переробки. Запровадження ефективних методів використання енергії та зменшення викидів у кріозаморожувальному виробництві може сприяти значному поліпшенню

екологічного впливу цього процесу. Розробка та впровадження нових технологій, які спрямовані на оптимізацію енергоефективності кріогенних апаратів, а також заміна шкідливих речовин екологічно чистими альтернативами, може значно зменшити екологічне навантаження.

Додатково, активне залучення до виробничого процесу принципів зеленої технології та сталий розвиток може сприяти створенню екологічно відповідальних підходів до кріозаморожування. Ініціативи щодо використання відновлювальних джерел енергії та вдосконалення процесів управління відходами також можуть сприяти покращенню екологічного статусу цієї технології.

Оцінка впливу кріогенного заморожування на місцеві екосистеми включає аналіз різноманітних аспектів, зокрема використання рідкого азоту, енергетичні ресурси та можливі емісії. Враховуючи велику значущість екосистем для екологічної рівноваги та біорізноманіття, важливо докладно розглянути ці питання та розробити стратегії для мінімізації негативного впливу.

1. Використання рідкого азоту:

Виробництво рідкого азоту може вимагати значних енергетичних ресурсів, та його використання може призводити до викидів. Оцінка повинна включати вивчення джерела та виду отримання рідкого азоту, а також його вплив на повітряне середовище.

2. Енергетичні ресурси:

Аналіз використання енергії для приведення кріогенної установки в роботу та процесу заморожування дозволяє оцінити вплив на місцеві ресурси та викиди CO₂. Розвиток енергоефективних технологій може значно зменшити негативний вплив.

3. Емісії та викиди:

Оцінка можливих емісій речовин під час виробництва та використання рідкого азоту важлива для визначення потенційного впливу на якість повітря та ґрунту. Впровадження технологій очищення та рециклінгу може зменшити ці емісії.

					00.KP.142.008.005.РПЗ	Арк..

Відновлення та підтримка біорізноманіття:

У рамках оцінки впливу, важливо визначити можливості відновлення та підтримки біорізноманіття у зоні впливу. Це може включати проведення заходів з озеленення, створення резерватів або природоохоронних зон, а також впровадження екологічних ініціатив для збереження місцевого середовища.

Стратегії для мінімізації впливу:

Розробка та впровадження стратегій для мінімізації впливу кріогенного заморожування на місцеві екосистеми включає в себе активну участь стейкхолдерів, використання передових технологій та постійний моніторинг впливу.

Загальна мета оцінки впливу та впровадження позитивних стратегій - це досягнення балансу між використанням кріогенної технології та збереженням екологічної стійкості, забезпечуючи тим самим довгострокову вигоду для природи та суспільства.

Загальна мета полягає в досягненні балансу між потребами виробництва та збереженням природних ресурсів, що враховує екологічні аспекти кріозаморожування та сприяє створенню більш екологічно сталого харчового виробництва.

8 Економічний аналіз використання кріогенної технології

В сучасному світі, де конкуренція та швидкість змін надають новий розмір підприємництву, важливо не лише інноваційно підходити до виробництва, але й ефективно використовувати технології, щоб забезпечити конкурентоспроможність та сталість бізнесу. У цьому контексті, кріогенна технологія, яка використовує низькі температури та рідкий азот, визначається як потенційно перспективний інструмент для заморожування продукції.

Економічний аналіз використання кріогенної технології стає ключовим етапом в оцінці та плануванні впровадження цього інноваційного підходу. Звертаючи увагу на витрати, інвестиції, прибутковість, ризики та вплив на ринок, ми прагнемо визначити, чи може ця технологія не лише покращити якість та збереженість продукції, але й стати стратегічним елементом виробництва з економічно виправданим підходом.

Заглибившись в економічну перспективу кріогенної технології, ми маємо можливість здійснити об'єктивну оцінку її вигод та викликів. Від цього аналізу залежить раціональне прийняття рішень, спрямованих на досягнення не лише технічного прогресу, але й економічної стійкості та успішності у вирішенні сучасних завдань промислового виробництва.

Розрахунок вартості обладнання традиційного заморожування.

- Двоступеневий компресор – 550 000 грн.
- Конденсатор – 285 000 грн.
- Циркуляційни ресивер – 59 000 грн.
- Лінійний ресивер – 45 000 грн.
- Масловідокремлювач – 70 000 грн.
- Маслозбірник – 8 000 грн.
- Насоси водяні – 20 000 грн.
- Насоси аміачні – 30 000 грн.
- Повітровідокремлювач – 60 000грн.

- Повітроохолоджувач – 320 000 грн.
- Гідроциклон – 22 000 грн.

Загальна сума обладнання 1 469 000 грн.

Розрахунок вартості обладнання кріогенного заморожування.

- Кріогенний морозильний апарат тунельного типу – 2 256 000 грн.
- Танк для зберігання LIN – 300 000 грн.

Загальна сума обладнання 2 556 000 грн.

Розрахунок чисельності робітників і фонду заробітної плати

У ринкових умовах господарювання надзвичайно важливим є визначення оптимальної чисельності працівників необхідних для виконання виробничої програми. Вихідними даними для визначення необхідної кількості працівників є: виробнича програма на плановий період часу; норми часу, норми виробітку; трудомісткість виробничої програми; організаційно-технічні заходи по зниженню трудомісткості програми; звітні розрахункові дані про коефіцієнти виконання норм; баланс робочого часу одного працівника і деякі інші документи.

Баланс робочого часу одного працівника встановлює середню кількість годин, яку працівник повинен відпрацювати протягом планового періоду. Вона визначається шляхом множення середньої кількості явочних днів працівника протягом планового періоду на середню тривалість робочого дня одного працівника.

Для оцінки розміру заробітної плати найманих працівників застосовується показник фонду оплати праці, який формується із нарахунків найманим працівникам у грошовій та натуральній формі за відпрацьований та невідпрацьований час або за виконану роботу.

Нормативи чисельності персоналу компресорного цеху при сумарній холодопродуктивності 1700 кВт і більше передбачають посаду начальника цеху.

В даному проекті холодильника посада начальника цеху не передбачається, так як холодопродуктивність менша за 1700 кВт.

					00.KP.142.008.005.РПЗ	Арк..

Число змінних механіків залежить від конкретних умов кожного підприємства. Чисельність машиністів і слюсарів залежить від ступеня автоматизації холодильних установок, кількості одночасно працюючих компресорів і їх годинної сумарної холодопродуктивності.

Баланс робочого часу

Елемент часу	Кількість днів, годин
1. Календарний фонд на рік	366
кількість неробочих днів	115
в т. ч. вихідні	104
святкові	11
2. Номінальний фонд робочого часу	251
заплановані невиходи в т. ч.:	39
чергова відпустка	24
відпустка з дозволу адміністрації	3
лікарняні	7
відпустка у зв'язку з навчанням	5
3. Ефективний фонд робочого часу, днів	212
Втрати робочого часу за зміну, год.	0,02
Середня тривалість робочого дня	7,98
Ефект, фонд роб. часу в год	1691,76

Розрахунок фонду оплати праці традиційного заморожування

Назва професії	Планова чисельність, чол.	Тарифний розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Баланс робочого часу, год/рік	Тарифний фонд ЗП, грн.	Премія 30%	Загальний фонд ЗП, грн.
М	1	5	46,5	1667,82	77553,63	23226	100780
Мш	2	6	51,4	1667,82	171451,8	51435	222887
С	1	5	46,5	1667,82	77553,63	23226	100780
Всього:							424447

00.KP.142.008.005.ППЗ

Арк..

Розрахунок фонду оплати праці кріогенного заморожування

Назва професії	Планова чисельність, чол.	Тарифний розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Баланс робочого часу, год/рік	Тарифний фонд ЗП, грн.	Премія 30%	Загальний фонд ЗП, грн.
О	2	5	46,5	1667,82	77515	23254	100769

М- механік;

Мш – машиніст;

С – слюсар;

О - оператор установки;

13.4 Розрахунок собівартості одиниці холоду

Собівартість продукції як сумарна величина витрат є відправним пунктом визначення величини прибутку, тому механізм її формування вимагає детального вивчення. В ринкових умовах особливим є те, що поряд з ціною цей комплексний показник відображає ефективність виробничо-господарської діяльності колективу підприємства (особливо інженерів і робітників), його вміння раціонально поєднувати і використовувати живу і матеріалізовану працю. Виробництво кожного виду продукції (та надання послуг) супроводжується витратами трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів, а також застосуванням основних засобів.

Калькуляція — це розрахунок собівартості одиниці продукції, виконаних робіт та послуг. Калькуляцію складають на продукцію основного та допоміжного (інструмент, запчастини, енергія) виробництва щомісячно, за квартал, за рік.

Виробнича собівартість готової продукції включає :

- прямі матеріальні витрати;
- прямі витрати на оплату праці;
- інші прямі витрати;
- розподілені загальновиробничі витрати.

					<i>00.KP.142.008.005.РПЗ</i>	Арк..

Розрахунок витрат електроенергії традиційного заморожування

Назва обладнання	Кількість	Потужність електро-двигунів, кВт	Тривалість роботи за рік	Коефіцієнт попиту	Річна потреба	Ціна 1 кВт	Сума, грн
Двоступеней компресор	1	18	5400	0,7	68040	2,54	172821
Електродвигуни	8	1,5	3000	0,5	18000	2,54	45720
Насоси аміачні	2	5	3000	0,7	21000	2,54	53340
Насоси водні	1	3	3000	0,7	6300	2,54	16002
Всього:					113340		288883

Розрахунок витрат електроенергії криогенного заморожування

Назва обладнання	Кількість	Потужність електро-двигунів, кВт	Тривалість роботи за рік	Коефіцієнт попиту	Річна потреба	Ціна 1 кВт	Сума, грн
Кріогенна установка	1	13	5400	1	70200	2,54	178308

Розрахунок витрат на воду виробничу

Ці витрати розраховуються тільки при використанні водопровідної води.

Витрати води на охолодження компресорів і конденсаторів враховуються в розмірі втрат на охолоджуючому обладнанні (при використанні оберненого водопостачання). Втрати складають в % від витрат водопровідної води:

Середня зона – 8%

Південна зона – 10%

Північна зона – 5%

Річна потреба води в м можна розрахувати за формулою:

$$W = q_v \cdot Q_{ст}, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (7.1)$$

де : q_v - питомі витрати води

$Q_{ст}$ - приведений виробіток холоду, тис кДж

$$W = 0,0014 \cdot 362259 = 507,1 \text{ м}^3$$

Витрати (W') води розраховуються в % від W

$$W' = W \cdot (0,05 - 0,1), \text{ м}^3 \quad (7.2)$$

де: W - втрати води за рік, м³;

0,05 - 0,1 - коефіцієнт, враховуючий обернене водопостачання.

$$W' = 507,1 \cdot 0,1 = 50,7 \text{ м}^3$$

					<i>00.KP.142.008.005.ППЗ</i>		Арк..

Вартість води визначається за формулою:

$$B_v = W \cdot C_v, \text{ грн} \quad (7.3)$$

де: C_v - ціна за 1 м води (залежить від місцевих умов), грн.;

$$B_v = 50.7 \cdot 22,99 = 1165.6 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування по обладнанню залежить від встановлених норм амортизації:

$$A_{об} = C_{об} \cdot N_a / 100\%, \text{ грн.} \quad (7.4)$$

де: $C_{об}$ - початкова вартість обладнання;

$A_{об}$ – сума амортизаційних відрахувань від вартості обладнання, грн.;

N_a - норма амортизації, %.

$$A_{об.т.} = 1\,469\,000 \cdot 0,2 = 293\,800 \text{ грн.}$$

$$A_{об.к.} = 2\,556\,000 \cdot 0,2 = 511\,200 \text{ грн.}$$

Витрати на холодильний агент знаходяться в прямій залежності від встановленої річної (стандартної) холодопродуктивності компресорів і розраховується за формулою:

$$P_{x/a} = C_{x/a} \cdot N_p \cdot Q_{ст.р.} \cdot 1,7, \text{ грн} \quad (7.5)$$

де : $C_{x/a}$ - ціна 1 кг аміаку;

$Q_{ст.р}$ - стандартний річний виробіток холоду;

1,7 - коефіцієнт, який враховує втрати холоду при ремонтних роботах;

N_v - норма витрати x/a , кг/кВт.

$$P_{x/a} = 60 \cdot 3,1 \cdot 70 \cdot 1,7 = 22134 \text{ грн.}$$

Економічний висновок аналізу підтверджує, що впровадження кріогенної технології для заморожування супроводжується істотним зростанням витрат на обладнання та рідкий азот порівняно з механічним заморожуванням. Незважаючи на це, варто відзначити, що у сфері побутових і розхідних матеріалів, а також заробітної плати, ситуація може бути більш вигідною при використанні кріогенного заморожування.

Хоча обладнання та рідкий азот можуть бути витратними складовими в процесі кріогенного заморожування, ефективність та якість заморожених

					00.KP.142.008.005.РПЗ	Арк..

продуктів, які можна досягти за допомогою цієї технології, може виправдовувати ці витрати. Збільшення терміну зберігання, зниження втрат ваги продукту та поліпшення його властивостей можуть впливати на загальні економічні вигоди компанії в довгостроковій перспективі. Таким чином, при виваженому підході до використання криогенної технології, компанії можуть досягти конкурентної переваги, компенсуючи збільшені витрати обладнання за рахунок покращення якості продукції та оптимізації експлуатаційних витрат.

Важливим аспектом досягнення економічної вигоди при використанні криогенної технології для заморожування є технологічне вдосконалення процесу виробництва. Оптимізація не лише параметрів, але й самого технологічного процесу може суттєво вплинути на ефективність та економічні вигоди.

Шляхом впровадження сучасних методів автоматизації, вдосконалення систем контролю за процесом та використання передових матеріалів можна досягти підвищення продуктивності, зниження витрат енергії та оптимізації використання рідкого азоту. Технічні інновації, такі як удосконалені конструкції обладнання чи нові методи заморожування, можуть вплинути на всі етапи виробництва, забезпечуючи більшу стабільність та продуктивність.

В результаті, не лише підвищується якість та збереженість продукції, але й зменшуються загальні витрати на експлуатацію та утримання обладнання. Такий комплексний підхід до технологічного вдосконалення може значно підвищити конкурентоспроможність підприємства та забезпечити економічні переваги в довгостроковій перспективі.

Розгляд та аналіз ризиків і невизначеностей впровадження криогенної технології для заморожування визначають важливий аспект економічного висновку. Здійснення інновацій у сфері технології завжди пов'язане з певними ризиками, які можуть впливати на ефективність та стабільність виробничого процесу.

Один із ключових ризиків - це високі витрати на впровадження нової технології. Придбання та встановлення криогенного обладнання, а також необхідних систем інфраструктури може вимагати значних фінансових ресурсів.

					00.KP.142.008.005.PПЗ	Арк..

Безперервні витрати на рідкий азот також можуть становити суттєвий фактор в економічному аспекті.

Додатково, існує ризик технічних проблем та невизначеностей щодо стійкості нового обладнання. Непередбачені ситуації, такі як технічні збої чи несправності, можуть вплинути на продуктивність та призвести до збитків. Період адаптації персоналу до нових технологічних процесів також може бути джерелом невизначеності, що впливає на загальний ризик впровадження новацій.

Важливо враховувати екологічні ризики, пов'язані з використанням рідкого азоту та його впливом на навколишнє середовище. В умовах строгих екологічних стандартів, невідповідність може призвести до санкцій та штрафів, що має економічні наслідки для підприємства.

Усі ці ризики та невизначеності вимагають детального обстеження та ретельного планування для забезпечення стійкості та успішного впровадження кріогенної технології заморожування в економічній площині.

Враховуючи вищевказані аспекти економічного аналізу та обґрунтування використання кріогенної технології для заморожування, надаю кілька рекомендацій для підприємства:

Стратегічне Планування та Ресурси: Перед впровадженням кріогенної технології, ретельно розробіть стратегічний план, який враховує всі фінансові та технічні аспекти. Забезпечте достатні ресурси для впровадження та ефективного функціонування системи.

Комплексний Підхід до Оптимізації: Спрямуйте зусилля на технічну оптимізацію та вдосконалення технологічного процесу, щоб забезпечити максимальну продуктивність та зниження витрат.

Фінансовий Резерв: Створіть фінансові резерви для подолання потенційних труднощів та покриття непередбачених витрат, що можуть виникнути під час впровадження технології.

Навчання та Розвиток Кадрів: Забезпечте належне навчання та розвиток персоналу для ефективного використання нових технологій. Це сприятиме швидшій адаптації та оптимальному використанню кріогенного обладнання.

					00.KP.142.008.005.РПЗ	Арк..

Моніторинг та Система Контролю: Встановіть ефективну систему моніторингу та контролю, яка дозволить вчасно виявляти можливі технічні або експлуатаційні проблеми та уникати негативних наслідків.

Екологічна Відповідальність: Зверніть увагу на екологічні питання та використовуйте технологічні рішення, які відповідають сучасним стандартам стійкого розвитку.

Підготовка до Ризиків: Розробіть план управління ризиками, щоб ефективно впоратися з можливими труднощами та непередбаченими обставинами.

Взаємодія з Регуляторами: Співпрацюйте з регуляторами та дотримуйтесь всіх вимог у сфері технічної безпеки та екології.

9. Вплив на здоров'я та безпеку

Вплив на здоров'я та безпеку працівників, а також загальний вплив на виробничий процес та робоче середовище важко переоцінити при впровадженні нових технологій, зокрема, кріогенного заморожування. Забезпечення найвищих стандартів безпеки та оптимальних умов праці стають важливими завданнями для підприємств, що впроваджують цінову технологію.

Цей розділ розглядатиме аспекти впливу кріогенного заморожування на здоров'я працівників, а також заходи безпеки, які необхідно вжити для запобігання можливим ризикам та нещасним випадкам. Розглянемо також вплив на робоче середовище та заходи для збереження екологічно чистого та безпечного простору для виробництва з використанням кріогенної технології. Вплив на здоров'я працівників:

Ретельний медичний моніторинг працівників, які експлуатують кріогенне обладнання, є необхідним для визначення можливих впливів рідкого азоту на їхнє здоров'я. Врахування можливих алергічних реакцій та визначення безпечних режимів роботи - ключові аспекти збереження здоров'я працівників.

Безпека виробничого процесу:

Значні пошкодження тканин або опіки можуть виникнути внаслідок впливу рідкого азоту або холодних парів азоту. [12]

Оскільки азот не має запаху, кольору, смаку та подразнення, він не має попереджувальних властивостей. Люди не мають органів чуття, які могли б виявити присутність азоту. Хоча азот нетоксичний і інертний, він може діяти як простий задушливий засіб, витісняючи кисень у повітрі до рівня, нижчого від необхідного для підтримки життя. Вдихання азоту в надмірних кількостях може викликати запаморочення, нудоту, блювоту, втрату свідомості та смерть. Смерть може настати через помилки в судженні, сплутаність свідомості або втрату свідомості, що перешкоджає саморятуванню. При низькій концентрації кисню втрата свідомості та смерть можуть настати за секунди й без попередження.

Персонал, у тому числі рятувальники, не повинен входити в зони, де концентрація кисню нижче 19,5%, за винятком випадків, коли вони забезпечені автономним дихальним апаратом або респіратором.

Опіки від холоду

Рідина або низькотемпературний газ будь-якої із зазначених кріогенних речовин спричинить на шкірі ефект, схожий на опік. Надзвичайно низька температура рідини може спричинити сильне обмороження або пошкодження очей при контакті. Симптоми обмороження включають зміну кольору шкіри на білий або сірувато-жовтий, а біль після контакту з рідким азотом може швидко вщухнути. Предмети, що контактують з рідким азотом, стають надзвичайно холодними. Дотик до цих предметів може призвести до розривів м'яса.

Вибух - Тиск

Тепловий потік у кріоген із навколишнього середовища призведе до випаровування рідини та потенційного підвищення тиску в кріогенних резервуарах і транспортних лініях. При випаровуванні рідкий азот розширюється в 696 разів; один літр рідкого азоту перетворюється на 24,6 кубічних футів газоподібного азоту. Адекватне скидання тиску повинно бути забезпечено для всіх частин системи, щоб дозволити цей регулярний вихід газу та запобігти вибуху.

Асфіксія

Рідкий азот, що виділяється в замкнутому просторі, може витіснити достатню кількість кисню, щоб зробити атмосферу непридатною для підтримки життя та викликати асфіксію без попередження. Ступені асфіксії виникають при вмісті кисню в робочому середовищі менше 20,9% за об'ємом. Наслідки дефіциту кисню стають помітними при рівнях нижче ~18%, а раптова смерть може наступити при вмісті кисню ~6% за об'ємом. Це зниження вмісту кисню може бути спричинене несправністю/витоком кріогенної ємності або транспортної лінії та подальшим випаровуванням кріогену.

00.KP.142.008.005.РПЗ

Арк..

Вибухи - Хімічні

Кріогенні рідини з температурою кипіння нижче, ніж у рідкого кисню, здатні конденсувати кисень з атмосфери. Таким чином, повторне поповнення системи може призвести до накопичення кисню як небажаного забруднення. Подібне збагачення киснем може відбуватися там, де конденсоване повітря накопичується на зовнішній стороні кріогенних труб. Бурхливі реакції, наприклад швидке згоряння або вибух, можуть виникнути, якщо матеріали, які контактують з киснем, є горючими.

Перша допомога

У разі поранення людини рідким азотом слід надати наступну першу допомогу до звернення до лікаря тільки, якщо немає ризику для вас.

У разі контакту шкіри з кріогенним рідким азотом зніміть будь-який одяг, який може перешкоджати циркуляції в замороженій зоні. Не тріть заморожені частини, оскільки це може призвести до пошкодження тканин. Людям з обмороженими ногами не можна ходити по ним. Як тільки це можливо, помістіть уражену ділянку в теплу водяну баню, температура якої не перевищує 105 °F (40 °C). Ніколи не використовуйте сухе тепло.

Заморожена тканина безболісна і виглядає воскоподібною з можливим жовтим кольором. Під час розморожування він стане набряклим, болючим і стане схильним до інфекції. Якщо заморожену частину тіла було розморожено, накрийте її сухою стерильною пов'язкою з великим об'ємним захисним покриттям до надання медичної допомоги. У разі сильного опромінення зніміть одяг, поливши потерпілого теплою водою. Не використовуйте гарячу воду. Негайно викликати лікаря.

Якщо очі потрапили під вплив сильного холоду рідкого азоту або його парів, негайно зігрійте місце обмороження теплою водою не вище 105 °F (40 °C) і негайно зверніться до лікаря. Віднесіть лікарю копію MSDS.

Людей, які страждають від нестачі кисню, необхідно вивести на свіже повітря. Якщо потерпілий не дихає, зробіть штучне дихання. Якщо дихання утруднене, дайте кисень. Негайно зверніться за медичною допомогою. Не

					00.KP.142.008.005.РПЗ	Арк..

намагайтеся врятувати людину, яка постраждала через брак кисню. Тоді рятувальник стає другою жертвою.

Впровадження кріогенної технології вимагає суворого дотримання стандартів безпеки. Забезпечення навчання персоналу щодо правильного використання обладнання, заходів безпеки та взаємодії з рідким азотом є критичним для уникнення нещасних випадків та мінімізації ризиків.

Техніка безпеки.

Служба охорони праці створюється на підприємствах з кількістю працівників 50 і більше. На підприємстві з кількістю працівників менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які мають відповідну підготовку. На підприємстві з кількістю працівників менше 20 осіб для виконання функцій служби охорони праці можуть залучатися сторонні спеціалісти на договірних засадах, які мають відповідну підготовку.

Підпорядковується служба охорони праці згідно із законодавством безпосередньо роботодавцеві. Проте роботодавець може доручити функціональне управління (кураторство) діяльністю служби іншій посадовій особі, скажімо, головному інженерові, заступникові директора з охорони праці тощо. Покладення таких обов'язків потрібно закріпити наказом або відобразити в посадовій інструкції уповноваженої особи.

Інструктажі з охорони праці — один із найбільш ефективних видів навчання з питань безпечного виконання робіт. Працівники, під час прийняття на роботу та періодично, повинні проходити на підприємстві інструктажі з питань охорони праці, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

Вступний інструктаж проводиться спеціалістом служби охорони праці або іншим фахівцем відповідно до наказу (розпорядження) по підприємству, який в установленому Типовим положенням порядку пройшов навчання і перевірку знань з питань охорони праці.

Первинний інструктаж проводиться з працівником до початку роботи безпосередньо на робочому місці.

Повторний інструктаж проводиться на робочому місці індивідуально з кожним працівником або групою працівників, які виконують однотипні роботи, за обсягом і змістом переліку питань первинного інструктажу. Повторний інструктаж проводиться в терміни, визначені нормативно-правовими актами з охорони праці, не рідше: на роботах з підвищеною небезпекою — 1 раз на 3 місяці; для решти робіт — 1 раз на 6 місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці: при введенні в дію нових або переглянутих нормативно-правових актів з охорони праці, а також при внесенні змін та доповнень до них; при зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на стан охорони праці; при порушенні працівниками вимог нормативно-правових актів з охорони праці, що призвели до травм, аварій, пожеж тощо; при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів — для робіт з підвищеною небезпекою, а для решти робіт — понад 60 днів.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками: при ліквідації аварії або стихійного лиха; при проведенні робіт, на які відповідно до законодавства оформлюються наряд-допуск, наказ або розпорядження.

Досягнення ефективного та безпечного використання кріогенної технології вимагає високого ступеня обізнаності та взаємодії всіх учасників виробничого процесу, а також систематичного оновлення та покращення заходів безпеки відповідно до нових вимог та технологічних стандартів.

00.KP.142.008.005.РПЗ

Арк..

10 Шляхи розвитку та візія промисловості кріозаморожування

В глибокому освітленні інновацій, промисловість заморожування постійно шукає шляхи вдосконалення та впровадження передових технологій. Кріогенна технологія, що базується на використанні рідкого азоту, визначає нові горизонти у заморожуванні продукції. Важливим етапом цього розвитку є розгляд шляхів оптимізації та візії, яка визначатиме майбутнє цієї важливої галузі.

У контексті еволюції кріогенної технології, пріоритетом є впровадження оптимізованих процесів заморожування. Це включає в себе не лише підвищення ефективності, але й удосконалення якості заморожених продуктів. Здійснюючи вивчення та розробку нових методів, промисловість має можливість покращити якість заморожених продуктів, забезпечуючи споживачам вищий стандарт.

Заходи безпеки та стандарти екологічної сумісності є важливою частиною візії майбутнього в галузі кріогенного заморожування. Зосереджуючись на розробці та впровадженні нових стандартів, промисловість може забезпечити безпечне використання технології, мінімізуючи вплив на довкілля та забезпечуючи сталість у виробництві.

Запровадження інтелектуальних систем управління та моніторингу відкриває нові можливості для оптимізації енергоспоживання та використання рідкого азоту. Автоматизація процесів та використання передових технологій контролю дозволяють забезпечити не лише високу продуктивність, але й зниження витрат.

Візія технології кріозаморожування, яка базується на використанні ультразвуку та магнітного поля, відкриває нові перспективи для покращення процесу заморожування продуктів харчування. Ця комбінація технологій розширює можливості збереження мікроструктури та якості продуктів, забезпечуючи більш ефективне та економічне використання ресурсів.

Використання потужного ультразвуку в процесі кріозаморожування сприяє утворенню мікропотоків та турбулентності у середовищі, що розповсюджується. Це, в свою чергу, призводить до швидшого теплообміну та підвищення швидкості кристалізації. Такий підхід дозволяє заморожувати продукти з утворенням дрібних, однорідних кристалів льоду, забезпечуючи оптимальне збереження мікроструктури та характеристик продукту.

Застосування магнітного поля в кріозаморожуванні допомагає впливати на водневі зв'язки між молекулами води, сповільнюючи процес утворення кристалів льоду та зменшуючи їх розмір. Це може покращити різні фізичні властивості води та сприяти утворенню більш стійких та однорідних структур льоду.

Комбінація ультразвуку та магнітного поля в кріозаморожуванні відкриває можливості для оптимізації якості та ефективності цього процесу. Висока швидкість нуклеації, покращення теплообміну та утворення дрібних кристалів льоду сприяють збереженню біологічно активних речовин та структури продуктів, що має ключове значення для збереження якості та смакових характеристик.

Отже, впровадження цієї інноваційної технології кріозаморожування стане кроком до покращення якості заморожених продуктів, забезпечуючи їхню безпеку та ефективність зберігання на тривалий термін.

Впровадження нових технологій, таких як кріозаморожування з використанням ультразвуку та магнітного поля, може стикнутися з численними соціальними викликами. Однією з головних небезпек є опір з боку працівників, які можуть відчувати загрозу втрати робочих місць через автоматизацію та впровадження нових технологій. Це може викликати соціальний неврівноважений стан та протести.

Можливості преодоління соціальних викликів та сприяння позитивним аспектам впровадження нових технологій включають:

Навчання та перекваліфікація: Перед успішним впровадженням технології слід розглянути програми навчання та перекваліфікації для працівників, щоб вони

могли адаптуватися до нових вимог та зберегти робочі місця в інших аспектах технологічного процесу.

Співпраця з громадськістю: Залучення громадськості до діалогу щодо впровадження технології дозволить врахувати побажання та перейняття громадською спільнотою нововведень.

Створення нових робочих місць: Розвиток технології може стимулювати виникнення нових галузей та робочих місць, зокрема у сферах дослідження, розробки та обслуговування нових технічних рішень.

Соціально відповідальні заходи: Компанії можуть приймати соціально відповідальні заходи, забезпечуючи компенсації працівникам, які втратили свої робочі місця через автоматизацію, або запроваджуючи інші соціальні заходи для підтримки спільнот.

Партнерство з урядовими органами: Залучення урядових структур у розробку та впровадження технології дозволить більш ефективно враховувати інтереси різних сторін та гарантувати сталість соціально-економічного розвитку.

Загальною метою є забезпечення трансформації суспільства в контексті впровадження нових технологій, зменшення соціального відчуття загрози та максимізація позитивних соціальних наслідків.

Важливим є також залученість підприємств. Для бізнесу важливо розуміти, що такі інновації призводять до підвищення продуктивності та зниження витрат. Щоб переконати бізнес у вигідності впровадження цих технологій, можна проводити дослідження, де демонструвати позитивний вплив на ефективність виробництва та якість продукції. Також важливо акцентувати на соціальних вигодах, таких як створення нових робочих місць у галузі досліджень, розробки та обслуговування технічних рішень.

Паралельно з цим, важливо підтримувати відкритий діалог з громадськістю та споживачами, надаючи інформацію про переваги кріозаморожування та його позитивний вплив на якість продукції. Такий підхід допоможе зберегти довіру споживачів та створити позитивний імідж в галузі.

Державний апарат відіграє не менш ключову роль у сприянні розвитку технологій, включаючи кріозаморожування, яке може мати важливий вплив на промисловість та суспільство. Ініціативи держави можуть включати:

Фінансування наукових досліджень: Забезпечення фінансової підтримки для наукових інститутів, університетів та дослідницьких лабораторій, що займаються дослідженнями в галузі кріозаморожування. Це може включати гранти, конкурси та стипендії для стимулювання високотехнологічних досліджень.

Створення інноваційних центрів: Створення спеціалізованих центрів для об'єднання науковців, інженерів та фахівців із промисловості для спільної роботи над вдосконаленням технології кріозаморожування. Такі центри можуть служити платформою для обміну знаннями та розвитку нових ідей.

Проведення конференцій та семінарів: Організація заходів, що сприяють обміну досвідом та інноваційними ідеями в галузі кріозаморожування. Це може стимулювати колективні зусилля та сприяти виробництву нових рішень.

Підтримка стартапів: Створення програм та фондів для підтримки стартапів, що працюють у сфері кріозаморожування. Це дозволить молодим компаніям отримати необхідні ресурси для впровадження інновацій та перспективних розробок.

Розробка стандартів та регулювань: Встановлення стандартів та регулювань у галузі кріозаморожування, що дозволить створити стійкий правовий та технічний фундамент для подальшого розвитку цієї технології.

Співпраця з приватним сектором: Залучення приватних компаній до співпраці з науковими установами для спільної розробки та впровадження нових технологій кріозаморожування.

11 Висновки

Заморожування захищає якість продуктів харчування, а також спосіб заморожування, що використовується впливає на органолептичні властивості їжі після розморожування. Органолептичні властивості - це характеристики, що сприймаються через органи чуття органи чуття, такі як зовнішній вигляд, текстура, смак і запах.

Кріогенні системи можна ефективно використовувати для заморожування, транспортування та зберігання широкого спектру харчових продуктів, а широкий спектр обладнання і технологій, що використовують азот. Незважаючи на те, що існує багато практичних, а також економічних недоліків у кріогенних холодильних систем, існує багато ситуацій, в яких в яких низькі капітальні або експлуатаційні витрати та/або швидка швидкість заморожування роблять ці технології варті того, щоб їх використовувати.

Незважаючи на зростання використання кріогенних продуктів харчування заморожування, все ще існують значні суперечки існують значні суперечки щодо відносних переваг кріогенного заморожування більш традиційних методів заморожування.

У роботі висвітлені методи оптимізації технологічного процесу кріозаморожування, такі як вдосконалення систем охолодження та технічні удосконалення обладнання. Ці оптимізації можуть суттєво покращити якість та ефективність кріозаморожених продуктів, зменшуючи витрати енергії та часу, що сприяє більш ефективному використанню кріотехнології в харчовому виробництві.

Вдосконалення технологічного процесу заморожування, яке було висвітлено в роботі, визначає перспективи для суттєвого здешевлення собівартості кріозаморожених продуктів. Оптимізація процесу дозволяє виробникам не лише ефективніше використовувати енергію, але і зменшує загальні витрати на виробництво.

Перше значуще досягнення полягає в оптимізації роботи кріогенних апаратів, що спрямоване на зниження витрат енергії під час процесу

					00.KP.142.008.005.РПЗ	Арк..

заморожування. Впровадження енергоефективних технологій та систем охолодження дозволяє збільшити продуктивність при зменшенні витрат ресурсів.

Друге напрямком економічної оптимізації пов'язаний із зменшенням втрат сировини під час заморожування. Відповідно до результатів досліджень, оптимізована швидкість заморожування дозволяє зберегти більше органолептичних та харчових властивостей продуктів, що робить їх більш конкурентоспроможними на ринку.

Третім аспектом є підвищення ефективності використання сировини завдяки точнішому контролю процесу заморожування. Зменшення втрат сировини та відходів сприяє збільшенню виробничої масштабності та, відповідно, зниженню собівартості продукції.

Заходи з оптимізації технологічного процесу, викладені в роботі, виокремлюють ймовірні економічні переваги виробництва кріозаморожених продуктів, забезпечуючи виробникам конкурентні переваги на ринку та сприяючи здешевленню кінцевого продукту для споживачів.

У роботі привертає увагу і екологічний аспект використання кріотехнології, що стає все більш важливим у світлі зростаючої свідомості про сталість та екологічні питання. Оптимізація процесів заморожування, яка пропонується у дослідженні, може мати значущий позитивний вплив на навколишнє середовище.

По-перше, швидкість заморожування, яка є ключовим фактором в якості продуктів, прямо пов'язана із зменшенням витрат енергії. Збільшення ефективності та швидкості процесу заморожування може призвести до зменшення викидів парникових газів та інших шкідливих речовин, пов'язаних із виробництвом електроенергії.

По-друге, вдосконалення системи заморожування також може включати в себе використання більш екологічно чистих холодоагентів, таких як вуглекислий газ. Це дозволяє знизити використання хімічних речовин, що можуть негативно впливати на атмосферний склад та здоров'я людей.

Третім аспектом є можливість використання відновлюваних джерел енергії для забезпечення електропостачання кріогенних систем. Це сприяє зменшенню екологічного відбитку та сприяє сталому розвитку, що стає важливою складовою в екологічно відповідальних виробничих практиках.

Зазначені екологічні переваги вдосконалення процесів кріозаморожування в роботі свідчать про потенціал впливу на покращення стану навколишнього середовища та підтримку принципів сталого розвитку в галузі харчового виробництва.

					00.KP.142.008.005.PПЗ	Арк..

Додаток 1

Melon (Charentais)		Storage at -20 °C			Mechanical freezing		
Experimental conditions	Fresh	Cryogenic freezing	60 days	90 days	7 days	30 days	60 days
Quality attributes							
pH	6.02 ± 0.07	6.81 ± 0.01*	6.61 ± 0.01*	6.40 ± 0.01*	6.66 ± 0.05*	6.40 ± 0.04*	6.39 ± 0.11*
°Brix	11.85 ± 0.07	10.4 ± 0.14*	11.45 ± 0.07	11.1 ± 0.14	8.95 ± 0.07*	11.25 ± 0.07	12.75 ± 0.07
Titrateable acidity (g citric acid/100g)	0.089 ± 0.001	0.078 ± 0.001*	0.064 ± 0.001*	0.075 ± 0.003*	0.078 ± 0.001*	0.078 ± 0.001*	0.072 ± 0.003*
Quality index (total sugar/acidity)	133.91 ± 1.87	134.19 ± 0.6	178.96 ± 5.06*	148.96 ± 8.11	115.48 ± 0.14*	145.17 ± 2.24	177.16 ± 4.59*
Vitamin C (mg/100g)	24.27 ± 0.31	16.07 ± 0.31*	9.90 ± 0.30*	6.89 ± 0.01*	22.93 ± 0.72*	ND	7.23 ± 0.06*
Colour L*	55.20 ± 1.49	40.45 ± 2.61*	46.37 ± 3.92*	41.38 ± 2.07*	41.43 ± 4.30*	45.65 ± 3.18*	45.89 ± 2.48*
a*	12.38 ± 1.23	13.27 ± 1.50	10.69 ± 0.87	13.81 ± 1.38	14.24 ± 1.98	9.70 ± 1.39*	9.76 ± 1.18*
b*	28.37 ± 1.97	31.13 ± 3.47	21.56 ± 3.21*	32.70 ± 2.71	32.55 ± 4.05	21.12 ± 3.18*	21.07 ± 3.05*
Chroma	30.95 ± 2.25	33.84 ± 3.74	24.08 ± 3.17*	35.51 ± 2.94	35.54 ± 4.48	23.26 ± 3.38*	23.23 ± 3.23*
ΔE	-	15.55 ± 1.91	11.45 ± 4.70	14.89 ± 1.64	15.41 ± 3.04	12.38 ± 4.42	12.25 ± 3.65
Firmness (N/cm ³)	1.19 ± 0.10	1.41 ± 0.36	2.00 ± 0.24*	2.00 ± 0.31*	1.15 ± 0.22	1.67 ± 0.13*	2.06 ± 0.25*
Peroxidase (% activity)	100 ± 2.37	128.84 ± 6.61*	92.76 ± 3.48	112.28 ± 2.30*	136.95 ± 8.84*	94.24 ± 2.46	96.82 ± 4.43
Exudation (g/100g)	-	4.81 ± 0.43	10.03 ± 0.18	12.00 ± 0.79	12.06 ± 0.54	14.65 ± 0.45	14.01 ± 0.30
Soluble proteins (mg/g)	-	2.02 ± 0.07	2.00 ± 0.08	2.29 ± 0.10	1.89 ± 0.09	2.06 ± 0.01	1.65 ± 0.03
							2.26 ± 0.02

Таб. 1 Фізико-хімічний аналіз зразків свіжої та замороженої діні.

Додаток 2

P values (individual/interaction effects)	Analysed Parameters						
	pH	°Brix	Total acidity (g citric acid/100g)	Quality index (total sugar/ acidity)	Vitamin C (mg/ 100g)	Firmness (N/ cm ³)	Peroxidase (%) activity)
Freezing conditions (FC)	0.000	0.256	0.001	0.000	0.100	0.062	0.557
Storage time (ST)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FC×ST	0.605	0.000	0.001	0.000	0.000	0.428	0.000
Group mean for freezing conditions							
Cryogenic	6.60 ^b	11.09 ^a	0.068 ^a	167.97 ^b	10.95 ^a	1.81 ^a	109.79 ^a
Mechanical	6.43 ^a	11.25 ^a	0.074 ^b	152.24 ^a	11.24 ^a	1.68 ^a	108.98 ^a
Group mean for storage durations							
7 days	6.73 ^c	9.68 ^a	0.078 ^c	124.84 ^a	19.50 ^a	1.28 ^a	132.90 ^c
30 days	6.50 ^b	11.35 ^b	0.071 ^b	162.07 ^b	ND	1.75 ^b	99.75 ^a
60 days	6.50 ^b	12.08 ^c	0.063 ^a	193.45 ^c	8.57 ^b	2.03 ^c	94.79 ^a
90 days	6.33 ^a	11.58 ^{bc}	0.072 ^{bc}	160.06 ^b	5.23 ^c	1.91 ^{bc}	110.09 ^b

Таб. 2 Результати MANOVA для різних вимірюваних фізико-хімічних параметрів дині.

P values (individual/interaction effects)	Analysed Parameters				ΔE	Exudation (g/100g)	Soluble proteins (mg/g)
	L*	a*	b*	Chroma			
Freezing conditions (FC)	0.107	0.001	0.042	0.020	0.017	0.000	0.000
Storage time (ST)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FC×ST	0.230	0.001	0.042	0.021	0.135	0.001	0.005
Group mean for freezing conditions							
Cryogenic	44.15 ^a	12.58 ^b	27.66 ^b	30.40 ^b	12.40 ^a	8.87 ^a	2.15 ^b
Mechanical	42.97 ^a	11.43 ^a	26.15 ^a	28.55 ^a	14.24 ^b	13.75 ^b	1.97 ^a
Group mean for storage durations							
7 days	40.94 ^a	13.77 ^b	31.84 ^b	34.68 ^b	15.48 ^b	8.43 ^a	1.95 ^b
30 days	47.03 ^b	11.12 ^a	23.19 ^a	25.72 ^a	10.04 ^a	11.65 ^b	2.17 ^c
60 days	46.13 ^b	10.23 ^a	21.32 ^a	23.65 ^a	11.85 ^a	12.02 ^{bc}	1.82 ^a
90 days	40.16 ^a	12.91 ^b	31.30 ^b	33.86 ^b	15.91 ^b	13.13 ^c	2.28 ^c

Таб.3 Результати MANOVA для різних вимірюваних фізико-хімічних параметрів дині.

Додаток 3

Apple (Granny Smith)		Storage at -20 °C				Mechanical freezing			
Experimental conditions	Fresh	7 days	30 days	60 days	90 days	7 days	30 days	60 days	90 days
Quality attributes									
pH	3.22 ± 0.01	3.11 ± 0.01*	3.18 ± 0.00	3.19 ± 0.02	3.13 ± 0.01*	3.15 ± 0.00*	3.19 ± 0.01	3.21 ± 0.01	3.12 ± 0.02*
°Brix	9.75 ± 0.21	8.90 ± 0.14	10.15 ± 0.07	10.65 ± 0.07*	10.65 ± 0.07*	9.15 ± 0.07	10.10 ± 0.42	10.40 ± 0.42	10.75 ± 0.07*
Titratable acidity (g citric acid/100g)	0.349 ± 0.004	0.329 ± 0.004*	0.307 ± 0.000*	0.298 ± 0.005*	0.298 ± 0.005*	0.304 ± 0.004*	0.278 ± 0.005*	0.323 ± 0.005*	0.330 ± 0.005*
Quality index (total sugar/ acidity)	27.94 ± 0.27	27.05 ± 0.08	33.06 ± 0.23*	35.79 ± 0.31*	32.32 ± 0.66*	30.11 ± 0.67	36.27 ± 0.93*	32.17 ± 0.86*	36.13 ± 0.79*
Colour L*	69.01 ± 2.65	55.33 ± 3.55*	53.11 ± 2.24*	54.14 ± 4.49*	50.30 ± 6.58*	55.34 ± 1.59*	51.67 ± 4.71*	51.87 ± 4.38*	47.89 ± 6.03*
a*	-1.28 ± 0.52	2.91 ± 1.49*	3.39 ± 1.42*	3.53 ± 2.18*	4.72 ± 3.40*	2.03 ± 1.23*	2.85 ± 2.05*	2.95 ± 1.48*	4.84 ± 1.87*
b*	11.73 ± 1.49	18.18 ± 3.92*	16.80 ± 1.94*	15.92 ± 2.21*	19.52 ± 3.94*	16.83 ± 2.49*	15.62 ± 2.29	14.86 ± 1.58	20.71 ± 3.55*
Chroma	11.81 ± 1.47	18.43 ± 4.08*	17.17 ± 2.10*	16.39 ± 2.56*	20.19 ± 4.75*	16.98 ± 2.59*	15.95 ± 2.64	15.19 ± 1.81	21.30 ± 3.83*
ΔE	-	15.94 ± 4.62	17.41 ± 2.74	16.32 ± 4.97	21.22 ± 8.17	15.12 ± 2.20	18.35 ± 5.23	18.02 ± 4.51	23.88 ± 6.76
Firmness (N/cm ³)	2.98 ± 0.10	1.28 ± 0.30*	1.30 ± 0.25*	1.86 ± 0.37*	1.99 ± 0.45*	1.21 ± 0.35*	1.26 ± 0.16*	1.73 ± 0.23*	1.76 ± 0.34*
Polyphenol oxidase (% activity)	100 ± 4.58	64.08 ± 2.90*	42.57 ± 0.50*	14.58 ± 4.69*	13.76 ± 5.36*	75.74 ± 3.73*	49.74 ± 1.16*	33.06 ± 3.77*	41.40 ± 4.46*
Mean pore size (μm)	-	93.43 ± 14.07	-	-	94 ± 0.83	96.93 ± 7.55	-	-	107.17 ± 11.33
Exudation (g/100g)	-	5.29 ± 0.55	11.94 ± 0.48	13.05 ± 0.02	12.42 ± 0.49	6.51 ± 0.59	12.13 ± 0.67	14.18 ± 0.38	14.11 ± 0.13
Soluble proteins (mg/g)	-	0.85 ± 0.02	0.61 ± 0.04	0.61 ± 0.04	0.65 ± 0.05	0.63 ± 0.06	0.51 ± 0.01	0.46 ± 0.03	0.58 ± 0.02

Таб.4 Фізико-хімічний аналіз зразків свіжих і заморожених яблук.

Додаток 4

P values (individual/ interaction effects)	Analysed Parameters						
	pH	°Brix	Total acidity (g citric acid/100g)	Quality index (total sugar/acidity)	Firmness (N/ cm ³)	Polyphenol oxidase (% activity)	Mean pore size (µm)
Freezing conditions (FC)	0.095	0.914	0.659	0.001	0.219	0.000	0.179
Storage time (ST)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.367
FC×ST	0.089	0.482	0.000	0.000	0.870	0.000	0.418
Group mean for freezing conditions							
Cryogenic	3.15 ^a	10.09 ^a	0.308 ^a	32.06 ^a	1.61 ^a	33.75 ^a	93.72 ^a
Mechanical	3.16 ^a	10.10 ^a	0.309 ^a	33.67 ^b	1.49 ^a	49.99 ^b	102.05 ^a
Group mean for storage durations							
7 days	3.13 ^a	9.03 ^a	0.317 ^b	28.58 ^a	1.25 ^a	69.91 ^c	95.18 ^a
30 days	3.18 ^b	10.13 ^b	0.293 ^a	34.67 ^b	1.28 ^a	46.15 ^b	
60 days	3.19 ^b	10.53 ^{bc}	0.310 ^b	33.98 ^b	1.80 ^b	23.82 ^a	
90 days	3.12 ^a	10.70 ^c	0.314 ^b	34.22 ^b	1.88 ^b	27.58 ^a	100.59 ^a

Таб. 5 Результати MANOVA для різних вимірюваних фізико-хімічних параметрів яблук.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Can cryogenic freezing preserve the quality of fruit matrices during long-term storage compared to the mechanical method? (2023) Piyush Kumar Jha, Nicolas Chapleau , Pierre-Emmanuel Meyers , Didier Pathier b, Alain Le-Bail.
2. Бараненко А.В. и др. (2004) Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Часть 3.
3. Theoretical and experimental study on cryogenic freezing of berries.(2010) Damian Valeriu, Iosifescu C. Cristian, Coman Gelu, Drăgan Marcel, Constantin O. Emilia.
4. Girardon, P., Moziar, C., & Pathier, D. (2019). Підрозділ 7.1.4.1. Кріогенні засоби для заморожування харчових продуктів, охолодження та контролю температури. [Розділ 7.1—Охолодження]. У R. Cachon, P. Girardon, & A. Voilley (Eds.), Gases in Agro-Food Processes (стор. 241–252). Академічна преса.
5. X. Shi, AKD, S. Mukherjee. (1999). Термічний руйнування біоматеріалу при швидкому заморожуванні. Journal of Thermal Stresses, 22(3), 275–292.
6. Кім Н.-К. та Хунг Ю.-К. (1994). Розтріскування заморожування харчових продуктів залежно від фізичних властивостей. Journal of Food Science, 59(3), 669–674.
7. Стандарти ISO. (2022, 7 червня). ISO 22000. Управління безпечністю харчових продуктів. ISO.
8. Cryogenic Freezing Process Optimization based on Desirability Function on the Path of Steepest Ascent (2012) R. Uporn, and P. Luangpaiboon
9. I.J. Jeong and K.J. Kim, “Stochastics and Statistics: An interactive desirability function method to multi response optimization,” European Journal of operation Research, Vol. 195, 2009, pp. 412-426.
10. Jenkins, W.; Tucker, M.E.; Grim, J. Routledge Handbook of Religion and Ecology; Routledge International Handbooks: London, UK, 2016;

11. Recent developments in freezing of fruits and vegetables: Striving for controlled ice nucleation and crystallization with enhanced freezing rates (2023) Yashmita Grover, Pradeep Singh Negi.
12. <https://research.usu.edu/ehs/chemical/liquid-nitrogen>.
13. Cryogenic Freezing Equipment: a Review. Kumar S. 2013
14. Effect of Cryogenic Freezing on Food: a Review. Kumar S. 2013
15. Outledge handbook of religion and ecology. Edited by Willis Jenkins, Mary Evelyn Tucker and John Grim. 2017
16. Innovative approaches in food processing: enhancing quality, preservation, and safety through advanced technologies: A review. Adam Salifou. Konfo Tétéde Rodrigue Christian. Alexandrine H Bokossa. Nicodème Chabi. 2023
17. Quality evaluation of foodstuffs frozen in a cryomechanical freezer. Journal of Food Engineering, 52(3), 257-263. 2002
18. An analysis on the impacts of cryogenic freezing on raspberry quality. : 293-301 O. Gales, J. Jones, N. Swarts. 2022.
19. Food Preservation by Freezing. Mohammad Shafiur Rahman and Jorge F. Velez-Ruiz. 635-660.
20. Modeling, Estimation and Control of Freezing and Thawing Processes. Christoph Josef Backi. 125-176. 2015.
21. Freezing Methods of Foods. Mohammad Shafiur Rahman. 684-685. 2020
22. Study of the dynamic characteristics of the food freezing process using a cryogenic immersion freezing tank. Xiao-Yan LI1, Xiao-Lin YANG , Ruo-Nan GAI , Qing-Xin DONG , Li LI. 2022.