

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти магістр
бакалавр, магістр

на тему: «Удосконалення конструкції пристрою первинної обробки молока»

КРМ.133ГММз_22.09.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти магістр групи 1
Лепіско Ярослав Юрійович

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Опара Н. М.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: _____
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2023 рік

ВСТУП

Одним з пріоритетних напрямків розвитку сільського господарства країни є створення ефективної системи виробництва та переробки молока на молочних підприємствах.

Коров'яче молоко є харчовим продуктом, що швидко псується. Зниження його якості при затримці з очищенням та охолодженням обумовлено розмноженням шкідливих для організму людини бактерій. Відомо, що в 1 мл свіжовидоєного молока міститься до 186 000 бактерій, а при температурі молока +20 ° С через 5 годин кількість мікроорганізмів досягає вже 2 мільйонів. Якість такого молока відповідає першому сорту, оскільки у ньому понад 500 000 мікроорганізмів [7...9]. Розмноження їх припиняється за нормальної температури +10°С повністю припиняється за нормальної температури +2..,3°С [6, 10... 13].

Незабезпеченість молочних господарств необхідним обладнанням, наприклад апаратами щодо охолодження молока, призводить до великих втрат під час зберігання молока в пунктах його заготівлі та подальшого транспортування до молокозаводів.

Для молокозаводів та фермерських господарств, що займаються виробництвом молока та молочних продуктів, найважливішим аспектом, що впливає на якість молока та продукції з нього, є своєчасне його охолодження. При цьому ключовою ланкою у виробництві молока є апарати для його охолодження [1. 2]. тому що молоко, як таке, схильне до впливу мікроорганізмів приблизно дві години і у подальшому потребує негайного охолодження.

Сьогодні існує значна потреба в охолоджувачах молока для аграрної галузі країни. Моніторинг вітчизняних молокозаводів та фермерських господарств показав, що їх обладнання переважною більшістю є закордонними і до того ж найчастіше це відновлювальні охолоджувачі молока. У зв'язку з цим необхідність виготовлення вітчизняних апаратів такого класу є актуальним у сучасних умовах.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мета роботи – удосконалення конструкції мішалки в горизонтальному резервуарі-охолоджувачі за рахунок науково-обґрунтованих режимів роботи мішалки з використанням природного холоду та охолоджувачів з низькою температурою замерзання протягом цілого року.

Предметом дослідження є резервуар-охолоджувач та його конструктивні елементи.

Об’єктом досліджень є технологічний процес охолодження молока при первинній обробці.

Враховуючи сучасний стан теорії та практики процесу охолодження молока в резервуарах-охолоджувачах, у цій роботі були поставлені такі завдання:

1. Встановити можливі шляхи інтенсифікації процесу теплопередачі в резервуарах-охолоджувачах безпосереднього охолодження.
2. Дати аналітичне обґрунтування конструктивних параметрів резервуару-охолоджувача молока.
3. Дослідити кінематику потоків рідини в резервуарах-охолоджувачах оптимальної форми.
4. Провести експериментальні дослідження процесу введення молока в резервуар-охолоджувач і вплинути його вплив на ефективність охолодження.
5. Виконати експериментально-теоретичні дослідження процесу теплопередачі в резервуарах-охолоджувачах безпосереднього охолодження молока.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА

начення і технологічні схеми первинної обробки молока

Молоко — це продукт, в якому досить інтенсивно розвиваються різні мікроорганізми. Для збереження його у свіжому вигляді та доставки його до споживача в умовах тваринницьких ферм, комплексів та фермерських господарств здійснюють первинну обробку та переробку молока. Ця обробка складається з таких технологічних операцій: очистка, охолодження і, в деяких випадках, пастеризація.

Переробка молока ставить за мету одержати питне молоко, вершки, творог, масло, сир та інші молочні продукти. У деяких господарствах використовують обладнання для приймання молока та проведення його сепарації.

Молоко, яке відправляється господарствами на молокозаводи, перед надходженням в торгову мережу підлягає додатковій обробці. Під час доїння корів у молоко можуть потрапляти різні бактерії і спричиняти захворювання людей і тварин.

Свіжовидоєне молоко при використанні в якості індикатора фенолфталеїну показує кислу реакцію. Кислотність свіжовидоєного молока звичайно знаходиться в межах 16-18 °Т. Хімічний склад молока не є строго постійним для всіх корів, а залежить від породи, віку, періоду лактації, умов годування корів та ряду інших факторів. В молоці розрізняють дві основні частки: воду 87,5 % і суху речовину 12,5%. Останнє в свою чергу розпадається на молочний цукор – 4,5...4,8%; жир –

При утворенні молока із організму корови в нього переходять імунні тіла і бактерицидні речовини, які затримують розвиток бактерій в свіжовидоєному молоці. Період дії цієї досить цінної властивості називають бактерицидною фазою. Тривалість її залежить від санітарних умов отримання молока, а також від температури його охолодження. Так, при температурі молока 37...30°C

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бактерицидна фаза в ньому продовжується тільки 2...5 год. При 16...13°C її тривалість при хороших умовах зберігання 7,6 до 36 год. При 4...5°C життєдіяльність бактерій практично зупиняється.

Первинна обробка та переробка молока повинна виконуватись, по можливості, в окремих сухих і добре освітлених приміщеннях, де передбачаються водяне опалення, водопостачання, каналізація і вентиляція. Необхідно, щоб виконувались всі санітарні та ветеринарні правила.

Відразу після доїння парне молоко проходить первинну обробку. Правильне її виконання стабілізує вихідні характеристики продукту та сприяє його безпеці, в т.ч., з епідемічної точки зору. До комплексу впливів входять: охолодження та очищення молока на тваринницькій фермі, а також його зберігання.

Свіжовидоїна сировина надходить до молочної зали. Там його пропускають через фільтри з вати чи нетканого полотна. Потім доводять до температури +4 град, після чого продукт відправляється в сховище. Як останній зазвичай виступає танк-термос, обладнаний компресорно-конденсаторним агрегатом. Процес охолодження молока на фермі повинен починатися не пізніше ніж через 16 хв. (максимум – 20 хв.) після доїння.

Схему первинної обробки і переробки молока зображено на рис. 1.

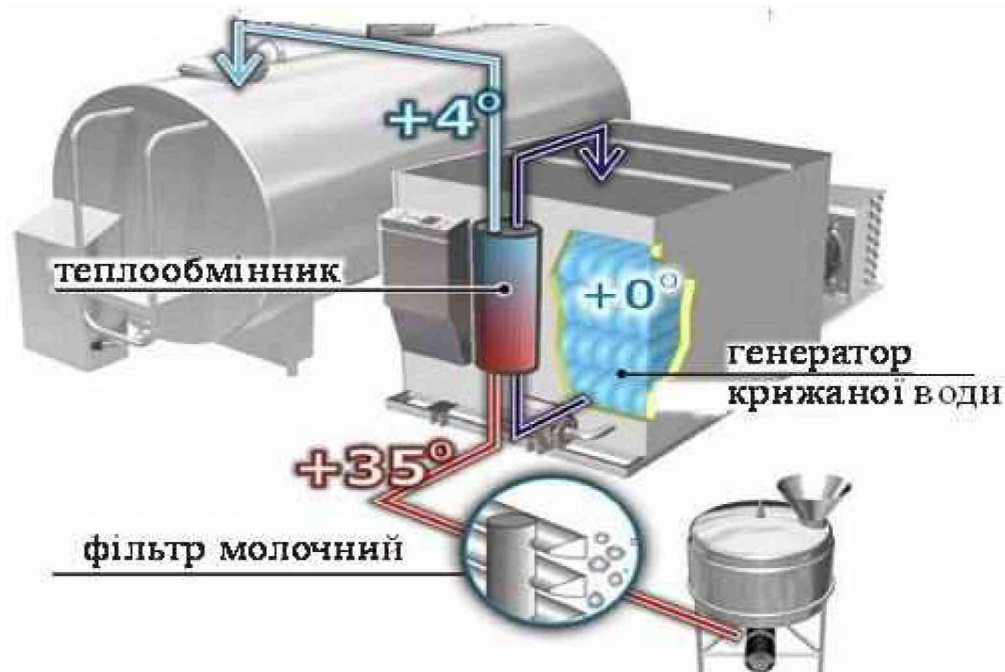


Рисунок 1. – Схема первинної переробки молока

Не менш популярним є охолодження молока на виробництві. Оскільки завод не може одразу пустити на переробку весь обсяг привезеної сировини, то його доводиться доохолоджувати та зберігати, згідно з нормативними вимогами, в умовах зниженої температури.

Біла смачна рідина потрапляє на переробку не лише із ферм. Окрім них, продукт здають приватні господарства. Підприємству економічно не вигідно влаштовувати у себе приймання для великої кількості клієнтів. Та й власникам корів набагато зручніше складати продукцію на місці. Тому, окрім охолодження молока на заводі, організовано такий самий процес у приймальних пунктах. Вони можуть бути мобільними та стаціонарними, невеликими та більшими. Все залежить від розташування здавачів та кількості сировини, залежно від якої вибирається ємність для зберігання.

На фермах, молокозаводах та приймальних пунктах застосовуються різні способи охолодження молока. Усі їх можна поділити на дві категорії: природні та штучні.

У першому випадку обходяться без холодильних установок. Наприклад, на невеликих фермах практикується охолодження молока водою. Цей спосіб передбачає занурення бідонів із продуктом у басейни з льодом, через який пускають проточну воду. Крига береться в чистих водоймах, з розрахунку 1 м³/т. Взимку можна нагнітати вентилятором холодне повітря зовні. При правильній постановці справи та невеликих термінах зберігання дані технології виявляються дуже ефективними. Наприклад, у басейні, за годину після занурення бідонів, температура молока знижується до +5 °С.

На середніх та великих фермах, молокозаводах та у приймальних пунктах користуються спеціальними апаратами. Вони бувають трьох видів. До перших відносяться пластинчасті та трубчасті теплообмінники для охолодження молока в потоці. За рахунок спеціальної конструкції забезпечується швидке зниження температури сировини. Ці установки зазвичай ставляться на попередньому етапі,

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тому що молоко можна охолодити тільки до температури, на три градуси більше, ніж температура рідини, що охолоджує.

Друга група агрегатів забезпечує миттєве охолодження молока за рахунок того, що ємність з продуктом зрошується водою при температурі близько 0 град С. Такі пристрої називаються льодогенератори або льодоаккумулятори. Їх характерною особливістю є наявність холодоносія. Як останній виступає вода або розсіл. Холодоагент (фреон) наморозує лід, який охолоджує воду. Ця вода потім подається до цистерни з молоком та знижує температуру сировини.

До третьої групи належать молочні ванни та танки (рис. 3). Подібні установки, як і льодогенератори, забезпечують будь-які режими охолодження молока, аж до оптимального, коли вміст доводиться до +4 °С і зберігається в такому вигляді протягом 72 годин. Але температура продукту знижується не «миттєво», а протягом 3-х годин, чого цілком достатньо, щоб сировина повністю зберегла свої кондиції.

Системи охолодження молока з компресорно-конденсаторними агрегатами працюють за одним і тим же принципом. Охолоджувальна речовина (холодоагент) подається у випарник, де контактує з продуктом (безпосередньо або через проміжну субстанцію - охолоджувач). Температура сировини знижується за рахунок того, що холодоагент змінює свій агрегатний стан, переходить із рідини в газ (випаровується). Цей процес супроводжується поглинанням тепла, яке віднімається у молока. Після цього холодоагент переганяється компресором в конденсатор, де відбувається зворотне явище. Речовина переходить із газоподібного стану в рідкий (конденсується), з виділенням великої кількості тепла. Останнє йде в атмосферу або використовується на технологічні потреби. До таких установок відносяться ванни з кришками, що відкриваються, і танки, які являють собою установки охолодження молока закритого типу.

Агрегати першої групи – це пристрої безпосереднього охолодження. Вони найпопулярніші, але не позбавлені деяких недоліків. Головний із них – температура

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

молока знижується до +4 град С не відразу, а через 3 години. Тому з виробництва нерідко зустрічаються апарати іншого типу, використовують проміжну субстанцію.

Установки для охолодження молока з теплоносієм працюють за тим самим принципом, як і танки. Тільки тут холодоагент наморожує лід і діє не на молоко, а на воду, доводячи її майже до 0 град С (якщо замість води застосувати розсіл, то можна досягти навіть негативних значень). Крижана вода зрошує ємність із молоком і швидко знижує його температуру. Представники цієї групи – льодогенератори (льодоакумулятори)

Системи охолодження молока у потоці працюють простіше. До цієї категорії входять теплообмінники. Вони ніякої зміни агрегатного стану немає. Тут продукт охолоджується за рахунок звичайного теплообміну, який відбувається при контакті через тонку перегородку між двома рідинами з різною температурою.

Всі танки, ванни, льодоакумулятори та теплообмінники для охолодження молока поєднує те, що їм потрібне джерело холоду. У цій якості на даний момент застосовуються такі речовини.

Штучні. Це фреони (хладони), синтезовані з урахуванням насичених вуглеводнів (переважно, етану чи метану). Вони нешкідливі для людей та безпечні у пожежному відношенні, не утворюють вибухових з'єднань. Головний мінус, через який деякі з них (R-12, R-22) потрапили під заборону – руйнування озонового шару.

Природні. До них відносяться вода, аміак, вуглекислота, вуглеводні. Аміак визнаний шкідливим для людини, тому зараз майже не застосовується. Зате вода широко використовується як холодоагент в теплообмінниках і холодоносій в льодогенераторах.

. Класифікація резервуарів-охолоджувачів

Сьогодні існує значна потреба в охолоджувачах молока для аграрної галузі країни. Моніторинг вітчизняних молокозаводів та фермерських господарств показав, що їх обладнання переважною більшістю є закордонним і, до того ж,

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найчастіше це відновлювальні охолоджувачі молока. У зв'язку з цим необхідність виготовлення вітчизняних апаратів такого класу є актуальним у сучасних умовах. Головною метою даної роботи є надання матеріалу щодо виробничого досвіду розробки та виготовлення охолоджувачів молока.

Обладнання для охолодження та зберігання молока у невеликих господарствах – це найчастіше відкриті ванни (рис. 2). Вони робляться вертикальними циліндричними чи горизонтальними напівкруглими. Об'єм перших, у загальному випадку, менший, десь до 2 тис. л. молока, зазвичай, не більше. Другі можуть бути більшими, до 5 тис. л. І ті й інші обладнані компресорно-конденсаторними агрегатами. Їх відмінна особливість - наявність верхніх кришок. Через це на охолодження йде більше енергії, порівняно з герметичними апаратами. Але на відносно малих обсягах це майже непомітно. Проте такі пристрої недорогі і не складні в експлуатації. Миються вони вручну.



Рисунок 2. – Охолоджувачі для молока відкритого типу

Робочий процес охолоджувача молока протікає наступним чином.

Перед початком засмоктування холодна пара хладону надходить у компресор через теплообмінник, де підігріваються рідким холодагентом, який надходить з ресивера через фільтр-осушувач. Компресор стискає пару хладону до високого тиску та температури. Далі пара холодагенту надходить до конденсатору, де

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охладжується та конденсується. Надалі рідина хладону, попередньо проходячи через ресивер та теплообмінник, надходить у дросельний пристрій (терморегулюючий вентиль), де хладон дроселюється, із зменшенням тиску та температури, та переходить у паро-рідинну суміш і спрямовується до акумулятора холоду (льодогенератору), де тепло відбирається холодагентом у теплоносія, при цьому скипає та спрямовується до компресора. Надалі робочий цикл повторюється.

М'яке охолодження молока з перших літрів за рахунок застосування льодоводи замість хладону виключає підмерзання молока. Кількість льоду в льодогенераторі розраховане таким чином, що охолодження молока з температури 350C до +4°C здійснюється протягом двох годин. Агрегати використовують хладон R22 або більш безпечний для навколишнього середовища хладон R404A. Можлива робота льодогенератора в режимі акумуляції льоду з роботою в нічний час доби задля економії електроенергії.

До складу установки входять наступні круногабаритні одиниці: компресорно-конденсаторний агрегат, що працює на фреоні R22 або R404A, теплообмінник, резервуар (танк) - охолоджувач молока з мішалкою та акумулятор холоду (льодогенератор) [3, 4]. Також, на вимогу замовника, передбачено варіант виконання установки на рамній конструкції.

Всі пристрої цього типу поділяються на два види: закриті (герметичні танки) і відкриті (з верхньою кришкою). Про останніх і піде мова.

Основна різниця між танками охолоджувачами відкритого типу та закритого відображена у їхній назві. Наявність верхньої кришки (тобто, періодична розгерметизація ємності) є причиною того, що першим, для підтримки заданої низької температури сировини, потрібно більше енергії. Це означає, що при значних обсягах продукту вони менш рентабельні (на невеликих – різниця не надто помітна). Звідси випливає їхнє призначення – для фермерських господарств, молокоприймальних пунктів, малих та середніх молочно-товарних підприємств. У господарствах перерахованих вище типів, до того ж, виразніше проявляються і переваги відкритих охолоджувачів молока: менші витрати на придбання та

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатацію, більш проста конструкція, що не вимагає наявності персоналу високої кваліфікації.

Резервуари-охолоджувачі відкритого типу мають форму вертикального циліндра з верхньою кришкою, яка піднімається; виготовляють їх двох типів: з напругою живлення 220 і 380 В і діапазоном ємностей від 100 до 1950 л. Охолоджувачі закритого типу випускають у вигляді циліндричних або еліпсоподібних резервуарів місткістю від 885 до 33000 л. Вони ефективніші у використанні, ніж охолоджувачі відкритого типу. Це зумовлено тим, що герметичніше закрита поверхня резервуарів сприяє інтенсивнішому охолодженню молока та підтриманню постійної температури під час зберігання.



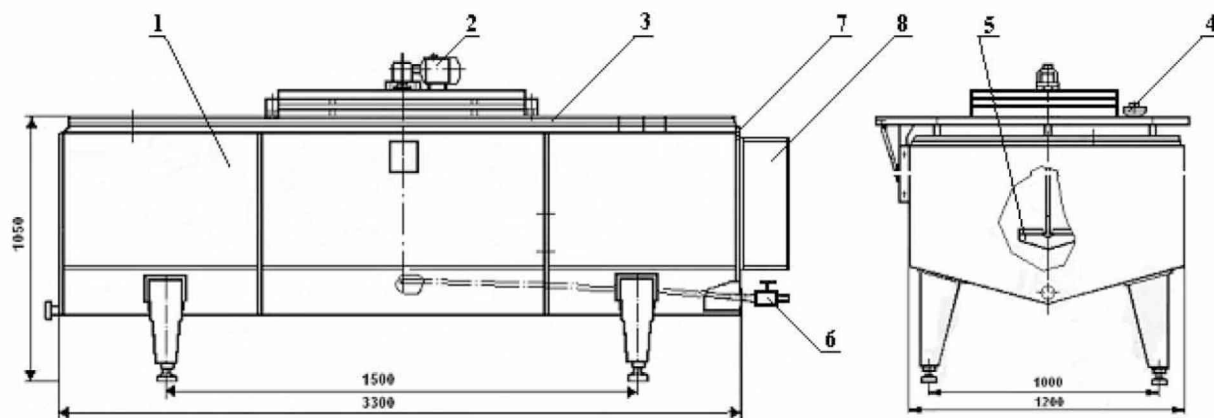
Рисунок 3. – Резервуари-охолоджувачі відкритого типу

Обладнання для охолоджувачів молока відкритого типу являє собою термоізольовану ємність з відкидною кришкою вгорі, компресорно-конденсаторним агрегатом і додатковими пристосуваннями. Конструктивно воно ділиться на два різновиди: вертикальне (танки або цистерни) і горизонтальне (ванни). Основна відмінність між ними наступне. Перші виконані у вигляді

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

циліндрів, встановлених на нижню торцеву сторону, на підніжках. Замість верхньої – кришка. Вони розраховані на менший обсяг, від 100 л до 2000 л., і займають невелику площу. Рекомендуються для фермерських господарств, малих підприємств та приймальних пунктів. Другі являють собою покладені «на бік» напівциліндри, з кришкою замість верхній горизонтальній поверхні. Ці моделі робляться побільше, від 1000 л до 5000 л, а тому застосовуються на малих і середніх молочно-товарних фермах.

Резервуар (танк) – охолоджувач молока (рис. 3) призначений для охолодження і зберігання молока на тваринницьких фермах та відноситься до класу відкритих танків [5]. Відкриті охолоджувачі у середньому за обсягом мають 2 тони, та їх відмінністю є кришка, що відкидається.



1 - молочна ванна, 2 - мотор-редуктор, 3 - кришка, 4 - фільтр для молока, 5 – мішалка, 6 – зливний кран, 7 – ізоляції, 8 – щит управління

Рисунок 4. – Загальний вигляд резервуара (танка) - охолоджувача молока

Зовні корпус молочної ванни 1 ізолюваний спеціальним матеріалом.

Термоізоляція 7 охолоджувача є екологічно безпечною щодо навколишнього середовища та вироблена з високоякісного поліуретану і допускає зростання температури молока впродовж 12 годин за зовнішньої температури $t=+30^{\circ}\text{C}$ не більше ніж на 1°C .

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зверху ванна має прямокутну кришку 3. В середній частині кришки кріпляться редуктор 2 з мішалкою 5, термометр і мірна лінійка. Також на кришці передбачено горловина з фільтром 4 для здійснення заливки молока у ванну. Рівень молока контролюється мірною лінійкою. Злив молока з ванни здійснюється через молочний зливний кран 6. Всі компоненти установки виготовлені з високоякісної харчової нержавіючої.

Для забезпечення максимально швидкого і рівномірного охолодження молока ємність забезпечена пристроями, які складаються з приводу та лопастевої мішалки.

Привід являє собою мотор-редуктор. Швидкість обертання мішалки дорівнює 25 об/хв і її призначення полягає у тому, щоб при обертанні лопатей мішалки не відбувалося розбивання жирових кульок і не змінювалася структура молока.

У сучасних моделей ємність для зберігання та охолодження молока, а також вузли і деталі, які контактують з продуктом, робляться з харчової нержавіючої сталі AISI 304. Для ізоляції використовують поліуретан, який наносять способом безпосереднього спінювання. З метою зменшення втрат холоду, між кришкою і корпусом передбачена прокладка. У відкритому стані кришку підтримують амортизаційні пружини.

Для виробництва охолоджувачів застосовується технологія лазерної зварки. Точне дозування хладагента, що надходить в даний вузол, забезпечує термічний клапан. Щоб молоко не примерзала до стін і рівномірно охолоджувалося, на кришці встановлений мотор-редуктор з мішалкою. Завдяки спеціальній формі лопатей і точно розрахованої кутової швидкості (23 об/хв), спінювання продукту або поява бризок виключається. Мішалку можна запрограмувати на різні режими. Наприклад, при зберіганні сировини треба його періодично помішувати (4 хв. роботи за 40 хв. перерви). А перед відбором проби або зливом – одноразове включення на 3 хв.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Управління установкою – автоматичне, у залежності від заданої температури продукту, яку датчики відстежують. Промивка ємності здійснюється вручну.

Охолодження молока відбувається внаслідок контакту з панельним випарником, розташованим на дні або стінах резервуара. У компресорно-конденсаторний агрегат залитий фреон R404A. Він в рідкому вигляді нагнітається у випарник, де закипає і переходить у газоподібний стан. Цей процес супроводжується поглинанням великої кількості тепла, яке відбирається у молока через стінки пристрою. Потім компресор переганяє фреон в конденсатор. Там він знову стає рідким, з виділенням тепла – воно віддається в атмосферу. Після цього процес повторюється.

Наведені технічні характеристики свідчать про те, що охолоджувачі різної місткості мають різну потужність компресорів, крім того, резервуари однієї місткості випускають у двох варіантах: з компресором більшої та меншої потужності. Під час визначення потрібної потужності компресора слід зважати на кількість доїнь та об'єм охолоджуваних порцій молока, що надходять до резервуара. Тобто, коли номінальна місткість резервуара заповнюється після одного-двох доїнь і, відповідно, порції охолоджуваного молока будуть більшими, потрібний охолоджувач із потужнішим компресором, і навпаки: коли охолоджуваних порцій молока більше (три-чотири), а об'єм менший — потрібно використовувати охолоджувач з менш потужним компресором.

Танки-охолоджувачі мають комп'ютерну систему контролю та управління технологічними процесами охолодження, зберігання молока, промивання й дезінфекції. Контроль і керування роботою охолоджувачів здійснює багатофункціональний мікропроцесор, який контролює температуру молока, роботу мішалки, припинення процесу охолодження, час охолодження, початок і закінчення промивання резервуара, час і температуру промивання. Все це забезпечує якісне виконання технологічного процесу охолодження та зберігання

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

молока. Охолоджене молоко по закінченні бактерицидної фази зберігає якості свіжовидоєного молока та відповідає нормам вищого гатунку за ДСТУ 3662-97.

Автоматичне промивання внутрішніх поверхонь танків-охолоджувачів і резервуарів здійснюється за допомогою мийних головок, які розміщено у верхній або нижній частині молочної ванни. Під час миття можливе використання як рідких, так і сухих мийних засобів.

Програма автоматичного промивання танків, зазвичай, містить три етапи: холодний, теплий і холодний (полоскання — циркуляційне миття — полоскання). Автомати промивання обладнано підігрівачем води та мийних розчинів, які подаються для миття. У деяких моделях охолоджувачів, наприклад, фірми De Laval систему промивання не обладнано підігрівачем води та мийного розчину.

Найдосконалішою є автоматична система промивання танків Kruos фірми Westfalia, яку обладнано автоматичним насосом і підігрівачем води та мийних розчинів, що подаються для миття. У цілому, система промивання охолоджувачів відповідає санітарним вимогам і забезпечує вихід молока належної якості.

Лабораторія систем економічних нормативів на нову техніку НДІ «Укragропромпродуктивність» проводила дослідження з використання холодильного обладнання іноземного виробництва і дослідного зразка охолоджувача ОМБ-1-01 «Агромаш» у виробничих умовах. Це один з етапів розробки нормативів праці, який містить узагальнення результатів вивчення затрат на робочих місцях і встановлення залежностей між трудомісткістю певної операції та чинниками, що впливають на її величину.

Слід зазначити, що молоко з молокопровідної системи доїльних установок надходить до охолоджувача й починає охолоджуватися вже під час доїння корів. У різних господарствах охолоджене молоко можуть викачувати з резервуара після одного, двох або трьох удоїв і спрямовувати на молокозавод. Використання номінальної місткості резервуарів охолоджувачів теж різне — від 29,8 до 100%.

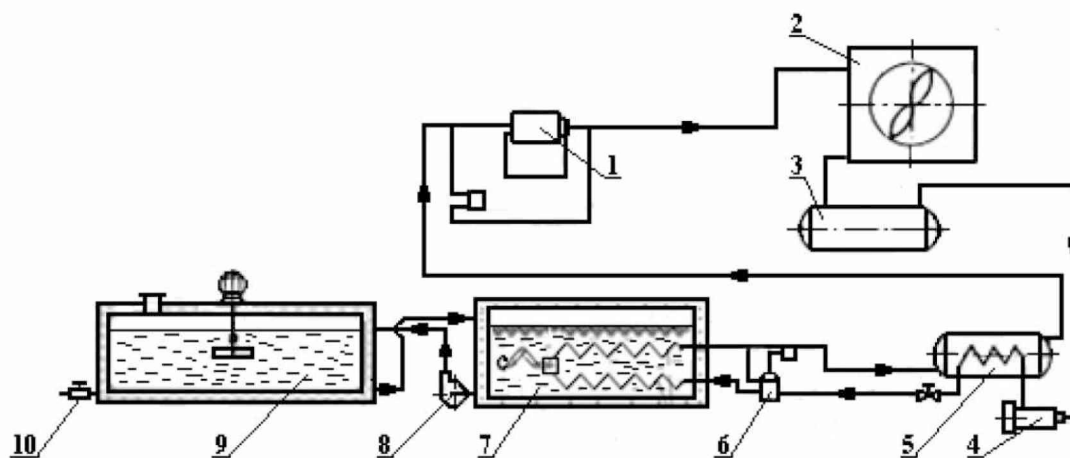
Результати досліджень свідчать, що величина витрат основного часу на охолодження 1ц молока зворотно-пропорційна відсотку використання номінальної

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

місткості резервуара охолоджувача. Затрати часу на охолодження 1ц молока за використання резервуарів із більшою місткістю значно нижчі, ніж за використання охолоджувачів малих о'ємів. Так, у разі використання охолоджувачів місткістю 1000 л затрати часу на охолодження 1ц молока становлять 19,00–23,8 хвилини, а за використання охолоджувачів місткістю 5000 л — від 5,74 до 8,00 хвилин.

У роботі також наведено принцип роботи апаратів такого типу, їх застосування та опис молокоохолоджувальної установки з акумулятором холоду МО2/100 АХ. За способами охолодження обладнання підрозділяється на системи прямого охолодження та системи з проміжним холодоносієм. Системи з проміжним холодоносієм поділяються на льодоакумулюючі (з фазовим переходом холодоносія) та чілери (без фазового переходу).

Системи прямого (безпосереднього) охолодження є найбільш поширеними. Охолодження рідини відбувається під час безпосереднього контакту його з випарником, що має прямий контакт з внутрішньою поверхнею ємності. В якості холодоагенту використовуються хладони. Системи з теплоакмуляцією використовують холодильний агрегат, що охолоджує холодоносієм, який, у свою чергу, охолоджує молоко. У нашому разі розглядається варіант з теплоакмуляцією. Коростенським заводом «Хіммаш» та НТУУ «Київський політехнічний інститут» розроблена установка щодо охолодження молока та молочних продуктів з акумуляцією холода, принципова схема якої наведена у рис. 1.



1 – компресор, 2 – конденсатор, 3 – ресивер, 4 – фільтр-осушувач, 5 – теплообмінник, 6 – терморегулюючий вентиль, 7- водяний (розсільний) насос, 8 – акумулятор холоду (льодогенератор), 9 – молочна ванна, 7 – зливний молочний кран.

Рисунок 5 – Принципова схема охолоджувача молока

Молокоохолоджувальна установка з акумулятором холоду розрахована на два доїння на добу по 1000 літрів кожна. В якості носія холоду застосовується крижана вода, що вироблена льодогенератором.

Призначення установки полягає у наступному: 1. молокоохолоджувач служить для охолодження молока та інших рідких молочних продуктів; 2. молочний резервуар (танк) має непрямую систему охолодження; 3. молокоохолоджувальні установки такого типу застосовуються у молочних фермах, малих молокозаводах та місцях скуповування молока; Характеристики апарату зазначені у табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні дані молокоохолоджувальної установки МО-2/1000 АХ

№ з/п	Технічні дані	Значення	Одиниці виміру
1	Ємність молочної ванни	2000	л
2	Кількість доїнь за добу	2	
3	Час охолодження з температури 350С до 40С, год.	2	год
4	Трьохфазна мережа	380/220	В
5	Число обертів мішалки	25	об/хв
7	Мінімальна площа приміщення під установку	15	м ²

Крім того, як вже було сказано вище, ванна для охолодження молока відкритого типу промивається вручну, на відміну від закритих танків, на яких змонтовані СІП-мийки.

Танки-охолоджувачі молока серії TCool XXL призначені для охолодження молока від + 35°С до + 4°С та його короткочасного зберігання при

температурі від + 4°C до + 5°C, а також автоматичного промивання молочного резервуару після вивантаження молока.

Танк-охолоджувач складається з резервуара для молока закритого типу, двох холодильних агрегатів, двох мішалок, автомата промивання, електронного блоку керування процесами охолодження молока та промивання, герметичного люку, вентиляційної насадки, драбини. Резервуар для молока циліндричної форми з зовнішнім діаметром 3000 мм, розташований горизонтально, виготовлений з нержавіючої сталі. В подвійному днищі резервуара розташований випаровувач, який забезпечує охолодження молока.

Отже, в господарстві, перш ніж придбати охолоджувач тієї чи іншої місткості, потрібно врахувати добову кількість молока, режим його відправлення з ферми на молокозавод і визначити таку номінальну місткість резервуара, яку можна буде використовувати з найбільшим відсотком.

Отже, для забезпечення виходу молочної сировини стандартної якості, яка б задовольняла потреби переробних підприємств, можливо за умови збереження якості молока на фермах завдяки використанню фільтрів для його очищення від механічних домішок з оптимальною тониною фільтрування на рівні 20–40 мкм та організації системи охолодження й зберігання молока.

Впровадження на тваринницьких фермах обладнання вітчизняного та зарубіжного виробництва, обґрунтованого за параметрами потужності й місткості резервуарів-охолоджувачів, дасть змогу не тільки одержати вихід молока належної якості, а й уникнути зайвих затрат робочого часу під час його охолодження, що в кінцевому результаті підвищить ефективність виробництва продукції у господарстві.

. Сучасні конструкції резервуарів-охолоджувачів та технологічні лінії обробки парного молока

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механічна забрудненість молока у виробничих умовах відбувається здебільшого в період доїння через неякісну санітарну підготовку вимені, а також у разі спадання доїльних апаратів через засмоктування механічних домішок у систему молокопроводу. Механічна забрудненість молока значно знижує його якість.

Для очищення молока на молочних фермах використовують фільтри та відцентрові сепаратори. Для відцентрового очищення молока використовують очисники-охолоджувачі ОМ-1М. Пропускна здатність очисника за агрегування з доїльною установкою становить 14,3 дм³/хв, а під час забирання молока з фляг — 19,9 дм³/хв. Недоліком у використанні очисників такого типу є те, що в них немає системи автоматичного видалення осаду і циркуляційного промивання сепаратора. З огляду на це, їхнє обслуговування потребує значного часу. До того ж, під час очищення молока з використанням такого обладнання пошкоджуються жирові кульки. Кількість дестабілізованого жиру зростає у 2–2,5 рази, що негативно впливає на технологічні властивості отриманої продукції.

На всіх сучасних доїльних установках з молокопроводом молоко очищується в потоці за допомогою фільтра молока АДМ.09.200 із фільтрувальним елементом одноразового використання, але фільтрувальна здатність його недостатньо висока. Тому розробка ефективніших фільтрів передбачена «Українською національною програмою виробництва машин і технологічного устаткування для сільського господарства, харчової та переробної промисловості».

Проведені дослідження свідчать, що кількість і розмір механічних домішок у молоці має мінливий характер і залежить від конкретних умов одержання продукції. Мінімальний розмір механічних часток становить 21 мкм, а максимальний — 5655 мкм. Отже, щоб одержати молоко високої санітарної якості, потрібна тонина його очищення на рівні 20–40 мкм. З'ясовано також, що лавсанові та капронові тканини затримують значно меншу кількість механічних домішок, ніж неткані фільтри. Підвищення продуктивності праці в разі використання фільтрів на доїльних установках має становити 5–7%.

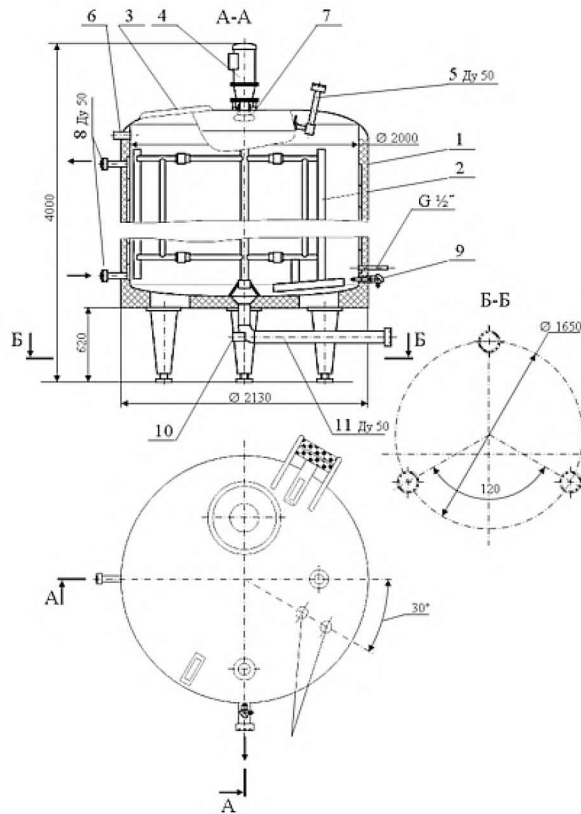
					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Економічний ефект у разі використання нових типів фільтрів буде одержано завдяки підвищенню якості молока на фермах, його технологічних властивостей, економії фільтрувальних матеріалів та валютних коштів, що їх витрачають тепер на закупівлю фільтрів.

Для одержання молока з високими санітарними й технологічними властивостями потрібно його якісно очистити та охолодити відразу після доїння корів. На фермах використовують два способи охолодження молока: в потоці й у містких резервуарах-охолоджувачах, які призначено для охолодження та зберігання молока.

Місткі резервуари, своєю чергою, розподіляються на резервуари з проміжним холодоносієм (охолодження льодяною водою) і безпосереднього охолодження. Як зазначалося, до резервуарів із проміжним холодоносієм належать РОМ-1,6 і РОМ- 2,5 розробки ВАТ «НДІферммаш», виробництво яких на замовлення здійснюють ВАТ «Брацлав» і Карлівський механічний завод. Ці резервуари забезпечують виконання технологічного процесу охолодження й зберігання молока, але поступаються аналогам РПО-1,6 і РПО-2,5 виробництва підприємств закордонного виробництва за споживаною потужністю й масою.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 - корпус; 2 - мішалка; 3 - люк; 4 - привід; 5 - мийна голівка; 6 - перелив; 7 - люк для лампи висвітлення; 8 - патрубки охолодження; 9 - датчик температури; 10 - датчики рівня; 11 - патрубок виходу продукту; 12 - шафа керування (не показаний).

Рисунок 6 – Резервуари із проміжним холодоносієм належать РОМ-1,6 і РОМ- 2,5

Вдалу конструкцію охолоджувачів молока з безпосередньою системою охолодження розробив ВАТ «НДІферммаш» разом із ВАТ «Агромаш» (Київ). Це охолоджувачі ОМБ-1,8-01 на 1800 л і ОМБ-1-01 на 1000 л, що отримали рекомендацію про постановку на серійне виробництво. Але ВАТ «Агромаш» поки що не освоїв серійного виробництва цих охолоджувачів.

Охолоджувач молока, резервуар для охолодження молока, бункер новий Wedholms об'ємом 35000 л, вертикальний закритий.

Wedholms вже понад 130 років займається виробництвом охолоджувачів молока різних типів ємністю від 330 до 30 000 літрів. У своєму реченні компанія має відкриті круглі резервуари для молока DFOV, ванни DFOH, закриті з

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичною мийкою DF953/DF95 і D953L/DF95L. Охолоджувачі молока Silo tank / бункер / силос танк економлять місце. Це рішення дозволяє максимально використовувати простір для зберігання молока. Вертикальний дизайн дозволяє гнучке розміщення, забезпечуючи легкий доступ до зберігання молока.

Тверді резервуари з силосів з нержавіючої сталі можуть зберігати від 10000 до 40000 літрів молока. Товстий шар ізоляції забезпечує оптимальний тепловий захист. Розпилювальна головка Wedholms гарантує ретельне очищення всього центру резервуара. Завдяки розпилювальній голівки, що обертається з мінімальним тертям, бак промивають сильним струменем води, видаляючи відкладення молока і кількість бактерій.

Резервуари оснащені трьома або двома випарниками в нижній частині і на бічній стінці, з можливістю збільшення кількості випарників на стінках. Бункер-силос доступний у ємкостях 10 000, 15000, 18000, 20000, 25000, 30000, 35000 і 40 000 літрів.



Рисунок 7 – Охолоджувачі молока Silo tank

Завод FIC сра заснований в 1951 році і на сьогоднішній день є одним з лідерів в області виробництва ємнісних охолоджувачів молока Frigomilk. Володіємо колосальним досвідом у сфері виробництва теплообмінного обладнання. Застосування новітніх технологій, використання матеріалів вищої

					KPM.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якості і виконання всіх виробничих робіт висококваліфікованими фахівцями, дозволяє компанії займати лідируючі позиції в цій галузі.

ГІС виробляє молокоохолоджувачі Frigomilk об'ємом від 100 л до 32000 л. Внутрішня і зовнішня оболонка танка-охолоджувача Фрігомільк виготовлена з нержавіючої сталі AISI 304. Ізоляційний матеріал виконаний з пінополіуретану. Потужність агрегату залежить від кількості доїнь. Холодильна система виконана таким чином, що молоко не заморожується навіть при неповній завантаженні. Охолоджувачі молока Frigomilk застосовуються для охолодження молока на фермах відразу після доїння. Молоко охолоджується до температури +36°C до +4°C за час 1,5 ... 2 години.



Рисунок 8 – Охолоджувач молока новий Frigomilk G1

У стандартне виготовлення молокоохолоджувачів Frigomilk входить мірна лінійка із нержавіючої сталі для вимірювання рівня молока. А також внутрішній сифон зливу або випускний дросельний вентиль. Комп'ютеризована система контролю дозволяє контролювати наступні операції та параметри:

- контроль температури молока;
- програма перемішування;

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- цифровий дисплей температури;
- автоматична мийка.

У моделях Frigomilk G9 і G10 передбачена автоматична мийка з наступними характеристиками:

- Невеликий витрата води і миючих засобів;
- Продуктивна миюча система з високоефективним обертаючим разбрызгивающим кулею;
- Дозуючі насоси миючих засобів;
- Фази дезінфекції є на всіх моделях.

Отже, на сьогодні обладнання для охолодження та зберігання молока в Україні серійно не виробляють. Тому широкий попит має обладнання іноземного виробництва, що представлено на ринку України такими провідними фірмами, як: De Laval (Швеція), Westfalia (Німеччина), Frigotecnica (Італія), Рако (Бельгія), Меко (Нідерланди), Serap (Франція) тощо. У більшості охолоджувачів молока цих фірм застосовано найекономнішу систему безпосереднього охолодження.

За конструкцією це обладнання розподіляється на два типи: резервуари відкритого типу і резервуари закритого типу (танки). Всі місткості та елементи обладнання, які мають прямий контакт із молоком, виготовлено з високоякісної харчової сталі. Резервуари мають термоізоляцію, виготовлену з поліуретанових чи полістирольних матеріалів нового покоління. За такої термоізоляції підвищення температури молока за вимкненого агрегату не перевищує 0,6...0,7°C впродовж чотирьох годин.

Усі холодильні агрегати мають герметичні безсальникові компресори відповідної потужності, які працюють на хладоні R134a і R 404. Обладнання представлене різними моделями з широким діапазоном місткості резервуарів, що дає змогу господарствам придбати саме той охолоджувач, який потрібний за конкретної кількості поголів'я та добового надою молока на фермі.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 1

На підстав проведеного вивчення стану теорії та практики процесу охолодження молока в резервуарах з різними системами охолодження можна зробити наступні висновки:

1. Спосіб охолодження та зберігання молока в резервуарах-охолоджувачах знаходить все ширше застосування як у нас, так і за кордоном.

2. Найбільш ефективними із застосовуваних на фермах резервуарів є резервуари-охолоджувачі з безпосереднім випаром холодоагента.

3. За питомою енергоємністю та металомісткістю, а отже, і ефективності теплопередачі вітчизняні конструкції резервуарів-охолоджувачів поступаються ряду кращих зарубіжних зразків.

4. Дотепер у літературі відсутні дані щодо обґрунтування та вибору найбільш раціональної форми резервуара-охолоджувача молока, не враховувалися умови процесу введення молока в резервуар-охолоджувач та його вплив на ефективність теплопередачі.

6. Процес теплопередачі в резервуарах-охолоджувачах безпосереднього охолодження молока не досліджувався. Не розроблена методика експериментальних досліджень теплопередачі в резервуарах безпосереднього охолодження молока, відсутня науково-обґрунтований метод розрахунку таких апаратів.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ В РЕЗЕРВУАРІ-ОХОЛОДЖУВАЧІ МОЛОКА

2.1. Теорія та розрахунок обладнання для охолодження молока та інших рідин в апаратах періодичної дії

Процес охолодження молока в резервуарі-охолоджувачі протікає при нестационарному температурному режимі. Температура молока в процесі охолодження в резервуарі поступово знижується, зменшується і перепад температур між молоком і холодоносієм (рис. 2.1) або киплячому в міжстінному просторі випарнику холодоагентом (рис. 2.2), отже, і інтенсивність теплообміну між ними.

Позначимо середню температуру молока в резервуарі за цикл охолодження $t_{\text{ср.мл.}}$, температуру охолоджувача $t_{\text{ср.хл.}}$, а фреона t_0 . За нескінченно малий проміжок часу dt , протягом якого коефіцієнт теплопередачі можна вважати величиною постійною, молоко віддає холодоносію або холодоагенту таку кількість тепла.

$\Delta t_{\text{ср.мл.}}$,

$$\Delta Q_{\text{мол}} = G_{\text{мол}} \cdot C_{\text{мол}} \cdot$$

(
2.1)

де $\Delta Q_{\text{мол}}$ – тепловий потік від молока до холодоносія за період часу dt , кВт;
 $G_{\text{мол}}$ – кількість охолодженого молока у резервуарі за одиницю часу, кг/с; $C_{\text{мол}}$ – питома теплоємність молока, кДж/(кг·°C) ; $\Delta t_{\text{ср.мл.}}$ – зміна температури молока за період часу dt , °C.

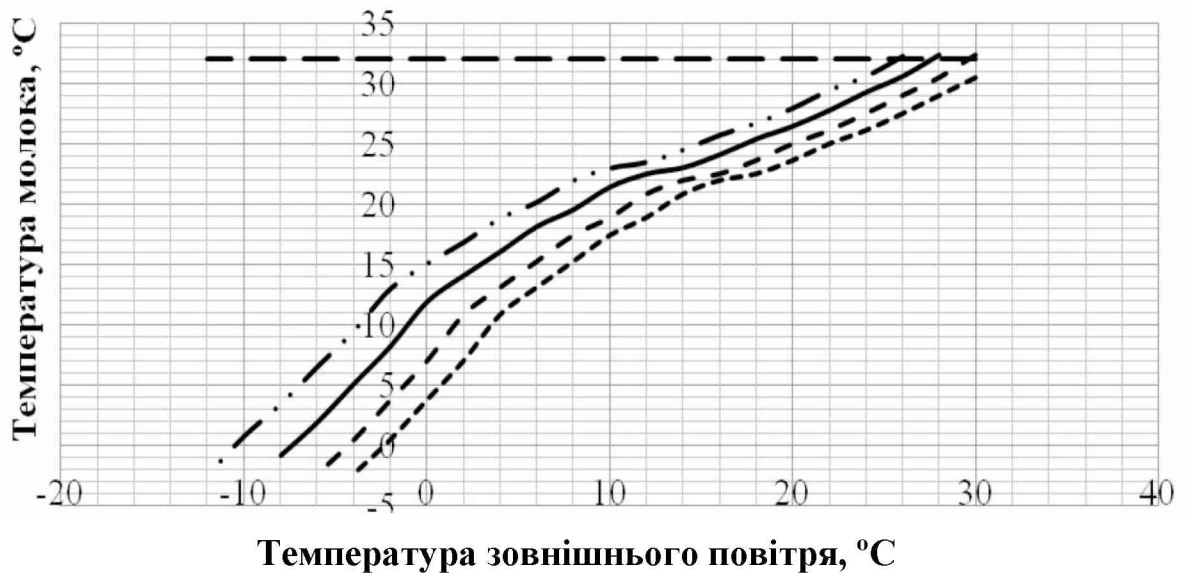
					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ця кількість тепла сприймається холодоносієм або холодоагентом. У першому випадку холодоносієм нагрівається на температуру $dt_{хл}$, у другому - холодоагент кипить, забираючи при цьому тепло від молока.

$$\Delta Q_{хол} = G_{хол} \cdot C_{хол} \cdot \Delta t_{сер.хол}$$

(
2.2)

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Умовні позначення: t_m - крива зміни температури молока; $t_{хол}$ - крива зміни температури холодоносія; Δt_m ; $\Delta t_{хол}$ - зміна температур молока і холодоносія в резервуарі за нескінченно малий проміжок часу Δt ; $\tau_{ох}$ - тривалість циклу охолодження; Δt_b ; Δt_m - різниця температур між молоком і охолоджувачем на початку і в кінці охолодження.

Рисунок 2.9 – Графік моделювання процесу охолодження молока з використанням природного холоду та рухом холодоагенту з низькою температурою замерзання по замкнутому контуру

де $\Delta Q_{хол}$ - тепловий потік, який передається холодоносією, що знаходиться в системі охолодження резервуара за період часу Δt , кВт;

$G_{хол}$ - кількість охолоджувача, що циркулює в системі охолодження в одиницю часу, кг/с;

$C_{хол}$ - питома теплоємність холодоносія, кДж/(кг·°C);

$\Delta t_{сер,хол}$ - зміна температури холодоносія за період часу Δt , °C.

ΔQ_a

(
2.3)

де - тепловий потік, що поглинається холодоагентом, кВт;

- об'ємна витрата холодоагенту, ?

- густина холодоагенту, кг/м^3 ;
- питома холодопродуктивність, кДж/кг .

Втрати тепла та холоду в резервуарі-охолоджувачі, оснащеному шаром термоізоляції товщиною 30...40 мм, не перевищує одного відсотка і в розрахунках ними можна знехтувати, тобто продовжити температуру.

(
2.4)

Кількість охолодженого молока та холодоносія записується через об'єм та щільність рідин

(
2.5)

(
2.6)

- де – об'єм рідини, м ;
- густина молока, кг/м^3 ;

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– густина холодоагенту, кг/м³.

Підставивши значення та до рівнянь 2.1 та 2.2, отримаємо залежність:

(
2.7)

(
2.8)

Враховуючи, що рівняння набуває вигляду

=

(
2.9)

Інтегруючи рівняння 2.1, 2.2, 2.9, отримаємо

(
2.10)

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(
2.11)

(
2.12)

де різниця температур між молоком і холодоагентом на початку циклу охолодження, °С;

різниця температур між молоком і холодоагентом в кінці циклу охолодження, °С.

Теплопередача між молоком і холодоагентом здійснюється через стінку резервуара. Кількість тепла, що пройшла через стінку резервуару за нескінченно малий проміжок часу, можна записати наступною формулою:

(
2.13)

де - коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·°С);

– поверхня теплопередачі, м²;

- температура молока в резервуарі, °С;

температура холодоагента, °С.

Підставивши значення з виразу 2.13 у рівняння 2.9 і після перетворення отримуємо рівняння

Провівши перетворення рівняння, отримуємо

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(
2.15)

де t_a - температура молока відповідно на початку та в кінці циклу охолодження, °C;

t_c - температури холодоагенту на початку і в кінці циклу: охолодження, °C;

- тривалість циклу охолодження, с.

Розв'язуючий спільно рівняння (2.12) і (2.15) отримаємо

(
2.16)

або

(
2.17)

Користуючись формулами (2.10) , (2.11), (2.16) і (2.17) при заданих початковій і кінцевій температурах молока, можна визначити потрібну поверхню теплопередачі резервуара-охолоджувача.

З рівняння (2.17) видно, що основним показником, що визначає інтенсивність процесу теплообміну, є коефіцієнт теплопередачі K , який у загальному вигляді розраховують за такою формулою:

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(
2.18)

де – термічний опір в пристінному шарі молока, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

– термічний опір шару забруднення зі сторони молока, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

– термічний опір теплопередавальної стінки, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

– термічний опір шару забруднення зі сторони холодоагенту, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

– термічний опір в пристінному шарі з боку холодоагенту, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

– коефіцієнт тепловіддачі молока, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

- відповідно товщини шару забруднення з боку молока, стінки та шару забруднення з боку холодоагенту, м;

відповідно коефіцієнти теплопровідності шару забруднення з боку молока, стінки та шару забруднення зі сторони холодоагенту, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

- коефіцієнт тепловіддачі холодоагенту, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Термічними опорами забруднень можна знехтувати, оскільки в холодоагенті забруднення розчиняються ним самим, а з боку молока проводиться щоденне промивання стінки ванни.

Отже, для чистої теплопередавальної стінки рівняння (2.18) набуде вигляду

(
2.19)

Для інтенсифікації процесу теплопередачі можливо на основі ретельного аналізу внутрішніх термічних опорів.

Товщина теплопередавальної стінки у резервуарів-охолоджувачі молока безпосереднього охолодження не перевищує 0,002 м, а матеріал має досить високу теплопровідність, тому термічним опором стінки можна знехтувати.

Для чистої теплопередавальної стінки, у якої , а термічний опір – незначний, рівняння (2.19) набуде вигляду:

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(
2.20)

З рівняння (2.20) видно, що загальний коефіцієнт теплопередачі менший за найменший коефіцієнт тепловіддачі. Для інтенсифікації теплопередачі через стінку резервуарів-охолоджувачів молока необхідно з'ясувати від яких параметрів залежать величини приватних коефіцієнтів тепловіддачі.

Механічне перемішування є одним із найпоширеніших способів інтенсифікації теплообміну в резервуарах.

Процес охолодження молока в резервуарах здійснюється при неперервному його перемішуванні лопатевими мішалками. Оскільки закономірності перенесення тепла при обтіканні поверхні не залежать від способу приведення рідини в рух, звичайне рівняння тепловіддачі для труб, пластин тощо можуть бути застосовані в умовах, коли рух рідини викликається обертанням мішалки.

Перемішування молока в резервуарах відбувається звичайно при турбулентному режимі руху. При цьому перенесення тепла здійснюється як за рахунок теплопровідності, так і за рахунок конвекції.

При примусовій конвекції теплообмін описується наступною критеріальною залежністю

(
2.21)

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для молока, що переміщується, залежність (2.21) виглядатиме наступним чином:

(
2.22)

де - постійний, числовий коефіцієнт;
, , - показники ступеня.

Встановлено, що показник симплплексу в'язкості можна прийняти рівним 0,14. При вимушеній конвекції показник ступеня за критерієм Прандтля приймається $\delta = 0,33$.

Тоді залежність (2.22) набуде вигляду

(
2.23)

У формулі (2.23) вплив фізичних констант рідини на тепловіддачу враховується критерієм , а напрям теплового потоку – поправочним множником .

Щоб знайти числове значення коефіцієнта пропорційності C і показника необхідно встановити залежність безрозмірного комплексу K_0 від критерію .

(
2.24)

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- де – безрозмірний вираз;
- критерій Рейнольдса;
- коефіцієнт пропорційності.

При перенесенні цієї залежності на логарифмічну сітку знаходять чисельні значення та .

Значення показника ступеня a при числі Рейнольдса змінюється в широких межах 0,4...0,92. У літературних джерелах зустрічаються твердження, що цей показник залежить від таких факторів, як тип перемішуючого пристрою; його форма, розмір, напрям теплового потоку i , особливо, режим руху середовища, що перемішується. Тому для інтенсифікації тепловіддачі з боку перемішуваного продукту в резервуарах-теплообмінниках необхідно турбулізувати потік, а це може бути досягнуто шляхом зрошення теплопередаючої поверхні резервуара в процесі заповнення молоком з наступним перемішуванням.

Перенесення тепла від стінки резервуара-охолоджувача з безпосереднім випаром хладону відбувається при кипінні останнього. Встановлення закономірностей процесу теплообміну при кипінні рідини в каналах є дуже складною проблемою, яка до теперішнього часу не вирішена до кінця. З двох відомих методів вирішення задач теплообміну застосування математичного методу обмежено через складність розв'язання системи диференціального рівняння гідродинаміки та теплообміну. Тому при вирішенні задач теплообміну при кипінні найбільш доцільно є проведення експериментальних досліджень з наступним узагальненням експериментальних даних з урахуванням теорії подібності. Але на противагу іншим видам конвективного теплообміну, для теплообміну при кипінні, у літературі відсутня твердо встановлена і єдина система критеріїв подібності, що дозволяє представити результати дослідів у узагальненому вигляді та впевнено поширювати отримані закономірності на випадки, коли відсутні дані дослідження. Цим і пояснюється різноманітність у виборі системи критеріїв та критеріальних рівнянь дослідниками.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Через складність гідродинамічної структури двофазної течії холодоагентів у каналах випарників резервуарів-охолоджувачів молока з безпосереднім охолодженням завдання визначення коефіцієнта тепловіддачі в них можна вирішити лише експериментально, спираючись на існуючі в літературі системи критеріїв стосовно умов поставленої задачі.

Досліджуючи процес тепловіддачі при кипінні рідини, який ґрунтується на наступних вихідних припущеннях. Рідина, що змочує, розглядається при незмінних фізичних параметрах. Розміри теплообмінної поверхні великі в порівнянні з розмірами бульбашок пари. Потік тепла від поверхні нагріву передається на початку рідини, а потім у процесі випаровування у парові бульбашки. Кипіння рідини відбувається на плоскій поверхні.

У загальному випадку коефіцієнт тепловіддачі при бульбашковому кипінні в каналах визначається критеріальною залежністю, одержаною вченими за допомогою аналізу розмірностей

де - відповідно критерії Рейнольдса, Прантдля, Архімеда, критерії, що враховують тиск, частоту відриву бульбашок;

- паровмісний потік;
- відношення густини рідкої та парової фаз, яке визначає гідродинамічні властивості потоку.

Теплове навантаження входить до рівняння (2.25) тільки в критеріях Рейнольдса

(
2.26)

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де – щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні стінки,
Вт/м²;

– еквівалентний діаметр каналу, м;

– прихована теплота випаровування, Дж/кг;

- коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с;

- густина двофазного потоку, кг/м³.

Критерій, що враховує тиск, має вигляд:

(
2.27)

де P – тиск у потоці, Па;

– поверхневий натяг, кН/м.

Критерій Прандтля в нерівності (2.25) не містить будь-яких специфічних для даного випадку теплообміну величин, він характеризує властивості рідини і фігурує у всіх рівняннях конвективного теплообміну,

(
2.28)

де - коефіцієнт температуропровідності, м²/с.

Критерій Архімеда для процесу кипіння має вигляд:

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(
2.29)

Рівняння (2.25) є загальною залежністю між критеріями подібності при кипінні рідини всередині труб при природній циркуляції.

Вплив критерію на коефіцієнт тепловіддачі порівняно невеликий, і в першому наближенні їм можна знехтувати. Вплив критеріїв, що враховують тиск і частоту відриву бульбашок, на тепловіддачу для більшості двофазних потоків приблизно однаково. Тому один із цих критеріїв можна виключити з рівняння (2.25).

В умовах проведених досліджень зміна критерію незначна, що унеможливорює надійно встановити ступінь його впливу на коефіцієнт тепловіддачі. Геометричні симплекси випарника не входить до рівняння, тому що його вплив на тепловіддачу не виявлено.

З урахуванням зроблених висновків, формулу (2.25) застосовано до умови, яка поставлена завданням можна записати у наступному вигляді:

(
2.30)

Кількісний зв'язок між критеріями рівняння (2.30) встановлюється дослідним шляхом.

На підставі проведеного аналітичного дослідження розроблено методику розрахунку резервуарів-охолоджувачів молока, можливість практичного застосування якої обґрунтовано експериментально (в розділі експериментальних досліджень).

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Аналітичне дослідження процесу охолодження молока в резервуарі-охолоджувачі

При проектуванні резервуарів-охолоджувачів необхідно забезпечити високі теплотехнічні, експлуатаційні та санітарно-гігієнічні параметри. Резервуари-охолоджувачі за своїм експлуатаційні показники повинні відповідати сучасному світовому рівню і бути придатними для багатосерійного виробництва на основі сучасної технології.

Форма резервуара надає великий вплив на зниження теплопритоків з навколишнього середовища, на розташування мішалки і промивного пристрою, а також на раціональне використання дефіцитних матеріалів при виготовленні цих апаратів.

Досконалість конструкції резервуара визначається показником питомої поверхні, що визначається за співвідношенням:

.

(2.31)

де S - питома поверхня резервуара, ;

F - площа поверхні резервуара, місткість резервуара, m^2 ;

V - місткість резервуара,

Нагрівання продукту від навколишнього середовища, а також витрата металу та ізоляції при виготовленні значною мірою залежить від питомої поверхні резервуара.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Резервуари-охолоджувачі, що використовуються на фермах і комплексах по конструктивному виконанню поділяються на горизонтальні та вертикальні круглого, овального та прямокутного поперечних перерізів.

Для циліндричного резервуара при R та довжині L об'єм його визначається за формулою:

$$(2.32)$$

А поверхня з урахуванням двох торцевих стінок визначається за такою залежністю:

$$(2.33)$$

Показник питомої поверхні циліндричного резервуару можна виразити залежністю:

$$(2.34)$$

Для еліптичного резервуара з порожнини a і b місткість V і площа поверхні F б з урахуванням двох еліптично торцевих стінок відповідно визначаються за наступними формулами:

$$(2,35)$$

$$(2.36)$$

де – функція, залежить від величин півосей, b і a .

Питому поверхню еліптичного резервуару розраховують за формулою:

$$(2.37)$$

Оптимальна величина визначається за умови, коли відношення дорівнює одиниці, а функція .

Найбільш раціональною формою прямокутного резервуару є кубічна з довжиною ребра L . Відповідно для кубічного резервуару маємо розрахункову формулу:

$$(2.38)$$

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З формул (2.34), (2,37), (2,38) випливає, що зі збільшенням лінійних розмірів питома поверхня зменшується.

Мінімальна питома поверхня для різних типів резервуарів при однаковій місткості:

У овального поперечного перерізу при $a = 0,643\text{м}$, $b = 0,45\text{м}$, $L = 2,8\text{м}$.

У круглого поперечного перерізу при $R = 0,75\text{ м}$, $L = 1,4\text{ м}$.

У прямокутного поперечного перерізу при

З розглянутих резервуарів однакової місткості мінімальною поверхнею у резервуара з еліптичним попереч перерізом.

У циліндричних і еліптично резервуарах навантаження на дно розподіляється більш рівномірно, ніж у прямокутниках, що дозволяє знизити металоємність конструкції.

Найважливішою умовою проектування та виготовлення резервуарів є їх висока уніфікація. Конструкція резервуарів-охолоджувачів з овальних або круглих поперечним перерізом дозволяє довести уніфікацію до 80% при зміні тільки довжини. При цьому, за рахунок переваг в горизонтальних резервуарах радіальних і осьових структурних елементів швидкості руху потоків молока забезпечується його краще перемішування, що дозволяє отримати необхідну швидкість охолодження і рівномірний розподіл жиру по всьому обсягу молока.

При розширенні типажу резервуарів у бік збільшення вмісту площини в горизонтальних конструкціях легше зберегти високий ступінь уніфікації, а у вертикальному – необхідно створення нових конструкцій резервуарів з діаметрами, відмінні від попередніх моделей.

Аналіз даних вітчизняних та зарубіжних резервуарів показує, що вертикальні циліндричні резервуари задовольняють вимоги існуючих стандартів по швидкості охолодження і витрат енергії при значно більшій теплообмінній поверхні в порівнянні з горизонтальними. Останні вимагають установки у вертикальні циліндричних резервуарах двох або більше випарників з різницею

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гідравлічних опорів і теплових навантажень та відповідних терморегулюючих вентилів (ТРВ) або одного ТРВ зі спеціальним розподільчим пристроєм складної конструкції.

Висновки до розділу 2

Аналітичне дослідження та проведений аналіз конструкцій резервуарів-охолоджувачів молока дозволив встановити, що найбільш оптимальною формою їх виконання є циліндричні горизонтальні резервуари з овальним або круглим поперечним перерізом.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Експериментальні дослідження процесів переміщення рідини в резервуарах-охолоджувачах

Сучасна гідромеханіка включає широкий арсенал приладів і методів для вимірювання швидкостей потоків рідини в каналах різних форм, у тому числі і в резервуарах з перемішувачами. Аналіз цих методів показав, що для одержання швидкісних характеристик потоків у резервуарах-охолоджувачах молока придатні як кінематичний, так і термодинамічний методи, які за прийнятою класифікацією (2.7, 2.14, 2.42) відносяться відповідно до першого та першого другого класу.

У роботі для дослідження швидкісного поля в резервуарах-охолоджувачах молока був використаний термодинамічний метод, а для дослідження ефективності перемішування молока - кінематичний.

Використання термодинамічного методу для визначення швидкостей потоків рідини засноване на використанні залежності між електричним опором і температурою. Між електричним опором датчика, струмом і швидкістю потоку існує функціональний зв'язок

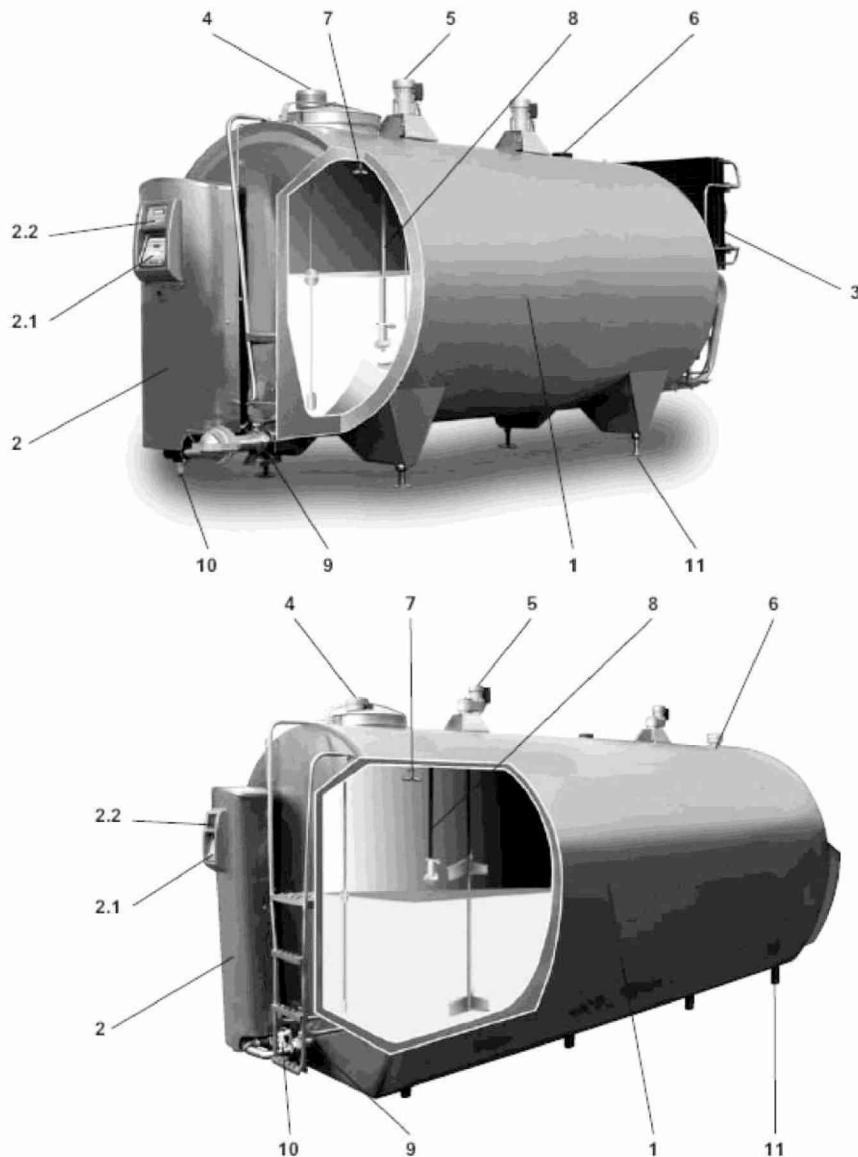
(
3.1)

при

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дослідження поля швидкостей у резервуарі з мішалкою проводилося за раніше розробленою методикою, опис якої докладно наводиться в роботі /4.7/.

Для проведення досліджень використовували калориметричний датчик, який складається з кулеподібного корпусу діаметром 15 ... 20 мм, виготовленого з алюмінієвого сплаву, який має високу теплопровідність. В середині корпусу датчика вмонтований нагрівач, виконаний з ніхромового дроту. Для вимірювання температури поверхні корпусу датчика проводили мідним термометром опору, який закріплений по контуру датчика і охоплює понад 3/4 його поверхні. Схема розташування точок вимірювання швидкостей рідини в горизонтальному резервуарі з овальним поперечним перерізом представлена на рис. 3.1.



1 – резервуар; 2 - пристрій управління та промивання; 2.1 – модуль керування; 2.2 – електронний індикатор рівня заповнення; 3 – холодильний агрегат; 4 – отвір для вентиляції; 5 - двигун перемішуючого механізму; 6 - задня заливна горловина 7 - голівка, що розбризкує; 8 - розбризкуюча голівка, що обертається; 9 – зливальний клапан; 10 - злив промивної води; 11 - регульовані опори.

Рисунок 3.1 – Резервуар-охолоджувач

Вимірювання проводилися при рівномірному режимі руху рідини, одна з умов якого була незмінність у часі температури в будь-якій точці перемішуваної рідини.

Дослідження впливу способу введення молока на інтенсивність перемішування було проведено методом відеофіксації в прозору ємкість резервуара-охолоджувача. При цьому дотримано основну умову моделювання - рівність чисел Рейнольдса зразка та моделі, тобто:

(
3.3)

Або

(
3.4)

де – відповідно частота обертання мішалки зразка і моделі, s^{-1}

– відповідно діаметр мішалки зразка та моделі, м;

- коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини в зразку і моделі, m^2/s .

З рівняння (3.4) випливає, що частота обертання мішалки в моделі резервуара дорівнює

(
3.5)

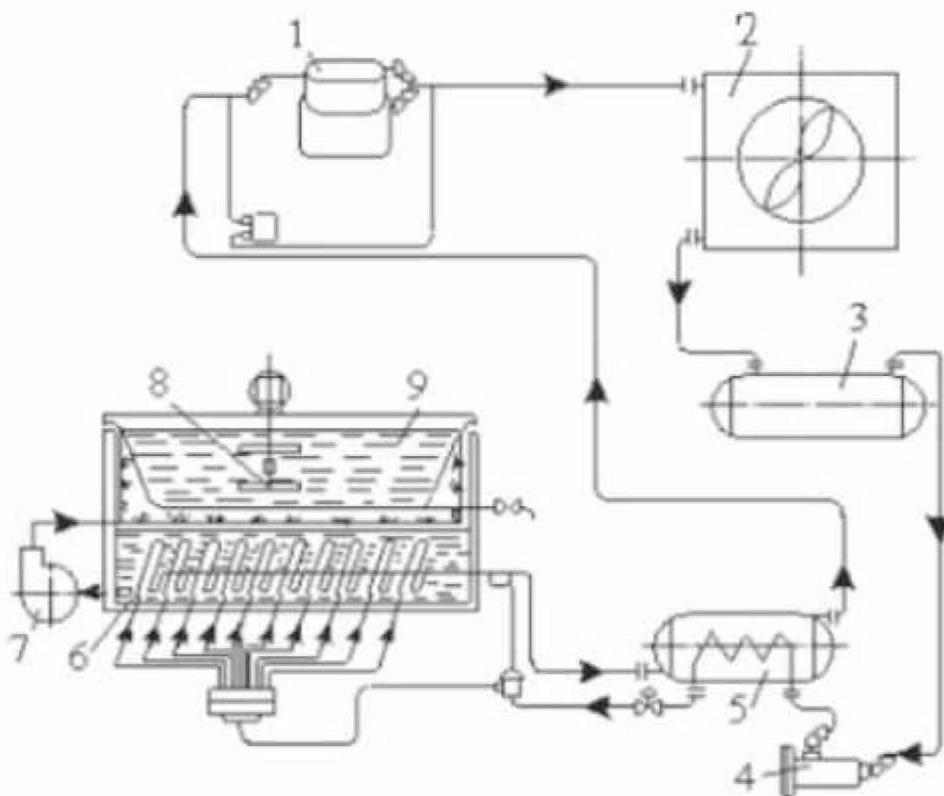
					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки в дослідах використовується одна і та ж рідина - вода, то , а з умови моделювання , підставивши ці значення в (3.5) отримаємо:

(
3.6)

Відеофіксація проводилася реєструючою камерою вбудованою в середині апарата, а освітлення моделі – спеціальним джерелом світла.

Розроблена експериментальна установка для вивчення способу введення молока в резервуар на процес перемішування показано на рис. 3.2.



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1 - хладоновий компресор; 2 - конденсатор; 3 - ресивер; 4 - фільтр-осушувач; 5 - теплообмінник; 6 - випарник; 7 - водяний насос; 8 - мішалка; 9 - молочна ванна

Рис. 3.2. Схема експериментальної установки вивчення впливу способу введення молока на процес перемішування

3.2. Дослідження поля швидкостей рідини, що перемішується в горизонтальних циліндричних резервуарах еліптичного поперечного перерізу

При симетричному розміщенні мішалки та значенні $Re \leq 1 \cdot 10^3$ у середній частині резервуара, в області лопаті спостерігається тангенціальний перебіг рідини, за межами якого утворюються застійні зони.

Максимальну швидкість руху (рис.3.3) мають частинки рідини, що знаходяться поруч із циліндром, що описується краєм лопаті мішалки. При видаленні частинок рідини в напрямку стінок швидкості їх значно змінюються. У торцевих стінках при такому значенні Re утворюються застійні зони, масообмін між ними та основним потоком практично відсутній.



Рисунок 3.3. Вмонтована мішалка в горизонтальному охолоджувачі

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зі збільшенням діаметра мішалки спостерігається зростання швидкостей, причому в перерізах, близьких до лопаті мішалки, приріст швидкостей має більше значення. Швидкість руху частинок рідини безпосередньо біля стінки при цьому відбувається, що призводить до зруйнування ламінарного шару та зменшення її термічного опору.

Збільшення частоти обертання мішалки, а отже, і числа Re призводить до значного підвищення вихідних, вхідних і радіальних потоків рідини. Останні особливо значні на рівні лопаті мішалки. Вже при $Re > 10$ застійні зони зменшуються до мінімуму за рахунок переважання радіальних, вихідних, вхідних потоків. Однак, вимивання рідини з кутів резервуара відбувається ще повільно, що перешкоджає інтенсивному теплообміну між молоком та стінкою випарника (рис. 3.4).

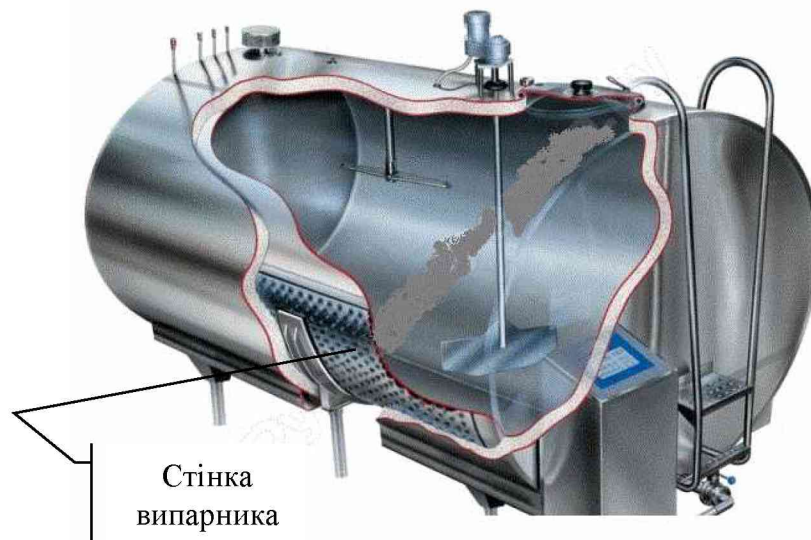


Рисунок 3.4. Вмонтований випарник у горизонтальному охолоджувачі

На введенні холодоагенту у випарник у цих зонах, як правило, спостерігається замерзання молока до стінки резервуара. Подальше збільшення числа Re до 10^5 і вище при центральному розташуванні мішалки пов'язане з утворенням воронки, що веде до підсмоктування в молоко повітря і піноутворення. Останнє призводить до зменшення корисного обсягу резервуара і зниження інтенсивності теплообміну.

Зміщення мішалки щодо поперечної осі призводить до збільшення вихідного потоку в меншій порожнині резервуару-охолоджувача, однак, як показали дослідження, з застосуванням кульових зондів, частини рідини, що перемішується, вільно проникають у велику порожнину і досягають торцевої стінки резервуара. Відбиваючись від цієї стінки, частинки рідини знову проникають у меншу порожнину, що сприяє інтенсивному масообміну між ними.

Зміщення мішалки щодо поздовжньої осі призводить до різкого зростання радіальних потоків в області обертання мішалки.

Відхиляючись від прилеглої стінки, потоки, з одного боку, посилюються обертається навколо мішалки: вихором, з іншого боку, зіштовхуючись з ним, створюють висхідні і низхідні потоки, що сприяють перемішування молока на всіх рівнях і рівномірному розподілу жирової фази по всьому об'єму, що перемішується.

Для резервуарів-охолоджувачів з еліптичним поперечним перерізом оптимальним зміщенням щодо поздовжніх та поперечних осей резервуара є $(0,08...0,1)D_p$.

Подальше збільшення зміщення мішалки і $Re \geq 10^5$, разом з інтенсифікацією процесу перемішування і зниженням термічного опору на межі між молоком і стінкою резервуару-охолоджувача, призводить до динамічного руху рідини і, як наслідок, до зменшення робочої ємності відкритого резервуара.

З метою інтенсифікації процесу перемішування та запобігання замерзанню молока при стінках резервуару-охолоджувача були проведені дослідження щодо введення молока в зону його найбільших швидкостей та надання частинкам продукту, що надходить, початкової швидкості, рівної швидкості руху країв лопаті мішалки.

3.3. Дослідження впливу способу введення молока на інтенсивність його перемішування

Виходячи з аналізу кінематики потоків рідини та епюр розподілу швидкостей їх руху, спосіб введення молока значно впливає на інтенсивність його

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перемішування, а отже, і тепловіддачу від молока до стінки резервуара-охолоджувача. Останнє особливо впливає на проралшваніє молока до стінки випарника. Аналізуючи сучасні конструкції резервуарів-охолоджувачів, випускаються українською промисловістю, так і за кордоном, можна відмітити значні відмінності в конструктивному рішенні різними фірмами способу введення молока в охолоджувач.

У вертикальних циліндричних резервуарах з нахилом розташовування мішалки (рис. 3.5) введення молока здійснюється як по периферії, точки: 1 – фірми Mueller (Нідерланди), Alfa laval тип ALS (Швеція), Mellote (Бельгія), Wedholms (Швеція), Milkeeper (США), 2 – фірма Wedholms (Швеція), 4 і 5 Јару Франція, так і в центрі резервуара.

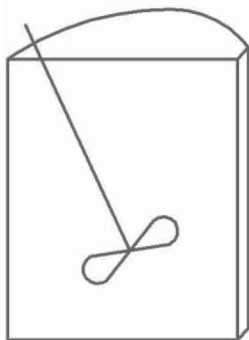
Епюри розподілу швидкостей, отримані в подібних резервуарах при похилому положенні мішалок (рис. 3.7) свідчать про те, що максимальна швидкість потоків рідини лежить безпосередньо біля днища резервуара, де зазвичай встановлюють випарник. Введення молока в такий резервуар зверху не сприяє рівно-номерному розподілу жирових частинок по всьому об'єму, що перемішується, а навпаки призводить до деякої їх концентрації та утворення конгломератів.



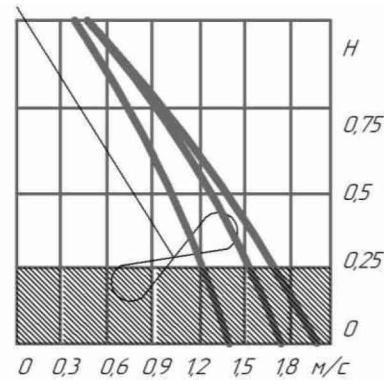
Рисунок 3.5. Циліндричні резервуари з розташування мішалки під нахилом



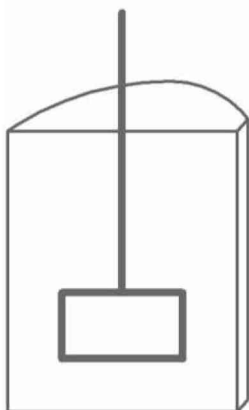
Рисунок 3.6. Циліндричні резервуари з вертикальним розташування мішалки



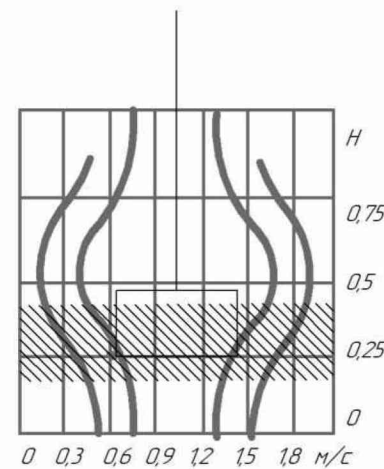
Оптимальна зона введення рідини



а)



Оптимальна зона введення рідини



б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- а) похиле розташування мішалки;*
- б) центральне розташування мішалки*

Рисунок 3.7. Епюри розподілу швидкостей у вертикальному циліндричному резервуарі

У вертикальному циліндричному резервуарі з центральним розташуванням мішалки (рис. 3.7) введення молока у верхній його частині більш сприятливе для розподілу жирових частинок, порівняно з похилим, оскільки максимальна швидкість розподілу потоків лежить у площині обертання лопатки. Введення молока в таких резервуарах здійснюється в точках, що лежать над максимум швидкості в об'ємі потоків, що переміщується. Однак, як і в резервуарах з похилим розміщенням мішалки, це не виключає утворення згустків при заповненні резервуарів продуктом.

У вертикальних прямокутних резервуарах із симетричним розташуванням мішалки (рис. 3.5) введення молока в резервуар здійснюється як на максимальній швидкості потоків рідини, що переміщується. Епюри розподілу швидкостей у таких резервуарах близькі до епюр, отриманих у резервуарах з центральними розташуванням мішалки. Водночас прямокутна форма резервуару сприяє зниженню тангенціальних потоків та збільшенню осьових. Тому поширення жирової фази молока в таких резервуарах більш сприятливе порівняно з вертикальними циліндричними резервуарами.

Аналіз епюр розподілу швидкостей потоків рідини в резервуарах різних форм показав, що введення в них молока без урахування руху його частинок за обсягом при механічному перемішуванні знижує ефективність розподілу жирової фази по всій масі і тепловіддачу від продукту до стінки, що охолоджує.

Аналіз отриманих епюр розподілу швидкостей (рис. 3.5, 3.6) свідчить про те, що розподіл швидкостей потоків рідини, що переміщується, по перерізах має однаковий характер при деякому збільшенні абсолютних значень з приближенням до валу мішалка. Незначне відхилення розподілу швидкостей потоків по висоті

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рідини, що перемішується, свідчить про те, що тангенціальні потоки не переважають над осьовими і радіальними. Останній дуже важливий для рівномірного розподілу жирової фази по всьому об'єму молока, що перемішується.

Абсолютне значення швидкостей потоків рідин знаходиться у прямій залежності від розмірів резервуара та мішалки. Збільшення діаметра мішалки в 1,4 рази (з 400 до 570 мм) призвело до зростання абсолютних значень швидкостей потоків на 25...30%, при збереженні характеру розподілу швидкостей за досліджуваними перерізами.

З отриманих епюр розподілу швидкостей у горизонтальних резервуарах еліптичного поперечного перерізу видно, що найбільше значення швидкості потоків швидкості має місце в області обертання мішалки.

Отже, для інтенсифікації теплообміну в резервуарі випарник слід розташовувати на дні та в області обертання лопаті мішалки.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Експериментальна установка та методика проведення дослідів з дослідження теплообміну в резервуарах-охолоджувачах молока з безпосереднім охолодженням

Експериментальні роботи з дослідження теплообміну в резервуарах-охолоджувачах молока з безпосереднім охолодженням проводилися в напрямку визначення коефіцієнтів тепловіддачі, як з боку молока, що перемішується, так і з боку киплячого холодильного агента, що залежать від багатьох факторів.

При визначенні коефіцієнтів тепловіддачі в резервуарах-охолоджувачах були прийняті такі положення:

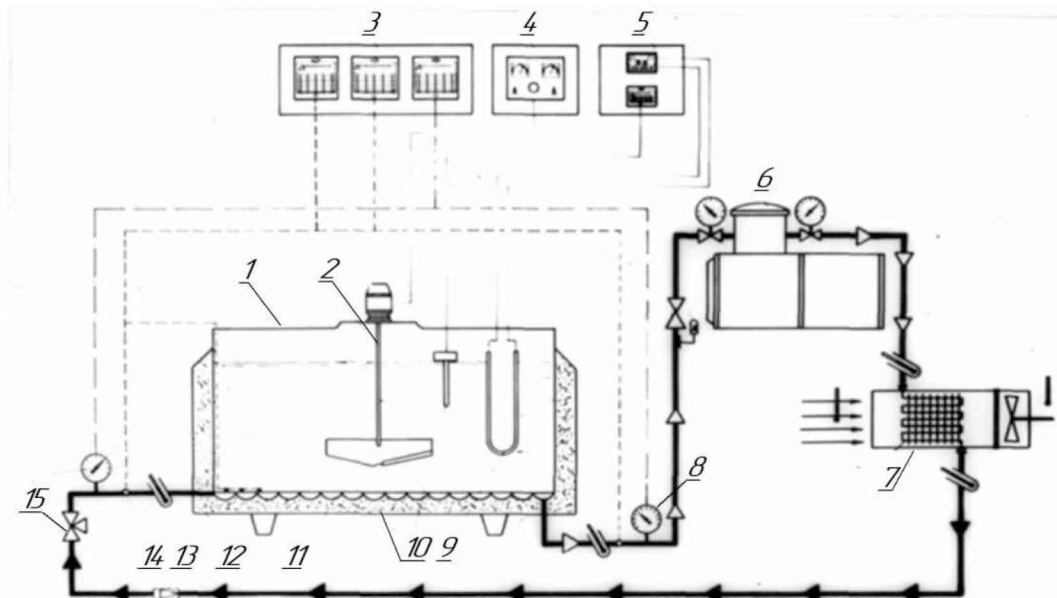
- дотримання стійких режимів дослідження;
- проведення розрахунків основних величин, що визначають коефіцієнти тепловіддачі: частота обертання мішалки, температури стінки і рідини, що перемішується, тиск і масова витрата холодоагенту і т.д.

Для дослідження теплообміну в резервуарах-охолоджувачах була розроблена і зібрана експериментальна установка, схема якої зображена на рис. 4.1. Експериментальний стенд дозволяв зробити заміри необхідних параметрів як з боку холодоагенту, так і з боку рідини, що перемішується.

Об'єктами досліджень були експериментальні резервуари-охолоджувачі, обладнані решітчастим випарником (рис. 4.2) і з панельними випарниками (рис. 4.3). Основні параметри досліджуваних резервуарів-охолоджувачів наведені в таблиці 4.1.

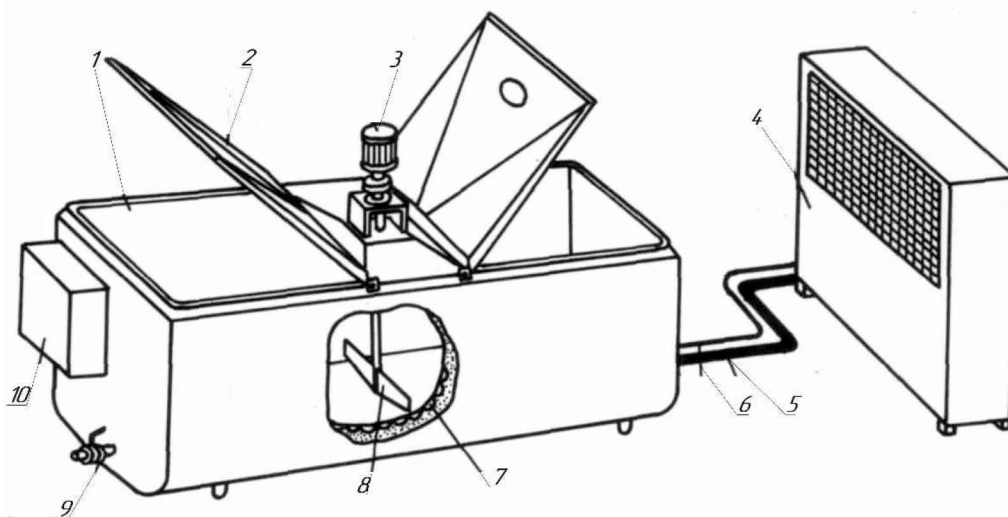
Дослідний зразок резервуара-охолоджувача молока з безпосереднім охолодженням – це теплоізольована ємність, стінки якої були випарником холодильної машини.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 - Резервуар-охолоджувач; 2 - мішалка з приводом; 3 - блок вимірювальних приладів; 4 - блок управління мішалкою; 5 - блок підтримки стаціонарного режиму; 6 - компресор; 7 - конденсатор; 8 - манометр; 9 - електронагрівач; 10 - термометр опору; 11 - випарник; 12 - термоізоляція; 13 - витратомір; 14 - термонара; 15 - терморегулюючий вентиль.

Рисунок 4.1 - Схема експериментальної установки



1 - ванна для молока; 2-кришка; 3-мотор-редуктор; 4 - компресорно-конденсаторний агрегат; 5- трубопровід рідкого холодоагенту; 7- випарник; 8-мішалка; 9 - зливний кран; 10 - шафа управління.

Рисунок 4.2 - Резервуар-охолоджувач молока зі щілинним випарником

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 4.1

Основні параметри резервуарів-охолоджувачів

Найменування параметрів	Параметри резервуарів-охолоджувачів		
	з панельним випарювачем	з випарювачем із системою отворів	
Місткість, л			
геометрична	2150	1700	2625
робоча	2000	1600	2500
Площа теплообмінної поверхні, м ² ,	0,888	2,739	4,08
Система охолодження	панельна	з отворами	з отворами
Частота обертання мішалки,	0,53	0,416	0,5
Тип резервуара	відкритий, горизонтальний, циліндричний	відкритий, горизонтальний, циліндричний	герметичний, горизонтальний, овальний
Тип мішалки	двохлопатева	двохлопатева з вигнутими кінцями	двохлопатева з вигнутими кінцями
Тип охолодження	безпосереднє	безпосереднє	безпосереднє
Діаметр мішалки, м	0,6	0,7	0,725
Габарити, мм:			
довжина	2240	2100	2125
ширина	920	1400	1400
висота	1100	1200	1000
Маса без компресорно-конденсаторного агрегату, кг	380	410	346,5

Випарник був виконаний з окремих секцій (рис. 4.4) площею 0,444 м², з індивідуальним введенням та виведенням холодоагента.

Оскільки процес теплообміну в резервуарі-охолоджувачі між рідиною, що охолоджується, і холодоагентом змінюється безперервно вздовж теплопередаючої стінки і в часі, то з метою отримання багаторазової повторюваності отриманих теплотехнічних параметрів тепловий режим, що не встановився, наводиться до встановленого. Для цієї мети одночасно з охолодженням рідини проводиться її підігрів електронагрівачами, включеннями до мережі через прилади. Ознакою встановленого режиму були постійні в часі значення температур стінок, рідини, що

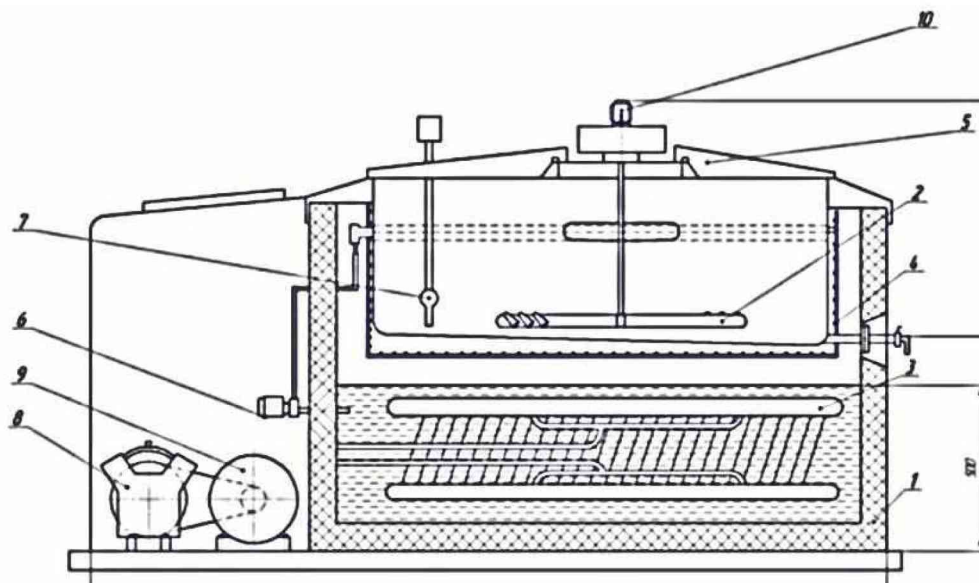
					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охладжується, кипіння холодоагента всередині випарника, а також сталість тиску кипіння холодоагента у випарнику. Досліджуваний температурний режим в резервуарах-охолоджувачах змінювався від 4 до 45 °С.

Повторність дослідів п'ятиразова.

Сумарні теплопритоки із навколишнього середовища та теплові втрати в ній за абсолютною величиною не перевищували 1%. Така невелика величина теплових втрат знаходиться в межах відносної похибки показів приладів, тому при аналізі теплообміну досліджуваних резервуарів втрати тепла в навколишнє середовище і теплопритоки ззовні не враховувалися.

Досліди проводилися на різних холодоагентах. Кількість циркулюючого холодоагента в системі визначалося різними способами по тепловому балансу конденсатора, по тепловому балансу випарника і безпосереднім заміром за допомогою витратомірів, вмонтованих на ділянці трубопроводу перед терморегулюючим вентиляем.



Резервуар із нержавіючої сталі з зовнішнім теплоізоляційним покриттям 2, верхня траверса 3 (балка) із закріпленою на ній мішалкою 4 і мотор редуктором 5, а також послідовно з'єднані компресорно-конденсаторний агрегат 6, ресивер 7, фільтр 8, терморегулюючий вентиль 9, потоку (на рис не показаний) і трубчастий випарник 10 з всмоктуючим колектором, пов'язаним із входом компресорно-конденсаторного агрегату 6.

Рисунок 4.3 – Експериментальний резервуар-охолоджувач с панельним випарником

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

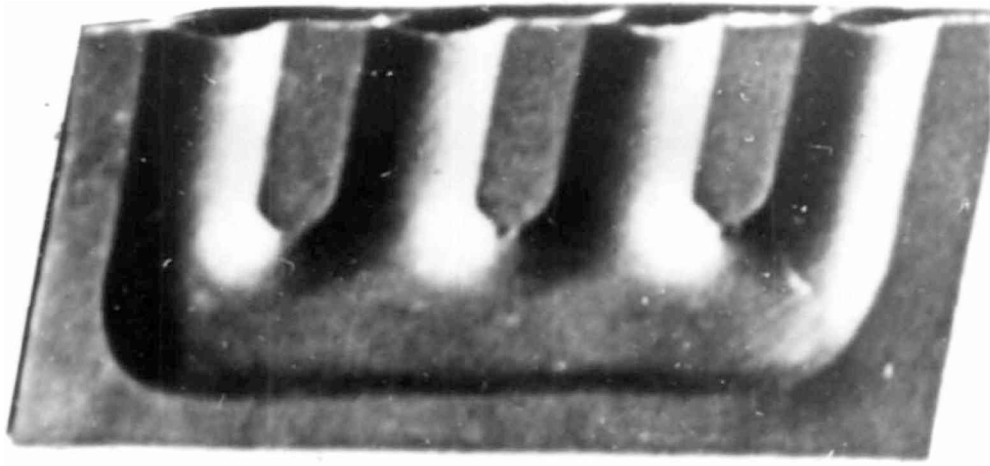


Рисунок 4.4 - Секція випарника резервуару-охолоджувача молока

Кількість циркулюючого агента з теплового балансу конденсатора визначалася за формулою:

$$G_{kg} = \frac{Q_{kg}}{i_2 - i_3} \quad (4.1)$$

де i_2 - ентальпія холодоагенту на вході в конденсатор, кДж/кг;

i_3 - ентальпія холодоагенту на виході з конденсатора, кДж/кг.

Теплове навантаження на конденсатор дорівнює:

$$Q_{kg} = G_b C_b \gamma_b t_b \quad (4.2)$$

де G_b - витрата повітря, м³/ч; C_b - теплоємність повітря, кДж/кг · °С;

γ_b - питома вага повітря, кг³/м³;

t_b - Різниця температур повітря на вході та виході з конденсаторів, °С.

Швидкість повітря V_b у площині всмоктуючого фронту конденсаторів замірялася анемометром. Конденсатор при цих вимірі був розбитий на прямокутні ділянки.

Середня швидкість повітря підраховувалася за формулою:

$$V_{ep} = \frac{\sum_{i=0}^n V_i}{n}. \quad (4.3)$$

де V_i - швидкість, заміряна в центрі кожного прямокутника, м / с. Годинна витрата повітря вентиляторами підраховувалася за формулою:

$$G_b = 3600V_{ep}F. \quad (4.4)$$

де F - площа перерізу всмоктуючого фронту конденсатора, м². Холодопродуктивність визначали за формулою:

$$Q_n = G_a(i_1 - i_2). \quad (4.5)$$

де i_1 - ентальпія парів холодоагенту на виході з випарника, кДж/кг;

i_2 - ентальпія рідкого холодоагенту перед терморегулюючим вентилем, кДж/кг,

Виділяючи тепловий потік через теплообмінну стінку визначали за формулою.

$$q = Q/F. \quad (4.6)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від молока, що перемішується, до теплообмеженої стінки резервуара-охолоджувача встановлювали з виразу.

$$D_m = \frac{q}{t_m - t_{cm}}. \quad (4.7)$$

Середній коефіцієнт тепловіддачі від теплообмінної поверхні резервуара до кип'яченого холодоагенту визначали за формулою.

$$D_a = \frac{q}{t_{cm} - t_o}. \quad (4.8)$$

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $t_{cm} = t_{cm} - q \left(\frac{S}{\lambda} \right)$; t_{cm} - середня температура стінки, про;

S - відстояючі від спаю термопар до поверхні кипіння, м;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, Вт/(м²·°С).

Температури охолоджуваної рідини і холодоагенту на висоті з випарника і перед терморегулюючим вентилем вимірювали електронний автоматичним вирівнювальним мостом зі шкалою від -50 до +50 °С і контролювали ртутними термометрами з точністю до 0,1 °С. В якості датчика використовували термометри опору. Під час досліду вони занурювалися безпосередньо в охолоджувану рідину та спеціальні термогільзи, заповнені олією.

Температуру стінки теплопередаючої поверхні резервуарів вимірювали за допомогою хромель-копелевих термопар з дроту діаметром 0,2 мм рівномірно зачekanенних через певні проміжки по всій теплопередаючій стінці. Для автоматичного запису показань цих термопар був використаний самопишучий електронний потенціометр. Тарування ланцюга потенціометра здійснювалося або зануренням спаїв термопар в посудину з розтопленим снігом, або за допомогою приладу.

При вимірі температур стінки термопар були зачekanені в спеціальні канавки та залиті епоксидною смолою. Дріт термопар знаходився в спеціальному захисному коробі і вільна частина термопар від спаю до точки підключення до приладу не надсилала контактів іншим тілам. Температуру стінки визначали як середньоарифметичну зі показань всіх термопар, заізолюваних в теплопередаючій стінці.

Тиск пар киплячого холодоагента в каналі випарника вимірювали зразковими манометрами класу точності 0,5. За показаннями зразкового манометра встановлювали температуру кипіння холодоагента у випарнику.

Обидва прилади були відрегульовані на наступні режими роботи:

- швидкість подовження стрічки - 0,2 мм/с;
- час пробігу кареткою всієї шкали - 8 с;
- тривалість циклу - 5 с.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такі режими роботи приладів давали змогу за відносно нетривалого циклу роботи резервуара отримувати закономірності зміни температур як стінки, так і робочих осібок.

4.2. Результати експериментальних досліджень тепловіддачі від рідини до теплообмінної поверхні резервуару

Для дослідження тепловіддачі в резервуарах з безпосереднім випаром з різними системами охолодження в схемі експериментальної установки (рис. 4.1) змінювали холодильну установку та досліджуваний резервуар-охолоджувач. Мішалка приводилася у обертання безпосередньо від двигуна постійного струму, обороти якого регулювалися спеціальними реостатами, включення в ланцюг збудження якоря двигуна. Зміна положення мішалки щодо осей симетрії резервуара здійснювалося її зміщенням разом з електродвигуном по траверсі. Частота обертання лопатевої мішалки змінювалася від 0,416 до 0,83 с, а симплекс геометричної подібності d_M/D_e від 0,25 до 0,8.

При обробці дослідних даних було використано відоме критеріальне рівняння (2.22) для тепловіддачі в апаратах з механічною мішалкою.

Для визначення постійного C і показника ступеня A при числі Re результати досвідчених даних представлені у виді залежності.

$$K_o = \frac{Nu}{Pz^{0,35} \left(\frac{N_{ж}}{N_{см}} \right)^{0,14}} \quad (4.9)$$

Графік залежності $K_o = f(Re)$ для експериментального резервуару охолоджувача з панельними випарниками представлений на рис. 4.5.

Цьому графіку відповідає наступне критеріальне рівняння

$$Nu = 0,052 Re^{0,75} Pz^{0,35} \left(\frac{N_{ж}}{N_{см}} \right)^{0,14} \quad (4.10)$$

або

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_m = 0,488 \left(\frac{\lambda}{D_g} \right) \left(\frac{n_m d_m^2}{\nu} \right)^{0,6} \left(\frac{cN}{q} \right)^{0,33} \left(\frac{N_{жк}}{N_{см}} \right)^{0,14} \quad (4.11)$$

Формули (4, 10) і (4, 11) застосування в діапазоні чисел Рейнольдса від $5 \cdot 10^4$ до $45 \cdot 10^4$.

Обробка отриманих результатів по тепловіддачі з боку рідини, що переміщується в резервуарах-охолоджувач з щілини випарниками з використанням графіків, представлених на рис. 4.6 дала можливість встановити наступні розрахункові рівняння в критеріальному вигляді:

Для резервуара-охолоджувача крутого поперечного перерізу

$$Nu = 0,052 Re^{0,75} Pz^{0,33} \left(\frac{N_{жк}}{N_{см}} \right)^{0,14} \quad (4.12)$$

або

$$d_m = 0,052 \left(\frac{\lambda}{D_g} \right) \left(\frac{n_m d_m^2}{\nu} \right)^{0,75} \left(\frac{cN}{q} \right)^{0,33} \left(\frac{N_{жк}}{N_{см}} \right)^{0,14} \quad (4.13)$$

для резервуара-охолоджувача овального поперечного перерізу

$$Nu = 0,052 Re^{0,71} Pz^{0,33} \left(\frac{N_{жк}}{N_{см}} \right)^{0,14} \quad (4.14)$$

Або

$$d_m = 0,052 \left(\frac{\lambda}{D_g} \right) \left(\frac{n_m d_m^2}{\nu} \right)^{0,71} \left(\frac{cN}{q} \right)^{0,33} \left(\frac{N_{жк}}{N_{см}} \right)^{0,14} \quad (4.15)$$

Формули дійсні для області $2 \cdot 10^4 < Re < 40 \cdot 10^4$

Для розрахунку тепловіддачі за допомогою рівнянь (4.10), (4.12) і (4.14) слід використовувати середні значення фізичних параметрів рідини, що знаходиться в резервуарі .

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для встановлення впливу ексцентричного розташування мішалки щодо осей симетрії резервуара-охолоджувача РН0-1 на але коефіцієнтах теплоотдачі були проведені серії дослідів при $e = (0,08 \dots 0,1)D_g$.

При такому розташуванні мішалки тліє місце нестабілізований рух рідини і більш інтенсивне омиванням всієї теплообмінної поверхні, включаючи найвіддаленіші ділянки у торців стінок резервуара.

Це створює більш сприятливі передумови для теплообміну між рідиною, що переміщується і теплообмінною поверхнею резервуара. Очевидно цей пояснюється велика величина показника ступеня при числі Re в рівнянні (4.12).

4.3.Результати експериментальних досліджень тепловіддачі від стінки резервуара-охолоджувача до киплячого холодоагента

Для питомого теплового потоку, що відповідає умовам досліджень, викладених в роботі ($q = 3000 \dots 11500 \text{ Вт/м}^2$), вплив тиску при кипінні холодоагенту в діапазоні від -10°C до -20°C в каналах складної форми можна знехтувати. Тоді результати експерименту з дослідження тепловіддачі від стінки резервуара-охолоджувача до киплячого холодоагенту можна представити у вигляді залежності

$$\alpha_a = f(q) \quad (4.16)$$

При кипінні холодоагенту рівняння (4.16) може бути подане у вигляді ступеневої залежності

$$\alpha_a = Aq^m \quad (4.17)$$

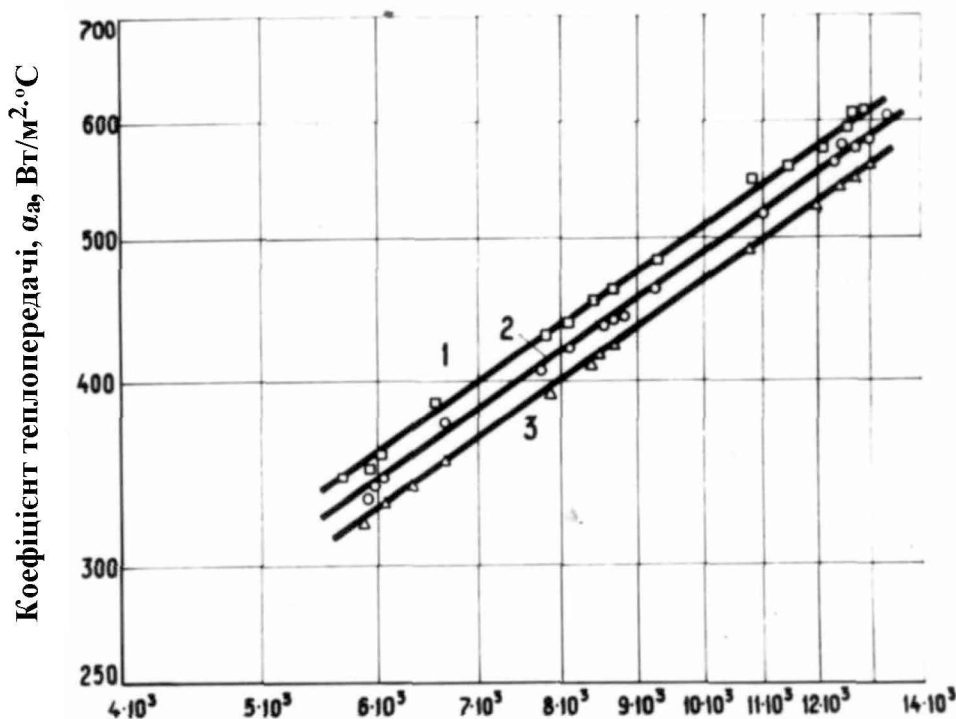
де A - залежить від фізичних властивостей рідини при $P = \text{const}$.

Величина показника m залежить від режиму кипіння холодоагенту в каналах. На підставі багатьох експериментальних досліджень встановлено, що для різних режимів кипіння.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

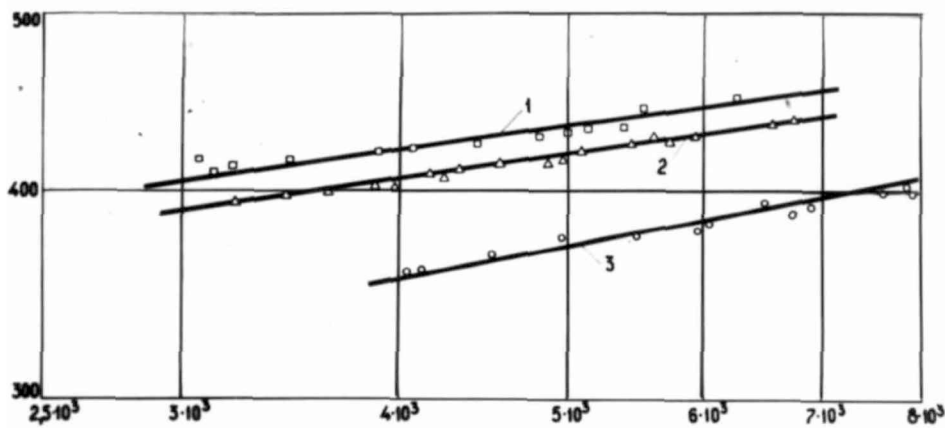
Для визначення чисельних значень величин A і m використовується до резервуарів-охолоджувачів з безпосереднім охолодженням використані $\alpha_a = f(q)$, представлені на рис. 4.7, і рис. 4.8. На рис. 4.7 представлена залежність $\alpha_a = f(q)$ для резервуара-охолоджувача з панельним випарником, а на рис. 4.8 – для резервуара із решітчастим випарником.

В області досліджених питомих теплових навантажень усі експериментальні точки в логарифмічних координатах задовольняють прями, які описуються такими емпіричними залежностями:



$$1 - \text{при } \frac{V_k}{V_p} = 1,2; 2 - \text{при } \frac{V_k}{V_p} = 1,0; 3 - \text{при } \frac{V_k}{V_p} = 0,7$$

Рисунок 4.7 - Залежність ($\alpha_a = f(q)$) для резервуара-охолоджувача з панельним випарником



- 1- горизонтальний циліндричний резервуар з решітчастим випарником із шириною отворів $V_{\text{отв}} = 0,002$ м;
 2- горизонтальний циліндричний резервуар з решітчастим випарником з шириною щілини $V_{\text{отв}} = 0,0035$ м;
 3- горизонтальний резервуар овального поперечного перерізу з решітчастим випарником із шириною щілини $V_{\text{отв}} = 0,004$ м.

Рисунок 4.8 - Залежність ($\alpha_a = f(q)$) для резервуара-охолоджувача з решітчастим випарником

- для експериментального резервуара-охолоджувача з панельним випарником при відношенні ширини каналу V_k до відстані між каналом V_p рівному одиниці

$$\alpha_a = 0,64q^{0,2} \quad (4.18)$$

при $\frac{V_k}{V_p} = 0,7$

$$\alpha_a = 0,0629q^{0,2} \quad (4.19)$$

при $\frac{V_k}{V_p} = 1,2;$

$$\alpha_a = 0,68q^{0,2} \quad (4.20)$$

Для горизонтального циліндричного резервуара-охолоджувача із решітчастим випарником і шириною отворів $V_{\text{отв}} = 0,002$ м

$$\alpha_a = 81,6q^{0,2} \quad (4.21)$$

$V_{\text{отв}} = 0,0035$ м

$$\alpha_a = 78,4q^{0,2} \quad (4.22)$$

Для горизонтального резервуару-охолоджувача овального поперечного перерізу із решітчатим випарником із шириною щілини $V_{отв} = 0,004$ м

$$\alpha_a = 66,7q^{0,2} \quad (4.23)$$

Максимальне відхилення дослідних точок щодо одержаних прямих становить 5...10 %. Аналіз експериментальних даних показав, що для всіх резервуарів-охолоджувачів молока з пониженням температури кипіння холодоагенту t_0 значення коефіцієнта теплопередачі K зменшується, а вплив теплового потоку на тепловіддачу слабшає зі значним зменшенням коефіцієнта тепловіддачі з боку перемішуваного молока внаслідок збільшення його в'язкості. Коефіцієнт тепловіддачі киплячого холодоагента в резервуарах-охолоджувачах зростає при зменшенні величин отворів.

Аналіз отриманих результатів показав, що інтенсивність тепловіддачі від холодоагента і молока, що перемішується, в резервуарах-охолоджувачах з отворами у випарнику на 25...30 % вище, ніж у резервуарах з панельним випарником.

Це досягається більш рівномірним розподілом потоку холодоагенту в каналах випарника і підвищеною щільністю теплового потоку на одиницю робочої поверхні, що дозволяє рекомендувати при проектуванні резервуарів з безпосереднім охолодженням випарники зі щілинним каналом.

4.4 Випробування резервуара-охолоджувача з безпосереднім охолодженням та їх результати

Лабораторні випробування резервуара-охолоджувача з безпосереднім охолодженням проводилися для визначення наступних експлуатаційних параметрів, що істотно впливають на якість молока при його охолодженні та зберіганні:

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тривалість охолодження молока; -
- можливості замерзання молока до поверхні молочної ванни;
- надійність та теплостійкість термоізоляційного шару, що обмежує природне нагрівання молока при його зберіганні;
- витрати електроенергії на одиницю молока, що охолоджується;
- рівномірності розподілу жиру по всій масі молока;
- ефективної та якісної промивки поверхні резервуара-охолоджувача, що забезпечує збереження вхідних властивостей молока.

Отримані результати порівнювалися з аналогічними даними випробуваннями резервуара-охолоджувача.

Визначення теплопрохідності резервуара-охолоджувача проводилося в лабораторних умовах в наступній послідовності:

- заповнювався резервуар "молочком" на 100% місткості з фіксацією початкової температури і охолоджуваного середовища;
- протягом 15...18 годин підтримувалася навколо резервуара постійна температура повітря, рівна 20...25 °С, після чого вимірювалася кінцева температура охолоджуваного середовища t_2 ;
- теплопрохідність KF резервуара-охолоджувача розраховувалася за формулою:

$$KF = \frac{G_M \cdot C_M (t_1 - t_2)}{(t_{\Pi} - t_{\text{ср.м}}) \cdot \tau}$$

де G_M - маса молока у резервуарі, кг;

C_M - теплоємність "молока, Дж/(кг·°С);

t_{Π} - температура навколишнього повітря, °С

$t_{\text{ср.м}}$ - середньоарифметична температура "молока", °С.

$$t_{\text{ср.м}} = \frac{(t_1 + t_2)}{2}$$

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Промивка молочної ванни резервуарів-охолоджувачів проводилась у відповідності до санітарних и ветеринарних правил для молочних заготівельних підприємств, апаратів и молочного посуду.

Тривалість (цикл) охолодження перевірялася у відповідності до станларту при заповненні на 50 % номінальної місткості резервуара "молоком", підігрітим до температури 35 ± 1 °С. Термоізоляція резервуару перевірялася при заповненні на 100 % номінальної місткості "молоком", охолодженням до температури 4 ± 1 °С.

Умови проведення випробувань наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Показники	Значення
Температура навколишнього повітря, °С	12...20
Відносна вологість довкілля, %	62...78
Параметри роботи у становки	
Тиск випаровування холодоагента, МПа	0,186...0,372
Тиск конденсації холодоагента, МПа	0,294...1,274

Теплопрохідність резервуара-охолоджувача молока

$$KF = \frac{1600 \cdot 4,187 \cdot 10^3 (3,8 - 2,7)}{15,5 \cdot 3600 (20 - 3,25)} 7,68$$

Термоізоляція експериментального резервуара відповідала вимогам стандарту. Температура охолодженого до +4 °С молока протягом 12 год при температурі навколишнього повітря 20 °С у експериментальному резервуарі підвищилася на 0,9 °С, а у ТО-2 на 1 °С.

За інтенсивністю охолодження 50% місткості експериментального резервуару перевищує Т0-2, відповідаючи вимогам стандарту. При введенні молока через порожнистий вал мішалки льодоутворення протягом усього циклу охолодження не спостерігалось.

При заповненні резервуару на 10 % місткості через стаціонарний скидач наприкінці циклу охолодження на бічній поверхні ванни вище рівня заповнення і

біля днища резервуару утворювалася кірка льоду при зниженні температури молока нижче 5,8 °С.

Більше витрати електроенергії в експериментальному резервуарі майже вдвічі менші, ніж на охолоджувачі ТО-2 (відповідно 14,3 Вт·год/дм³ і 28,2 Вт·год/дм³). Під час зберігання молока мішалка експериментального резервуара включалася через кожні 30 хвилин, а ТО-2 на 10 хвилин перед видаленням молока з нього.

При перемішуванні молока механічною мішалкою забезпечувався рівномірний розподіл жиру по всьому об'єму. Результати випробувань наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Місце відбору проби	Вміст жиру, %
Кут резервуара у зливного крана:	
верхній шар	4,23
нижній шар	4,20
Кут резервуара по діагоналі:	
верхній шар	4,21
нижній шар	4,19

Якість перемішування молока експериментального резервуару відповідає вимогам стандарту. Утворення вільного жиру при перемішуванні молока в резервуарі не спостерігалось.

Результати мікробіологічного дослідження якості проходження внутрішньої поверхні резервуара наводяться в таблиці 4.3.

Аналіз отриманих даних показав відповідність їх нормативам санітарно-гігієнічного контролю молочного обладнання на підприємствах молочної потовплення.

Таблиця 4.3

Результати бактеріологічного обстеження

Місце відбору проби	Кількість бактерій на 1 см ² поверхні	
	Експериментальний резервуар	Резервуар ТО-2
Стінка бокова права	26	30
Стінка бокова ліва	17	26
Стінка торцева права	20	30

Стінка торцева ліва	22	28
Дно зливного отвору	15	21
Кришка	23	27
Траверса	24	35
Мішалка	45	51
Зливний кран	64	70

З даних видно, що система промивки експериментального резервуара забезпечує отримання молока високої якості. Результати аналізу проб щодо визначення сортності молока наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4.

Характеристика молока

Найменування показника	Значення показника	
	Експериментальний резервуар	Резервуар ТО-2
Клас по редуказній пробі	1	1
Механічні забруднення	1	1
Кислотність, °Т	17	18

З даних табл. 5.4 видно, що резервуар із безпосереднім охолодженням забезпечує отримання молока першого сорту.

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Охорона праці

По кожній галузі виробництва відповідальність за стан охорони праці і виробничу санітарію несуть головні спеціалісти господарства і керівники виробничих ділянок. На молочному комплексі відповідальність несе головний зоотехнік. Контроль за виконанням правил, інструкцій та положень по охороні праці і виробничої санітарії виконує інженер з охорони праці, маючи середньоспеціальну технічну освіту і стаж роботи на різних посадах в господарстві 10 років, з них 3 роки на цій посаді. Свою практичну роботу він проводить в тісному контакті з профсоюзним комітетом і його комісією по охороні праці, в яку входить голова, головний інженер, інженер по трудовітких процесах, завідувач фермою, бригадир тракторної бригади. Ця комісія: керівники, і спеціалісти ПП виконують оперативний контроль за станом охорони праці в господарстві, при якому оперативно вирішують поточні та перспективні питання, направлені на дотримання умов безпеки праці. Планується ввести в дію пральню та майстерню по ремонту спецодягу і спецвзуття. На території будинку тваринника є кабінет з охорони праці в господарстві. Він оснащений стендами і плакатами, зразками індивідуального захисту і технічних засобів пожежогасіння, в ньому проводять вступні та поточні інструктажі.

Для попередження травматизму професійних захворювань в господарстві придбачено витрати засобів на придбання спецодягу, засобів індивідуального захисту, лікувально-профілактичне лікування і харчування.

За станом охорони праці на МТФ відповідає головний зоотехнік ПП. Він або завідувач фермою проводить інструктаж на робочому місці для нових працівників. Він разом з інженером планує заходи по охороні праці, виконує контроль і нагляд за станом охорони праці на МТФ. На вступному інструктажі працівників вчать прийомам надання першої допомоги травмованим, всі виробничі

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщення забезпечені аптечками першої допомоги. усе електрообладнання на території МТФ заземлене, періодично проводяться заміри опору ізоляції і заземлення спеціалістами. Всі тваринницькі приміщення мають природну, а деякі і примусову систему вентиляції. В господарстві є пожежно-вартова охорона, яка складається з 18 чоловік. На бригадира пожежно-вартової охорони покладається: контроль за дотриманням в господарстві протипожежних правил і норм пожежної безпеки, охорона колективного майна від розкрадання, гасіння пожеж, які виникають в ПП, в будинках громадян і на інших об'єктах, розташованих на території ПП. Робота ПСО планується кожен місяць планами-задачами, які надходять від районої інспекції господарства. Крім служби ПСО в ПП на всіх виробничих ділянках є добровільні пожежні підрозділи із числа працюючих. Однією із умов, які передбачають пожежну безпеку на МТФ є забезпечення пожежними пристроями і первинними засобами пожежегасіння тваринницьких будинків.

По кожній галузі виробництва відповідальність за стан охорони праці і виробничу санітарію несуть головні спеціалісти господарства і керівники виробничих ділянок. На молочному комплексі відповідальність несе головний зоотехнік. Контроль за виконанням правил, інструкцій та положень по охороні праці і виробничої санітарії виконує інженер з охорони праці, маючи середньоспеціальну технічну освіту і стаж роботи на різних посадах в господарстві 10 років, з них 3 роки на цій посаді. Свою практичну роботу він проводить в тісному контакті з профсоюзним комітетом і його комісією по охороні праці, в яку входить голова, головний інженер, інженер по трудомістких процесах, завідувач фермою, бригадир тракторної бригади. Ця комісія: керівники, і спеціалісти ПП виконують оперативний контроль за станом охорони праці в господарстві, при якому оперативно вирішують поточні та перспективні питання, направлені на дотримання умов безпеки праці. Планується ввести в дію пральню та майстерню по ремонту спецодягу і спецвзуття. На території будинку тваринника є кабінет з охорони праці в господарстві. Він оснащений стендами і плакатами, зразками індивідуального

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захисту і технічних засобів пожежогасіння, в ньому проводять вступні та поточні інструктажі.

Для попередження травматизму професійних захворювань в господарстві придбачено витрати засобів на придбання спецодягу, засобів індивідуального захисту, лікувально-профілактичне лікування і харчування.

За станом охорони праці на МТФ відповідає головний зоотехнік ПП. Він або завідуючий фермою проводить інструктаж на робочому місці для нових працівників. Він разом з інженером планує заходи по охороні праці, виконує контроль і нагляд за станом охорони праці на МТФ. На вступному інструктажі працівників вчать прийомам надання першої допомоги травмованим, всі виробничі приміщення забезпечені аптечками першої допомоги. усе електрообладнання на території МТФ заземлене, періодично проводяться заміри опору ізоляції і заземлення спеціалістами. Всі тваринницькі приміщення мають природну, а деякі і примусову систему вентиляції. В господарстві є пожежно-вартова охорона, яка складається з 18 чоловік. На бригадира пожежно-вартової охорони покладається: контроль за дотриманням в господарстві протипожежних правил і норм пожежної безпеки, охорона колективного майна від розкрадання, гасіння пожеж, які виникають в ПП, в будинках громадян і на інших об'єктах, розташованих на території ПП. Робота ПСО планується кожен місяць планами-задачами, які надходять від районої інспекції господарства. Крім служби ПСО в ПП на всіх виробничих ділянках є добровільні пожежні підрозділи із числа працюючих. Однією із умов, які передбачають пожежну безпеку на МТФ є забезпечення пожежними пристроями і первинними засобами пожежогасіння тваринницьких будинків.

5.2 Екологічна експертиза

Діяльність людини стає дедалі не суміснішою зі звичайними силами природи. Природа неспроможна відновлюватися після екстенсивної діяльності

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

людини. Нагромадження в атмосфері вуглекислого газу внаслідок спалювання палива відбувається інтенсивніше, ніж його поглинання рослинністю та водами океанів і морів. Одночасно надзвичайно великими темпами зменшується об'єм атмосферного кисню. Зменшується вміст озону в захисному шарі Землі, який охороняє все живе від згубного впливу космічної радіації. Антропогенне запилення атмосфери своїми масштабом наблизилося до запилення атмосфери вулканами. Скидання нафти в моря й океани внаслідок діяльності людини перевищило об'єм природного надходження.

Найнебезпечнішим результатом впливу людини на навколишнє середовище є його забруднення. Людина забруднює усе: повітря, ґрунт, воду. Почата поширюватися пелена отруйних газів. Метеорологічними і гідротехнічними процесами переносяться, поширюються і розсіюються забруднювальні речовини. Біологічні процеси зумовлюють їх нагромадження і концентрацію, що сприяє появі нестійких станів та ланцюгових реакцій. Природа вже не витримує таких навантажень. Зникають тварини та рослини.

За останні декілька десятиріч людина значно змінила ту картину тваринного і рослинного світу, яка складалася протягом не менше ніж 70 млн. років. Тільки за століття вимерло 70 видів м'ясоїдних і стільки ж видів птахів. Зникають комахи, рослини. Окремі райони Землі перетворилися на зони екологічного лиха. Критичний стан навколишнього середовища став загальнолюдською проблемою. Основною причиною НС екологічного характеру є діяльність людини. Усі НС екологічного характеру можна поділити на чотири групи:

Надзвичайні ситуації першої групи спричинюються катастрофічними змінами ґрунту, надр, ландшафту. При виробці надр, при видобуванні корисних копалин та 52 іншій діяльності людини виникають западини, зсуви, обвали. Хімічна промисловість спричиняє понаднормативну концентрацію важких металів, включаючи радіонукліди та інші шкідливі речовини, в ґрунті. Аграрна діяльність людини викликає інтенсивну деградацію ґрунтів, спустошення на широких територіях через ерозію, засолення та інші причини. Видобування корисних

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

копалин призводить до їх виснаження. Невирішені проблеми переробки та захоронення відходів призводять до переповнення забруднення ними навколишнього середовища.

Друга група НС пов'язана зі зміною складу й особливостей атмосфери. Ці надзвичайні ситуації викликаються перевищенням граничнодопустимих концентрацій шкідливих речовин в атмосфері, значним перевищенням в окремих районах граничнодопустимого шуму; виникненням кислотних опадів; значною зміною прозорості атмосфери та іншими факторами.

Третя група НС пов'язана зі зміною стану гідросфери. Ці надзвичайні ситуації викликаються різка нестача питної води внаслідок виснаження вод або їх забрудненням; виснаженням водних ресурсів, потрібних для організації господарсько-побутового водопостачання і забезпечення технологічних процесів; порушенням господарської діяльності та екологічної рівноваги внаслідок забруднення зон внутрішніх морів та світового океану.

Четверта група НС пов'язана зі зміною стану біосфери і характеризується зникненням видів тварин, рослин внаслідок зміни умов їх існування; масовою загибеллю тварин та рослинності на певній території; різкою зміною здатності атмосфери до відтворення відновлюваних ресурсів.

5.2 Економічна ефективність

Розрахунок економічної ефективності зроблено за методикою, викладеною в літературі (2.28, 5.3).

За базу для порівняння прийнято резервуар-охолоджувач молока з проміжним холодоносієм, який рекомендований для серійного виробництва як найкращого зразка вітчизняного виробництва.

На відміну від резервуарів-охолоджувачів типу РПО резервуари-охолоджувачі молока з безпосереднім охолодженням, як зазначено вище, мають ряд переваг:

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- велику ефективність охолодження за рахунок безпосереднього випаровування; меншу матеріаломісткість;
- меншу енергоємність на одиницю оброблюваного молока;
- можливість отримання більш високоякісного молока завдяки б'їструму і глибшому охолодженню.

Ці переваги дають річний-економічний ефект на 1 резервуару в межах 15 тис грн.

Результати розрахунку економічної ефективності представлений в таблиці 5.1.

Річні завантаження обладнання

Річні обсяги молока, охолодженого новою та базовою машиною, розраховані, виходячи з 2-х разового надходження при тривалості одного циклу охолодження, що дорівнює 3 годинам.

$$B_1 = 365 \cdot W_{\text{см}} \cdot n \cdot \tau = 700,8 \text{ т};$$

$$B_2 = 365 \cdot W_{\text{см}} \cdot n \cdot \tau = 832 \text{ т}.$$

Тривалість роботи нової машини на рік визначено з розрахунку: 6 годин на безпосереднє охолодження та 1 годину на підготовку режиму охолодження.

$$W_r' = 2555 \text{ год};$$

$$W_r = 3650 \text{ год}.$$

I. Базовий процес.

1. Амортизаційні та ремонтні відрахування на резервуар-охолоджувач РПО-2,5:

$$A + P = \frac{Ц_6(a + ч)}{100} = 1098 \text{ грн},$$

де $Ц_6 = Ц \cdot K = 3600 \text{ грн}$

2. Витрати на електроенергію:

$$B_E = W_r \cdot N \cdot Ц = 3469,75 \text{ грн}.$$

3. Витрати на промивання резервуара:

$$B_M = 2 \cdot 365 \cdot H \cdot t \cdot TC_{\text{год}} = 2829,67 \text{ грн},$$

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де H – кількість обслуговуючого персоналу; (t – тривалість промивання резервуара $t = 0,5$ год за даними міжвідомчих випробувань);

$ТС_{\text{год}}$ – годинна тарифна ставка працівника 5 розряду з нарахуванням 25%.

4. Усього експлуатаційних витрат:

$$B_6 = (A + P) + B_E + B_M = 17289 \text{ грн}$$

5. Усього прямих витрат на 1 тонну молока:

$$B_T = \frac{B_6}{B_1} = 200,47 \text{ грн/т.}$$

6. Капітальні вкладення:

$$K_0 = C_6 = 36000 \text{ грн.}$$

Капітальні вкладення на 1 тонну молока:

$$K_{0T} = 500,14 \text{ грн/т}$$

II. Новий процес.

1. Амортизаційні та ремонтні відрахування:

$$A' + P' = \frac{C'_6(a + \text{ч})}{100} = 1046,3 \text{ грн.},$$

де $C_6 = C' \cdot K' = 34300,5 \text{ грн.}$

2. Витрати на електроенергію:

$$B'_E = W'_r \cdot N' \cdot C'_E = 2040,4 \text{ грн.}$$

3. Витрати на промивання:

$$B_M = 2 \cdot 365 \cdot H \cdot t \cdot Z_{\text{ч}} = 500,9 \text{ грн.}$$

де t' - тривалість промивки резервуара (за даними випробувань $t' = 0,09$ год); H - кількість персоналу, що обслуговує.

4. Усього прямих витрат:

$$B_H = (A' + P') + B'_E + B'_M = 1301,6 \text{ руб.}$$

5. Усього прямих витрат на 1 тонну молока:

$$B'_T = \frac{B'_H}{B'_2} = 100,56 \text{ грн/т}$$

6. Капітальні вклади:

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K'_0 = C'_0 = 343000,5 \text{ грн.}$$

Капітальні вкладення на 1 тонну молока:

$$K'_{OT} = 400,12 \text{ грн/т.}$$

Розрахунок економічного ефекту резервуара-охолоджувача молока з безпосереднім охолодженням за термін служби з урахуванням фактору часу робимо за формулою:

$$E = \left[Z_1 \cdot a - Z_2 + \frac{(B'_1 - B'_2) - E_H(K'_1 - K'_2)}{P_2 + E_H} \right] \cdot A_2 = 16386000 \text{ грн.},$$

де Z_1 і Z_2 - наведені витрати відповідно за базовою та новою машинам.

$$Z_1 = C_1 + E \cdot K_6 = \frac{C}{1 + \frac{P_{отр}}{100}} + E_H \cdot \frac{\Phi_6}{P_6} \cdot C = 2948,95 \text{ грн.},$$

де Φ_6 - сума основних та оборотних фондів;

P_6 - випуск валової продукції за рік;

a - коефіцієнт технічної еквівалентності базового та нового засобу праці:

$$a = \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} = 1,19,$$

де P_1 і P_2 - частки відрахувань від балансової вартості на повне відновлення (реновацію) базової та нової машин.

$$Z_2 = C_2 + E_H \cdot K_H = \frac{C'_H}{1 + \frac{P_{отр}}{100}} + E_H \cdot \frac{\Phi_H}{P_H} \cdot C' = 2810 \text{ грн.}$$

$\frac{(I'_1 - I'_2) - E_H(K'_2 - K'_1)}{P_2 + E_H}$ - економія споживача на поточних витратах експлуатації та

відрахуваннях від супутніх капіталовкладень за весь термін служби нової машини з урахуванням фактору часу в порівнянні з базовою, руб.

$$B'_1 = \frac{C_6 \cdot \text{год}}{100} + B_E + B_M = 1277,62 \text{ грн.}$$

$$B'_2 = \frac{C'_6 \cdot \text{год}}{100} + B' + B'_M = 872,79 \text{ грн.}$$

$$K'_1 = C_6 - C = 600 \text{ грн.}$$

$$K'_2 = C'_6 - C' = 571,8 \text{ грн.}$$

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

A_2 - річний обсяг виробництва нових засобів праці в розрахунковому році, в натуральних одиницях (середньорічний планований випуск резервуарів-охолоджувачів з безпосереднім охолодженням 6000).

Річний економічний ефект складе:

$$E_p = \left[\frac{Z_1 \cdot a - Z_2}{T_H} + (B'_1 - B'_2) - E_H(K'_2 - K'_1) \right] \cdot A_2 = 3229200 \text{ грн.}$$

де T_H - ефективний термін служби нового засобу праці, рік.

$$T_H = \frac{1}{P_2 + E_H} = 5 \text{ років.}$$

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз літературних джерел підтвердив, що механізація первинної обробки молока на фермах і комплексах ВРХ не завжди дає очікувані результати. Це пояснюється низкою причин, зокрема відсутністю науково обґрунтованих методик проектування зазначених ліній, так і відповідного обладнання для охолодження та зберігання.

На підставі вивчення роботи теплообмінних апаратів для охолодження молока періодичної дії встановлено, що найбільш ефективними в агропромислових підприємствах від 100 до 400 голів є резервуари безпосереднього охолодження. Тому вдосконалення їх теплотехнічних параметрів має велике економічне та технічне значення.

Встановлено, що інтенсифікація теплообміну в резервуарах безпосереднього охолодження молока може бути досягнута найбільш ефективно збільшенням коефіцієнта тепловіддачі з боку киплячого холодоагента.

Аналітично обґрунтовано, що найбільш оптимальною формою виконання резервуара безпосереднього охолодження є горизонтальний циліндричний із сферичним днищем.

Зміщення валу мішалки відносно осей симетрії резервуара підвищує інтенсивність тепловіддачі від молока, що переміщується до стінки. Оптимальна величина цього усунення становить $(0,08...0,1)D_c$.

Доведено, що енергоємність процесу охолодження в резервуарах безпосереднього охолодження молока в 2...2,5 рази нижче, ніж у резервуарах з проміжним холодоносієм.

Розроблено методику визначення теплотехнічних параметрів резервуарів-охолоджувачів безпосереднього охолодження, яку було використано при розрахунках резервуарів-охолоджувачів типу РПО та МКА.

Економічний ефект від впровадження одного резервуара-охолоджувача безпосереднього охолодження місткістю 2500 л у порівнянні з РПО-2,5 становить 5389,2 грн.

					КРМ.133ГМмз_22.09.000 ПЗ	Аркуш
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		