

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Циганенко Володимир Миколайович

УДК 636.083

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ
ОХОЛОДЖЕННЯ МОЛОКА**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Циганенко В.М.

Керівник роботи

Міненко С.В.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Циганенко Володимир Миколайович. Удосконалення процесу охолодження молока. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В магістерській роботі розроблено пристрій для отримання крижаної води, який здійснює наморожування пластів льоду на поверхні випарника і забезпечує від'єднання їх від випарника, тим самим відбувається пошарове наморожування льоду і стабілізується теплообмінний процес між випарником і водою.

Отримано експериментальне підтвердження моделі процесу акумуляції льоду на плоскій стінці панельного випарника, що дає змогу визначити кількість теплоти під час пошарового наморожування льоду із застосуванням відтаювання намороженого пласта.

У результаті експериментальних досліджень розробленої конструкції генератора крижаної води з пошаровим наморожуванням льоду виокремлено основні фактори, що впливають на пошарове наморожування льоду в генераторі крижаної води, та в результаті багатофакторного експерименту визначили їхні оптимальні параметри: температура кипіння холодоагенту $t_u = -16,1^{\circ}\text{C}$; час наморожування $\tau_n = 265$ с; час розморожування намороженого крижаного пласта $\tau_o = 100$ с. У результаті проведення лабораторних випробувань встановлено, що пристрій дає змогу наморожувати лід у кількості більшій, ніж генератор крижаної води з випарником трубчастого типу, за рівний період наморожування, що свідчить про більшу ефективність і цей тип пристрою можна рекомендувати для промислової експлуатації.

Ключові слова: генератор, лід, заморожування, холодоагент, конструкція, випробування.

ANNOTATION

Tsyganenko Volodymyr Mykolayovych. Improvement of the milk cooling process. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the master's thesis, a device for producing ice water was developed that freezes ice layers on the evaporator surface and ensures their disconnection from the evaporator, thereby allowing layer-by-layer ice freezing and stabilising the heat exchange process between the evaporator and water.

Experimental confirmation of the model of the process of ice accumulation on the flat wall of the panel evaporator was obtained, which makes it possible to determine the amount of heat during layer-by-layer ice freezing using the thawing of the frozen layer.

As a result of experimental studies of the developed design of an ice water generator with layer-by-layer ice freezing, the main factors affecting layer-by-layer ice freezing in an ice water generator were identified, and their optimal parameters were determined as a result of a multifactorial experiment: refrigerant boiling point $t_u = -16.10\text{C}$; freezing time $\tau_n = 265\text{ s}$; defrosting time of the frozen ice layer $\tau_o = 100\text{ s}$. As a result of laboratory tests, it was found that the device allows freezing ice in an amount greater than that of an ice water generator with a tube-type evaporator for an equal period of freezing, which indicates greater efficiency and this type of device can be recommended for industrial operation.

Keywords: generator, ice, freezing, refrigerant, countercurrent, testing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОХОЛОДЖЕННЯ МОЛОКА.....	8
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ПОШАРОВОГО НАМОРОЖУВАННЯ ЛЬОДУ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	33
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В агропромисловому комплексі, в умовах ринкової економіки, з кожним днем зростає потреба в холодильному обладнанні, що поєднують якості надійності та ефективної роботи в умовах постійної експлуатації.

Наразі в сільському господарстві активно розвивається молочне тваринництво, будують сімейні ферми, фермери організовують сільськогосподарські споживчі переробні збутові кооперативи, будують міні-молочні заводи, це диктується дефіцитом споживання молока на душу населення загалом і зростанням актуальності здорового харчування та культури споживання молока загалом.

Поряд із молокозаводами зростає поголів'я ВРХ, збільшується кількість молока, яке важливо зберегти, правильно переробити та реалізувати в належні терміни.

Молоко – продукт швидкопсувний, внаслідок чого, виникає необхідність постійного вдосконалення пристроїв, для збереження його природних властивостей. Висока якість досягається дотриманням комплексу правил утримання, годівлі тварин, гігієни в період доїння та охолодженням у перші 2 години до температури 3...4°C.

Найефективніше охолодження молока відбувається в танках охолоджувачах, в установках миттєвого охолодження, із застосуванням теплообмінників. Вони мають низку переваг, таких як надійність, можливість харчового виконання, високий ККД, простота у виготовленні, простота у використанні.

Об'єкт дослідження – процес пошарового заморожування льоду в генераторі крижаної води панельного типу.

Предмет дослідження – охолодження молока з використанням системи миттєвого охолодження молока, що включає до складу генератор крижаної води з пошаровим наморожуванням льоду.

Гіпотеза. Полягає в тому, що вдосконаленням конструктивних параметрів генератора крижаної води можливо знизити витрати на охолодження молока.

Мета досліджень. Підвищення ефективності виробництва молочних продуктів за рахунок зниження енергетичних витрат на охолодження молока шляхом удосконалення конструктивних параметрів генератора крижаної води.

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні завдання:

- проаналізувати існуючі методи охолодження молока та конструкції генераторів крижаної води, випарників і пристроїв для наморожування льоду.;
- розробити конструкцію генератора крижаної води та визначити оптимальні параметри його роботи;
- дати технічну оцінку ефективності охолодження молока генератором крижаної води.

Методи наукового дослідження. Аналіз та узагальнення наявного досвіду, аналітичне моделювання та лабораторні методи на основі планування факторного експерименту з обробкою результатів на основі прикладної статистики з використанням програми MS Excel на ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Міненко С. В., **Циганенко В. М.** Експериментальна лабораторна установка пошарового наморожування льоду. Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2023. С. 215-219.

2. **Циганенко В. М.** Огляд конструкцій генераторів крижаної води. *Студентські читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених*

факультету інженерії та енергетики. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 95-98.

3. Міненко С. В., Циганенко В. М. Характеристика способів і технічних засобів охолодження молока. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для агропромислового комплексу представляє розроблена конструкція генератора крижаної води та визначені оптимальні параметри його роботи.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 49 сторінок комп'ютерного тексту, містить 34 рисунки і 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОХОЛОДЖЕННЯ МОЛОКА

Щоб забезпечити збереження молока згідно з вимогами ДСТУ розробляються різні методи охолодження молока. Існує багато способів охолодження молока. Майже всі способи ґрунтуються на тому, що молоко віддає тепло охолоджувальній рідині через стінку, яка їх розділяє, зазвичай до температури 4 °С [19].

Сучасні охолоджувачі можна класифікувати за такими основними ознаками [19]:

1. За характером зіткнення з навколишнім повітрям: відкриті зрошувальні та закриті проточні;
2. За профілем робочої поверхні: трубчасті та пластинчасті;
3. За числом секцій: односекційні, двосекційні та багатосекційні;
4. За конструкцією: однорядні та багаторядні;
5. За формою: плоскі та круглі;
6. За впливом, який спричинює просування продукту: під напором, із використанням вакууму або власної маси продукту;
7. За відносним напрямком руху середовищ, що теплообмінюються: прямооточні, протиточні та з перехресним рухом середовищ.

Об'єм ємності, продуктивність компресорно-конденсаторного агрегату, тип виконання холодильної установки залежать від поголів'я, технології утримання і типу доїння тварин. Утримання великої рогатої худоби розрізняють на прив'язне і безприв'язне. Нині розрізняють такі типи доїння [19]:

1. доїння в молокопровід для доїння в стійлах (лінійні доїльні установки (рис. 1);
2. доїльні зали при безприв'язному утриманні (рис. 1.2);
3. системи добровільного доїння роботом доярем;

4. доїння у відро, для доїння в стійлах, з використанням мобільних доїльних установок або вакуумних ліній і переносного доїльного апарату [19].

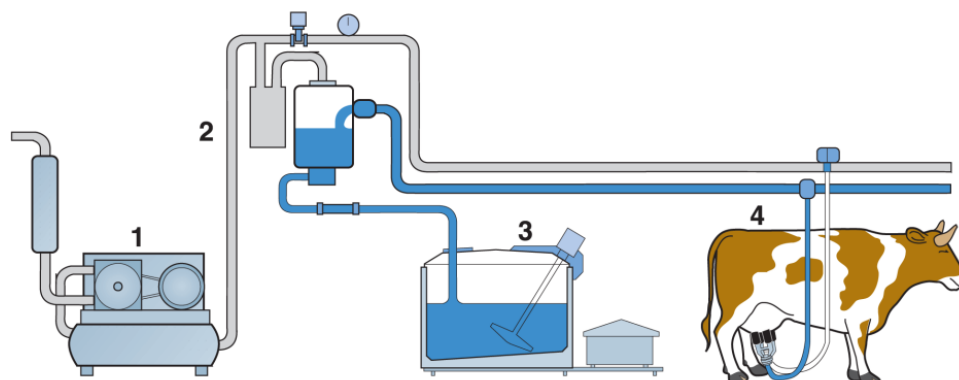


Рис. 1.1. Загальна схема системи доїння в молокопровід: 1 – вакуумний насос; 2 – вакуумний трубопровід; 3 – танк для охолодження молока; 4 – молокопровід [19].

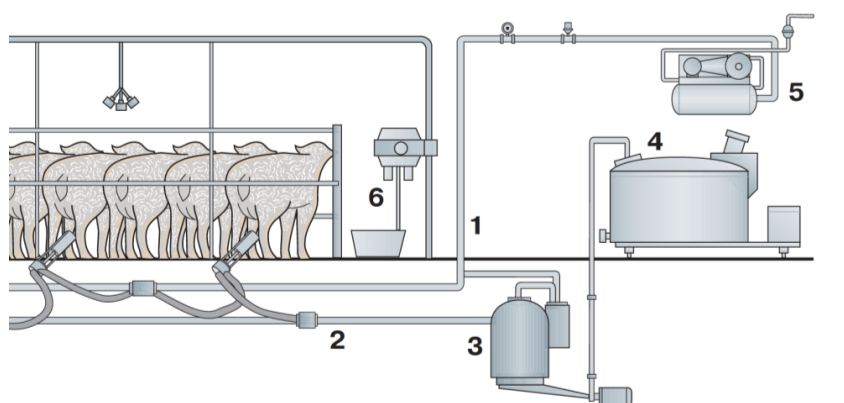


Рис. 1.2. Схема доїння в молокопровід доїльного залу за безприв'язного утримання великої рогатої худоби: 1 – молочний трубопровід; 2 – вакуумний трубопровід; 3 – молочна колба (молокоприймач); 4 – танк для зберігання й охолодження молока; 5 – вакуумний насос; 6 – автомат промивання доїльних апаратів [19].

На фермах, які постачають молоко на молочні заводи у флягах, застосовують форсуночні або заглибні охолоджувачі. У форсунковому охолоджувачі холодну воду, що циркулює, розпилюють на зовнішню поверхню фляг для підтримання молока в охолодженному стані [19].

Занурювальний же охолоджувач складається зі змішувача, що опускається у флягу. По ньому циркулює холодна вода, підтримуючи необхідну температуру молока [19].

При машинному доїнні молоко збирають у спеціальні резервуари.

Подібні резервуари випускаються різної ємності і забезпечуються вбудованим охолоджувальним обладнанням, що забезпечує охолодження молока до певної температури. Танки-охолоджувачі – технологічне обладнання молочних ферм, що забезпечує глибоке охолодження молока та його зберігання в охоложеному вигляді в умовах ферм, які підрозділяються на танки з автономною системою охолодження і безпосереднім охолодженням. Також танки охолоджувачі поділяються на відкритого (рис. 1.3) і закритого типу (рис. 4). Відкритого типу танки характеризуються меншими об'ємами ємності, відсутністю люка, наявністю відкидних кришок для доступу в ємність, відсутністю автономної системи промивання внутрішньої ємності [19].



Рис. 1.3. Танк охолоджувач відкритого типу [19].

Пристрій танків охолоджувачів, як закритого (рис. 1.4), так і відкритого типу, які охолоджують продукт фреоном, мають схожу будову. Танк охолоджувач складається з двох основних частин - фреонового холодильного агрегату і власне ємності з мішалкою. Ємність циліндричного типу виготовляють із харчової нержавіючої сталі, термоізововану, з нижнім розташуванням панельного випарника. Також охолоджувачі танки

виготовляють, залежно від виробничих завдань, горизонтального виконання і вертикального [19].

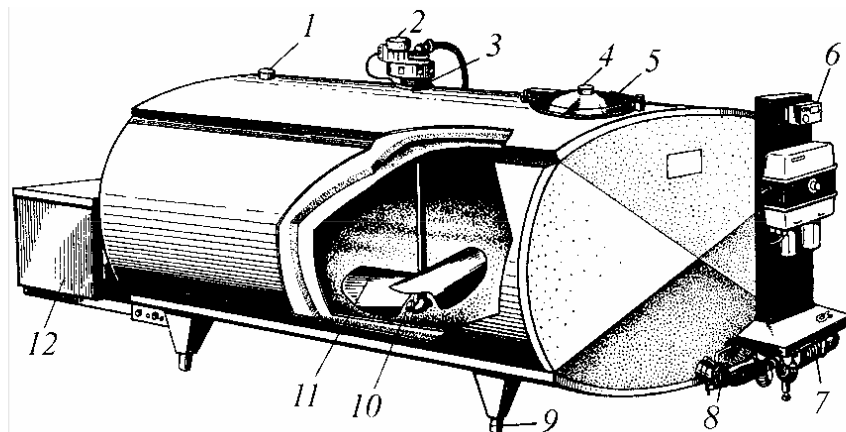


Рис. 1.4. Танк охолоджувач закритого типу фірми "Alfa-Laval" (Швеція): 1, 4 – горловини для заливання молока; 2 – двигун мішалки; 3 – вентиляційний отвір; 5 – кришка; 6 – блок керування; 7 – насос для подачі мийного розчину; 8 – зливний клапан; 9 – опори, регульовані за висотою; 10 – пристрій для миття резервуара; 11 – мішалка; 12 – холодильний агрегат [19].

Днище ємності виконано з ухилом у бік зливного крана. У верхній частині ванни укріплена перемичка, на якій змонтована спеціальна дволопатева мішалка з приводом, що складається з редуктора й електродвигуна. У танках закритого типу мішалка встановлена на зовнішній стороні ємності. Усередині ємності є мірна лінійка, пропущена через отвір у перемичці, для визначення кількості молока. Ванна оточена зовнішнім звареним корпусом із термоізоляцією, вкритою захисним кожухом із листової нержавіючої сталі. На дні ємності випарник, з'єднаний із компресорним агрегатом мідними трубками. Принципову схему танка охолоджувача представлено на рис. 1.5 [19].

Також на тваринницьких комплексах використовуються резервуари охолоджувачі (ванни), які випускалися вітчизняною промисловістю наприкінці ХХ століття, аналогічні сучасним танкам охолоджувачам. Резервуар-охолоджувач із безпосереднім охолодженням РНО-2,5, що поставляється комплектно, містить резервуар 1 (рис. 1.6) зі змонтованою на одній із його панелей шафою керування 7, насос для відкачування молока і фільтр.

Резервуар виготовлено з листової антикорозійної сталі, він складається з внутрішньої і зовнішньої ванн, мішалки 5 з мотор-редуктором 2, зливного крана 6, мірної лінійки, блокувального пристрою і термометра. Простір між ваннами заповнений теплоізоляційним матеріалом. Зверху резервуар закритий кришками 3. Температура охолодженого молока підтримується автоматично за заданою програмою термометричним приладом, що подає сигнал на вимкнення холодильної установки. Також автоматично забезпечується управління процесами перемішування молока [19].

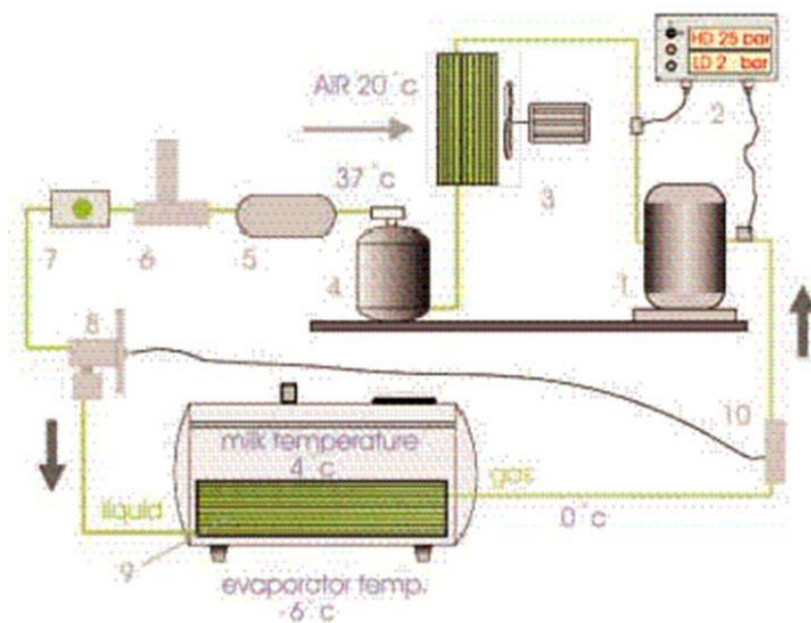


Рис. 1.5. Принципова схема танка охолоджувача з охолодженням молока фреоном: 1 – компресор; 2 – реле тиску; 3 – конденсатор; 4 – ресивер; 5 – фільтр-осушувач; 6 – електромагнітний клапан; 7 – оглядове вікно; 8 – ТРВ (терморегулювальний вентиль); 9 – випарник; 10 – термобалон [19].

Танки-термоси (рис. 7) на відміну від танків-охолоджувачів не мають водяних сорочок, що забезпечують циркуляцію охолоджувальної рідини. Вони мають тільки термоізоляцію, що забезпечує зберігання в них охолодженого продукту [19].

Циліндрична посудина складається з внутрішнього корпусу і зовнішнього – виготовлені з листової харчової нержавіючої сталі. Простір між корпусами

заповнений термоізоляційним матеріалом. У верхній частині резервуара розташовані мийний пристрій (насос відцентровий, або лопатева мішалка), датчик верхнього рівня, повітряний клапан і оглядове вікно. У нижній частині резервуара є перемішувальний пристрій, датчик нижнього рівня молока, опори. Резервуар наповнюється і звільняється через нижній патрубок. Перемішувальний пристрій вмикається автоматично або вручну через кожні 4 год. Після інтенсивного перемішування протягом 15 хв різниця жирності молока в різних точках резервуару становить не більше ніж 0,1 % [19].

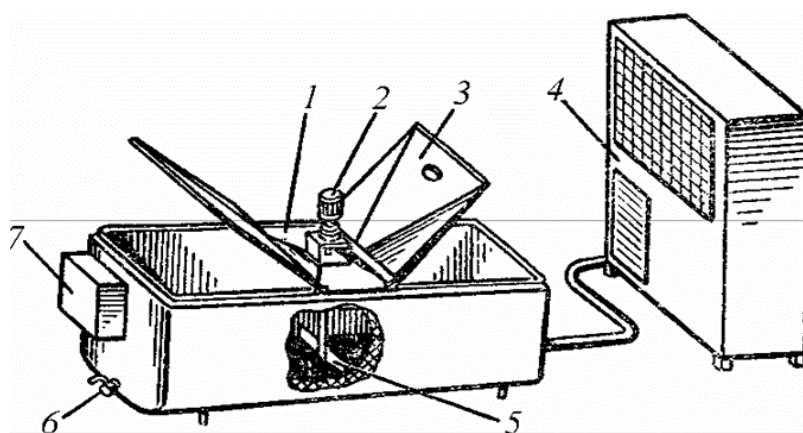


Рис. 1.6. Резервуар-охолоджувач із безпосереднім охолодженням РНО-2,5: 1 – резервуар, 2- мотор-редуктор, 3 – кришки, 4 – компресорно-конденсаторний агрегат, 5 – мішалка, 6 – зливний пристрій, 7 – шафа управління [19].

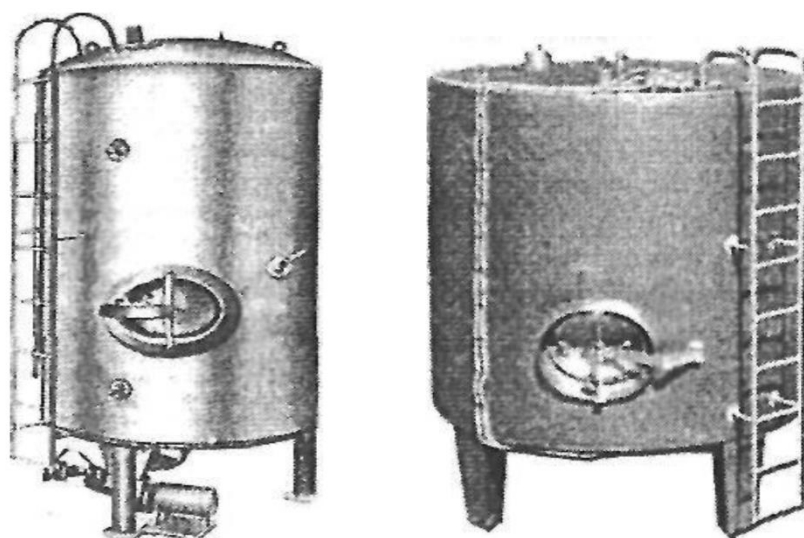


Рис. 1.7. Танки-термоси вертикального типу [19].

Поряд із танками-охолоджувачами застосовують установки миттєвого охолодження (рис. 1.8), які містять у собі генератор крижаної води, відцентровий насос, фільтр і теплообмінник [19].

Принцип дії ґрунтується на акумуляції холоду – генератори крижаної води, в них отримують суміш холодної води і льоду з температурою $0,5...1$ °С. За наявності суміші льоду і холодної води, її використовують для миттєвого охолодження, через теплообмінники [19].

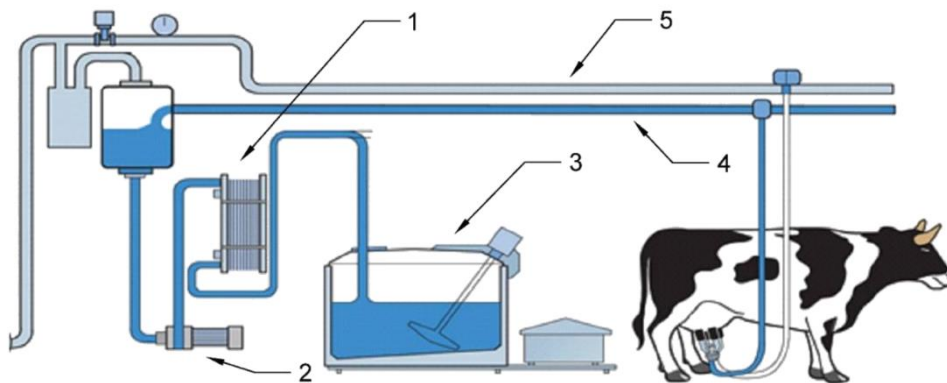


Рис. 1.8. Система миттєвого охолодження молока в потоці, в період доїння в молокопровід, через пластинчастий теплообмінник: 1 – пластинчастий теплообмінник, 2 – циркуляційний насос, 3 – ємність для зберігання охолодженого молока, 4 – молокопровід, 5 – вакуумпровід [19].

У цьому разі тепло переходить від молока до охолоджувального середовища через проточні тонкошарові пластинчасті охолоджувачі (рис. 1.9) [19].

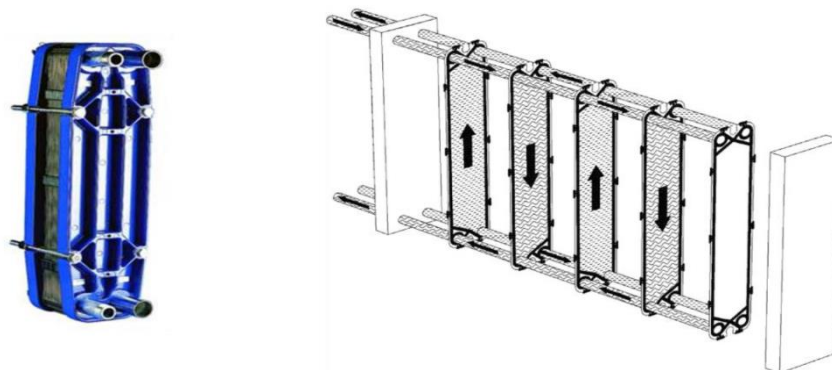


Рис. 1.9. Пластинчастий теплообмінник [19].

Температура молока знижується до необхідного рівня, а температура охолоджувального середовища відповідно зростає. Інтенсивність охолодження залежить від кількості льоду в генераторі крижаної води [19].

Також застосовують системи миттєвого охолодження Yukon Sner, які призначені для охолодження молока з температури 32°C до 4°C (рис. 1.10). Система має два контури передачі тепла [19].

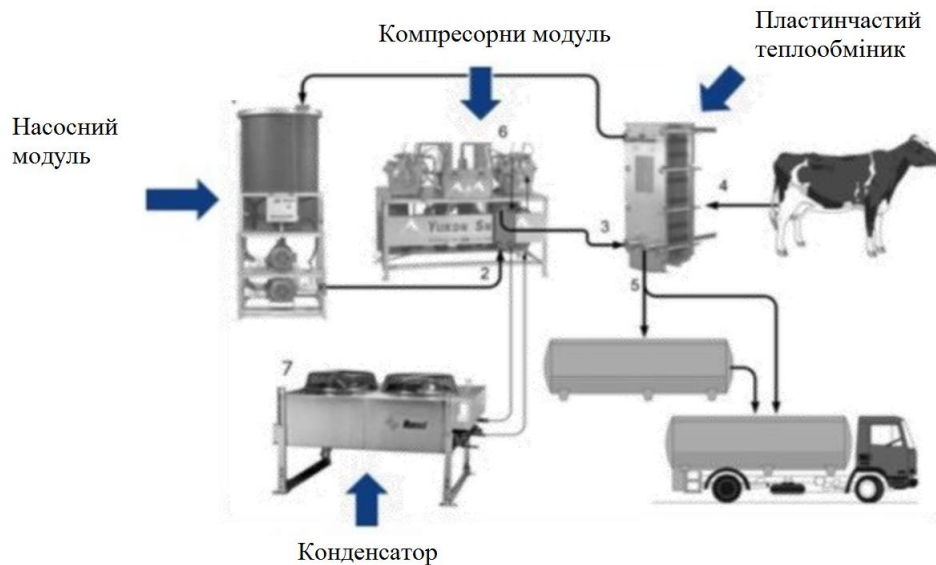


Рис. 1.10. Система миттєвого охолодження з використанням чилера (Yukon Sner) [19].

Насосна станція з двома живильними насосами крижаної води, що служить для перевірки наявності, додавання, видалення і подачі водно-гліколевої суміші на випарник. Під час приготування такої суміші пропорція вода-пропіленгліколь становить 50:50. Пропіленгліколь не є отруйною речовиною. За такого співвідношення рідин точка замерзання розчину буде - 12°C. Насосний модуль (1) прокачує холодоагент між паяним теплообмінником (2) і пластинчастим теплообмінником (3) і повертає його до резервуару, що розташовується в насосному модулі. Один або два компресори (6) прокачують холодоагент між паяними теплообмінниками випарників (2) і конденсаторами (7). Кожен компресор має окремий випарник і конденсатор. Тепле молоко надходить у пластинчастий теплообмінник (4), який швидко охолоджує його до 3°C (38°F).

Охолоджене молоко (5) спрямовується в резервуар-сховище великого об'єму або безпосередньо в автомобільну цистерну. Такі системи охолодження мають високу енергоефективність, використовуються на великих тваринницьких комплексах, і мають дуже високу вартість порівняно з використанням генератора крижаної води [19].

Відомі установки акумулювання природного холоду. Принцип дії їх заснований на наморозуванні льоду в теплоізолюваному льодосховищі, у період від'ємних температур, у кількості, необхідній, цілорічній для охолодження молока. На рис. 1.11 зображено установку акумулювання природного холоду. Наморожування льоду здійснюється шляхом подачі водопровідної води до резервуару, в якому відбувається акумуляція льоду, за рахунок циркулювання холодоносія, що охолоджується за від'ємних температур у мобільній градирні [19].

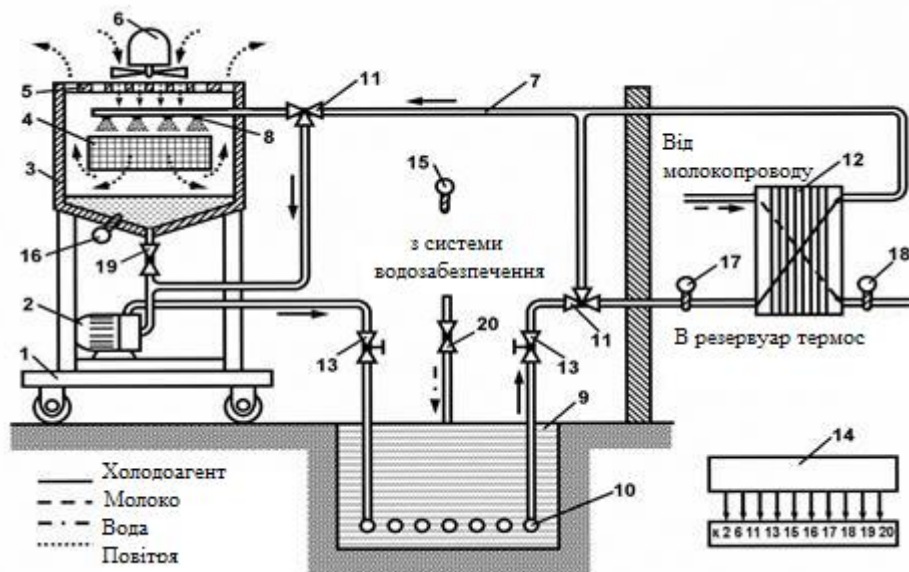


Рис. 1.11. Установка акумулювання природного холоду: 1 – мобільна градирня, 2 – насос холодоносія, 3 – ємність для холодоносія, 4 – зрошувач, 5 – краплеловлювач, 6 – вентилятор, 7 – напірні шланги з холодоносієм, 8 – розпилювальна труба з форсунками, 9 – акумулювальний резервуар, 10 – пластикові трубки з холодоносієм, 11, 13, 19, 20 – регулювальні вентиля, 12 – проточний теплообмінник, 14 – блок керування, 15 – температурний датчик зовнішнього повітря, 16, 17 – холодоносій, 18 – молоко [19].

Також розроблено установку пошарового наморожування льоду в системах миттєвого охолодження молока з використанням природного холоду.

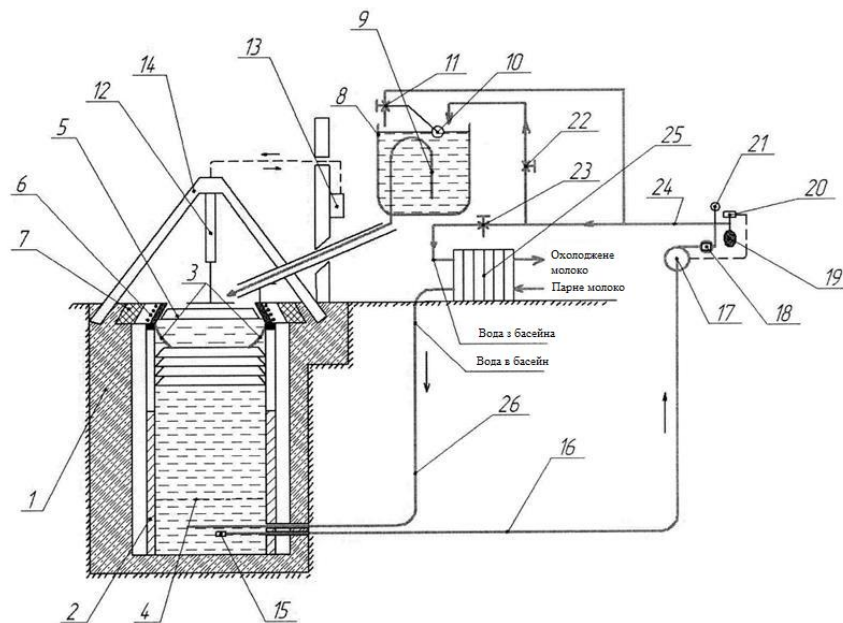


Рис. 1.12. Установка для пошарового наморожування та використання природного льоду під час охолодження молока: 1 – льодосховище, 2 – стійки-швелери, 3 – фіксатор крижаних пластів, 4 – обмежувальна решітка, 5 – горловина, 6 – саморегульовальна нагрівальна стрічка, 7 – теплоізоляційний шар, 8 – сифонний бак-дозатор, 9 – сифон, 10 – поплавочний пристрій, 11 – кран, 12 – гідроциліндр, 13 – гідро розподільник, 14 – дугоподібна опора, 15 – зворотний клапан, 16 – всмоктувальна труба, 17 – насос, 18 – лічильник витрати води, 19 – гідроакумулятор, 20 – реле тиску, 21 – манометр, 22 – видатковий кран, 23 – триходовий кран, 24 – напірна магістраль, 25 – теплообмінник-охолоджувач, 26 – поворотний трубопровід [19].

Установка містить теплоізований резервуар, у навколдонній частині встановлено обмежувальну решітку для обмеження кількості наморожених шарів льоду, вгорі встановлено горловину, на стінках якої наклеєно саморегульовальну термострічку для відтавання намороженого шару льоду від стінок горловини, зверху встановлено гідравлічний механізм, що забезпечує переміщення намороженого шару льоду всередину льодосховища. Наморожування відбувається циклічно, на утворений тонкий шар льоду подають

порцію води через сифон, і шар поступово доводять до встановленої величини, далі його занурюють гідравлічним механізмом у льодосховище. Згенерованим холодом, за допомогою водопровідної системи, через пластинчастий охолоджувач охолоджується молоко [19].

Розглянувши пристрої для охолодження молока, робимо висновок, що для найкращого збереження базових властивостей молока, зниження росту бактерій, стабілізації кислотності, доцільніше використовувати системи з миттєвим охолодженням молока, до складу яких входить: чиллер або генератор крижаної води, або установки з природним акумулюванням льоду; термоізолювана ємність для зберігання охолодженого молока; пластинчастий теплообмінник.

Для реалізації систем миттєвого охолодження, для малих фермерських господарств, актуально використовувати в складі установки генератор крижаної води з відцентровим насосом і пластинчастим теплообмінником замість чиллера, це зумовлено високою вартістю останнього, високою вартістю обслуговування й ремонту, при використанні установок акумулювання природного холоду, недоліком є висока вартість капітальних споруд сховища льоду. Генератор крижаної води має бути енергоефективним, забезпечувати високу швидкість наморожування льоду, повністю забезпечувати холодом виробництво, навіть за триразового доїння тварин [19].

Відомий генератор крижаної води, який містить прямокутний теплоізолюваний резервуар, компресорно-конденсаторний агрегат із магнітним пускачем і розподілений по всьому об'єму резервуара випарником, а також датчиком товщини наморожування льоду, подільником потоку рідкого хладону та спільним всмоктувальним колектором хладонової пари (рисунок 1.13). Причому датчик товщини наморожування льоду пов'язаний з магнітним пускачем компресорно-конденсаторного агрегату (ККА), а випарник ГЛВ виконано у вигляді прямокутних щілинних панелей, розташованих рівномірно вертикально усередині резервуара в загальному каркасі і виконаних шовним зварюванням, з нижнім інжектором, верхнім колектором, а також розворотною

порожниною, отриманими методом "здуття", причому вихід ККА через дільник потоку сполучено з нижнім інжектором кожної панелі, а вхід ККА - з верхнім колектором кожної панелі [18].

Недоліком цього генератора крижаної води є низька ефективність наморозування льоду, зважаючи на погіршення теплопередачі зі зростанням товщини крижаного шару [18].

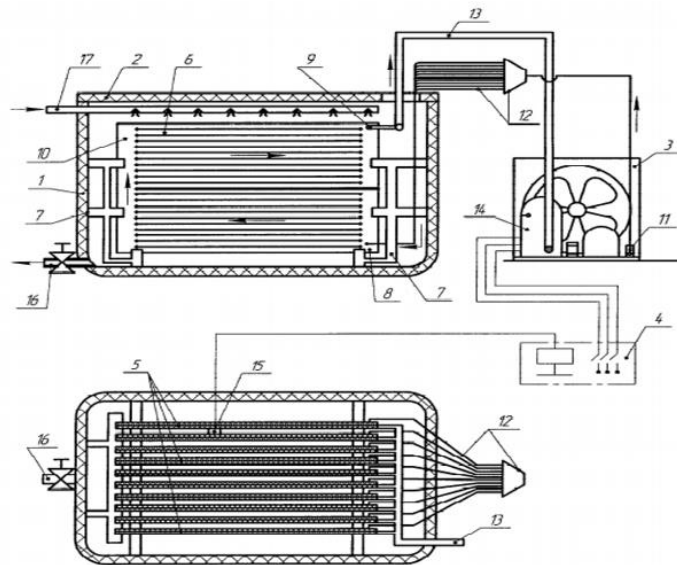


Рис. 1.13. Генератор крижаної води з вертикальним розташуванням панельних випарників [18].

Коли крижана вода необхідна протягом 10-12 годин і більше, бажано використовувати генератор крижаної води, що має постійну продуктивність, завод FIC spa виробляє чиллер RED з вертикальними панелями. Ця установка являє собою ізотермічний бак з оцинкованої або нержавіючої сталі (AISI 304) з герметичними кришками, усередині якого розміщена теплообмінна батарея Trarsold з нержавіючої сталі. По контуру батареї проходить холодоагент (фреон, гліколь або аміак), який охолоджує поверхні її плит. Вода, що надходить у бак чилера, безпосередньо контактує з теплообмінною поверхнею батареї та охолоджується до необхідної температури (зазвичай близько 0°C). Ефективність і швидкість теплообміну забезпечуються спеціальною системою повітряного перемішування, що складається з повітряного активатора і, спеціальним чином розташованої під теплообмінною батареєю, траси перфорованих

повітропровідних труб. Крім того, батарея Trapcold® забезпечує максимальний ККД за рахунок ефективного розподілу холодоагенту і повного занурення у воду (рис. 1.14) [18].



Рис. 1.14. Чилер RED з вертикальними панелями [18].

Відомий спосіб отримання льоду циклічним методом. Під час реалізації способу здійснюють контакт холодоагенту за від'ємної температури із системою льодоутворення. Система льодоутворення являє собою еластичну мембрану, одна поверхня якої торкається холодоагенту, а інша поверхня стикається з водою. Періодично в міру наростання льоду на поверхні мембрани змінюють тиск на мембрану з одного зі боків із мимовільним відокремленням льоду від мембрани з подальшим видаленням льоду, що відокремився [18].

Недоліком відомого пристрою є складність конструкції та невисока надійність мембран [18].

Також промисловістю випускаються льодогенератори з випарником трубчастого типу (рис. 1.15), які найбільш поширені в народному господарстві. Вони складаються з компресорно-конденсаторного агрегату, ємності під воду, в якій розташований трубчастий теплообмінник (випарник). У процесі наморозування на трубках утворюється лід по всьому контуру випарника і накопичується до спрацьовування електродного датчика льоду [18].

Недоліком цього генератора крижаної води є низька ефективність наморозування льоду, зважаючи на погіршення теплопередачі зі зростанням товщини крижаного шару [18].



Рис. 1.15. Генератор крижаної води з випарником трубчастого типу ГЛВ2000 [18].

Зарубіжний аналог генератора крижаної води з випарником трубчастого типу, вироблений фірмою EVEREST (рис. 1.16). Переваги даного генератора крижаної води, які заявляє виробник: 1 – знижене енергоспоживання і надійна теплоізоляція мінімальної товщини, виконана з екологічно безпечного матеріалу; 2 – висока енергоефективність, як порівняти з чилерами прямого охолодження, що досягається завдяки використанню малопотужної компресорної техніки; 3 – наявність моноблокових моделей для швидкого й практично безвитратного монтажу; 4 – наявність моделей малої продуктивності серії MicroEverest з льодоакумулювальною здатністю менш як 40 кВт*год; 5 – виконання як з високоякісної оцинкованої так і з нержавіючої сталі; 6 – особлива геометрія змійовикових секцій, що дає змогу акумулювати максимальну кількість льоду в мінімальному об'ємі; 7 – високоефективна система повітряного перемішування для швидкого танення льоду; 8 – зручний і простий у використанні контролер товщини льоду; 9 – двопозиційний, з можливістю акумуляції 100% і 85% від номіналу; 10 – можливість придбання льодоакумуляторів як з холодильним агрегатом (фреонова версія) так і без нього; 11 – наявність версій льодоакумуляторів, які працюють на гліколі та аміаку; 12 – маркування CE відповідно до норм PED 97/23/CE [18].



Рис. 1.16. Генератор крижаної води з випарником трубчастого типу фірми EVEREST [18].

До плюсів генераторів крижаної води можна зарахувати малу потужність холодильного компресора, можливість використання пристрою вночі, для наморозування льоду, в період дії низьких нічних тарифів на електрику [18].

Висновки по розділу

Провівши аналіз наявних конструкцій генераторів крижаної води та принципів льодагенерації в них, ми встановили перспективні напрямки дослідження [18]:

- процес одержання льоду з можливістю його відокремлення з поверхні випарника, забезпечивши стабільний теплообмін між водою та випарником, що дасть змогу надалі підвищити швидкість і ефективність наморозування льоду [18];
- зниження металоємності та вартості конструкції генератора крижаної води [18];
- підвищення надійності апарату завдяки стабілізації температури кипіння і повного википання холодоагенту у випарнику, що убезпечить ймовірність виникнення гідравлічного удару в компресорі через потрапляння холодоагенту в рідкому вигляді [18].

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ПОШАРОВОГО НАМОРОЖУВАННЯ ЛЬОДУ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою забезпечення ефективного льодоутворення наше дослідження було спрямоване на розробку пристрою наморозування льоду з можливістю від'єднання льоду від поверхні випарника в період заморозування [17].

Для перевірки висунутих гіпотез щодо обґрунтування пошарового наморозування льоду нами розроблено та виготовлено експериментальну установку (рис. 2.1...2.4), що дає змогу проводити дослідження в широкому діапазоні факторів. Генератор крижаної води патент принципово відрізняється від тих, що серійно випускаються, відсутністю панелей і трубок випарника в ємності [17].

Відповідно з'являється можливість набрати більший об'єм води, спрощується процес очищення внутрішніх поверхонь ємності під час технічного обслуговування, збільшується швидкість наморозування льоду завдяки застосуванню поперемінного режиму наморозування та розморозування крижаного пласта [17].

Лід у пластах, а не у вигляді моноліту, забезпечує більшу площу теплообміну з теплоносієм, внаслідок чого стає можливим збільшити швидкість охолодження продукту в пікові теплові навантаження [17].

Виготовлення генератора крижаної води пошарового наморозування льоду і його випробування на кафедрі дали змогу зробити висновок про те, що завдяки ефективній роботі цього пристрою ми змогли досягти найменших витрат часу та більшої енергоефективності процесу наморозування льоду порівняно з аналогічними пристроями. Технічний результат, на досягнення якого спрямований цей генератор крижаної води, полягає в отриманні можливості прискорення процесу отримання льоду, використовуючи поперемінний режим

наморожування і від'єднання льоду від охолоджуваної поверхні, а також утворення льоду у вигляді пластин [17].

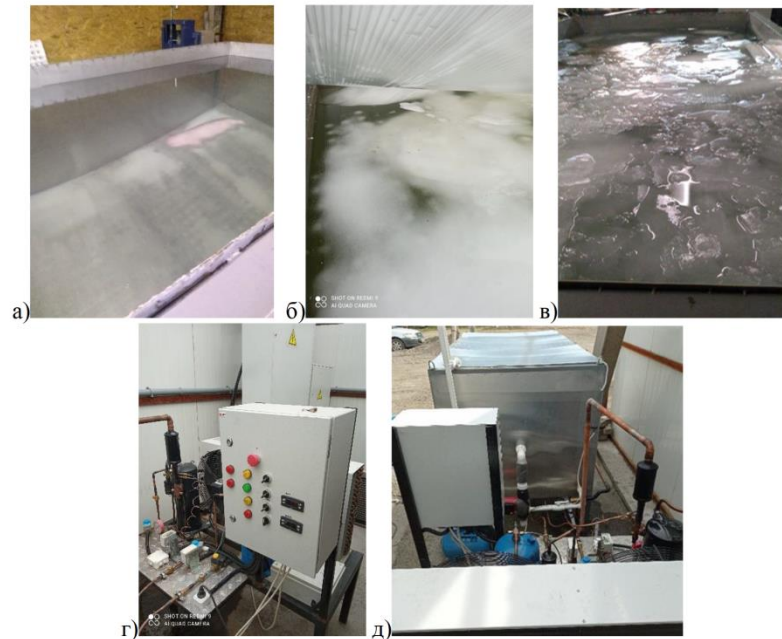


Рис. 2.1. Ємність генератора крижаної води у момент наморожування льоду: а) початок режиму наморожування, б), в) наморожені шари криги, г) компресорно-конденсаторний агрегат та автоматичний блок управління з індикацією температури крижаної води $0,6^{\circ}\text{C}$, д) загальний вигляд установки [17].

Поставлене завдання розв'язується тим, що в пристрої, який містить блок управління, компресорно-конденсаторний агрегат, циркуляційний насос і теплоізовану місткість, що складається з панельних випарників, відбувається процес охолодження води до температури 4°C , а потім відбувається наморожування льоду, яке поперемінно чергується з відтаюванням (від'єднанням) льоду від поверхні панельного випарника, використовуючи гарячий газ, який не конденсується. Ми отримуємо пластинчастий лід і забезпечуємо стабільний теплообмін між випарником і водою [17].

Загальний вигляд установки представлений на рис. 2.2. Компресорно-конденсаторний агрегат з'єднаний з випарниками через два колектори, всмоктувальний і нагнітальний, за допомогою мідних труб, що утворюють лінію нагнітання 12 і лінію всмоктування [17].

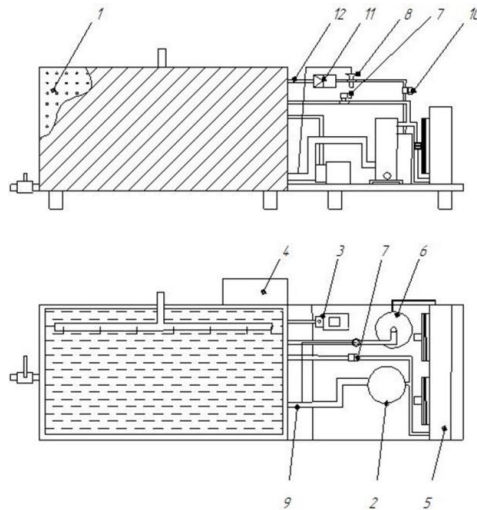


Рис. 2.2. Загальний вигляд установки пошарового наморозування льоду. 1 – панельний випарник (вертикальний), 2 – холодильний компресор, 3 – циркуляційний насос, 4 – блок керування, 5 – конденсатор, 6 – ресивер, 7 – соленоїдний клапан подачі гарячих парів несконденсованого холодоагенту, 8 – терморегулювальний вентиль, 9 – лінія всмоктування, 10 – соленоїдний клапан подачі сконденсованого холодоагенту, 11 – зворотний клапан, 12 – лінія нагнітання [17].

Пристрій дає змогу отримати суміш крижаної води і пластинчастого льоду в кубічній ємності за допомогою охолодження холодоагентом води через панельний випарник менш енерговитратно, як порівняти з традиційним генератором крижаної води з випарником трубчастого типу [17].

Пристрій складається з теплоізолюваної ємності, стінки якої складаються з панельних випарників (випарників), спаяних між собою мідними трубами, зовнішньої обшивки з листового пофарбованого металу, теплоізоляції з пінополістиролу завтовшки 50 мм і кришки. Ємність встановлена на рамі зі сталеві профільної труби 40×60 рис. 2.3 [17].



Рис. 2.3. Ємність генератора крижаної води в зборі [17].

Також на рамі встановлений компресорно-конденсаторний агрегат (рис. 4), що складається зі спірального компресора 2, конденсатора 3, ресивера 5, запобіжні реле 6, які забезпечують захист від підвищеного тиску та від зниженого, щоб не допустити вакуумування. Також встановлено соленоїдні клапани 7, 8, які подають сконденсований холодоагент у випарники, соленоїдний клапан 9, що подає гарячі пари несконденсованого холодоагенту. На лінії всмоктування встановлено антикислотний фільтр, що забезпечує захист обмоток електродвигуна компресора від продуктів окислення компресорного масла. Усі вузли компресорно-конденсаторного агрегату, якими циркулює холодоагент, спаяні між собою мідними трубами із запірною арматурою (електромагнітні клапани, запірні крани типу Rota lock) [17].



Рис. 2.4. Компресорно-конденсаторний агрегат. 1 – суцільнозварна рама, 2 – холодильний компресор спірального типу, 3 – конденсатор, 4 – блок керування, 5 – ресивер, 6 – запобіжне реле, 7,8 – соленоїдні клапани подачі сконденсованого холодоагента, 9 – соленоїдний клапан подачі гарячого газу, 10 – антикислотний фільтр, на лінії всмоктування [17].

На лінії нагнітання 12 встановлено терморегулювальні вентиля (ТРВ) на бічні панельні випарники і на нижній панельний випарник окремо. Також на лінії нагнітання встановлено електромагнітні клапани 7,10. Для повноцінного перемішування води в період охолодження передбачено циркуляційний насос 3. Усі електричні вузли з'єднані електропроводами, і управління пристроєм здійснюється через електронний блок управління [17].

У пристрої для здійснення процесу отримання льоду використовується електронний блок керування (рис. 2.6), розроблений нами, що забезпечує

контроль і керування за всіма процесами протягом технологічного циклу. Він забезпечує контроль параметрів безпеки (контроль тиску в контурі всмоктування, контроль тиску в контурі всмоктування, контроль тиску в контурі всмоктування) нагнітання, струм перевантаження роботи компресора, перекіс фаз напруги живлення, нижній і верхній рівень напруги живлення). напруги, нижній і верхній рівень напруги живлення).

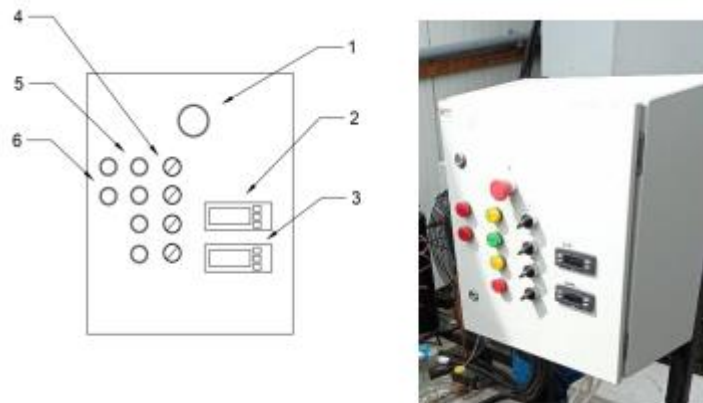


Рис. 2.5 - Електронний блок керування: 1 - кнопка аварійної зупинки агрегату, 2 – температурний контролер роботи в режимі охолодження, 3 – температурний контролер роботи в режимі заморожування, 4 – кнопки ввімкнення агрегату, 5 – лампи індикації стану в робочому режимі, 6 – лампи аварійної сигналізації.

Блок керування складається з вступних автоматичних вимикачів, електромагнітних пускачів, теплових реле, з'єднувальних колодок, двоканального імпульсного реле, реле контролю перекосу фаз і контролю нижнього й верхнього рівня напруги, температурних контролерів, ламп індикації стану підконтрольних параметрів, двопозиційних вимикачів. Блок керування приймає інформацію з реле тиску високого і низького рівня, реле контролю тиску конденсації, також керує електромагнітними клапанами, які забезпечують подачу холодоагенту у випарники залежно від режиму роботи пристрою.

Під час запуску генератора крижаної води необхідно повернути поворотний вимикач "Мережа" в положення увімкнено, водночас керувальний сигнал подається на контакти живлення і контакти реле контролю фаз, якщо параметри електричної мережі (рівень напруги) відповідають встановленим, то

після закінчення часу витримки контакти реле замкнуться і перейдуть у нормальний робочий режим і живлення піде на цифрові температурні контролери 2 і 3, які керують режимами охолодження і наморозування. Якщо температура води перевищує 4°C , то генератор перейде в режим охолодження, при цьому від температурного контролера 2 живлення піде на котушку електромагнітного пускача циркуляційного насоса і після цього насос запуститься, тим самим забезпечить перемішування води в ємності. Також керуюче живлення надійде на контакти контролера 3, який через контакти керуючого реле, контакти запобіжних реле низького і високого тиску в холодильному контурі, теплове реле, подасть живлення на котушку електромагнітного пускача холодильного компресора, тим самим контакти пускача зімкнуться і холодильний компресор запуститься. Паралельно котушці електромагнітного пускача холодильного компресора, живлення надійде на котушки електромагнітних клапанів вертикального і горизонтального випарників.

Під час роботи пристрою з пошаровим наморозуванням льоду технологічний процес складається з двох етапів:

1. охолодження. У період охолодження необхідно досягти максимально можливий теплоснімання охолоджувальними панельними випарниками від рідини у температурному діапазоні від $+30^{\circ}\text{C}$ до $+4^{\circ}\text{C}$. Для цього запускається холодильний компресор, який подає під тиском рідкий холодоагент через терморегулювальний вентиль у панельні випарники, які виготовлені точковим зварюванням двох листів із нержавіючої сталі, що мають внутрішні порожнини й отриманих методом здуття. Вони і є стінками ємності. Холодоагент, киплячи, відбирає тепло, через стінки випарників від рідини. Під час охолодження рідина в ємності інтенсивно перемішується циркуляційним насосом до досягнення температури $+4^{\circ}\text{C}$. Під час охолодження використовуються нижній випарник і бічні випарники.

2. Наморожування. Цей режим протікає в температурному діапазоні від $+4^{\circ}\text{C}$ до $+0,6^{\circ}\text{C}$. Після досягнення температури $+4^{\circ}\text{C}$ циркуляційний насос вимикається, закривається електромагнітний клапан 12, перекриваючи подачу холодоагенту на бічні панельні випарники, і система переходить у режим наморожування льоду (за $+4^{\circ}\text{C}$ і нижче утворені пласти льоду менш схильні до розморожування). Бічні панельні випарники в наморожуванні льоду участі не беруть. Цей режим складається з двох циклів: перший цикл - наморожування льоду на нижньому випарнику завтовшки не більше ніж 5 мм, це зумовлено зниженням тепловіддачі зі збільшенням товщини крижаного пласта; другий цикл - відділення намороженого шару льоду від поверхні цього випарника за допомогою короткочасної подачі теплих парів. Таким чином, у процесі роботи ємність рівномірно наповнюється тонкими пластами льоду, утворюється суміш води з льодом, яка використовується для охолодження продукції.

Температура в ємності контролюється двома температурними контролерами Eliwell 961, встановленими в пульті керування, коректність їхніх температурних значень перевіряли електронним термометром ВС ТЗ (рис. 2.6)



Рис. 2.6. Електронний термометр ВС ТЗ.

Результатом роботи пристрою є отримання суміші води з льодом, яка, в подальшому, використовується у виробничих цілях. Цей спосіб отримання льоду проходить інтенсивно і є менш енерговитратним порівняно з традиційними.

Функціональна схема циклу наморожування льоду зображена на рисунку 2.7.

Цикл наморозування складається з процесів наморозування льоду на поверхні випарника та його від'єднання. Компресор 2 перекачує пари холодоагенту, стискаючи їх, і вони конденсуються в рідину в конденсаторі 3.

Рідкий холодоагент надходить через електромагнітний клапан 5, дроселюється через терморегулювальний вентиль 7 (далі за текстом TRV), проходить через зворотний клапан 6, по лінії нагнітання 10 потрапляє в панельний випарник. Електромагнітний клапан 4 закритий, холодоагент кипить, відбираючи тепло від води у ємності через стінку панельного випарника. Пари холодоагенту по лінії 8 надходять у компресор.

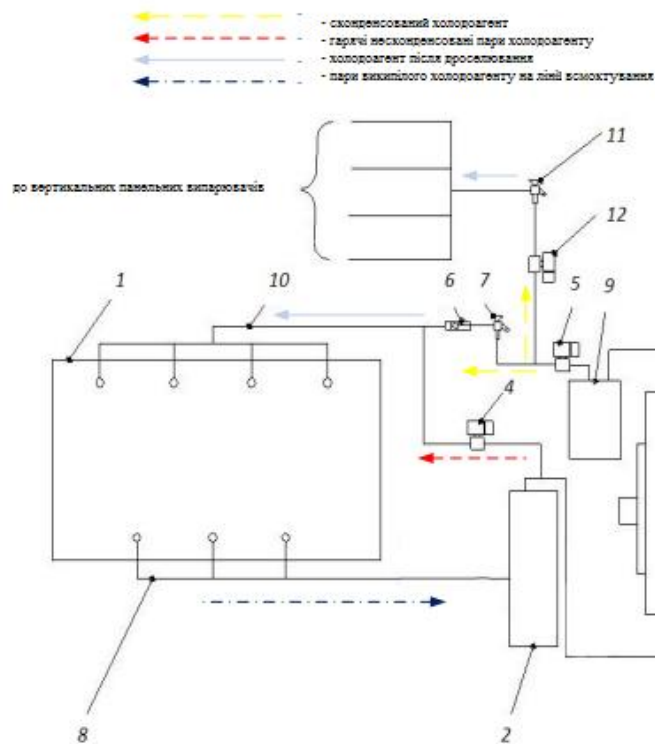


Рис. 2.7. Функціональна схема циклу наморозування льоду: 1 – панельний випарник (випарник), 2 – компресор, 3 – конденсатор, 4 – клапан соленоїдний гарячого газу, 5,12 – клапан соленоїдний сконденсованого холодоагенту, 6 – зворотний клапан, 7,11 – терморегулювальний вентиль, 8 – лінія всмоктування, 9 – ресивер, 10 – лінія нагнітання.

Відбувається наморозування шару льоду, який не повинен перевищувати товщину понад 5 мм. Далі, після наморозування льоду, електромагнітний клапан 5 закривається, при цьому вимикається живлення вентилятора

конденсатора 3, пари холодоагенту відкачуються з панелі, потім відкривається електромагнітний клапан 4, і гарячий газ надходить у панельний випарник. Зворотний клапан 6 не дає надходити гарячому газу в ТРВ, оберігаючи його від виходу з ладу.

Гарячий газ, заповнивши внутрішні порожнини панельного випарника, підвищує його температуру і сприяє утворенню тонкого прошарку води між поверхнею випарника і льодом, тому що щільність льоду нижча, ніж щільність води, лід відділяється від випарника і спливає на поверхню резервуара.

Після цього електромагнітний клапан 4 закривається, сконденсований гарячий газ відкачується з випарника і потрапляє в компресор, при цьому вентилятор конденсатора 4 запускається. Після відкачування парів гарячого газу відкривається електромагнітний клапан 5, і починається процес наморожування наступного шару льоду. Ось таким чином відбувається робочий цикл цього генератора крижаної води.

Застосувавши пошарове наморожування, ми домоглися оптимального теплообміну між стінками випарника і водою, знизили енергоспоживання установки в цілому. Установка за менший час наморожує необхідну кількість льоду порівняно з традиційними генераторами крижаної води. У процесі наморожування ми забезпечили стабільність температури кипіння парів холодоагенту у випарнику, що позитивно позначається на стабільності роботи і надійності компресора. Періодично відокремлюючи лід з поверхні випарника, ми виключаємо теплоізоляційні властивості льоду, що підвищує тепловіддачу. Більш повноцінний теплообмін між водою і випарником в одиницю часу сприяє наморожуванню більшої кількості льоду, в результаті отримуємо більшу енерговіддачу від компресора.

Після вивчення процесу наморожування льоду на плоскій стінці, теоретичних досліджень процесу теплопередачі від киплячих парів холодоагенту через стінку панельного випарника до води, дослідження часових інтервалів наморожування шару льоду і його відтаювання від поверхні випарника, виникає

розуміння щодо дії різних чинників та необхідність отримати експериментальні дані щодо їх сукупного впливу на показники, що характеризують об'єкт дослідження та виявити оптимальні параметри налаштування автоматичного блоку управління процесом охолодження та наморозування льоду.

Сучасні статистичні методи активного планування багатфакторних експериментів багатфакторних експериментів дають змогу вибрати найсуттєвіші фактори, що впливають на об'єкт дослідження, і не розглядати фактори, що чинять незначну дію. Багатфакторний експеримент дає можливість брати активну участь у досліджуваному процесі і значною мірою спрощує завдання знаходження оптимальних умов його протікання. У результаті спеціально розроблених планів експерименту знаходження математичної моделі досліджуваного процесу не потребує складних математичних розрахунків.

Висновки за розділом

Розроблено методику оптимізації конструкції панельного теплообмінника, як основного робочого вузла генератора крижаної води з пошаровим наморозуванням льоду. пошаровим наморозуванням льоду. Як параметри оптимізації обрано: міцність, холодопродуктивність, собівартість. Розроблено експериментальну лабораторну установку пошарового наморозування льоду. Обрані методики проведення експериментальних досліджень, розроблені технічні засоби та контрольно-вимірювальні прилади дають змогу провести експериментальні дослідження з вивчення наявних зразків випарників генераторів крижаної води, вивчення процесів наморозування льоду, визначення оптимальних параметрів роботи розробленого генератора крижаної води, проведення експериментальних досліджень зі встановлення оптимальних параметрів основних варіюючих чинників, що впливають на кількість наморозеного льоду на годину, зокрема застосовуючи періодичне наморозування.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення досліджень ми задалися максимальним значенням тиску випробування 3,0 МПа діаметр зварних точок між пластин 6 мм, і в результаті отримали такі розрахункові дані, зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункові показники міцності зварних з'єднань випробуваних заготовок.

№ п/п.	Геометричні розміри зварних точок на заготівлі, мм.	F, Н/мм ²	G _p , Н/мм ²	S _{шв} , мм ² .	n.
1	25x25	1838,7	16447,30	29,26	8,89
2	40x40	4707,2	16447,30	29,26	3,48
3	50x50	7355,0	16447,30	29,26	2,23

З отриманих розрахункових даних робимо висновок, що для заданих умов експлуатації відповідає заготовка з геометричними параметрами умов експлуатації відповідає заготовка з геометричними параметрами свердління отворів №2.

Аналіз проведених досліджень випробовуваних зразків панельних теплообмінників з різними відстанями точок приварювання пластин показав, що для виготовлення випарника генератора крижаної води оптимальним за показниками міцності та за вартістю виготовлення є зразок із відстанями точок приварювання 50x50 мм, цей випарник використовуємо в бічній стінці ємності, який працює в режимі охолодження, а для нижнього випарника, який навантажений динамічно, з огляду на застосування відтаювання гарячими парами несконденсованого холодоагенту, в режимі заморожування крижаних пластів, застосовуємо зразок із відстанями точок приварювання 40x40 мм, при цьому ми отримуємо надійний випарник, що працює в усьому інтервалі експлуатації генератора крижаної води.

Поряд із часом циклу заморожування, важливим є температура кипіння парів холодоагенту у випарнику T_i. Вона залежить від теплообміну, від швидкості руху рідини на поверхні випарника та об'ємної подачі холодоагенту в

порожнині випарника за одиницю часу, через дроселювальний пристрій - терморегулювальний вентиль. Що вища швидкість руху рідини на поверхні випарника, то інтенсивніше википають пари холодоагенту всередині випарника. У період циклу наморожування в генераторі крижаної води рух рідини механічними пристроями виключений, щоб забезпечити більш інтенсивне утворення кристалів льоду на поверхні випарника, водночас зростає небезпека вологого ходу, зважаючи на недокипання холодоагенту у випарнику. Щоб знизити ймовірність вологого ходу компресора, терморегулювальний вентиль налаштований на перегрів 19°C . У режимі охолодження, для одного випарника, такий перегрів парів забезпечує низьку продуктивність агрегату. З цією метою використовується, в режимі охолодження, вертикальний випарник, у разі задіяння якого перегрів парів у лінії всмоктування досягає 14°C , також два випарники забезпечують більшу площу теплообміну, щоб максимально відібрати тепло від води під час її інтенсивного перемішування. У режимі наморожування вертикальний випарник вимикається, і наморожування льоду відбувається на горизонтальному випарнику, зважаючи на простіше відокремлення крижаних пластів.

Однією з наших цілей було домогтися найбільшої простоти конструкції пристрою. Ми не використовували в генераторі крижаної води, в момент відтаювання крижаного пласта триходовий клапан, що забезпечує зміну контурів (випарник стає конденсатором, конденсатор випарником).

Нам вдалося підібрати період циклу наморожування, номінал температури конденсації і температури кипіння холодоагенту таким чином, що для відтаювання крижаного пласта достатньо теплоти несконденсованого гарячого газу з конденсатора. Для отримання максимальної продуктивності холодильної машини, при виробництві пластинчастого льоду, необхідно враховувати температуру води. При більш високій температурі, процес відділення плівкового льоду від поверхні випарника відбувається швидше, але більш висока температура води у верхніх шарах ємності, після відділення пласта, знижує

кількість отриманого льоду, зважаючи на танення. Зі зниженням температури води, утворення льоду відбувається більш інтенсивно і за менш короткий проміжок часу, отриманий шар льоду не зменшується у верхніх шарах води, але більше витрачається часу для відділення льоду від випарника, зважаючи на менші температури кипіння холодоагенту всередині випарника і, як наслідок, нижчої температури пласта льоду. Необхідно враховувати, що зі збільшенням товщини заморожуваного шару льоду знижується інтенсивність заморожування, через теплоізоляційні властивості льоду.

Щоб визначити оптимальні параметри роботи установки, забезпечивши найбільшу продуктивність, але водночас не допустити аварійних режимів експлуатації, ми провели вимірювання в контрольних точках температури продукту (води) під час заморожування льоду та дані температури кипіння парів холодоагенту й маси отриманого льоду за один цикл звели в таблицю 3.3, в якій наведені дослідні дані температур кипіння холодоагенту стандартного генератора крижаної води з традиційним випарником трубчастого типу і розробленого генератора крижаної води від температури продукту (води) в °С.

Таблиця 3.2 – Експериментальні дані температур кипіння холодоагенту стандартного генератора крижаної води та розробленого генератора крижаної води від температури продукту (води) в °С.

№ п/п	Температура продукту °С.	Температура кипіння холодоагенту стандартного генератора крижаної води, °С.	Температура кипіння холодоагенту генератора крижаної води патент №197873, °С.
1	3,5	-19	-16
2	2,5	-20	-16,6
3	1,5	-22	-18
4	1,0	-22,5	-19
5	0,5	-25	-20

Зниження температури кипіння парів холодоагенту, в генераторі крижаної води панельного типу з імпульсним режимом заморожування льоду в порівнянні зі стандартним, відбувається планомірно, не стрибкоподібно, що відповідає рівномірній навантаженості агрегату, і забезпечує оптимальний перегрів парів

холодоагенту в діапазоні 10°C - 20°C , щоб уникнути вологого ходу компресора і забезпечити більшу ефективність роботи.

У нашій установці компресор використано спірального типу, який є більш стійким до гідроударів, ніж компресори поршневого типу.

Будуємо графік залежності температури кипіння хладону R134 від температури продукту (вода) в ємності стандартного генератора крижаної води і розробленого генератора.

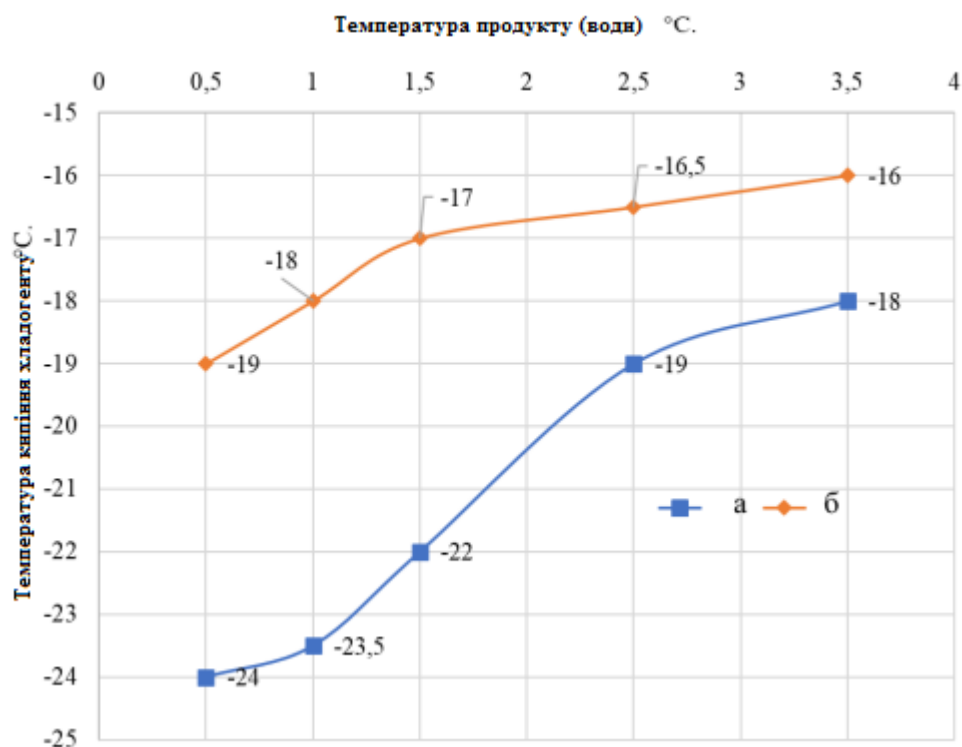


Рис 3.1. Залежність температури кипіння хладону R134 у випарниках стандартного генератора крижаної води (а) і розробленого генератора крижаної води 3 (б) від температури продукту (води) в $^{\circ}\text{C}$.

Аналізуючи табличні дані і рисунок 3.1 можна зробити висновок, при зниженні температури води та заморожуванні більшої товщини льоду, не відокремлюючи його з поверхні випарника, знижується температура кипіння і відбувається недокипання парів холодоагенту, знижується тиск на лінії всмоктування, що негативно впливає на робочі характеристики компресора і призводить до гірших експлуатаційних показників. За отриманими експериментальними даними ми можемо отримувати різну товщину

намороженого шару льоду в генераторі крижаної води панельного типу патент №197893 під різні виробничі завдання, забезпечуючи максимальну ефективність роботи агрегату.

Після встановлення основних варійних чинників технологічного процесу наморожування льоду з'явилася необхідність проведення процесу попередніх експериментів з метою отримання узгоджених теоретичних значень з показаннями експериментальних даних. Для проведення попереднього експерименту генератор крижаної води експлуатувався у виробничих умовах, працював у закритому окремому технічному приміщенні з навколишньою температурою повітря 20 °С, за температури охолоджуваного продукту 2 °С.

Для проведення експерименту в якості технологічних параметрів роботи генератора крижаної води було прийнято основні варіювальні фактори, представлені.

Під час отримання практичних даних кількості теплоти $Q_{\text{загл}}$, використовували відому залежність, де $Q_{\text{л}}$ обр визначали практично через кількість намороженого льоду, $Q_{\text{п}}$ - розраховували теоретично за формулою, де $\delta_{\text{л}}$ - товщина шару льоду, м. визначали за за рівнянням апроксимації, представленим на графіку (рисунок 3.2).

Після встановлення оптимальних параметрів для одного циклу наморожування, перевіряємо гіпотезу про доцільність застосування періодичного наморожування льоду, висунуту в розділі вище. Результати представлено на рис. 3.3.

На графіку (рис. 3.4) представлено теоретичну та експериментальну залежності кількості теплоти від часу відтаювання за варіювання технологічного параметра t_0 від 40 до 165 с (за нульових значень температури кипіння холодоагенту). значеннях температури кипіння холодоагенту $t_{\text{н}}$ та часу наморожування шару льоду $t_{\text{н}}$).

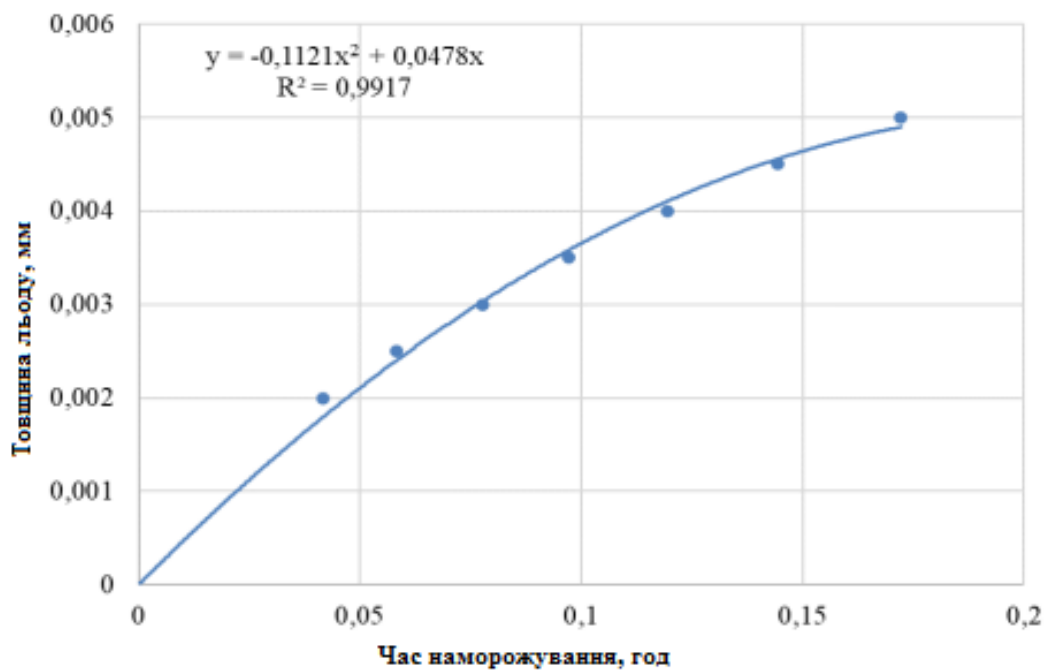


Рис. 3.2. Залежність часу заморожування від товщини льоду.

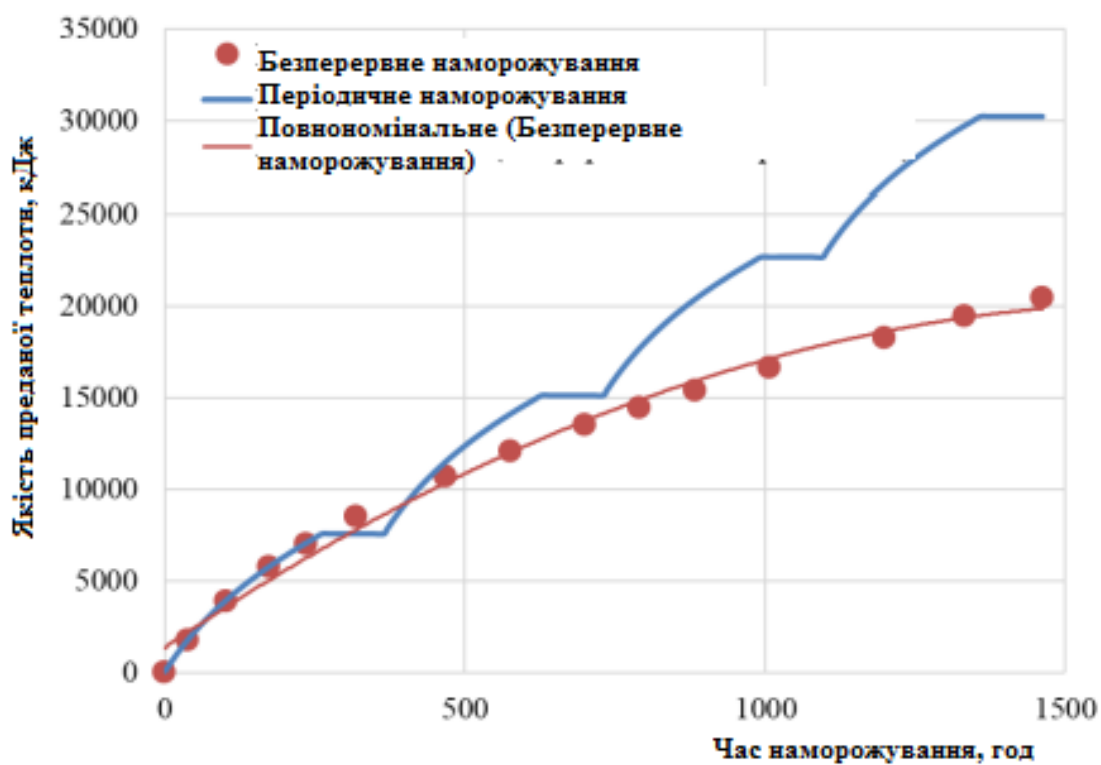


Рис. 3.3. Кількість переданої теплоти під час безперервного та періодичного заморожування льоду

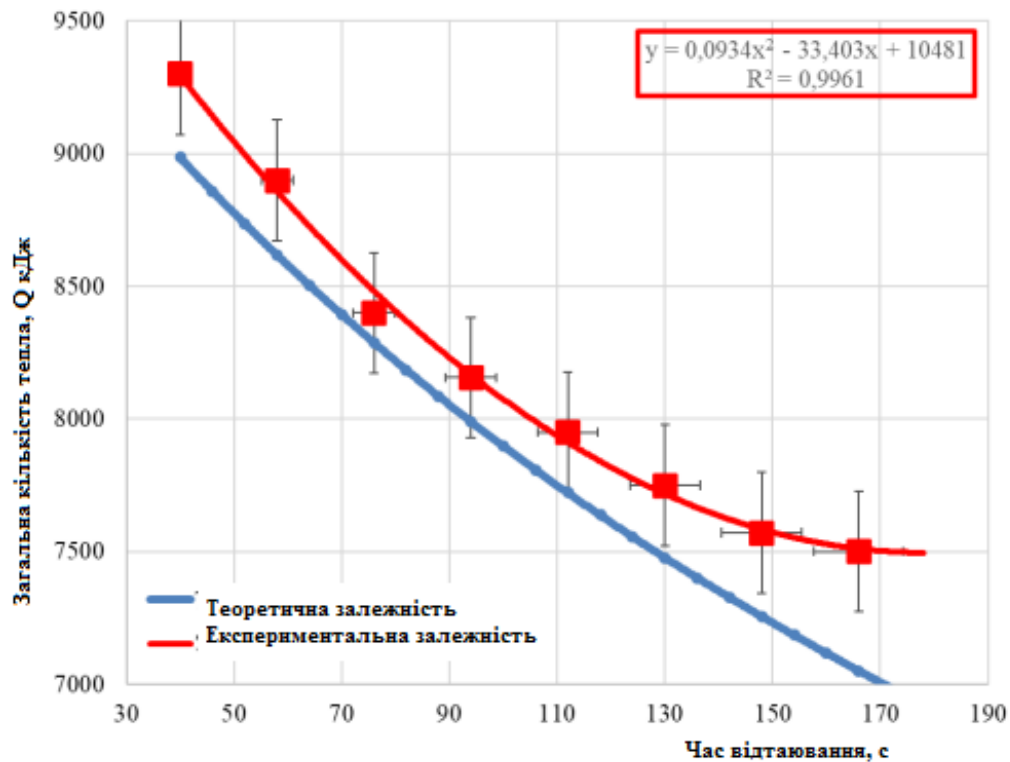


Рис. 3.4. Залежності загальної кількості теплоти від часу відтаювання.

Теоретична й експериментальна крива узгоджуються в зоні довірчого інтервалу за часу відтаювання t_o від 60 до 120 с. Відхилення експериментальної кривої від теоретичної залежності пояснюється тим, що в разі збільшення часу відтаювання збільшується довжина загального циклу наморозування, а в разі зменшення виникає ймовірність невід'єднання пласта льоду від поверхні випарника, тим самим імпульсні процеси наморозування припиняться. На графіку (рис. 3.5) представлено теоретичну та експериментальну залежності загальної кількості теплоти $Q_{заг}$, кДж, за умови варіювання технологічного параметра часу наморозування шару льоду $t_{н}$, с, від 170 до 380 с (за нульових значень технологічних варіювальних факторів температура кипіння холодоагенту і час відтаювання отриманого шару льоду).

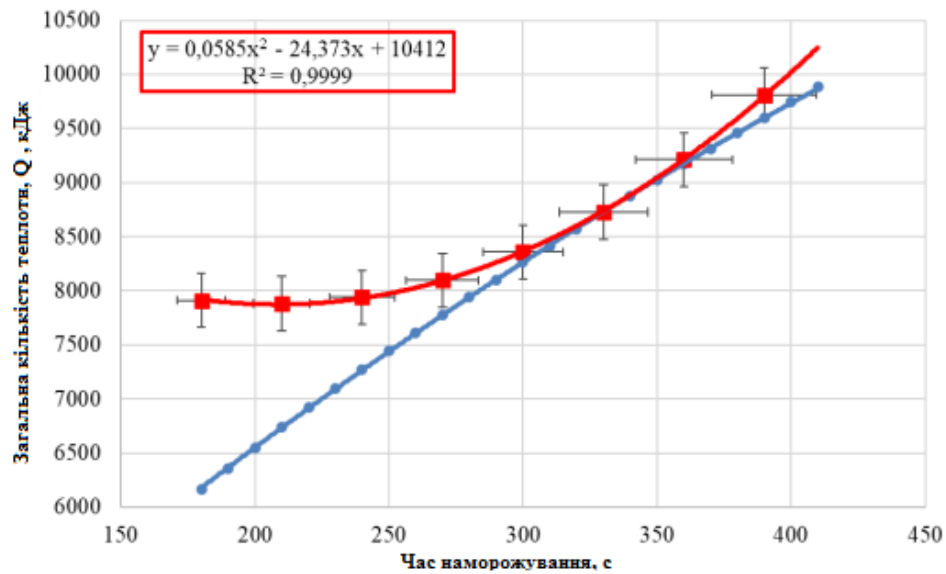


Рис. 3.5. Експериментальна та теоретична залежності кількості теплоти від часу наморозування.

Теоретична й експериментальна крива узгоджуються в зоні довірчого інтервалу за часу наморозування t_n від 280 до 400 с .

Відхилення експериментальної кривої від теоретичної залежності пояснюється тим, що під час збільшення часу наморозування збільшується товщина наморозеного льоду, знижується температура кипіння холодоагенту, знижується інтенсивність наморозування крижаного шару, зважаючи на теплоізоляційних властивостей льоду, а при зменшенні крижаний пласт наморозується не на повній поверхні випарника, що знижує продуктивність за кількістю наморозеного льоду за цикл.

На графіку (рис. 3.6) представлено теоретичну та експериментальна залежності загальної кількості теплоти, $Q_{\text{заг}}$, кДж, при варіювання технологічного параметра "температури кипіння парів холодоагенту" від -13°C до $-17,6^{\circ}\text{C}$ (за базових значень технологічних варіювальних чинників "час наморозування крижаного пласта" і "часу відтаювання крижаного пласта").

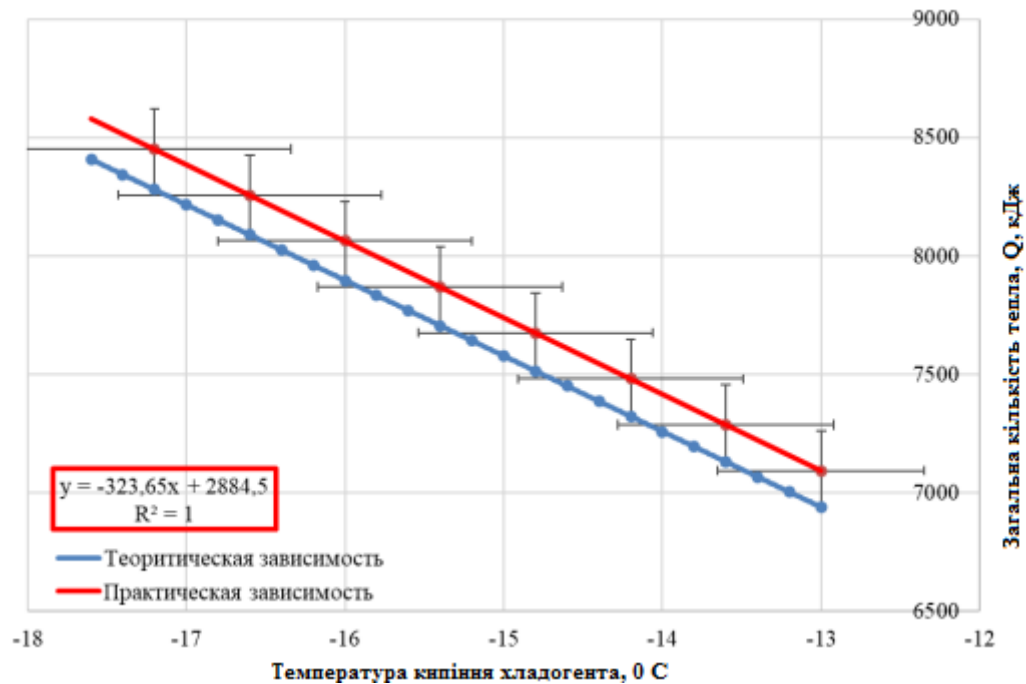


Рис. 3.6. Експериментальна та теоретична залежності загальної кількості теплоти від температури кипіння холодоагенту та теплоти від температури кипіння холодоагенту t_i .

Теоретична й експериментальна крива узгоджуються в зоні довірчого інтервалу за температури кипіння парів холодоагенту $t_{и}$ - 13°C до $-17,6^{\circ}\text{C}$. Узгодження експериментальної та теоретичної залежності знаходяться на всьому діапазоні і пояснюється тим, що при збільшенні шару намороженого льоду на поверхні випарника знижується температура кипіння парів холодоагенту, зважаючи на теплоізоляційні властивості льоду, і збільшується кількість теплоти, передана охолоджуваному середовищу.

В експерименті застосовували досліджувану установку генератора крижаної води з імпульсним наморожуванням льоду.

У результаті постановки факторного експерименту було отримано результати варіаційно-статистичної обробки експериментальних даних

Вирішивши розкодоване рівняння регресії, використовуючи оптимальні значення чинників, одержали оптимальне значення критерію оптимізації (маса намороженого льоду за цикл, кг.) $M = 6,40354$ кг. Округливши значення оптимальних чинників, отримаємо: температура кипіння холодоагенту $t_{и} = -16,1$

$^{\circ}\text{C}$; час наморозування $t_n = 265,2$ с.; час відтаювання наморозеного крижаного пласта $t_o = 100$ с.

Значення критерію оптимізації, за один цикл наморозування, при округлених оптимальних значень факторів $M = 6,4035$ кг.

Для аналізу парного впливу факторів, що розглядаються, на критерій оптимізації, побудовано поверхні відгуків.

Поверхня відгуку за варіювання температур наморозування шару льоду і відтаювання його з поверхні випарника (рис. 3.7).

Рівняння регресії за нульового рівня температури кипіння парів холодоагенту:

$$M = 7,3 + 0,6 x_2 + 0,6 x_3 + 0,8 x_2 x_3 + 2,7 x_2^2 + 0,6 x_3^2$$

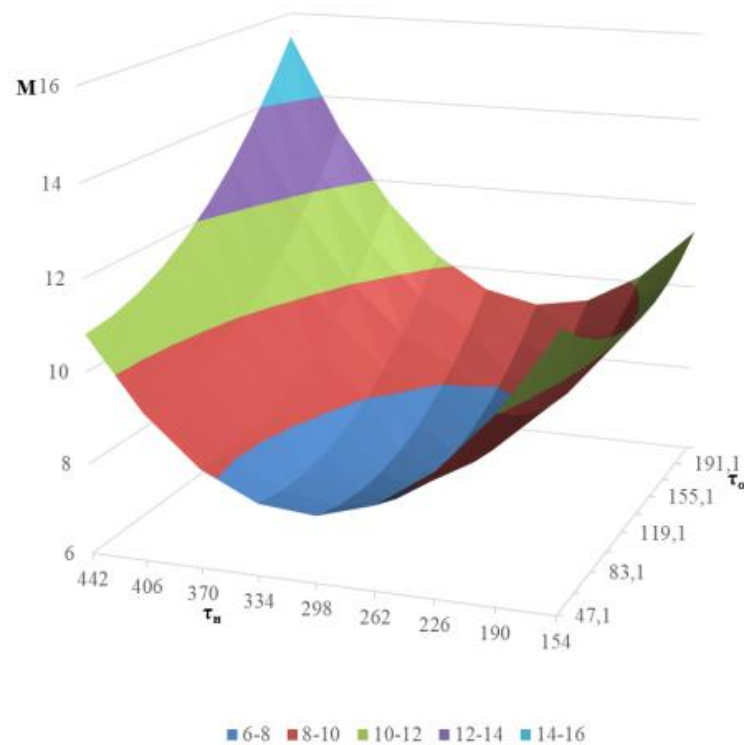


Рис. 3.7. Поверхня відгуку $M = f(t_n, t_o)$ за нульового рівня $t_{in} = -16$ $^{\circ}\text{C}$.

Поверхня відгуку за варіювання температури кипіння холодоагенту і часу відтаювання наморозеного пласта льоду від поверхні випарника (рис. 3.12).

Рівняння регресії за нульового рівня часу наморозування пласта льоду на поверхні випарника:

$$M = 7,3 - 0,337 x_1 + 0,6x_3 - 1,7 x_1 x^3 + 0,6 x_3^2$$

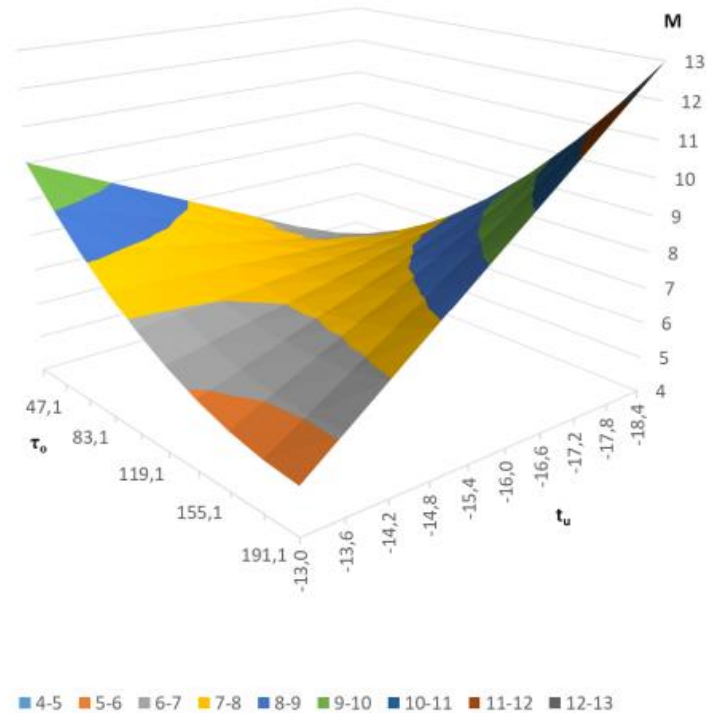


Рис. 3.8. Поверхня відгуку $M = f(t_u, t_0)$ за нульового рівня $t_H=300$ с.

Поверхня відгуку за варіювання температури кипіння холодоагенту і часу наморожування пласта льоду на поверхні випарника (рис. 3.9).

Рівняння регресії за нульового рівня часу відтаювання пласта льоду від поверхні випарника:

$$M = 7,3 - 0,337 x_1 + 0,6 x_2 + 0,8 x_1 x_2^2 + 2,7 x_2^2$$

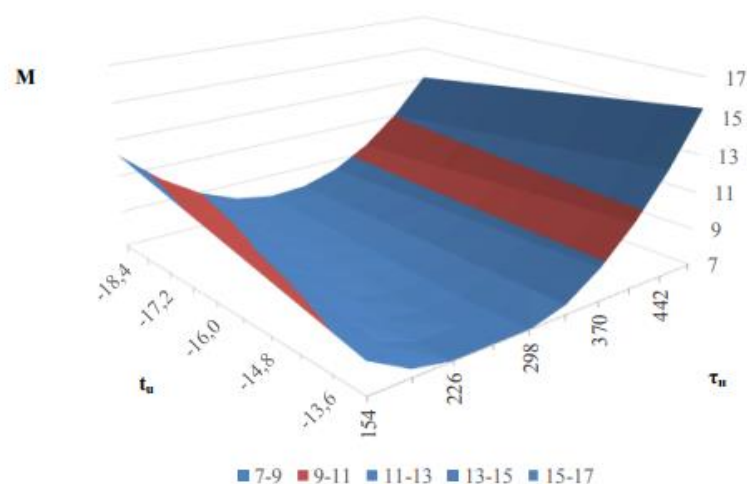


Рис. 3.9 Поверхня відгуку $M = f(t_u, t_H)$ за нульового рівня $t_0 = 120$ с.

Перерізи поверхонь відгуків парного впливу чинників на кількість намороженого льоду, мм, представлено на рисунках 3.10, 3.11, 3.12.

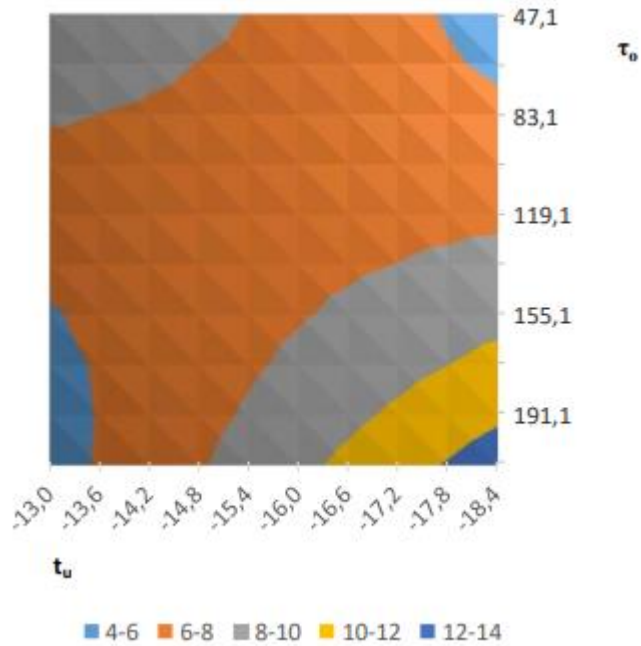


Рис. 3.10. Перетин поверхні відгуку впливу t_u і τ_0 за нульового рівня τ_n

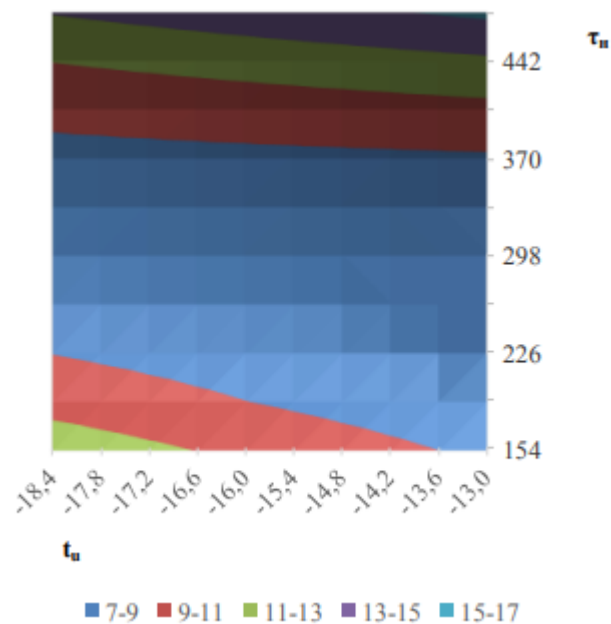


Рис. 3.11. Перетин поверхні відгуку впливу t_u і τ_n при нульовому рівні τ_0

Аналіз результатів багатофакторного експерименту показав, що оптимальним значенням критерію оптимізації (кількість намороженого льоду, кг. за цикл) є величина $M = 6,4035$ кг, при цьому оптимальні значення варіювальних чинників дорівнюють: температура кипіння холодоагенту $t_u = -16,1^{\circ}\text{C}$; час заморожування $\tau_n = 265$ с; час відтаювання намороженого крижаного пласта $\tau_0 = 100$ с.

Висновки за розділом:

1. Встановлено експериментальні залежності температури кипіння холодоагенту, час наморозування, час відтаювання намороженого крижаного пласта.

2. Результати експериментальних досліджень підтвердили теоретичні передумови ефективності наморозування льоду пропонованим пристроєм.

3. У результаті проведення багатofакторного експерименту було визначено оптимальні значення варійованих факторів: температура кипіння холодоагенту $t_u = -16,1^{\circ}\text{C}$; час наморозування $\tau_n = 265$ с; час відтаювання намороженого крижаного пласта $\tau_o = 100$ с.

4. Лабораторні випробування показали, що розроблений пристрій для отримання крижаної води дає змогу наморозувати лід ефективно, застосовуючи поперемінне наморозування крижаного пласта, чергуючи його з відтаюванням, що дає змогу забезпечити стабільну теплопередачу між випарником і водою.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для підвищення продуктивності процесу наморозування льоду, було розроблено пристрій для отримання крижаної води, який виробляє наморозування пластів льоду на поверхні випарника, і забезпечує від'єднання їх від випарника, тим самим відбувається пошарове наморозування льоду і стабілізується теплообмінний процес між випарником і водою.

Отримано експериментальне підтвердження моделі процесу акумуляції льоду на плоскій стінці панельного випарника, що дає змогу визначити кількість теплоти під час пошарового наморозування льоду, із застосуванням відтаювання намороженого пласта.

У результаті експериментальних досліджень розробленої конструкції генератора крижаної води з пошаровим наморозуванням льоду виокремлено основні фактори, що впливають на пошарове наморозування льоду в генераторі крижаної води, та в результаті багатофакторного експерименту визначили їхні оптимальні параметри: температура кипіння холодоагенту $t_u = -16,1^{\circ}\text{C}$; час наморозування $\tau_n = 265$ с; час розморожування намороженого крижаного пласта $\tau_o = 100$ с. У результаті проведення лабораторних випробувань встановлено, що пристрій дає змогу наморозувати лід у кількості більшій, ніж генератор крижаної води з випарником трубчастого типу, за рівний період наморозування, що свідчить про більшу ефективність і цей тип пристрою можна рекомендувати для промислової експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Монтаж та пусконаладження обладнання переробних підприємств: навч. посібник: рекомендовано МОН України / Ф. Ю. Ялпачик та ін. / ТДАТУ. - Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2009. 156 с.
2. Монтаж та пусконаладження обладнання переробних підприємств: навч. посібник: рекомендовано МОН України / Ф. Ю. Ялпачик та ін. / ТДАТУ. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2009. 156 с.
3. Обладнання складів для зберігання плодоовочевої та м'ясомолочної продукції: навч. посібник / К. О. Самойчук, О. Г. Скляр, С. В. Кюрчев та ін.; ТДАТУ. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2019. 186 с.
4. Ялпачик В. Ф. Експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності при заморожуванні. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання ТДАТУ. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 1: Технічні науки. С. 113-118.
5. Ковальов О. О. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молока. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук/ фах/ видання / ТДАТУ. Мелітополь. 2020. Вип. 20, т. 4: Технічні науки. - С. 266-274.
6. Микийчук М.М. Етапи розроблення системи НАССР на молокопереробному підприємстві. Електронний науковий журнал НУ «Біоресурсів і природокористування України» «Енергетика і автоматика».- 2017. №1. С.123-131.
7. Остап'юк С.Д. Коригувальні дії для кожної критичної точки контролю при виробництві молочних продуктів. Збірник тез «Технологический аудит и резервы производства» м. Перемишль. 2014. № 1/5 (15).- С.29-31.
8. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Струминний гомогенізатор – нормалізатор молока. Тези доповідей міжнародної конференції "Інноваційні

аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності". Харків: ХДУХТ. 2015. С. 93–94.

9. Самойчук К. О., Ковалев А. А. Струйно-щелевой гомогенизатор для переработки молока. Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: Сб. статей 4-й междунар. науч.-практ. конф. Минск: БГАТУ, 2019. С. 118–120.

10. Столярчук П.Г. Аналіз виробництва молока та перспективи оцінювання його якості та безпеки за міжнародною системою НАССР. Техніка та метрологія. 2012. № 73.С.141- 146.

11. Бондаренко В.М. Розвиток ефективного виробництва молока та його промислової переробки в Україні. Економіка АПК. 2008. № 5. – С. 61–64.

12. Про молоко в Україні і світі [Розмова з директором Національного наукового центру “Інститут аграрної економіки” академіком П.Т. Саблуком] / Т. Антоненко // Молочна промисловість. – 2009. – № 1. – С. 11–21.

13. Слатвінська Т.А. Особливості розробки та впровадження системи управління якістю молока в сільськогосподарських підприємствах. Аграрний вісник Причорномор'я. Економічні науки. 2009. Випуск №49. – С. 62-66.

14. Галушко В.П. Зарубіжні системи забезпечення якості молока у виробничому ланцюзі та можливості їх застосування в Україні. Економіка АПК. 2011. №3. С. 137- 142.

15. Мельничук С.Д., Хмельницький Г.О., Якубчак О.М. Якість і безпека продукції тваринництва: сучасний стан і перспективи. Сучасна ветеринарна медицина. Київ. 2005. №4. С. 6–7.

16. Пономарьов, А. Н. Состав микрофлоры молока на разных этапах обработки /А. Н. Пономарьов, М. А. Барбашина, Р. П. Шуваева, О. С. Корнеева // Молочна промисловість. 2004. № 9. С. 31-32.

17. Міненко С. В., **Циганенко В. М.** Експериментальна лабораторна установка пошарового заморожування льоду. Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської

механіки" (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2023. С. 215-219.

18. **Циганенко В. М.** Огляд конструкцій генераторів крижаної води. *Студентські читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 25 жовтня 2023 р.* Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 95-98.

19. Міненко С. В., **Циганенко В. М.** Характеристика способів і технічних засобів охолодження молока. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).