

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Підвищення енергоефективності
обладнання для пастеризації молока**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-21

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Ситнік Костянтин Едуардович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____

Дніпро 2022

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« » 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ситнік Костянтин Едуардович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення енергоефективності обладнання для пастеризації
молока

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«18» жовтня 2022 року № 3008

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для
пастеризації молока. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх
досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) 1. Огляд і аналіз технологій і засобів пастеризації молоко. 2.
Теоретичні дослідження по вдосконаленню процесу роботи пастеризаційної
установки з гідродинамічним нагрівачем. 3. Експериментальні дослідження. 4.
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна
ефективність результатів дослідження. Загальні висновки. Бібліографічний
список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Дудін В.Ю., доцент		
2	Дудін В.Ю., доцент		
3	Дудін В.Ю., доцент		
4	Деркач О.Д., доцент		
5	Вініченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Мельянцов П.Т., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.10.2022 р. _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2022 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2022 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2022 р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2022 р.	
5	Економічний	до 26.11.2022 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2022 р.	

Студент

(підпис)

Ситнік К.Е.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ситнік К.Е. Підвищення енергоефективності обладнання для пастеризації молока /Випускова кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

Дипломна кваліфікаційна робота складається з п'яти розділів. У першому розділі приведено огляд і аналіз технологій і засобів пастеризації молока. У другому розділі теоретично досліджено вдосконалення процесу роботи пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем. У третьому розділі викладено програму та методику експериментальних досліджень процесу роботи встановлення для пастеризації молока та обґрунтування її параметрів. Далі проведено розробку заходів з охорони праці. Завершальним етапом була економічна оцінка застосування нової дробарки на малій фермі.

Ключові слова: пастеризація, термообробка молока, гідродинамічний нагрівач

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Огляд і аналіз технологій і засобів пастеризації молока. Мета та завдання дослідження	11
1.1 Аналіз існуючих технологій пастеризації молока в сільському господарстві	11
1.2 Короткий огляд апаратів для пастеризації молока та їх класифікація	14
1.3 Огляд теплових насосів, що використовуються у молочній промисловості	18
1.4 Огляд наукових публікацій щодо дослідження процесу роботи пастеризаційних установок із гідродинамічними нагрівачами	21
1.5 Мета та завдання дослідження	28
2 Теоретичні дослідження по вдосконаленню процесу роботи пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем	30
2.1 Загальна схема вдосконаленої пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем	30
2.2 Гідродинамічні явища у проточній частині нагрівача	35
2.3 Аналіз роботи пластинчастого теплообмінника пастеризаційної установки	43
2.4 Визначення критерію пастеризації молока	48
2.5 Висновки	51
3 Експериментальні дослідження	53
3.1 Експериментальна установка та прилади для проведення дослідження	53

	7
3.2 Методика визначення продуктивності пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем	55
3.3 Методика визначення тепловиділення в гідродинамічному нагрівачі та теплових втрат у пастеризаційній установці	57
3.4 Методика енергетичної оцінки роботи теплового насоса та баланс тепла у пастеризаційній установці	59
3.5 Визначення тепловиділення в гідродинамічному нагрівачі та теплових втрат пастеризаційної установки	61
3.6 Висновки	65
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	67
4.1 Загальні визначення та поняття	67
4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників при пастеризації молока	68
4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів	68
4.4 Правила безпечного виконання робіт при пастеризації молока	70
4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	72
4.6 Висновки	73
5 Економічна ефективність результатів дослідження	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	80
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	82

ВСТУП

Національним проектом «Розвиток АПК» на період до 2025 року передбачено подальшу інтенсифікацію виробництва молока та молочних продуктів шляхом розширення будівництва та реконструкції молочних ферм, підприємств різних форм власності з метою забезпечення продовольчої незалежності держави, підвищення конкурентоспроможності та фінансової стійкості тваринницьких підприємств та молочної галузі загалом.

На даний час частка громадського тваринництва у виробництві молока в значно знизилася, переважне виробництво його (понад 80%) змістилося у сімейні, фермерські та особисті підсобні господарства, що викликає необхідність вирішення багатьох питань не тільки виробництва молока, а й первинної обробки та часткової переробки його безпосередньо у дрібних господарствах.

Вступ до СОТ і впровадження у зв'язку з цим програми безпеки продукції, що виробляється в країні з урахуванням комплексу санітарно-гігієнічних і технологічних вимог, допомагає сільгоспвиробникам у виробництві та збуті продукції тваринництва. У зв'язку з цим із 2013 року запроваджено компенсаційні виплати частини витрат за виробництво молока, змінюється система збуту сільськогосподарської продукції, створюються мережі молокоприймальних пунктів у сільських поселеннях із заготівлі молока від особистих підсобних та сімейних господарств, виникає необхідність та вдосконалення технології виробництва молока на фермах.

Молоко є одним із цінних продуктів тваринництва та вміст у ньому легко засвоюваних жирів, білків, вуглеводів, мінеральних речовин і вітамінів робить його особливо цінним у харчуванні людини та основою для виробництва багатьох продовольчих товарів російського та світового ринку. Ціни на нього стабільно високі, а раціонально організоване виробництво у господарствах будь-якої форми власності є досить рентабельним.

Тому питання щодо розробки та наукового обґрунтування інноваційних технічних рішень низьковитратних ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологій виробництва молока є актуальними в умовах фермерських, особистих підсобних господарств та на молокоприймальних пунктах.

Так як молоко є продуктом, що швидко псується, то з моменту отримання необхідна його обробка, спрямована на поліпшення санітарно-гігієнічних якостей, стійкості в зберіганні та незмінності якості та якості. У малих господарствах або молокоприймальних пунктах обов'язковим є первинна обробка молока перед доставкою його на молочний завод. Однак вони змушені здійснювати збирання молока різних надоїв до відправлення його молокопереробним підприємствам або у реалізацію.

У таких умовах у молоці досить швидко можуть розвиватися багато види мікроорганізмів, у тому числі хвороботворних. Для знищення їх та підвищення стійкості при зберіганні чи перевезенні молоко піддається пастеризації, ефективність якої залежить від параметрів нагрівання його та від тривалості витримки за цієї температури.

У нашій країні і там пастеризація молока здійснюється переважно апаратами непрямого нагріву, роль теплоносія у яких виконує водяну пару, гарячу воду або нагрітий газ. Їхній ККД не високий, а втрати тепла у навколишнє середовище досить великі. Значні витрати та на отримання та транспортування теплоносія (будівництво котельні, монтаж паропроводів, встановлення контрольно-вимірювальних приладів).

Промислові пастеризаційні установки, що випускаються безпосереднього нагріву, в тому числі і на основі гідродинамічних нагрівачів (ГДН), призначені для пастеризації невеликих обсягів молока, так само мають низку істотних недоліків. Серед них недосконалість процесу роботи нагрівача в частині нерівномірного впливу на молоко комірками ротора і корпусу, підвищені зусилля на зріз шарів молока в ньому, суттєві втрати тепла в навколишнє середовище та з потоком охолоджуючої рідини, сумірні із витратами енергії на привід ГДН. Залишаються досить високими і капвкладення в технологічну

лінію пастеризації молока, оскільки поряд із самою пастеризаційною установкою виникає необхідність витрат на систему підведення та відведення води до неї та використання холодильної установки для доохолодження пастеризованого молока до температури зберігання.

Все це зумовлює актуальність наукових досліджень щодо обґрунтування процесу роботи та параметрів установки для пастеризації молока гідродинамічною дією в умовах АПК.

У зв'язку з викладеною метою роботи є обґрунтування процесу роботи та параметрів удосконаленої установки для пастеризації молока з гідродинамічним нагрівачем (ГДН) стосовно умов виробництва його господарствами та підприємствами різних форм власності в АПК.

Об'єкт дослідження – удосконалений процес та установка для пастеризації молока, оснащена ГДН та тепловим насосом.

Предмет дослідження – закономірності теплової обробки молока та процеси взаємодії теплових апаратів у технології пастеризації його вдосконаленою установкою.

Методи дослідження.

Подані в роботі результати підтверджені матеріалами теоретичних та експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження виконано з використанням основних законів механіки, гідравліки, газової динаміки, теплотехніки, а також математичного аналізу.

Експериментальні дослідження виконані із застосуванням стандартних та знову розроблених методик на дослідних зразках гідродинамічних нагрівачів молока, пластинчастих апаратів та холодильних установок, що виступають у ролі теплових насосів, та перевірені у господарських умовах.

Їхні результати опрацьовані методами статистики. Отримано графічні залежності досліджуваних параметрів, оцінено похибки їх визначення.

1 Огляд і аналіз технологій і засобів пастеризації молока. Мета та завдання дослідження

1.1 Аналіз існуючих технологій пастеризації молока

У господарських умовах молоко отримують переважно на доїльних установках стаціонарного типу зі збором у доїльні відра. Рідко використовують доїльні установки з молокопроводом, у тому числі у доїльних залах.

На частку припадає менше 10% поголів'я корів. Основне виробництво молока в країні в даний час змістилося у сімейні, особисті підсобні та фермерські господарства.

Так у ПФО їх частка у загальному виробництві молока становить понад 80%. Сформована система здачі його на молочні заводи та ринкової реалізації не виключає значні витрати часу на доставку молока чи його продаж населенню. До того ж, нерідко такі господарства змушені здійснювати попередній збір молока різних надоїв протягом доби. Не повною мірою вирішують ці питання і молокоприймальні пункти, що створюються на селі.

У зв'язку з цим бактеріальна забрудненість молока при машинному доїнні в малих господарських утвореннях досить висока, через що молоко надходить на молочні заводи або безпосередньо в торгівлю з підвищеною кислотністю та реалізується за зниженими цінами.

Вихід із цього на думку багатьох дослідників можливий не тільки удосконаленням фільтрації та охолодження молока після доїння, а також його пастеризацією до здавання на молочний завод.

Запропонований Луї Пастером у другій половині XIX століття спосіб знезараження молока шляхом нагрівання його до певної температури (нижче точки кипіння) меншою мірою впливає на якість і фізико-механічні властивості його, ніж загальноприйняте до цього кип'ятіння. Пастеризація, як

один із ефективних способів теплової обробки молока, після цього досить швидко поширилася у всіх країнах світу.

На сьогодні технологія пастеризації молока обґрунтована як теоретичними дослідженнями, так і практичною розробкою різних методів її здійснення. У сучасних умовах можна виділити кілька методів пастеризації молока, які знайшли найбільше застосування як у молочній промисловості, так і безпосередньо на молочних фермах господарств.

Серед них необхідно відзначити такі технології пастеризації молока: тривала, тонкошарова, короткочасна високотемпературна, миттєва та біоризація. Кожна з них має певні переваги та недоліки як у частині впливу на оброблюваний продукт, так і у частині витрат на здійснення процесу теплової обробки молока.

Досить широко використовується технологія низькотемпературної тривалої пастеризації молока. Здійснюється вона у ваннах чи цистернах, мають парову або водяну сорочку, що забезпечує нагрівання молока до температури не нижче 63°C і витримку його (з перемішуванням) при цій температурі протягом щонайменше 30 хвилин.

До недоліків такої технології пастеризації молока відноситься не тільки циклічність процесу та його значна тривалість, які обмежують продуктивність устаткування, що використовується, але і значна витрата пари (порядку 100...140 кг на тонну молока) та можливість подальшого розвитку термофілів. Незважаючи на ці недоліки ванни тривалої пастеризації молока (ВДП) з проміжним теплоносієм у вигляді нагрітої води достатньо широко використовуються на малих фермах, сімейних, фермерських та особистих підсобних господарствах.

Більш прогресивними та продуктивними виявилися методи пастеризації молока в трубчастих та пластинчастих апаратах, у яких досягається прискорена теплопередача до потоку молока через тонкі стінки труб та пластин.

Один із них розроблений доктором Стассано і на честь його названо стасанацією. Він по суті своїй представляє технологію тонкошарової пастеризації молока і полягає в нагріванні його до температури 750 С тонкому шарі (1...1,2 мм) з двох сторін протягом короткого часу (не більше 15 ... 16 с.), Після чого воно подається на наступне швидке охолодження. У процесі такої теплової обробки тонкого шару молока як теплоносій використовується не пара, а гаряча вода. Бактерії хіба що притягуються до нагрітим стінкам апарата і гинуть у контакті з ними.

Стасація молока не погіршує його смакових якостей і властивості.

Найбільшого ж поширення у всьому світі та в нашій країні набула технологія високотемпературної короткочасної пастеризації молока з урахуванням пластинчастих апаратів. У них молоко під напором протікає тонким шаром у невеликому зазорі між пластинами з нержавіючого металу, що нагріваються з іншого боку потоком гарячої води до температури 800, і витримується в ньому близько 15 с.

Переваги такої технології пастеризації молока полягають у прискоренні процесу, а й у підвищенні продуктивності технологічної лінії. Однак смакові якості пастеризованого при цьому молока дещо погіршуються через контакт його в процесі обробки із зовнішнім повітрям і утворення накипу на стінках пластин пастеризатора у вигляді випадання альбуміну.

Різновидом цього способу теплової обробки молока є технологія миттєвої короткочасної пастеризації.

Тут тонкий шар молока у потоці між пластинами швидко без доступу атмосферного повітря нагрівається парою або водою до температури понад 85 °С, витримується дуже короткочасно та негайно охолоджується до температури подальшого зберігання, при якому протягом 3 місяців пастеризовані продукти гарантовано не псуються.

Практично в цій технології молочну продукцію нерідко нагрівають ще до більш високих температур, що підвищує термін її зберігання реалізації споживачам.

Технологічний процес біоризації молока виробляється в ізольованих від атмосферного повітря апаратах методом розпилення його під підвищеним тиском і нагрівання до 72...76 °С з наступним інтенсивним охолодженням, що в сукупності виключає окислювальну дію на пастеризований продукт атмосферного повітря.

Відомі також технології антибактеріальної обробки молока іншими, що відрізняються від теплових методами. До них відносяться обробка молока та молочних продуктів ультразвуком, опроміненням інфрачервоним та ультрафіолетовим світлом, НВЧ струмом, кавітацією та ін. Однак такого широкого поширення, як теплова пастеризація, ці методи не набули, що дає основу надалі зосередити увагу на огляді та аналізі в основному апаратів теплової обробки молока з його пастеризації.

1.2 Короткий огляд апаратів для пастеризації молока та їх класифікація

Найбільш повна схема класифікації пастеризаторів молока та молочних продуктів представлена на рисунку 1.1.

У ній особлива увага звернена на парові пастеризатори. Однак, незважаючи на широке їх поширення, вони мають ряд істотних недоліків, які практично виключають можливість їх використання у категорії малих господарських утворень.

Це насамперед необхідність будівництва котельні та низький тепловий ККД таких пастеризаторів.

Це змінена схема класифікації пастеризаційних установок, в якій основну увагу приділено апаратам пастеризації молока на малих фермах

За цією схемою апарати для пастеризації молока розділені за способом впливу на продукт, що пастеризується і за режимом роботи.

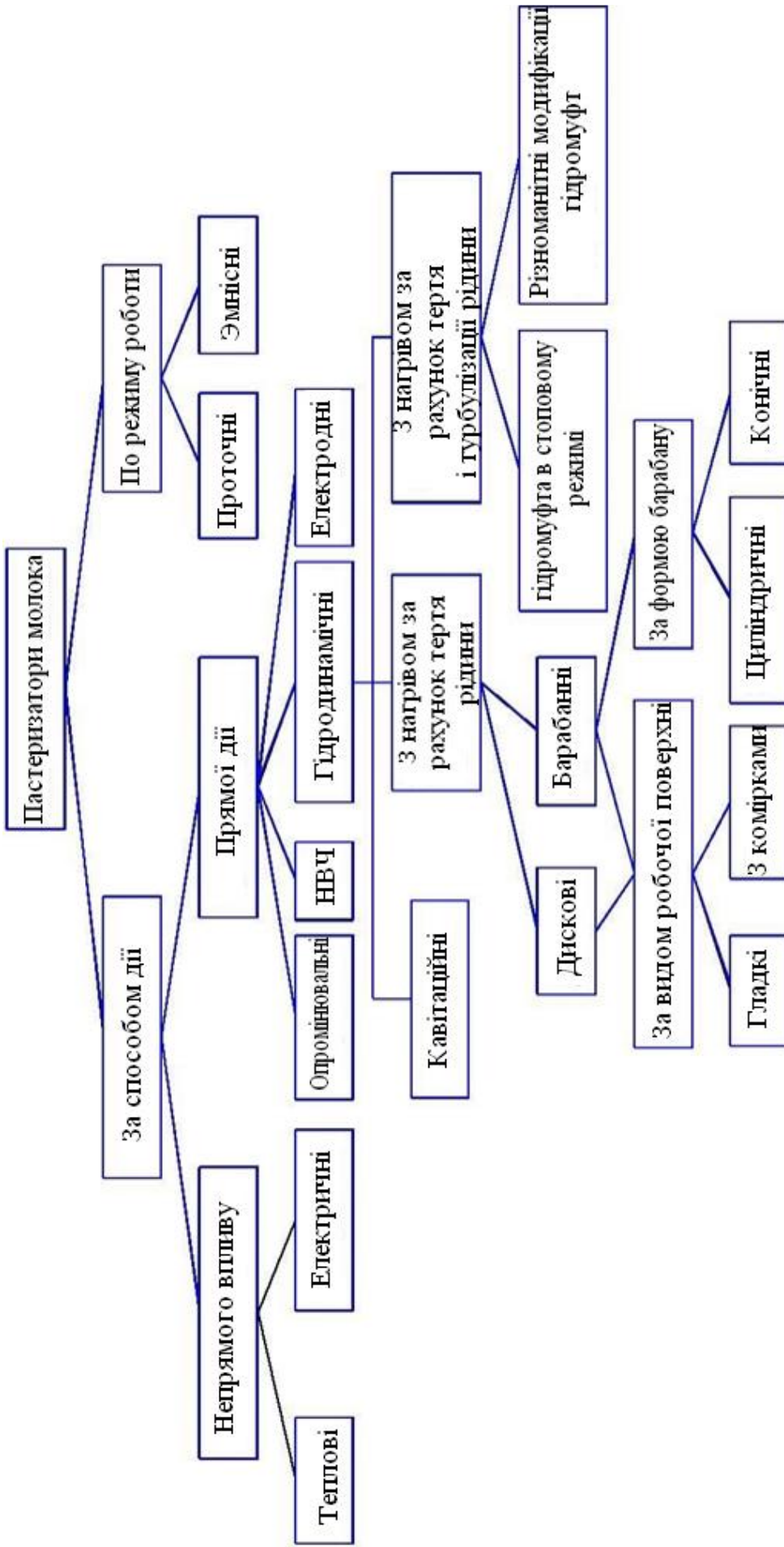


Рисунок 1.1 Схема класифікації пастеризації

За способом на продукт вони поділяються на апарати непрямого і прямого нагріву. Апарати непрямого нагріву у свою чергу поділені на теплові та електричні.

Нагрівання в харчовій промисловості в основному здійснюється за допомогою різних теплоносіїв, таких як водяна пара, гаряча вода, нагріте повітря, паливні гази, висококиплячі органічні речовини - рідини, а також електричного струму. Найчастіше в якості теплоносія використовують насичену пару, оскільки вона має високий коефіцієнт теплопередачі при конденсації. Значний недолік водяної пари – це зростання тиску з підвищенням температури.

Пастеризація широко застосовується в харчовій та переробній промисловості. Вона забезпечує зниження кількості мікроорганізмів та руйнування ферментів, сприяє значному підвищенню термінів зберігання та реалізації продукту. У харчових виробництвах пастеризації відведено одне з основних місць, важливе місце займає і на молочних фермах господарств АПК.

Ефективність пастеризації залежить від температури та часу витримки продукту за цієї температури.

Тривала пастеризація у ваннах з теплообмінною сорочкою в даний час використовується дуже рідко через низьку продуктивність, велику витрату пари і невисокий ККД.

В даний час основним обладнанням для пастеризації є пастеризаційно-охолоджувальні установки пластинчастого типу.

Трубчасті пастеризаційні установки нагрівають продукт у закритому тонкошаровому потоці при високих швидкостях з автоматичним здійсненням робочих процесів, що дає можливість роботи під великим тиском пастеризованих продуктів з нагріванням їх до температури понад 100°C . Трубчасті апарати мають невелику кількість гумових ущільнень з пластинчастими апаратами, що полегшує ремонт і вимагає менше часу на ремонт.

Пластинчасті пастеризаційно-охолоджувальні установки знайшли найширше поширення у переробній промисловості. Такі установки призначені для швидкої пастеризації молока в тонкому шарі та закритому потоці з подальшим охолодженням його після короткочасної витримки. У пластинчастих апаратах підвищення швидкості потоку молока призводить до збільшення гідравлічного опору.

Недоліком пластинчастих апаратів, як і електропастеризаторів, є утворення накипу. Для запобігання утворенню її необхідне зниження температури стінки, через яку здійснюється теплопередача до пастеризованого продукту.

Майже у всіх видах нагрівачів передача тепла відбувається через проміжний теплоносій, що призводить до ускладнення конструкції, додаткових витрат та втрат енергії, та створює певні незручності в експлуатації.

Іншу групу апаратів для пастеризації складають пристрої прямого впливу на продукт. До них належать опромінюючі НВЧ та електродні пастеризатори, а також порівняно нові пастеризатори з гідродинамічними нагрівачами. Останні становлять значний інтерес не тільки для великих молочних господарств та молочних заводів, але й для сімейних, фермерських та особистих підсобних господарств та здійснюють нагрівання продукту за рахунок тертя рідинних шарів між собою та стінки ГДН, забезпечуючи гідродинамічний вплив на молоко. Вони поділені на дискові та барабанні апарати, а на вигляд робочої поверхні – на гладкі та з комірчастою поверхнею. Барабанні у свою чергу можуть бути циліндричними чи конічними.

Є й ряд апаратів, у яких нагрівання продукту здійснюється не тільки за рахунок тертя рідини, а й турбулізації. До них належать гідромуфти в стоповому режимі та ряд модернізованих гідромуфт.

Таким чином, на основі запропонованої класифікаційної схеми вирішення багатьох питань теплової обробки молока особливо в умовах малих господарських утворень можливе при безпосередньому нагріванні рідини.

Більш економічним способом нагрівання рідин є застосування гідродинамічних нагрівачів. Їхня основна відмінність у тому, що в них відбувається перетворення механічної енергії на тепло, що спрощує конструкцію апарату та підвищує його ККД. Такі апарати мають невеликі габарити, малу металоємність і масу, мобільність, простоту конструкції, надійність, мають насосний ефект.

1.3 Огляд теплових насосів, що використовуються у молочній промисловості

На підприємствах харчової промисловості для реалізації технологічних процесів дуже часто потрібне використання холодильних машин. Так, наприклад, на багатьох пивоварних заводах, молочних комбінатах та заводах ковбасних виробів працюють дуже великі централізовані холодильні установки. З іншого боку, протягом усього року існує велика потреба у гарячій воді, яка застосовується для різних видів очищення. Необхідно забезпечити опалення приміщень. Таким чином, є умови для вигідного застосування теплових насосів.

За допомогою теплового насоса у водонагрівачі здійснюється приготування перегрітої води з температурою 85°C за рахунок використання теплоти, що виділяється парами холодильного агента після стиснення в компресорі. Теплота, що виділяється при конденсації пари в конденсаторі, використовується для приготування гарячої води з температурою $45\text{-}50^{\circ}\text{C}$, а за рахунок випаровування рідкого холодильного агента, що пройшов через дросельний вентиль, можна отримати крижану воду (охоложену до 0°C).

Розглянемо застосування теплового насоса на молочному заводі. (рисунок 1.2).

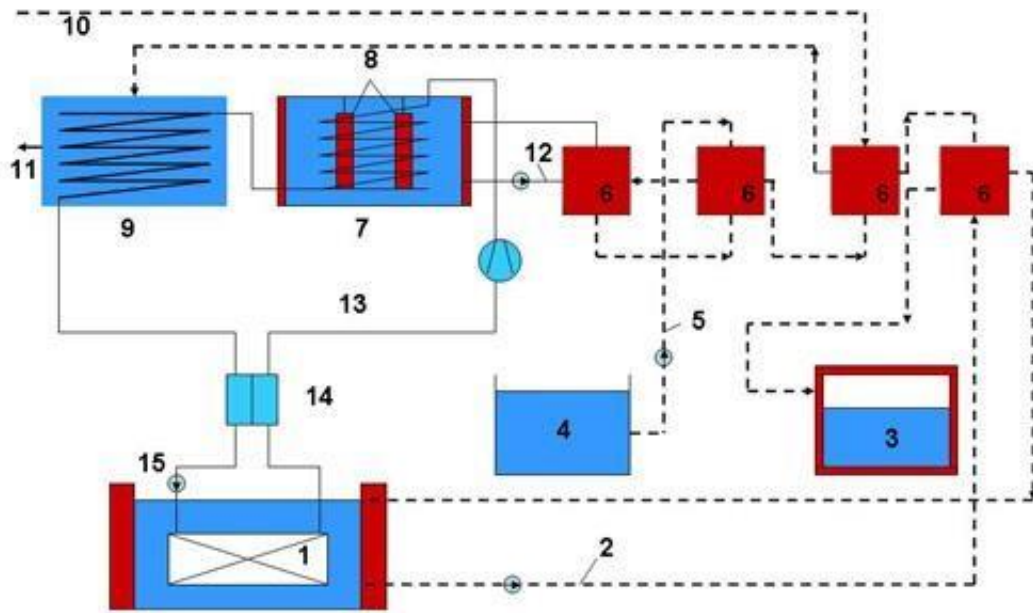


Рисунок 1.2 – Схема теплового насоса, з одночасним використанням теплоти та холоду при пастеризації рідин з подальшим їх охолодженням, на молочному заводі: 1 – випарник; 2 – крижана вода; 3 – ізольований резервуар для зберігання необробленого молока; 4 – резервуар для необробленого молока; 5 – молоко; 6 – 4-х секційний пластинчастий теплообмінник; 7 - ємнісний водонагрівач; 8 - нагрівання електронагрівачами; 9 – конденсатор; 10 – водопровідна вода; 11 – гаряча вода 45-50 °С, 0,5 м³/ч; 12- гаряча вода 85°С; 13- компресор; 14 – теплообмінник внутрішнього контуру; 15 - дросельний вентиль

Перегріта вода направляється для пастеризації молока в секціях 1-4 секційного пластинчастого теплообмінника. Необхідне додаткове нагрівання у водонагрівачі під час приготування перегрітої води здійснюється електрикою.

Необроблене молоко, що надходить з резервуара, з певною початковою температурою потрапляє спочатку в секцію 2 пластинчастого теплообмінника, де воно попередньо нагрівається за допомогою гарячого молока, що виходить з секції пастеризації. Після цього молоко надходить у секцію пастеризації, де воно нагрівається перегрітою водою до температури приблизно 75°С, після

чого знову проходить через секцію 2, де охолоджується свіжим молоком, і надходить у секцію 3. У секції 3 відбувається подальше охолодження молока водопровідною водою, і, нарешті, проходячи через секцію 4, молоко охолоджується крижаною водою до необхідної температури 6°C , після чого воно надходить у теплоізольований резервуар.

Водопровідна вода, попередньо нагріта в секції 3 пластинчастого теплообмінника, надходить у ємнісний водонагрівач, де встановлений конденсатор холодильного агента. Тут вона нагрівається за рахунок теплоти, що виділяється при конденсації до температури $45\text{-}50^{\circ}\text{C}$, після чого її можна використовувати для технологічних цілей.

За допомогою цієї установки можна обробляти 1 м^3 молока за годину при вихідній його температурі $32,5^{\circ}\text{C}$ або $0,87\text{ м}^3$ молока на годину при вихідній температурі 10°C . Для пастеризації 1 т молока з вихідною температурою $32,5^{\circ}\text{C}$ витрачається 28 кВт/год електроенергії, з них приблизно 15 кВт/год падає на додаткове електричне нагрівання. При вихідній температурі молока 10°C питома витрата електроенергії збільшується до 2 кВт/год. за тону. Тому з енергетичної погляду доцільно обробляти молоко відразу після доїння (парне молоко), тобто, монтувати установки одразу на великих молочних фермах. Крім того, тепловий насос забезпечує приготування гарячої води для господарських потреб із температурою $45\text{-}50^{\circ}\text{C}$ при ході $0,5\text{ м}^3/\text{год}$.

Якщо ж парне молоко на фермі не піддається пастеризації, а тільки охолоджується, то схему установки можна спростити (рисунок 1.3). Порівняно з попередньою схемою, у цьому випадку не потрібні пластинчасті теплообмінники 1 і 2. Економічність установки при технічно правильному її використанні забезпечена.

З цієї схеми видно, що ТН, відбираючи тепло від молока, перетворює його на більш високопотенційний теплоносій, що дозволяє нагрівати воду до необхідної температури. Одночасно при цьому відбувається охолодження молока до потрібних параметрів.

За такої схеми роботи ТН споживає значно менше електроенергії, ніж

могло б бути витрачено для роботи холодильної установки.

Також ви заощадите на витратах на теплову енергію для гарячого водопостачання.

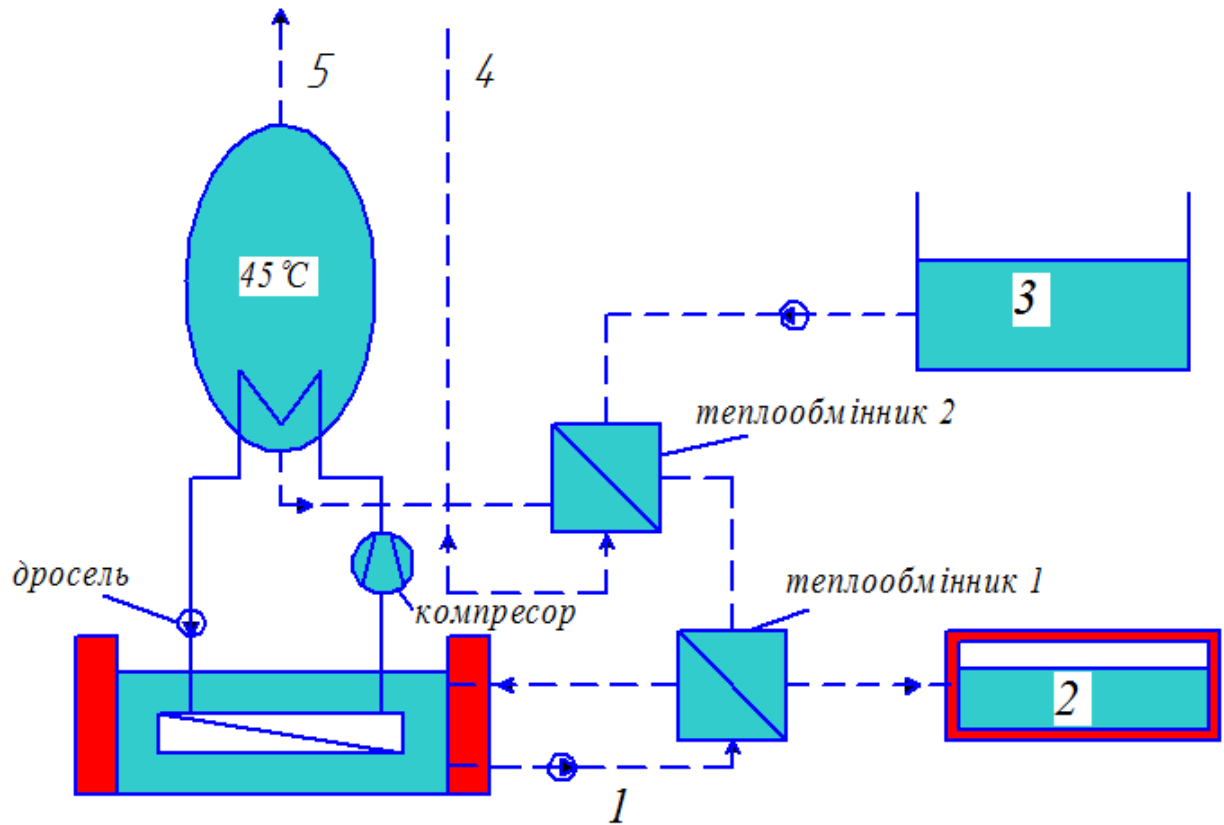


Рисунок 1.3 – Схема застосування теплового насоса для охолодження молока та приготування гарячої води: 1- крижана вода; 2 – молоко 4°C; 3 – молоко 32°C; 4 – технологічна вода; 5 - гаряча вода

1.4 Огляд наукових публікацій щодо дослідження процесу роботи пастеризаційних установок із гідродинамічними нагрівачами

Початок досліджень щодо знезараження рідин шляхом нагрівання покладено засновником пастеризації Луї Пастером понад 100 років тому. Після цього наукові роботи здебільшого були спрямовані на обґрунтування

параметрів та режимів роботи пастеризаторів непрямого нагріву рідини парою або гарячою водою.

Насамперед їх дослідження було спрямовано визначення теплової продуктивності пастеризаторів непрямого нагріву. Вона за даними ряду дослідників залежить від площі поверхні нагріву F і визначається відомою залежністю, що описує теплопередачу:

$$Q = Fk \cdot \Delta t_{cp} = Mc_m (t_k - t_n), \quad (1.1)$$

де, M - маса молока, що нагрівається;

c_m – теплоємність молока;

t_n и t_k - початкова та кінцева температури нагрівання молока;

k – коефіцієнт теплопередачі;

Δt_{cp} – градієнт температур.

За цією залежністю (1.1) зазвичай визначається площа нагріву в пастеризаторі:

$$F = \frac{Mc_m \cdot (t_k - t_n)}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (1.2)$$

де за рівнянням Грасгофа:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}. \quad (1.3)$$

Тут Δt_{max} та Δt_{min} – різниці температур між теплоносієм та молоком на вході в апарат та виході з нього.

Годинну витрату пари на пастеризацію визначають за формулою:

$$P = \frac{Mc_m \cdot (t_k - t_n)}{(i - \lambda)\eta_m}. \quad (1.4)$$

де: P – кількість пари в кг/год;

i – повний теплосміст пари, Дж/кг,

λ – ентальпія конденсату в Дж/кг;

η_m – тепловий ККД пастеризатора.

За нею витрата пари в основному залежить від маси пастеризованого молока та тепломістку пари.

Розрахунок регенераторів тепла, що входять до складу пастеризаційної установки, зазвичай зводиться до визначення коефіцієнта регенерації тепла за залежністю:

$$\xi_{pez} = \frac{t_{pn} - t_n}{t_k - t_{pv}}. \quad (1.5)$$

де t_{pn} і t_{pv} – температури молока на виході з регенератора лінії подачі його в пастеризатор і лінії охолодження його після пастеризації, °С.

Аналіз опублікованих робіт показує, що в протиточних регенераторах коефіцієнт регенерації становить 0,8... 0,85, прямоточних – (0,45 ... 0,5).

У результаті досліджень теплообміну між нагрівальним середовищем та пастеризованим молоком обґрунтовано кратність циркуляції гарячої води (для трубчастих (4...6) та пластинчастих (3...4)) пастеризаторів, та циркуляції холодної води при охолодженні пастеризованого молока, а також параметри регенератора тепла. Коефіцієнт теплопередачі за їх даними визначається залежністю:

$$k = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda_{cm} + 1/\alpha_2}, \quad (1.6)$$

де α_1 і α_2 – коефіцієнт тепловіддачі з боку гріючого середовища та стінки до нагрівається продукту Вт/(м²·К);

δ – товщина стінки, м;

λ_{cm} – коефіцієнт теплопровідності стінки, Вт/(м·К).

Якщо обґрунтуванню параметрів та режимів роботи пастеризаторів непрямого нагріву та теорії їх роботи присвячено велику кількість наукових праць, то теоретичних досліджень пастеризаторів з гідродинамічними нагрівачами (ГДН) дуже мало. Процес їх роботи вивчений недостатньо, а інформація у пресі щодо них обмежена.

Найбільш відомі дослідження ГДН на коагуляції віджатою соку рослин та нагрівання води, встановлено, що експериментальний коагулятор при перепаді температур продукту до 60°C забезпечує продуктивність до 900 кг/год (діаметр ротора 153 мм при ширині 40 мм) з ККД 80...90%.

Однак робочі характеристики коагулятора залишилися недостатньо вивченими, а параметри установки з використанням ГДН не обґрунтовані, відсутня методика інженерного розрахунку нагрівача.

Робочий процес у гідродинамічному нагрівачі рідини (ГДНЗ) він розглядає з позицій теорії гідродинамічних передач. Розглядаючи на основі теорії лопатевих гідромашин Л. Ейлера гідродинамічний нагрівач та ідеалізуючи в якій то мірі потік рідини в ньому, він вивчив баланс енергії в нагрівачі і всі втрати енергії розділив на чотири види, як і в інших роботах з гідравлічних машин:

- втрати натиску;
- втрати на тертя про рідину робочих органів апарату;
- об'ємні втрати через перетікання рідини
- втрати на тертя у приводі.

Більш суттєві за його даними гідравлічні втрати та втрати на тертя робочих органів про рідину, які забезпечують тепловиділення у ГДН.

На основі рівняння Бернуллі для потоку води через нагрівач він дає наступне рівняння балансу напорів:

$$H_i = \Delta H + \Sigma h, \quad (1.7)$$

Де ΔH – різниця натисків на виході та вході нагрівача;

Σh – сумарні втрати натиску.

На основі цієї формули їм отримано залежність, що описує перетворення енергії потоку в робочій порожнині НДН:

$$\frac{u_2^2}{g} \mu_p = \frac{k_p Q_l^2}{2gF_p^2} + \frac{k_p Q_l^2}{2gF_c^2} + \frac{k_p Q_l^2}{2gmF_{nk}^2} + \frac{\phi_{y\delta}}{2g} \left[\left(u_{p1} - \frac{Q_l}{F_{p1}} \right)^2 + (u_2 \cdot \mu_p)^2 \right] + \Delta H, \quad (1.8)$$

де u_1 та u_2 – окружні швидкості ротора на вході та виході рідини;

F_{p1} – площа перерізу каналу лопаті на вході до ротора;

F_p, F_c, F_{nk} – середні площі перерізів ротора, корпусу та каналу, що подає;

m – число каналів, що подають;

μ_p – коефіцієнт відхилення потоку із-за кінцевого числа лопаток.

Q_l – витрата води в робочій порожнині;

Q – подача нагрівача;

k_p, k_c, k_k – коефіцієнти опору ротора, корпусу і каналу, що підводить;

$\phi_{y\delta}$ – коефіцієнт втрати на вихроутворення при ударі потоку об лопатку ротору.

По ній можливий розрахунок параметрів ГДН за відомої витрати води. При цьому потужність такого нагрівача значною мірою визнається швидкістю обертання ротора відповідно до формули:

$$N = \frac{\rho g Q_l \omega^2 r_{p2}^2 \mu_p + c_{f1} \rho \omega^3 (r_2^5 - r_1^5) + c_{f1} \rho \omega^3 r_2^4 e + c_{f2} \rho \omega^3 (r_{p2}^5 - r_{p1}^5)}{\eta_{мех}}, \quad (1.9)$$

де r_{p1} і r_{p2} – мінімальний та максимальний радіуси ротора з основи та верхівці лопатки;

r_1 і r_2 – мінімальний та максимальний радіуси кільця тертя з бокових сторін ротора;

c_{f1} , c_{f4} , c_{f2} – коефіцієнти гідравлічного опору робочої порожнини лопаток, циліндричної частини бокового зазору ротор-корпус та бокового кільця тертя в роторі;

e – ширина циліндричної частини зазору;

$\eta_{\text{мех}}$ – механічний КПД пастеризаційної установки;

ρ – щільність рідини;

ω – кутова швидкість обертання ротора;

g – прискорення сили тяжіння.

Необхідно зазначити, що зазначені залежності та результати експериментальних досліджень відносяться до конструкції ГДН, в якому основна дисипація енергії відбувається в області бічного зазору. Збільшення кількості тепла, що виділяється, в ньому можливе підвищенням окружної швидкості лопаток ротора і витрати рідини.

Досліджуючи ГДН з радіальними комірками в зазорі між ротором і корпусом вона встановила, що потоку молока в проточній частині його характерна критична швидкість переходу від пристінного ламінарного перебігу до турбулентного в ядрі потоку, що залежить від в'язкості пастеризованого продукту. Причому чим вище ця в'язкість, тим більша критична швидкість і товщі прикордонний шар. Нею показано, що в найгірших умовах нагріву в ГДН знаходяться саме пристінні шари продукту. За її даними на нагрівання молока в пастеризаторі з ГД нагрівачем розходить наступна кількість тепла (в секунду):

$$Q = Gc(t_{\text{п}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 - \varepsilon), \quad (1.10)$$

де G – секундна подача молока, кг/с;

c – питома теплоємність молока, Дж/кг·К;

t_n і t_n – температури пастеризації та початкова молока, °С;

ε – коефіцієнт регенерації тепла поза нагрівачем.

За цією залежністю збільшення коефіцієнта регенерації сприяє зниженню теплового навантаження ГДН пастеризаційної установки.

Продуктивність Q ГДН в основному залежить від діаметра D ротора і частоти його обертання:

$$Q = (b - at) \rho D^5 \omega^3, \quad (1.11)$$

де b та a – постійні;

ρ – щільність молока, кг/м³.

Для визначення ступеня завершеності процесу пастеризації молока, вона вводить поняття критерію Пастера Pa , що виражає відношення фактичного часу T_ϕ впливу на молоко температури пастеризації до необхідного часу придушення мікрофлори:

$$Pa = \frac{T_\phi}{T_n}.$$

При цьому частка ГДН за критеріями Пастера визначена залежно від:

$$Pa_1 = A \cdot T_{оп} \frac{1}{a} \int \frac{e^x dx}{x}, \quad (1.12)$$

$$\text{де } A = \frac{Mc\eta_m}{\beta_o \rho} \cdot e^{-a + \frac{\beta b}{a}};$$

$$z_1 = -\frac{b}{a}(b - a \cdot 60^\circ);$$

$$z_2 = -\frac{b}{a}(b - at_n);$$

β_0 – частина потужності $\beta = D^5 \omega^3$, що бере участь у нагріванні безпосередньо в ГДН у межах температур від 60°C до t_n ;

η_m – тепловий ККД нагрівача.

Аналізовані роботи в галузі ГДН та пастеризаційних установок на їх базі відносяться в основному до плоских дисків і нагрівачів з однорядним розташуванням комірок, що не сприяє підвищенню витрати рідини в ГДН і тим самим тепловиділення в ньому, про що свідчать роботи з дослідження як гідромуфт, так і лопатевих гідротормозів.

Крім того, у зазначених роботах функціонування ГДН відбувається в синхронному режимі закриття та розкриття всіх комірок ротора, що вносить дисбаланс у розглянуту систему та створює умови нерівномірності (стрибкоподібності) у приводі.

Отже, підвищення ефективності процесу пастеризації молока в установках з ГДН можливе не лише подальшим удосконаленням конструкції нагрівача, мінімізацією втрат тепла, а й оптимізацією параметрів його проточної частини. Значну роль може відіграти згладжування пікових навантажень, пов'язаних з режимом функціонування пористих поверхонь ГДН, що потребує подальшого уточнення процесу їхньої роботи при використанні пастеризаційних установок.

1.5 Мета та завдання дослідження

Мета роботи – обґрунтування процесу роботи та параметрів удосконаленої установки для пастеризації молока з гідродинамічним нагрівачем (ГДН) стосовно умов виробництва його господарствами та підприємствами різних форм власності в АПК. Для її вирішення передбачені

такі завдання дослідження:

1) Провести аналіз процесу роботи вдосконаленої установки для пастеризації молока, включаючи зміну конструкції ГДН, компонування її теплових апаратів та використання в ній теплового насоса на операціях охолодження пастеризованого молока.

2) Розробити математичні моделі функціонування теплових апаратів установки, визначити їх роль та частку, що вноситься в критерій пастеризації;

3) Обґрунтувати параметри вдосконаленої пастеризаційної установки з ГДН та режими її роботи з використанням теплового насосу.

Визначити економічну ефективність впровадження результатів дослідження удосконаленої пастеризаційної установки на молочних фермах та господарствах АПК.

2 Теоретичні дослідження по вдосконаленню процесу роботи пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем

2.1 Загальна схема вдосконаленої пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем

Схему вдосконаленої установки пастеризації з використанням ГДН представлено на рисунку 2.1. У його склад входять гідродинамічний нагрівач 1, молокотримач 4, регенератор 2 і пластинчастий теплообмінник у складі охолоджувача 6, 14 насос для подачі молока і холодної води.

На заключному етапі охолодження молока в пластинчастому охолоджувачі пара холодоагенту використовується як частина теплового насоса (НТ) без проточної холодної води, яка незворотно поглинає тепло води, що охолоджує.

Тепловий насос складається з компресора із підключеними проводами. Він включає компресор 8, конденсатор 9, теплообмінник холодоагенту 10, фільтр-осушувач 11, випарник 6 в охолоджувачі, клапан регулювання температури (ТРВ) 12 і реле тиску 13.

Схема установки пастеризації також включає прийомну ємність 3 для пастеризованого продукту, ємність 7 для збору продукту після пастеризації і автоматичний клапан 5 системи управління витратою пастеризованого продукту.

У процесі роботи такого пастеризатора пастеризований продукт, наприклад молоко, насосом 14 з бака 3 подається в змішувачі теплообмінника 9 де попередньо підігрівається парами охолоджувача, що надходять з кінцевої секції 6. пластинчастий охолоджувач молока.

Фактично теплообмінник передає тепло охолодженого молока потоку холодного молока перед пастеризацією, усуваючи цей недолік (тепловтрати) пастеризаторів зернових.

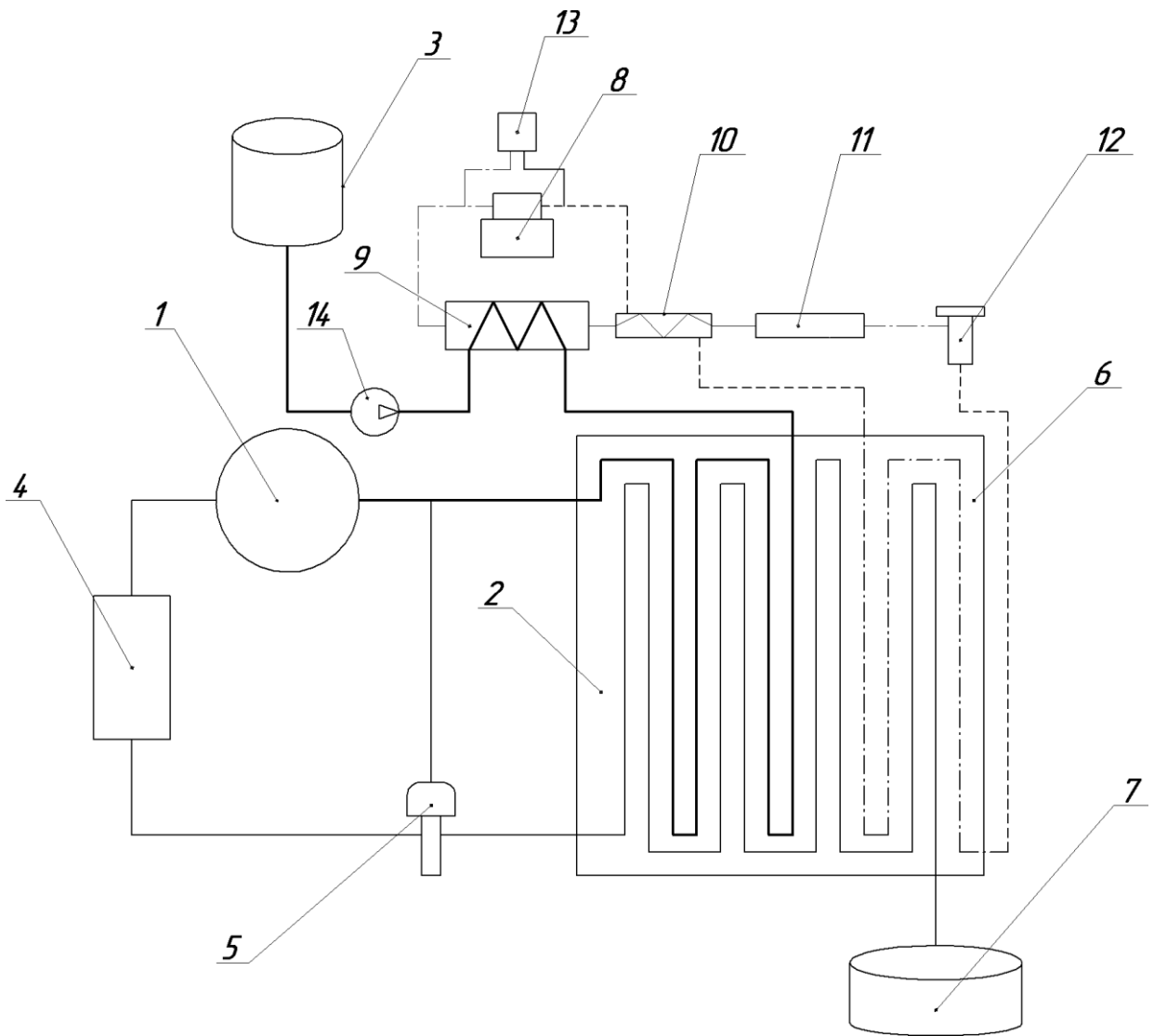


Рисунок 2.1 – Загальна схема вдосконаленої пастеризаційної установки:
 1 – гідродинамічний нагрівач; 2 – регенератор; 3 – приймальний бак; 4 – витримувач; 5 – автоматичний клапан; 6 – охолоджувач; 7 – бак збору пастеризованого молока; 8 – компресор; 9 – конденсатор; 10 – теплообмінник; 11 - фільтр-осушувач; 12 - ТРВ кран; 13 – датчик тиску

Молоко, нагріте теплообмінником теплового насоса 9, подають в пластинчастий регенератор 2. Там вона нагрівається в ГДН, а потім омивається через стінки плити набігаючим потоком гарячого молока.

Далі нагріте в регенераторі молоко потім надходить нагрівач ГДН 1 і додатково нагрівається до заданої температури пастеризації. Потім воно надходить у тримач 4 на час, передбачений режимом пастеризації, і направляється в регенератор 2 назустріч потоку молока, підігрітого для пастеризації.

З секції регенерації пастеризоване молоко надходить пластинчастий охолоджувач 6 (промивання випарника), де остаточно охолоджується в охолодженому стані і збирається в ємності 7 для зберігання в охолодженому вигляді.

При пуску установки включають компресор 8 і відсмоктують пари охолоджувача, що утворюються при кип'ятінні, у вбудований пластинчастий апарат випарник секції 6 трубопроводом тиском 400...450 кПа, насичений парами охолоджувача 10...15°C, компресором стискається до тиску 1500...1800 кПа. При температурі 80-90°C молоко надходить у конденсатор 9, де частина тепла від бака передається холодному молоку, що надходить гідродинамічний нагрівач (ГДН). Потім холодоагент надходить у теплообмінник 10, де додатково охолоджується холодоагентом, що надходить з випарника. при тиску 1400 кПа. Охолоджувач проходить через фільтр-осушувач 11 і розпорошується трубопроводом у випарник, де він контактує з гарячим молоком і закипає при низькому тиску. Завдяки зворотному зв'язку TRV автоматично зменшує подачу рідкого холодоагенту з охолодженням молока, забезпечуючи максимальну потужність охолодження. Потім холодоагент знову надходить у компресор.

На початку роботи пастеризатора температура молока на виході з нагрівача ГДН може бути недостатньою для пастеризації молока. Автоматичний клапан 5 перекриває шлях до регенератора і направляє підігрів ГДН до тих пір, поки температура молока не досягне заданого значення пастеризації. Схема гідродинамічного нагрівача представлена на рисунку 2.2. В ній враховано, що існуючі ГД нагрівачі досить громіздкі, мають порівняно високі втрати тепла в навколишнє середовище і нерівномірність або пульсації

навантаження через одночасного збігу при обертанні ротора всіх комірок та їх закриття, що супроводжується зрізом рідкого пастеризованого продукту.

У завдання вдосконалення використовуваного у дослідках ГДН входило забезпечення рівномірності навантаження на ротор при його обертанні та підвищення теплового ККД пастеризаційної установки.

Вона вирішена в дослідному зразку ГДН тим, що на зовнішній поверхні ротора був виконаний набір комірок, розташованих рядами по гвинтовій лінії, а на внутрішній поверхні статора - аналогічні комірки, розташовані також по гвинтовій лінії, але з іншим кроком рядів комірок.

У зв'язку з цим ГДН складався з ротора 1 (рисунок 2.2 а) у вигляді порожнистого циліндра з розташованим із зазором у його порожнині ротором 2, закритим з обох боків кришками 3 і 4, в яких встановлені підшипники 5 і 6 валу 7 ротора. Всередині статора 1 є осесиметрична кільцева порожнина 8 (рисунок 2.2), що виконує роль витримувача, обсяг якого відповідає конкретній продуктивності пристрою для гідродинамічного нагріву рідких продуктів. Вона ж служить утеплювачем робочої частини пропонованого пристрою від зовнішнього середовища.

На зовнішній поверхні ротора 2 виконаний набір комірок 9, наприклад, довгастих, розташованих рядами по гвинтовій лінії з кроком t (рисунок 2.2 в) під кутом α .

На внутрішній поверхні статора 1 виконані аналогічні комірки 10, розташовані також по гвинтовій лінії, але з іншим кроком рядів комірок, що забезпечує зміну кількості комірок у кожному ряду на статорі 1, наприклад, на одну осередок у порівнянні з кількістю комірок на роторі 2 і зміщення кроку їх. Кут нахилу рядів комірок 10 на статорі 1 може бути рівним або більшим кутом нахилу рядів комірок 9 ротора 2. При цьому осі довгастих комірок статора 1 можуть бути паралельні осям комірок ротора так, що при їх збігу утворюються замкнуті камери.

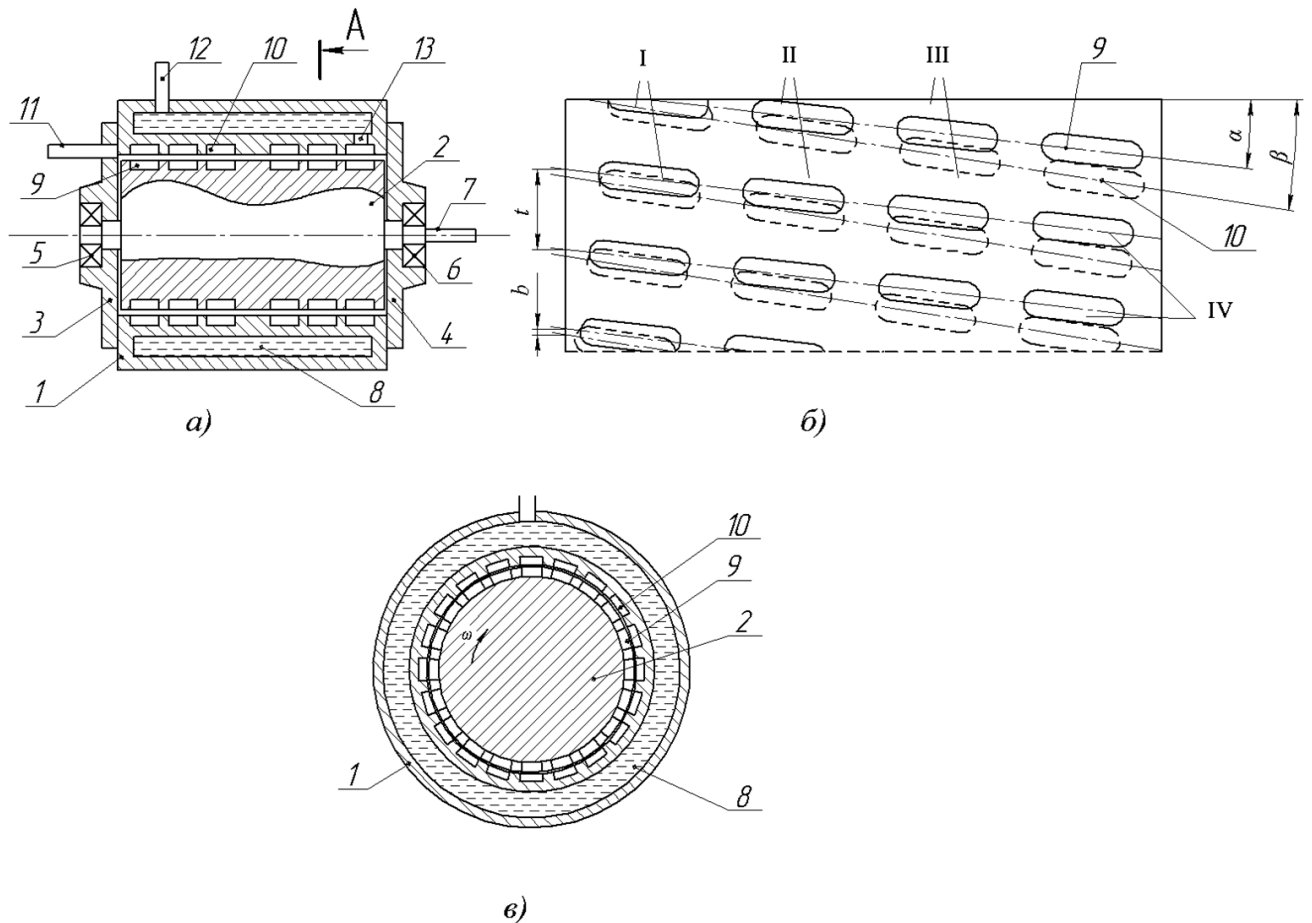


Рисунок 2.2 – Експериментальний пристрій для гідродинамічного нагрівання рідких продуктів: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – передня кришка; 4 – задня кришка; 5 – передній підшипник; 6 – задній підшипник; 7 – вал; 8 – порожнина статора; 9 - комірка ротора; 10 - комірка статора; 11 - патрубок подачі; 12 - патрубок відведення; 13 – отвір, що з'єднує з комірчастою робочою частиною пристрою

Гідродинамічний нагрівач має патрубок подачі 11 продукту для теплової обробки його в ньому та патрубок відведення 12 продукту після теплової обробки, що сполучається з порожниною 8 статора 1, яка у свою чергу отвором 13 з'єднана з пористою робочою частиною пристрою.

Працює ГД нагрівач в такий спосіб.

Молоко, що надходить на теплову обробку, по патрубку 11 заповнює комірок 9 і 10. При обертанні ротора 2 воно захоплюється рядами його комірок

9, як лопатями насоса, нахиленими під кутом α , забезпечуючи самоусмоктування продукту в пристрій (насос 4). У зазорі між ротором 2 і статором 1 молоко піддається інтенсивному гідродинамічному впливу завдяки розгону комірок 9 ротора, різкому гальмуванню комірок 10 нерухомого статора 1, інтенсивному вихроутворенню, тертю шарів продукту між собою і поверхні статора 1

2. В результаті цього відбувається перетворення підводиться до пристрою енергії приводу в теплову енергію, що поглинається молоком, що пастеризується, нагріваючи його до температури пастеризації. При цій температурі нагріте молоко через отвір 13 надходить в порожнину статора 8 для його витримки, після чого виводиться через патрубок відведення 12 з ГДН в лінію подальшої обробки: регенерації, охолодження і зберігання, як описано вище.

Різний крок t рядів комірок 9 і 10 на статорі 2 і якорі 1 і кутів їх нахилу β і α по гвинтовій лінії забезпечують послідовне їх закриття і подальше поступове відкриття в міру обертання ротора 2, що може знизити пульсацію навантаження на ГД обробку молока і вирівняти її (створюється аналогія різання матеріалів зі ковзанням).

Розташування ж витримувача в кільцевій порожнині 8 статора 1 забезпечує скорочення втрат тепла з робочої комірчастої частини нагрівача в навколишнє середовище, що може підвищити його ККД.

2.2 Гідродинамічні явища у проточній частині нагрівача

ГДН пастеризаційної установки містить, як уже зазначалося, рухомий статор з комірками і ротор з аналогічними комірками. У ньому перегородки між сусідніми комірками представляють своєрідні лопатки, а проточна частина для пастеризованого молока утворена самими комірками та зазором статор - ротор. При обертанні ротора товщина шару молока в проточній частині змінюється від мінімальної, що відповідає зазначеному зазору, до

максимальної, що включає додатково глибини комірками статора і ротора при збігу цих комірок. Така конструкція ГДН при його роботі з гідродинамічної дії на рідину певною мірою нагадує відцентровий насос і в багатьох схемах пастеризаційних установок виключає необхідність встановлення насоса.

Ротор ГДН обертається з постійною кутовою швидкістю ω_o . з приводом від окремого електродвигуна. Пастеризована рідина в ньому також набуває усередненої кутової швидкості ω , але меншої ніж кутова швидкість лопаток ротора ω_o . Тоді відносна швидкість молока ω_l (стосовно швидкості ротора) буде:

$$\omega_l = \omega_o - \omega \quad (2.1)$$

Кутова швидкість ω рідини при пастеризації викликає відцентрову силу, що діє на внутрішню поверхню статора:

$$P = mR\omega^2 \quad (2.2)$$

де m - маса пастеризованої рідини в проточній частині ГДН, кг;

R - радіус внутрішньої проточки статора, м.

Об'єм проточної частини ГДН складається з об'єму кільцевого зазору товщиною b та об'єму комірок ротора та статора:

$$V = V_s + V_r = \pi(R^2 - R_1^2) \cdot B + \pi r^2 \cdot B \cdot n, \quad (2.3)$$

де R_1 – Зовнішній радіус ротора, м;

B – Ширина ГДН, м;

r і n – радіус (м) та кількість комірок у ГДН, вважаючи їх у формі наскрізних свердлінь у районі зазору статор – ротор у однорядному виконанні. Тоді маса пастеризованої рідини в проточній частині ГДН складе:

$$m = V \cdot \gamma = [\pi(R^2 - R_1^2)B + \pi r^2 B n] \gamma, \quad (2.4)$$

1

де γ – питома вага рідини, кг/м³.

За цими даними при обертанні ротора тиск пастеризованої рідини на внутрішні стінки статора буде:

$$p = \frac{P}{F} = \frac{[\pi(R^2 - R_1^2)B + \pi r^2 B n] \gamma \cdot R \cdot \omega^2}{\pi R B} = (R^2 - R_1^2 + r^2 n) \gamma \cdot \omega^2, \quad (2.5)$$

де F - площа внутрішнього розточування статора під ротор, м².

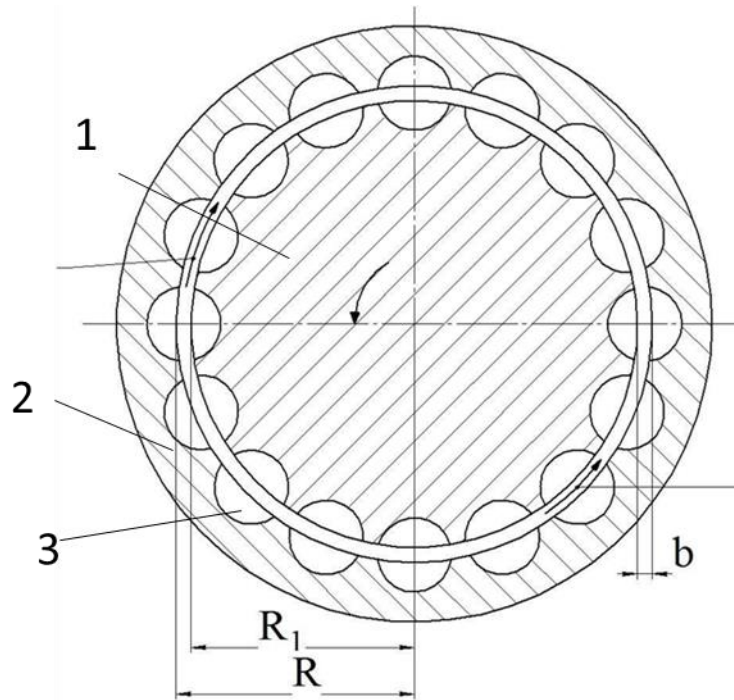


Рисунок 2.3 – Схема перебігу рідини у проточній частині ГДН: 1 – ротор; 2 – статор; 3 – комірка

Це тиск викликає силу тертя рідини поверхню статора, величина якої у розрахунку на 1 м² поверхні його може бути визначена за формулою, запропонованою Г.А. Куком:

$$\tau_o = \varepsilon \rho \frac{\omega^2}{8}, \text{ Н}, \quad (2.6)$$

де ε - коефіцієнт опору потоку;

ρ - щільність рідини, кг/м³;

Сила тертя, що діє на всій поверхні статора F , буде $F\tau_o$. На її подолання при швидкості рідини необхідні витрати енергії, визначені потужністю:

$$N = \varepsilon \rho \frac{\omega^3}{8\eta \cdot 102} \cdot \pi RB, \text{ Вт} \quad (2.7)$$

де η - ККД передачі в приводі ГДН;

По ній потужність приводу ГДН має кубічну залежність від кутової швидкості обертання ротора.

Насправді перебіг пастеризованої рідини в ГДН носить складний характер: у моменти змикання комірками ротора і статора тиск у них стрибком підвищується, виникають кільцеві вихори в шарах рідини, а при розкритті комірки потік прискорюється. Все це призводить до інтенсивного тертя шарів рідини між собою та стінки ГДН, що забезпечує нагрівання її до температури пастеризації. У зв'язку з цим отримана залежність (2.7) може використовуватися тільки для орієнтовних розрахунків потужності приводу ГДН.

Однак знаючи кутову швидкість лопаток ротора, ми поки що не визначили справжню кутову швидкість течії рідини вздовж зазору ротор - статор, яка визначає величину критерію Рейнольдса Re :

$$\text{Re} = \frac{\omega D \gamma}{\mu g}, \quad (2.8)$$

де μ – в'язкість рідини.

Крім того, необхідно експериментальне визначення коефіцієнта ϵ , який у першому наближенні вважатимуться рівним 0,02.

Фактично робота лопатки ротора супроводжується рухом рідини (ω_1) щодо нерухомої внутрішньої поверхні статора і власне щодо самої лопатки через відставання її кутової швидкості ω від швидкості лопатки (рис. 2.4)

Кутова швидкість ω_o обертання ротора 1 з лопатками 5 більше кутової швидкості ω переміщуваного молока. Це викликає силу для зміщення рідини поверхнею статора радіусом R :

$$F \tau_o = \epsilon \rho \frac{\omega^2 R}{8} F, \quad (2.9)$$

де $F = \pi R \cdot B$.

Під дією цієї сили по всій ширині ротора з'являється момент:

$$M = \epsilon \rho \frac{\omega^2 R^4}{8} \pi \cdot B, \quad (2.10)$$

Цей момент у принципі дорівнює моменту сил, прикладених до лопаток ротора, оскільки кожна з них пронизує шар рідини заввишки r із відносною кутовою швидкістю (швидкість відставання рідини від швидкості лопатки) ω_1 . При цьому лопатка ротора фронтальною поверхнею висотою r і довжиною B долає гідравлічний напір пастеризованої рідини, рівний:

$$p_1 = \frac{\rho \omega_1^2}{2} R_x^2 \cdot B, \quad (2.11)$$

де R_x – радіус елементарного майданчика за висотою лопатки ротора (рис. 2.4).

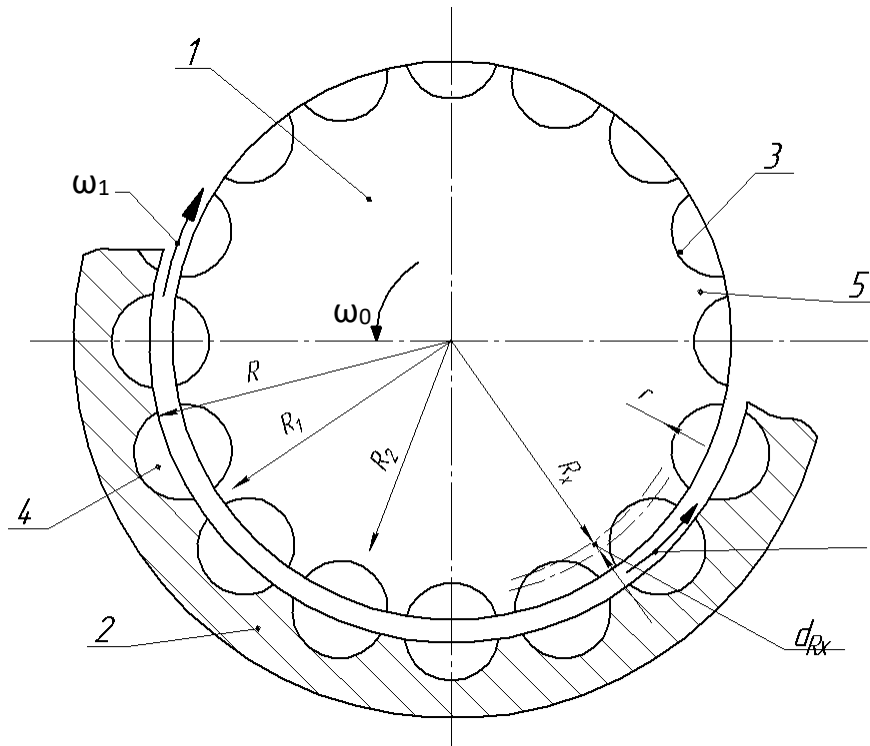


Рисунок 2.4 – Схема визначення опорів лопатей ротора: 1 – ротор; 2 – статор; 3 - комірка ротора; 4 – комірки статора; 5 – лопатки ротора

У межах висоти і довжини лопатки елементарний момент від цього напору складе:

$$dM = \frac{\rho}{2} \omega_1 B R_x^2 \cdot dR_x \cdot R_x.$$

Величина дійсних тисків рідини p_1 у відносному русі значною мірою залежить від форми лопатки. Для лопатевих машин його зміна враховується коефіцієнтом $c = B/r$ при використанні плоских лопаток. Лопатки ротора ГДН

виконані зі сферичною поверхнею, що допускає ковзання шарів молока, що зрізається, безпосередньо по лопатці, що може бути враховано додатковим коефіцієнтом C_l , тоді:

$$C = C_1 \frac{B}{r} \quad (2.12)$$

Враховуючи кількість лопатей на роторі z і цей поправний коефіцієнт для моменту, доданого до осі ротора, отримаємо:

$$M = c_1 \frac{B^2}{r} \cdot z \rho \frac{\omega_1^2}{8} (R_1^4 - R_2^4), \quad (2.13)$$

Прирівнюючи цей момент (2.13), що забезпечує пронизування рідини лопатками ротора у відносному русі, до моменту сили тертя її про внутрішню поверхню статора (2.10) і враховуючи, що $\omega = \omega_o - \omega_1$, отримаємо:

$$\left(\frac{\omega_o - \omega_1}{\omega_1} \right)^2 = \frac{C_1 z B}{\pi \epsilon r} \cdot \frac{R_1^4 - R_2^4}{R^4},$$

звідки вираз визначення ω_1 буде:

$$\omega_1 = \frac{\omega_o}{1 + \sqrt{\frac{C_1 z B}{\pi \epsilon r} \cdot \frac{R_1^4 - R_2^4}{R^4}}}, \quad (2.14)$$

Далі по $\omega = \omega_o - \omega_1$ можна визначити і величину кутової швидкості рідини:

$$\omega = \omega_0 = \left(\frac{1}{1 + \sqrt{\frac{C_1 z B}{\pi \epsilon r} \cdot \frac{R_1^4 - R_2^4}{R^4}}} \right). \quad (2.15)$$

Аналіз отриманих залежностей показує, що потужність двигуна для приводу ГДН може бути визначена за виразом (2.7), а також за виразом:

$$N = M \cdot \omega_0 = \frac{c_1 B^2 z \rho \omega_1^2 \cdot \omega_0}{8r} (R_1^4 - R_2^4), \quad (2.16)$$

або ж з урахуванням ККД:

$$N = \frac{M \cdot \omega_0}{\eta \cdot 102}, \text{кВт}$$

Відповідно до (2.16) зниження її можливе скороченням кількості лопаток, що одночасно зрізають шар молока, що може бути забезпечено різним кроком розміщення їх на статорі та роторі та почерговим їх розкриттям (а не синхронним) у процесі роботи ГДН.

Особливістю роботи ГДН є низька швидкість потоку молока в пристінних шарах до поверхні прикордонного шару, за яким ламінарна течія змінюється на турбулентний. Товщина цього шару визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{11\nu}{v_n}, \quad (2.17)$$

де ν – кінетична в'язкість молока;

v_n – швидкість молока на поверхні цього шару.

За цією залежністю товщина пристінного шару молока на статорі

залежить від в'язкості молока, яка зменшується зі зростанням температури пастеризованого продукту. Через низьку швидкість частинки молока пристінного шару значно гірше прогриваються з боку турбулентного ядра потоку, щонайменше вони беруть участь і в дисипації механічної енергії приводу в теплову. Це різко відрізняє апарати прямого нагріву від апаратів непрямого нагріву, де потік тепла на пастеризацію підводиться через пристінний шар від стінки з порожниною, в якій циркулює теплоносій.

2.3 Аналіз роботи пластинчастого теплообмінника пастеризаційної установки

Призначений пластинчастий теплообмінник у принципі для охолодження пастеризованого молока та містить блок двох теплових апаратів – регенератора та охолоджувача. У регенераторі більша частина тепла гарячого молока передається на пастеризацію молока для його попереднього нагріву.

Температурний графік протиточного регенератора представлений рисунком 2.7 функції площі охолодження у ньому F .

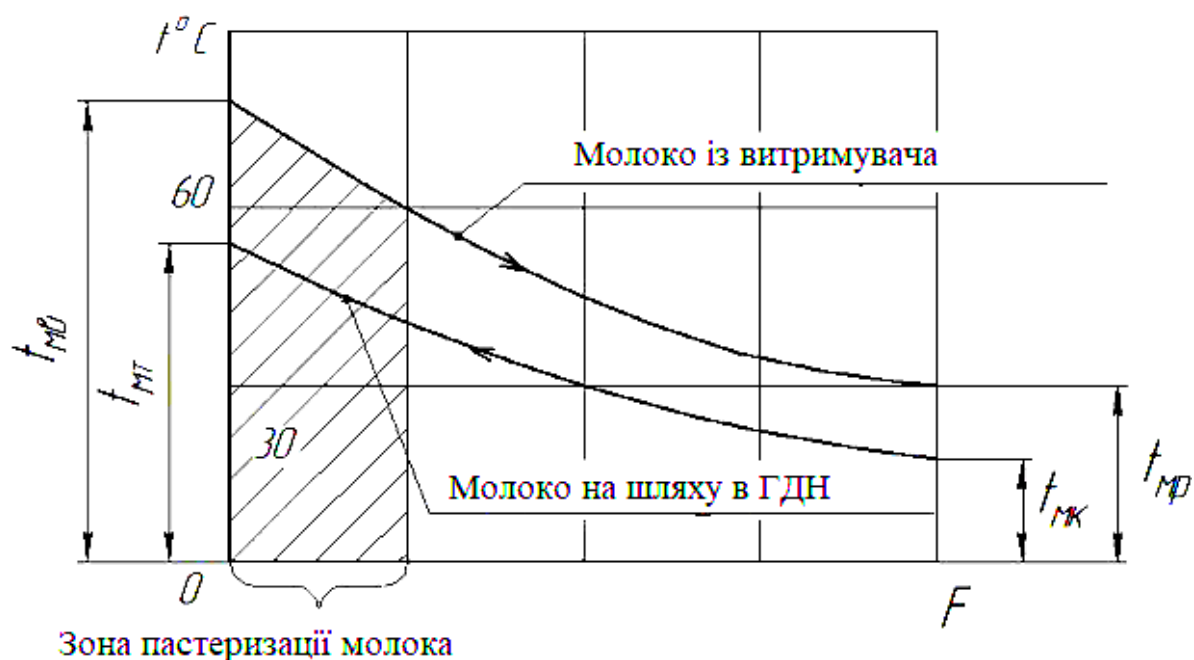


Рисунок 2.5 – графік зміни температур молока у регенераторі: t_{MB} і t_{MP} –

температури пастеризованого молока на вході та виході з регенератора; t_{mk} і t_{mT} – температури молока, що підігрівається (протікання) на вході та виході регенератора

На рисунку 2.5 заштрихована зона падіння температури молока після витримувача (більше 60°C) все ще бере участь у пастеризації молока та придушенні мікрофлори в ньому.

Витрати молока G_m у лініях нагріву та охолодження молока в регенераторі однакові, тому для кількості тепла отримаємо такі вирази:

у лінії охолодження пастеризованого молока

$$Q = G_m c (t_{mv} - t_{mp}); \quad (2.18)$$

у лінії нагріву молока перед пастеризацією

$$Q = G_m c (t_{mT} - t_{mk}); \quad (2.19)$$

де c – теплоємність молока.

Прирівнюючи ці два вирази, отримаємо

$$t_{mp} = t_{mk} + \tau_n, \quad (2.20)$$

де $\tau_n = t_{mv} - t_{mT}$ – початковий температурний перепад потоків молока на вході гарячого молока в регенераторі.

На відміну від пластинчастих охолоджувачів у аналізованому регенераторі кратність потоків молока – одноразова, а для входу і виходу регенератора різниться незначно.

Вказане в (2.18) кількість тепла передається через стінки пластин регенератора іншому потоку молока

$$Q = kF_p \Delta t_{cp}, \text{Вт/с} \quad (2.21)$$

де Δt_{cp} – середньологарифмічна різниця (градієнт) температур потоків молока в регенераторі:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\tau_n - \tau_k}{\ln \frac{\tau_n}{\tau_k}}, \quad (2.22)$$

$\Delta \tau = t_{m\epsilon} - t_{mk}$ – кінцевий температурний перепад потоків молока на виході гарячого молока з регенератора;

k - Коефіцієнт теплопередачі через пластину регенератора, Вт/м²·К

F_p - Загальна теплообмінна поверхня регенератора, м².

Прирівнявши (2.18) та (2.21), можна визначити загальну теплообмінну поверхню регенератора:

$$F_p = \frac{G_m c (t_{m\epsilon} - t_{mp})}{k \Delta t_{cp}}, \text{м}^2, \quad (2.23)$$

Число робочих пластин у секції:

$$z_{nl} = \frac{F_p}{f_{nl}}, \quad (2.24)$$

де f_{nl} – площа поверхні однієї пластини, м².

Щоб молоко встигло охолонути до заданої температури, воно має знаходитися в охолоджувачі певний час τ_o . За цей час воно віддає кількість тепла, що визначається формулою Ньютона (формула 2.21).

Цю кількість тепла можна уявити, як необхідне для охолодження молока, що знаходиться одночасно в охолоджувачі:

$$Q = f_{nl} \cdot l \cdot \left(\frac{z_{nl}}{2} \right) \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{m\epsilon} - t_{mp}), \text{ Дж} \quad (2.25)$$

де l – товщина зазору, між пластинами, м;

f_{nl} – робоча площа пластини, м²;

$$f_{nl} = b \cdot h$$

де b – ширина пластини, м;

h – висота пластини, м.

Прирівнявши формули (2.21) та (2.25), визначимо тривалість знаходження молока в охолоджувачі:

$$T_p = \frac{f_{nl} \cdot l \cdot z_{nl} \cdot \rho \cdot c (t_{m\epsilon} - t_{mp})}{2 \cdot k \cdot F_p \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (2.26)$$

У зоні пастеризації регенератора гаряче молоко, охолоджуючись до 60°C (мінімальна температура загибелі мікрофлори), втрачає таку кількість тепла

$$Q_p = G_m c (t_{m\epsilon} - 60^\circ), \quad (2.27)$$

а передається через пластини у зоні пастеризації

$$Q_p = k F_{pn} \Delta t_{cp}, \quad (2.28)$$

де F_{pn} – площа пластин у зоні пастеризації регенератора, м².

З (2.27) та (2.28) отримаємо площу цих пластин та їх кількість z_n :

$$F_{pn} = \frac{G_m c (t_{m\theta} - 60^\circ)}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \text{м}^2$$

$$z_{nl} = \frac{F_{pn}}{f_{nl}}.$$

Тоді тривалість пастеризації молока, що припадає на регенератор, становитиме:

$$T_{nl} = \frac{f_{nl} \cdot l \cdot z_{nl} \cdot \rho \cdot c (t_{m\theta} - 60^\circ)}{2 \cdot k \cdot F_p \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (2.29)$$

Цей час забезпечує частку, що вносить регенератор в критерій Pa пастеризації молока.

Друга частина теплообмінного апарату – охолоджувач молока (рис. 2.1). У нього пастеризоване молоко з температурою t_{mp} , що виходить з регенератора, охолоджується до температури зберігання t_{mo} , і в принципі це тепло безповоротно втрачається в серійних пастеризаторах.

Кількість тепла, яке відбирається від нього в цій секції теплообмінного апарату, що складає:

$$Q_{ox} = G_m c (t_{m\theta} - t_{mo}). \quad (2.30)$$

Цей потік тепла проходить через стінки пластин охолоджувача і відповідно до рівняння Ньютона складе:

$$Q_{ox} = k \cdot F_{ox} \cdot \Delta t_{cx}, \text{Вт/с} \quad (2.31)$$

де F_{ox} – загальна теплообмінна поверхня охолоджувача, м^2 ;

Δt_{ox} – середній градієнт температур між теплообмінними середовищами в

охолоджувачі.

Прирівнявши (2.30) та (2.31), визначимо теплообмінну поверхню охолоджувача:

$$F_{ox} = \frac{G_m c(t_{mв} - t_{мо})}{k\Delta t_{cx}}, \text{м}^2. \quad (2.32)$$

Число робочих пластин у секції охолоджувача:

$$z_{nl} = \frac{F_{ox}}{f_{nl}}. \quad (2.33)$$

2.4 Визначення критерію пастеризації молока

На рисунку 2.6 представлено спрощений графік зміни температури молока в окремих апаратах удосконаленої пастеризаційної установки. За цим рисунком холодне молоко на шляху на пастеризацію з бака надходить спочатку в конденсатор (зона I), підігрівається до температури t_{mk} і подається при ній в протиточний регенератор (зона II). Тут воно додатково нагрівається до температури t_{mt} потоком зустрічного гарячого молока з витримувача. Нагріте до температури t_{mt} молоко подається в ГДН і нагрівається до встановленої температури пастеризації t_{mn} (зона III).

Далі молоко з ГДН подається до витримувача (зона IV), де температура його підтримується порівняно постійною на рівні t_{mn} . З витримувача воно подається до регенератора (зона V) і охолоджується холодним молоком до температури t_{mp} , після чого перетікає в секцію охолоджувача (зона VI) для остаточного охолодження до температури зберігання t_{mo} за допомогою теплового насоса.

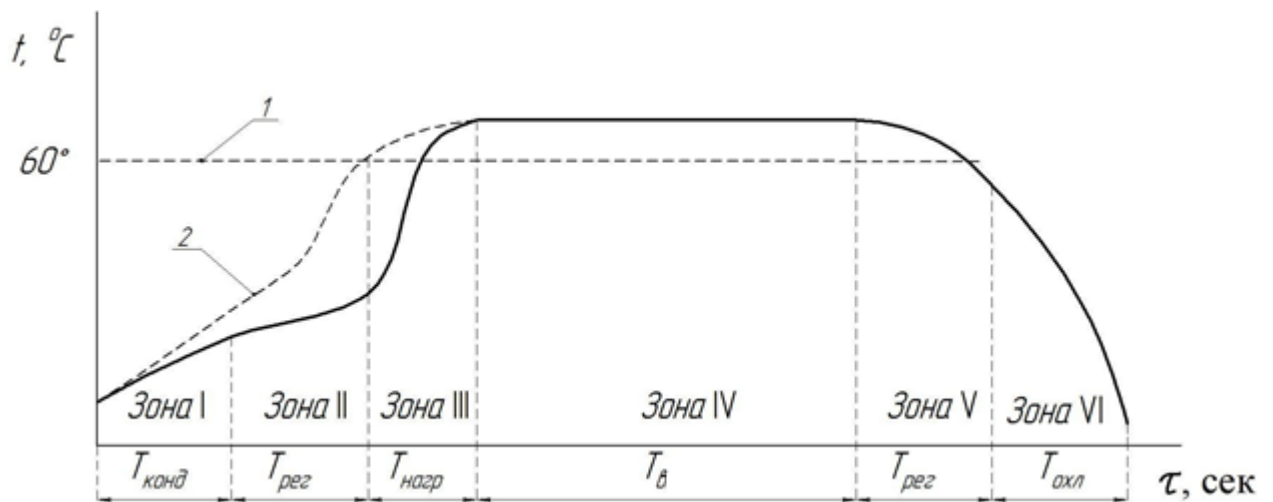


Рисунок 2.6 – Температурна схема пастеризації молока

Відповідно до рисунка 2.6 при відомій початковій температурі придушення мікрофлори 60°C (пряма 1) у пастеризації молока беруть участь лише три теплові апарати: ГДН, витримувач і регенератор. Ступінь завершеності процесу пастеризації прийнято оцінювати критерієм Пастера Pa – ставленням у безрозмірній величині фактичного часу впливу на молоко температури пастеризації t_{mn} на час T її дії, що забезпечує успішне завершення пастеризації щодо придушення мікрофлори:

$$Pa = \frac{t_{mn}}{T}. \quad (2.34)$$

Перебіг молока в гідродинамічному нагрівачі хаотичний, не все молоко, що надходить до нього, може одночасно виводитися на виході з ГДН. При цьому можливі варіанти його роботи в режимах, коли частина молока, виходячи з ГДН, нагрівається недостатньо для придушення мікрофлори, а частина знаходиться в ньому довше. Це ускладнює розрахунок частки, що вноситься їм у критерій пастеризації, і змушує гарантувати завершеність процесу пастеризації більш тривалою витримкою нагрітого молока в інших

апаратах установки – витримувача та регенератора.

Раціональніше відповідно до рисунку 2.8 підігрів молока в регенераторі до подачі в ГДН проводити до температури початку пригнічення мікрофлори (60°C) по кривій 2, тоді вся зона III нагріву молока в ГДН вноситиме внесок у зазначений критерій пастеризації молока .

Тривалість перебування молока в нагрівачі залежить від його місткості V , яка визначається за (2.3), і продуктивності G_T (2.19):

$$T_n = \frac{V}{G_T}, \text{ с} \quad (2.35)$$

Відомо, що для повного придушення мікрофлори при температурі t тривалість T_n витримки рідини визначається залежністю:

$$\ln T = \alpha - \beta t, \quad (2.36)$$

де α і β – коефіцієнти, залежні від властивостей пастеризованої рідини, для молока орієнтовно $\alpha = 36,84$ і $\beta = 0,48$.

Так як $T_n = e^{-\alpha - \beta t}$, а $\frac{1}{T_n} = e^{-\alpha + \beta t}$, то інтегральне значення Pa для ГДН буде (див. рис. 2.8):

$$Pa_{III} = \int \frac{T_n}{dT_n} = \frac{V}{Q_T \cdot (t_{mn} - 60^{\circ})\beta} \cdot \left| e^{-\alpha + \beta t} \right|_{60^{\circ}}^{t_{mn}}. \quad (2.37)$$

Тривалість витримки молока у витримувачі для повного пригнічення мікрофлори за рахунок нього визначається відомою залежністю $T_{ог} = e^{\alpha - \beta t}$, тоді частка, що вноситься в Pa при достатній теплоізоляції буде

$$Pa_{IV} = \frac{T_{\epsilon}}{T_{0\epsilon}} = \frac{T}{e^{\alpha - \beta t_{mn}}} \quad (2.38)$$

Залежність 2.66 дозволяє визначити необхідну тривалість витримки за відомого Pa_{IV} , яке має переважне значення в процесі пастеризації молока досліджуваною установкою.

І, нарешті, частково у придушенні мікрофлори бере участь регенератор у частині його, що забезпечує охолодження молока до 60°C . Для частки, що їх виносить у процес пастеризації, відома залежність:

$$Pa_V = \frac{t_{mn} - 60^{\circ}}{t_{mn} - t_{mp}} \quad (2.39)$$

Таким чином, знаючи продуктивність пастеризаційної установки, спочатку необхідно визначити частки Pa , що вносяться нагрівачем і регенератором, потім (2.66) треба визначити тривалість витримки молока:

$$T_{\epsilon} = (1 - Pa_{III} - Pa_{IV})e^{\alpha - \beta t}, \text{с.} \quad (2.40)$$

Це дозволяє визначити місткість витримувача

$$V_{\text{вutr}} = Q_T \cdot T_{\epsilon}, \text{м}^3 \quad (2.41)$$

Таким чином критерій пастеризації установки буде рівний:

$$Pa = Pa_{III} + Pa_{IV} + Pa_V \quad (2.42)$$

2.5 Висновки

1. Продуктивність пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем обумовлена пропускною здатністю ГДН і може регулюватися.

дроселюванням потоку молока на виході з нього. Теплова енергія пастеризованого молока в установці пропонується за рахунок перетворення механічної енергії приводу гідродинамічного нагрівача тертям рідини про внутрішні стінки комірок його ротора та статора, у зазорі між ними та внутрішнього тертя шарів молока через турбулізацію потоку.

2. Витрати енергії на подолання сил тертя пастеризованої рідини ГДН залежить не тільки від його розмірів, а й від кутової швидкості обертання, фізико-механічних властивостей молока, ККД приводу і визначається залежністю (2.7).

Витрати енергії на привід ГДН залежать від кутової швидкості руху (відставання) молока щодо обертових лопаток ротора і згідно виразу (2.16) при одній і тій же продуктивності можуть бути знижені скороченням кількості одночасно зрізують шар молока лопаток шляхом різного кроку розміщення їх на роторі та статорі.

3. Завершеність процесу пастеризації молока в установці з ГД нагріванням визначається критерієм Pa , участь в якому приймають нагрівач, витримувач і регенератор. Доля їх участі в Pa визначається залежністю (2.34). Основну роль по ним виконує витримувач, місткість якого виражається по виразу (2.41) в функції продуктивність пастеризаційної установки.

4. Отримані залежності вимагають коригування в процесі експериментальних досліджень, а удосконалений процес роботи пастеризаційної установки з використанням теплового процесу роботи пастеризаційної установки з використанням теплового насосу виробничої перевірки, в тому числі і по впливу на властивості пастеризованого продукту.

3 Експериментальні дослідження

3.1 Експериментальна установка та прилади для проведення дослідження

Схема пастеризаційної установки на базі гідродинамічного нагрівача представлена на рисунку 3.1.

Оснoву її становили нагрівач 1 гідродинамічного типу, витримувач 4, регенератор 2, охолоджувач 6 і тепловий насос з компресором 8, використовувані як теплові апарати.

До складу установки входили також ємність 3 для пастеризованого молока, насос 14 для його подачі на пастеризацію, ємність 7 для збору пастеризованого молока, автоматичний клапан 5 та вимірювальне обладнання.

Тепловий насос включав охолоджувач 6 як випарник, конденсатор 9, компресор 8 з реле тиску 13, теплообмінник 10 і терморегулюючий вентиль 12. Як холодоагент теплоносія використаний хладон марки R-410A. Агрегати теплового насоса зібрані на базі серійної холодильної установки МХУ-8П із споживаною потужністю 5,2 кВт/год та холодопродуктивністю до 33000 кДж/год. Герметичність пластинчастого охолоджувача забезпечувалася круговою запайкою контактуючих їх порожнин для циркуляції холодоагенту.

Пропускна здатність пастеризаційної установки встановлювалася кранами 20 та 21 на вході або виході ГДН. Витрата продукту, що пастеризується, становив до 1,5 м³/год і вимірювався лічильником марки СГВ-15.000 виробництва ВКФ «Бетар» з похибкою до 2%. Покази цього лічильника використовувалися не лише при регулюванні продуктивності ГДН пастеризаційної установки, але і як вихідні дані для визначення усередненої швидкості перебігу молока в проточній його частині.

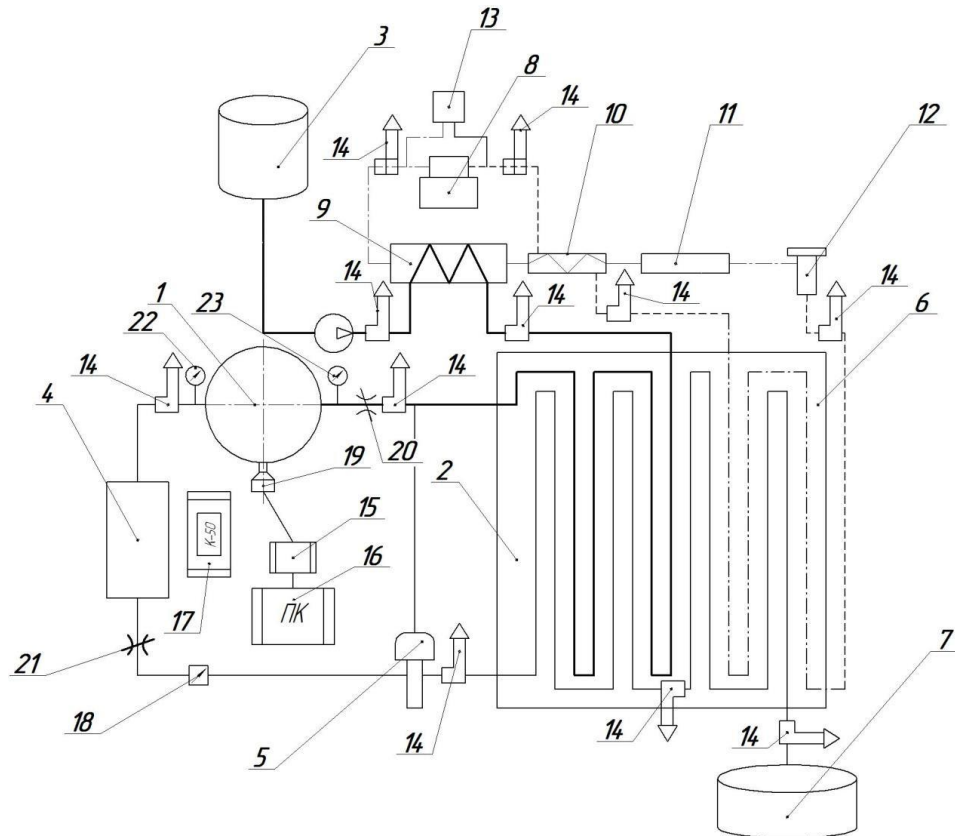


Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки на дослідження процесу пастеризації молока:

1 – гідродинамічний нагрівач; 2 – регенератор; 3 – приймальний бак;
 4- Витримувач; 5 – автоматичний клапан; 6 – охолоджувач; 7 – бак збору пастеризованого молока; 8 – компресор; 9 – конденсатор; 10 – теплообмінник; 11 - фільтр-осушувач; 12 - ТРВ кран; 13 – датчик тиску; 14 – термометри; 15 - перетворювач сигналів; 16 - ЕОМ; 17 – вимірювальний комплект К-50 потужності приводу; 18 - об'ємний лічильник молока, 19 – датчик тиску; 20 та 21 – вентилі регульовальні; 22 та 23 – манометри; 24 – насос молочний

Для вимірювання температур молока та хладону в теплових апаратах їх циркуляції застосовувалися встановлені на вході та виході кожного апарату рідинні, так звані, молочні термометри марки ТС-4 з межами вимірювання 0...100°C у лінях перебігу молока -50...150°C З лінії циркуляції холодоагенту теплового насоса. Ціна поділу їх становила 1°, а похибка вимірювань $\pm 1^\circ\text{C}$.

Зняття їх показань проводилося візуально зчитуванням у задані досвідом відрізки часу, реєстрація показань проводилася у спеціальному журналі.

Вимірювання тиску пастеризованого продукту в комірках ГДН здійснювалося за допомогою серійних тензодатчиків 22 і 23 марки ДМ-1. Струм від датчика надходив перетворювач сигналів 15 (АЦП), з якого – в ЕОМ 16 для обробки. Загальна похибка цих вимірювальних приладів була трохи більше 3%. Вони становили універсальний комп'ютеризований стенд, загальний вигляд якого представлений на рисунку 3.2, до складу якого входили датчики температури на базі термопар ТРК02 з межами вимірювань від -50°C до $+70^{\circ}\text{C}$.

Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) 3 цього стенду обладнаний вісьмома диференціальними аналоговими каналами, що забезпечують перетворення сигналу з коефіцієнтом посилення від 1 до 10. Його робота підтримувалася програмою ЛА-70М4, функціональна плата якої мала аналогово-цифровий канал з прискореним циклом перетворення сигналу до 7 з помилкою вимірювання порядку $\pm 2\%$.

Потужність на привід ГДН та компресора теплового насоса визначалася розрахунковим шляхом за результатами показань вимірювального комплексу К-50 величин струму у всіх трьох фазах їх живлення.

У процесі кожного досвіду експериментальна установка працювала у наступній послідовності. Спочатку запускався в роботу двигун приводу компресора теплового насоса 8, потім двигун приводу гідродинамічного нагрівача 1 (рис. 3.1), які 2-3 хвилини працювали на холостому ході. Потім на виході з ГДН за лічильником 17 встановлювалася необхідна для досвіду подача молока на пастеризацію.

3.2 Методика визначення продуктивності пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем

Пропускна здатність досліджуваної пастеризаційної установки

обмежується здебільшого продуктивністю ГДН, витратою рідини в його проточній частині. Крім того, вона може регулюватися кранами на вході або виході молока з НДН.

Досліди щодо визначення продуктивності установки проводилися в різних режимах її роботи, через що тривалість обробки молока безпосередньо в ГДН була різною при нагріванні його до однієї і тієї ж температури, прийнятої в дослідах, що дорівнює 75°C. Для завершення пастеризації молока у зв'язку з цим ємність витримувача була регульованою, що дає змогу компенсувати недостатню теплову обробку молока в ГДН.

Вимірювання подачі ГДН проводилося двома шляхами: за показаннями лічильника витрати пастеризованої рідини, або заміром рідини, що надійшла в приймальний бак 7 (рис. 3.1), для чого бак 7 був обладнаний мірною лінійкою, градуйованої в одиницях об'єму.

Кожен досвід при цьому проводився у наступній послідовності. Пастеризаційна установка виводилася на робочий режим у межах встановлених параметрів, регулювалася ступенем відкриття крана на вихідному патрубку ГДН подача та підбиралася відповідна їй місткість витримувача. У встановленому режимі пастеризаційна установка попередньо ще працювала протягом 10 хвилин, після чого здійснювали вимірювання витрати пастеризованої рідини за 15 хвилин роботи установки.

Одночасно брали проби пастеризованого молока для досліджень його властивостей (якщо дослід проводився на молоці).

Пропускна здатність пастеризаційної установки на кожному режимі її роботи визначалася у зв'язку з цим за формулою:

$$M = \frac{V}{\gamma} \text{ кг/год,} \quad (3.1)$$

де V – Об'єм рідини, що пройшла за 15 хвилин через установку, літрів;
 γ – Об'ємна вага рідини, кг/л;

t – Тривалість досвіду, $t = 0,25$ год.

Досліди проводилися в триразовій повторності з варіюванням частоти обертання ротора в межах 1500...3000 об/хв через кожні 500 об/хв та температури нагрівання рідини в ГДН від 70 до 85°C через кожні 5°C.

Дані дослідів заносили до журналу для подальшої обробки.

3.3 Методика визначення тепловиділення в гідродинамічному нагрівачі та теплових втрат у пастеризаційній установці

За даними теоретичних досліджень, проведених нами, тепловиділення в ГДН пастеризаційної установки залежить не тільки від перепаду температур на його вході та виході, а й від гідродинамічних, кінематичних параметрів нагрівача та теплофізичних властивостей пастеризованого продукту та визначається перепадом температур Δt та подачею M у НДН.

Тепловиділення в ГДН визначалося опосередковано шляхом розрахунку за вимірюваними показниками M і Δt :

$$N_{нагр} = M \cdot \Delta t \cdot \rho c, \text{Вт} \quad (3.2)$$

де M – продуктивність пастеризаційної установки, м³/с;

Δt - Різниця температур молока на вході та виході ГД нагрівача, °С;

ρ і c – щільність та теплоємність молока, кг/м³ та Дж/(кг·°С).

При роботі ГДН він, виконуючи одночасно функції лопатевого насоса, може створювати додатково надлишковий напір Δp , величини якого в лопатевих машинах визначається відомою залежністю:

$$\Delta p = \frac{N_{нг}}{M}, \quad (3.3)$$

де $N_{нг}$ – витрати енергії (частини потужності приводу) на підвищення

тиску молока на виході з ГДН.

Для визначення різниці тисків Δp у досвіді достатньо було зняти показання манометрів, встановлених на виході та вході ГДН.

Витрати енергії на підвищення тиску оцінювалися складової потужності:

$$N_{нв} = M \cdot \Delta p, \quad (3.4)$$

і порівнювалася зі значенням, отриманим розрахунком за такою формулою:

$$N_{нв} = N_{ГДН} \eta_m - N_{нагр}, \quad (3.5)$$

де η_m - механічний ККД пастеризаційної установки.

На подолання механічних втрат в установці витрачається енергія, яка визначається залежністю:

$$N_{мех} = N_{хх} \eta_{дв}, \quad (3.6)$$

де $N_{хх}$ – потужність холостого ходу установки;

$\eta_{дв}$ – ККД двигунів її приводу.

Далі по $\Delta p = \Delta H \rho g$ визначали створюваний напір ΔH і коефіцієнт втрат напору, у тому числі функції від частоти обертання ротора.

Віднімаючи із загальної потужності приводу установки потужність холостого ходу, визначалася кількість Q_n перетвореної на ГДН теплової енергії

$$Q_n = (N_{ГДН} - N_{хх}) \beta_e, \text{ кДж/ч} \quad (3.7)$$

β_e - коефіцієнт дисипації механічної енергії приводу в теплову енергію молока, $\beta_e = 3,6 \cdot 10^3$ кДж.

Далі відношенням кількості тепла, отриманого молоком у НДН

$$Q = Mc(t - t_0), \text{ кДж/ч}$$

де Q_n залежно (3.8) отримували значення теплового ККД η_m установки без урахування ролі в ньому теплового насоса.

3.4 Методика енергетичної оцінки роботи теплового насоса та баланс тепла у пастеризаційній установці

У роботі передусім передбачається побудова дійсного теплонаносного циклу (зворотного по відношенню до холодильних машин) у координатах зміни температури t та ентропії S (Дж/к) та порівняння його з ідеальним циклом Карно.

Для цього за викладеною вище методикою визначали перепади температур в елементах (апаратах) теплового насоса та теплові потоки, що переносяться холодоагентом та молоком.

Первинною енергією для теплового насоса є енергія охолоджуваного молока, що визначається за експериментальними даними різниці температур на вході та виході з охолоджувача (що виконує роль випарника для передачі тепла молока холодоагенту):

$$Q_{ох} = M\Delta t_{ох} \cdot \rho \cdot c, \quad (3.8)$$

де $\Delta t_{ох}$ – перепад температур на вході та виході з охолоджувача, °С.

Далі по різниці температур $\Delta t_{конд}$ на вході молока, що подається на пастеризацію, в конденсатор ТН і вході з нього визначали розрахунковим шляхом кількість корисної енергії, тобто. кількість тепла, переданого тепловим насосом (холодоагентом) молоку у цьому тепловому апараті:

$$Q_{\text{конд}} = M \Delta t_{\text{конд}} \cdot \rho \cdot c, \quad (3.9)$$

Коефіцієнт перетворення первинної енергії знаходили у кожному досвіді ставленням корисної енергії до підведеної в ТН первинної енергії:

$$K_T = \frac{Q_{\text{конд}}}{Q_{\text{ох}}}.$$

Аналогічною була і методика визначення коефіцієнтів перетворення хладону ТН.

З огляду на це коефіцієнт використання первинної енергії в пастеризаційній установці з ГД нагрівачем визначався за формулою:

$$\xi_T = K_T \cdot \eta_k, \quad (3.10)$$

де η_k – ККД компресора ТН.

Далі визначали внесок коефіцієнта перетворення у загальну енергоємність процесу пастеризації та будували графік його залежності від продуктивності досліджуваної установки, а також графіки залежності коефіцієнтів перетворення теплової енергії в ТН від різниці температур молока у його елементах (теплових апаратах).

Останні порівнювалися зі значеннями коефіцієнтів, отриманих за зворотним термодинамічний цикл Карно.

Після цього визначалися необхідні коефіцієнти термодинамічної досконалості ТН згідно з залежностями другого розділу цієї роботи.

Досліди проводилися при варіюванні подачі та перепаду температур пастеризованого продукту.

3.5 Визначення тепловиділення в гідродинамічному нагрівачі та теплових втрат пастеризаційної установки

Тепловиділення в ГДН обумовлено гідравлічними втратами, тертям і турбулізацією потоку в радіальному зазорі, а також деякою кавітаційною дією.

Тепловиділення за рахунок гідравлічних втрат у проточній частині ГДН визначено розрахунковим шляхом за експериментальними значеннями втрат напору та витрати молока в ній, а загальне тепловиділення – експериментально за витратами енергії на привід ГДН за вирахуванням енергії на холостий його хід.

На нагрівання $G_m = 600$ кг молока на годину від 60 до 75 °С потрібно таку кількість тепла:

$$Q_m = G_m c (t_{МП} - t_{МТ}) = 600 \cdot 3,94 \cdot (75 - 60) = 35460 \text{ кДж/ч.}$$

Додатково необхідно додати кількість тепла, що втрачається через стінки ГДН у довкілля (тепловіддачею):

$$Q_{окр} = k F_n \cdot \Delta t_{cp} \text{ Дж/год,}$$

де F_n – площа зовнішньої поверхні не утепленого ГДН, $F_n = 0,076 \text{ м}^2$;

k – Коефіцієнт теплопередачі, $k \approx 19,3 \text{ Дж/ч} \cdot \text{м}^2\text{К}$;

Δt_{cp} – різниця температур стінки ГДН (60°С) та навколишнього повітря (20° С), $\Delta t_{cp} = 40^\circ \text{ С}$.

До нього необхідно додати стільки ж тепла втратами променевипусканням, тоді загальні втрати тепла в довкілля:

$$Q_{окр} \approx 120 \text{ Дж/ч,}$$

тобто настільки незначні, що їх можна нехтувати.

Витрати енергії на подолання гідравлічних опорів визначено за відомою залежністю:

$$N_h = 9.81 \rho G_{\text{мсек}} \cdot \Sigma h = 9.81 \cdot 1000 \cdot \frac{0.6}{3600} \cdot 30 \approx 50 \text{ Вт}$$

Отже, тепловиділення за рахунок подолання гідроопір буде:

$$Q_h = N_h \cdot 3600 = 17.6 \text{ кДж/год,}$$

Це становить 0,05 % від кількості тепла на нагрівання молока, тобто тепловиділення в ГДН досліджуваної конструкції забезпечується переважно за рахунок тертя шарів молока між собою та поверхню лопаток ротора.

У ГДН одних і тих же геометричних параметрів тепловиділення залежить насамперед від відносної окружної швидкості молока v_1 (таблиці 3.1).

Таблиця 3.1 - Вплив відносної швидкості молока v_1 на тепловиділення в ГДН ($D = 150$ мм; $B = 40$ мм; $d = 35$ мм)

ω_0 1/с	ω 1/с	v_1 м/с	Тепловиділення Q , кДж		Потужність, кВт.
			теоретичне	експериментальне	
200	27,25	13	9370	9050	2,74
250	34,06	18,7	18263	17860	5,34
300	40,87	22,5	31600	30500	9,24
350	47,68	26,3	50137	49050	14,66

Тут теоретичне тепловиділення визначено за постійного перепаду температур на виході та вході ГДН за залежністю (2.16) при коефіцієнті C_1 , що враховує форму профілю лопатки, що дорівнює 0,14.

Цей коефіцієнт залежить в основному від радіусу комірок (рисунок 4.8) і в межах зміни його 5 - 40 мм може бути представлений залежністю $y = -0,0066x + 0,255$.

Аналіз даних таблиці 3.1 показує, що з підвищенням відносної швидкості лопаток ротора v_l тепловиділення в ГДН збільшується, збільшується у зв'язку з цим потужність приводу. Ступінь підвищення тепловиділення становить при швидкостях $v_l = 13 \div 20$ м/с 1500 кДж на кожен метр збільшення відносної швидкості лопаток ротору, а в межах $v_l = 22 \div 26$ м/с близько 4600 кДж на метр підвищення швидкості. При цьому підвищення v_l досягалося в одній і тій же конструкції ГДН збільшенням кутової швидкості обертання ротора.

Теоретичні значення тепловиділення (таблиця 3.1) близькі до експериментальних, відхилення від них становлять від 2 до 4%, що дозволяє вважати цілком достовірними прийняті в теоретичній частині припущення.

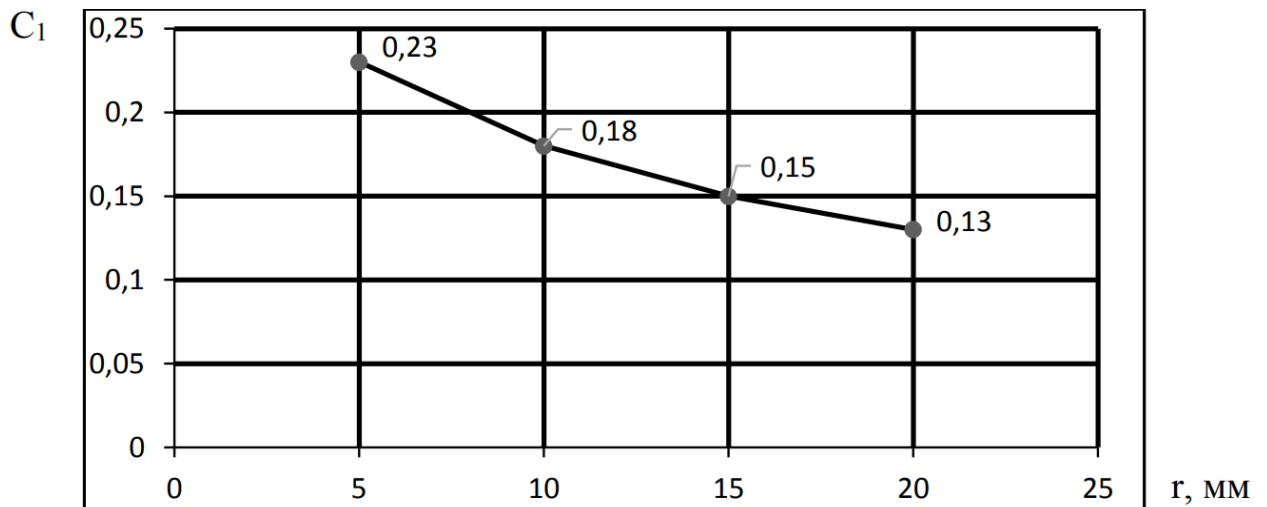


Рисунок 3.2 – Графік залежності коефіцієнта C_1 від радіусу комірок ротора та статора ГДН

Зі зміною діаметра комірок ротора та статора змінюється і кількість їх на довжині кола ротора ($D = 150$ мм). Зменшення діаметра комірок підвищує загальну довжину зазорів ротор-статор, що збільшує тепловиділення в ГДН і

вимагає підвищених витрат енергії на привід (рисунок 3.3), підвищується при цьому продуктивність ГДН.

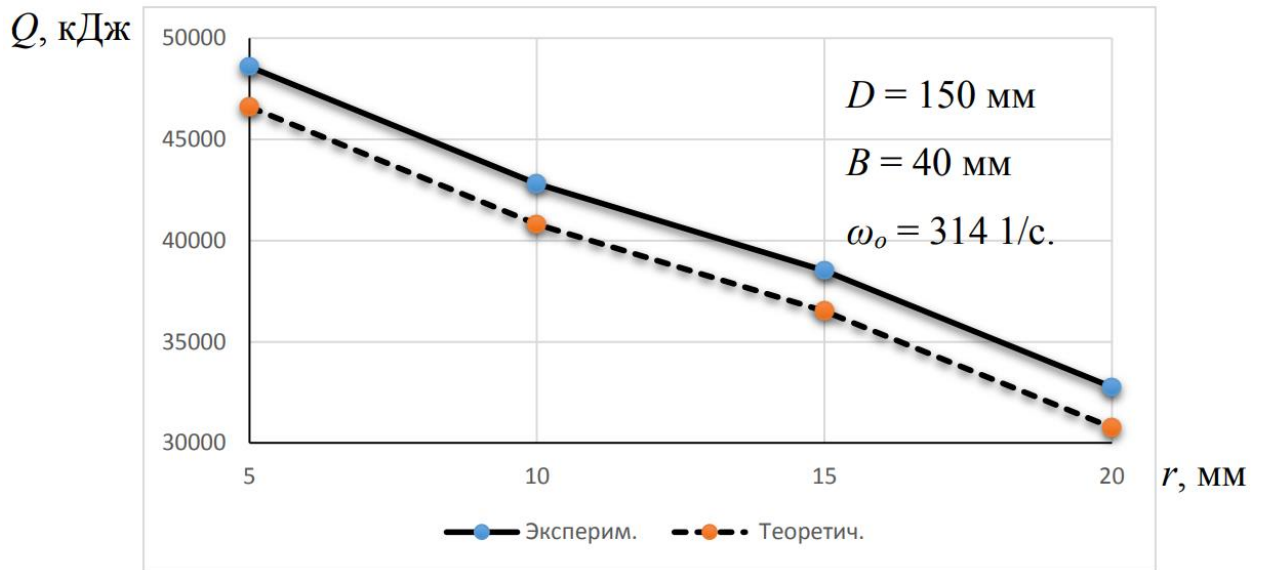


Рисунок 3.3 – Залежність тепловиділення Q у ГДН від радіусу комірок r

Характер зміни тепловиділення в ГДН із зменшенням радіусу комірок лінійний. Підвищення його пояснюється збільшенням опорів перебігу молока у проточній частині нагрівача та підвищенням тертя внутрішніх шарів молока. Окружна швидкість молока ω в каналі при цьому знижується, а відносна окружна швидкість ротора v_l підвищується (рисунок 3.4), що і забезпечує збільшення тепловиділення. Продуктивність ГДН при постійному натиску на вході знижується при зменшенні r , але температура пастеризації молока зростає.

Так як питоме тепловиділення на одиницю маси продукції, що обробляється, залишається практично постійним, то зменшення діаметра комірок не доцільно – це тільки збільшує обсяг робіт на виготовлення основних деталей ГДН.

Орієнтуючись, як і в попередніх дослідях, на подачу 600 кг молока на годину раціональними слід вважати наступні параметри ГДН для подальших досліджень:

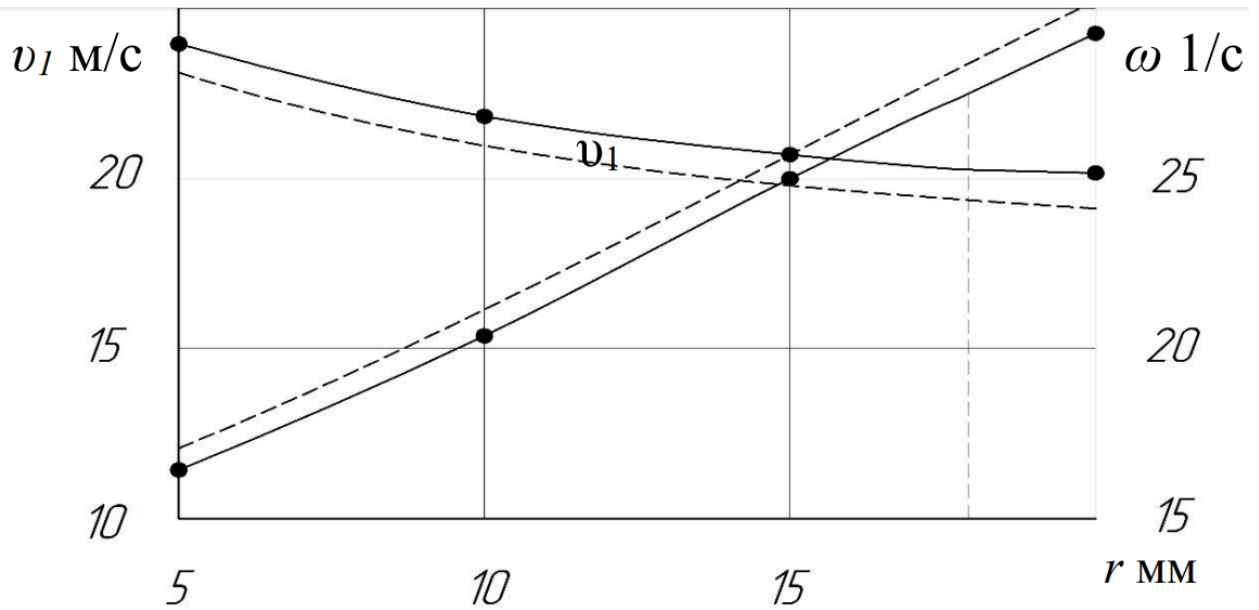


Рисунок 3.4 – Вплив радіусу комірок r на окружну швидкість молока v_1

- діаметр ротора – 150 мм;
- діаметр комірок – 35 мм;
- кількість комірок ротора – 12, статора – 11;
- кут нахилу осі комірок щодо осі ротора та статора – 15° ;
- відносна окружна швидкість ротору v_1 21 – 24 м/с;
- перепад температур на вході і виході ГДН – 15°C

3.6 Висновки

1. У ГДН молоко піддається значному як тепловому, а й динамічному впливу. Щільність його знижується на 4%, в'язкість зменшується більш ніж у 2 рази, коефіцієнти відповідно становлять: теплоємності $3940\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$, теплопровідності $0,520\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$, а температуропровідності $0,128\cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$. ГДН викликає деяке дроблення жирових кульок у пастеризованому молоці, зменшуючи їх розмір у середньому на 15%. При цьому підвищення часу обробки молока у ГДН меншою мірою впливає на зниження діаметру жирових

кульок (до 5%), ніж підвищення окружної швидкості лопаток ротора (до 20%).

2. При добових обсягах одержуваного в умовах фермерського господарства молока 250...1000 кг та допустимої тривалості його теплової обробки (2 – 3 години після доїння) продуктивність пастеризаційної установки з ГДН повинна становити 500...600 кг/год. ГДН з діаметром ротора 150 мм за такої продуктивності і частоті обертання 280...300 1/с забезпечить отримання близько 10 кДж/с теплової енергії, достатньої нагріву молока у ньому на 14...15°C.

3. Розроблена схема технологічного процесу охолодження пастеризованого молока в межах від 35° до 4° С з використанням теплового насоса на базі теплоносія хладону R410 А забезпечує перекачування тепла охолоджуваного молока холодному сирому молоку на пастеризацію в межах температур від 5° до 20°C. перетворення тепла у своїй становить 5...6, а хладону 5...5,5. Використання вказаного потенціалу тепла для нагрівання холодного молока становить близько 70% енергії теплового насоса.

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1 Загальні визначення та поняття

У сільському господарстві праця охороняється загальними нормами трудового права та спеціальними нормами сільськогосподарського права. Можна зробити висновок, що правове законодавство здійснює нагляд за охороною та здоров'ям працівників сільського господарства. Це забезпечує безпеку та життя працівників при виконанні ними певних видів робіт (трудових функцій), адекватні умови праці та умови, за яких вони можуть робити свій внесок у сільське господарство, здоров'я робітників та ін.

Охорона праці має багато спеціальних наслідків для працівників: економічних, правових та соціальних. Соціальний зміст охорони праці полягає у сприянні збереженню здоров'я та життя працівників від шкідливих та небезпечних факторів та праві на вільне використання та розпорядження своїми здібностями у праці.

Основою правового регулювання охорони праці та техніки безпеки працівників є закони, накази, трудові договори, правила внутрішнього розпорядку та колективні договори, що приймаються кожним сільськогосподарським підприємством.

Правове зміст охорони праці становить передусім реалізація законодавства про охорону праці. Вимоги, встановлені державою щодо охорони праці та здоров'я та життя працівників, не залежать від організаційно-правової форми підприємства.

Обставини праці напряму залежать від рівня механізації і організації виробництва. Під час виробництва виникають небезпечні та шкідливі фактори, що можуть завдати шкоди здоров'ю та вплинути на виникнення профзахворювань, серед таких фізичні (вібрація, шум, пил), хімічні (свинець, ртуть, радій), біологічні (мікроорганізми, суперечки, мікроби) і психофізіологічні (стреси, перевтоми, нервові перевантаження). Для цього

створюються спеціальні служби, які стежать за дотриманням умов праці, побутово-санітарними умовами та розробкою та впровадженням відповідних заходів та норм для попередження та усунення всіх ризиків.

4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників при пастеризації молока

При пастеризації молока, виникають шкідливі та небезпечні фактори, які можуть впливати на працівника :

- 1) висока або низька температура поверхні обладнання та рідини, що оброблюється;
- 2) незадовільне освітлення;
- 3) підвищена або знижена температура повітря;
- 4) загазованість робочої зони;
- 5) підвищена вологість повітря;
- 6) підвищена швидкість переміщення повітря;
- 7) робота з ємностями під тиском;
- 8) робота механізму;

Наведені вище умови можуть бути присутні на обладнанні пастеризації молока, тому необхідно створити захист оператора від дії описаних вище факторів.

4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів

Пастеризатор встановлюється на підлозі цеху молочного комбінату без фундаменту за рівнем, за допомогою пристрою ніжки регулюючого обладнання. Оглянувши всі елементи пристрою, перевіривши їхню справність і чистоту, правильність положення пластин теплообмінника за їх номерами, їх збирають.

Під час експлуатації зношуються гумові прокладки на пластинах пастеризатора. Зношування прокладок компенсується за рахунок постійного збільшення ступеня кріплення пластин.

Для максимального зниження ризику стрижня помножте 0,2 мм на кількість пластин.

Якщо виток зберігається, прокладку в місці витoku слід замінити.

Усі електродвигуни, пускачі та щити управління повинні бути заземлені. За робочим станом заземлювального пристрою слід ретельно стежити.

Устаткування має бути забезпечене захисним кожухом під час високотемпературної стерилізації.

Розсіл не можна залишати на пристрої в неробочий час. Ретельно злийте воду та очистіть секцію. В іншому випадку корозія скоротить термін служби пластини.

Для захисту оператора необхідно використовувати засоби індивідуального захисту.

1) Засоби захисту органів слуху - шумопоглинаючі навушники та затички. Навушники знижують різкий шум на 40 дБ, а беручі – на 25 дБ.

2) Захист очей - (захисні окуляри). Бережіть очі від сміття та бризок.

3) Засоби захисту голови та особи – захищають від фізичних та хімічних агентів. Оператори повинні використовувати каску під час виконання робіт з технічного обслуговування пастеризатора.

4) Захист шкіри (спецодяг) - видається операторам для захисту тіла від забруднень та тепла. Спецодяг підбирається з урахуванням його захисних властивостей. Для цього виду робіт використовують спецодяг.

5) Засоби захисту ніг – спеціальне взуття, призначене для захисту людини від надмірної вібрації, радіації, статичної електрики тощо. Використовуйте гумові чоботи.

6) Захист рук, шкіряні рукавички для захисту від високих температур.

Перед пастеризатором має бути зона безпеки та її огороження, світлова та звукова сигналізація, попереджувальні написи, сигнальні кольори та знаки безпеки.

4.4 Правила безпечного виконання робіт при пастеризації молока

До роботи в пастеризаторах повинні бути допущені фізично підготовлені особи, які не мають медичних протипоказань і пройшли виробниче навчання, вступний інструктаж та початкову підготовку на робочому місці. Персонал, який працює з пастеризаторами, повинен знати пристрій, конструкцію, принцип роботи та технічні правила експлуатації пастеризаторів, основні види несправностей цього обладнання, способи їх усунення, правила внутрішнього графіка роботи. Персонал, допущений до роботи, має бути забезпечений та ознайомлений з інструкціями з охорони праці під розписку.

Вимоги безпеки перед початком роботи:

- Оператори пастеризації та охолодження молока повинні приходити на роботу у спецодязі із застібнутими всіма гудзиками та застібнутими застібками. Волосся зібране під головний убір. Спецодяг підтримується у справному стані під час роботи та після роботи відправляється до пральні.

- Підтвердити наявність та наявність заземлення пастеризатора МК-11, переконатися у його наявності та перевірити у холостому режимі. Повідомте адміністратора, якщо виявлено пошкодження або несправності.

- Переконайтеся, що у проході немає безладу.

- Для забезпечення безпечної експлуатації слід проводити щотижневі профілактичні огляди приладів та обладнання, які не мають регламентованих вікон обслуговування.

- Рухливі та обертові частини обладнання потребують захисних кожухів та огорож для запобігання травмам обслуговуючого персоналу.

Забороняється включати очищувач, що не закріплений на фундаменті.

Необхідний для герметичності ступінь стиснення термічної секції визначається стрілками, нанесеними на верхню та нижню прокладки. Ця стрілка має збігатися з центром вертикальної прокладки обох стрижнях. При цьому, враховуючи наявність двогвинтових затискачів, кожен гвинтовий пристрій слід затягувати рівномірно, щоб уникнути перекосів.

Перед введенням обладнання в експлуатацію його необхідно промити, промити та простерилізувати теплою водою. Для безладного прибирання використовують миючі засоби зі спеціальним для цих цілей обладнанням. Тільки за відсутності бронзових і алюмінієвих деталей допускається безперервне очищення з вимкненим молокоочисником і циркуляцією рідини, що чистить, в замкнутій системі.

Перед запуском молоковідсмоктувача гальмо та стопор необхідно перевести в неактивне положення.

Перед запуском молоковідсмоктувача гальмо та стопор необхідно перевести в неактивне положення.

Якщо молокоочисник видає сторонні шуми, стукіт або сильні вібрації, його слід негайно зупинити.

Категорично забороняється знімати, орієнтувати або встановлювати вхідні та вихідні пристрої молокоочисника під час обертання барабана.

У паропроводі має бути встановлений робочий манометр. Підтримуйте тиск пари нижче 0,5 атм.

Розчин їдкою натру для очищення пастеризатора слід зберігати у спеціально відведеному місці в емальованому посуді.

Щоб пристрій не працював, вимкніть подачу молока і замість цього подайте воду. Після зливу молока з апарату відключається пара, гаряча вода та розсіл, вимикається молокоочисник, відключається пульт управління та зливається весь розсіл. Потім весь об'єкт дезінфікується. Не використовуйте металеві щітки або інші абразивні матеріали під час чищення або миття.

Перед початком робіт на трубопроводах для пари та конденсату необхідно встановити запірну арматуру, яка може вільно відкриватися та закриватися вручну.

Пастеризатори повинні бути обладнані манометрами та запобіжними клапанами. Без манометра працювати не можна, і те саме, якщо він зламається.

Перед розбиранням пристрою його необхідно попередньо охолодити, подавши холодну воду.

Щоб уникнути опіків, паровий клапан пастеризатора повинен відкриватися поступово і плавно.

Під час роботи пастеризатора забороняється: Додати додаткове навантаження на запобіжний клапан, послабити кришку хомут, зняти з пристрою.

У разі відключення електроенергії слід негайно припинити подачу пари та увімкнути електродвигуни, пов'язані з роботою установки пастеризації.

Після завершення робіт все обладнання та механізми переводяться в положення, що виключає можливість приведення в дію сторонніми, відключається живлення, стирається. Санітарну обробку, розбирання, очищення та промивку проводять тільки після відключення обладнання від електромережі.

Зніміть спецодяг, про всі спостереження при установці повідомте свого керівника і не ремонтуйте обладнання самостійно. Будь ласка, прийми душ.

4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Якщо на металевих частинах обладнання виявлено напругу (відчуття струму), електродвигун працює на дві фази (гудить), заземлюючий провід обірваний, слід зупинити машину і негайно доповісти про це керівництву.

При виявленні несправності в роботі обладнання, мимовільної зупинки, аварії необхідно відключити електроживлення, повідомити про це відповідальну особу і до усунення несправності не включати.

При отриманні травми зверніться до мед. пункт і повідоми керівництво.

При виявленні загоряння, необхідно викликати пожежну охорону по телефону –01, повідомити керівництво.

Надання першої допомоги. Перша допомога при ураженні електрострумом. Звільнення електричного струму.

Для відокремлення потерпілого від струмопровідних частин або дроту слід скористатися сухим одягом, мотузкою, палицею, дошкою або будь-яким

іншим сухим предметом, що не проводить електричний струм. Користуватись у таких випадках металевими та мокрими предметами не допускається.

Для того, щоб відірвати постраждалого від струмопровідних частин, можна взяти за його одяг (якщо він сухий) і відстає від тіла потерпілого, наприклад, за підлогою піджака, або пальто, уникаючи дотику до металевих предметів і частин тіла, не вкритих одягом.

Для ізоляції рук при порятунку, особливо якщо необхідно торкнутися тіла потерпілого, не вкритого одягом, слід надіти діелектричні рукавички та калоші, або обмотати собі руки шарфом, надіти на руки сукняний кашкет, спустити на руки рукава і т.п.

4.6 Висновки

Наведено поняття та визначення щодо охорони праці. Складено порядок безпечної роботи при роботі на пастеризаторі та порядок дій при виникненні надзвичайних ситуацій. Приведено, які саме фактори виникають при пастеризації молока, визначено рад заходів для попередження дії небезпечних факторів.

5 Економічна ефективність результатів дослідження

Економічна ефективність впровадження результатів дослідження щодо вдосконалення процесу роботи установки для пастеризації молока, оснащеної ГДН, та обґрунтування її параметрів стосовно умов молочних ферм АПК (переважно малих господарств) визначено за діючими методиками, стандартами та нормативними документами.

Для аналізу ефективності використання запропонованої вдосконаленої установки для пастеризації молока визначено показники витрат праці, матеріалів, електроенергії та експлуатаційних витрат. За базу порівняння прийнято серійне пастеризаційне встановлення марки ПМР-0,2, яка також оснащена гідродинамічним нагрівачем з пористим ротором, остаточне охолодження пастеризованого молока, в якому проводиться вода від холодильної установки МХУ-12.

У розрахунках капітальні вкладення в пропоновану пастеризаційну установку для молока визначали у сумі витрат на матеріали, комплектуючі виробу, виготовлення нових деталей та вузлів, доставку, збирання та монтаж відповідно до питомих витрат на один кілограм апаратів аналогічної конструкції та призначення:

$$K_n = k_{y\partial} \cdot G_n, \quad (5.1)$$

де $k_{y\partial}$ - середня вартість одного кілограма конструкції пастеризаторів, освоєних промисловим виробництвом, $k_{y\partial} = 970 \dots 1250$ грн / кг;

G_n - маса пропонованої по справжньому дослідженню пастеризаційної установки для молока, кг.

У порівнюваних варіантах експлуатаційні витрати визначалися за такою формулою:

$$EB = Z + E + A + P + Z_B + I, \quad (5.2)$$

де Z - витрати на оплату праці оператора пастеризаційної установки, грн.;

E - витрати на електроенергію, грн.;

A - амортизаційні відрахування, грн.;

P - витрати на ремонт та технічне обслуговування, грн.;

Z_B - витрати на воду для охолодження молока, грн.;

I – інші витрати, грн.

До інших витрат включено витрати на мастило, хімікати для промивання установки, обтиральні матеріали та ін. У порівнюваних варіантах вони рівні і в подальших розрахунках не враховувалися.

Витрати на оплату праці з нарахуваннями визначено за такою формулою:

$$Z = (Z_{осн} + Z_{доод}) \cdot (1 + H_{від}), \quad (5.3)$$

де $Z_{осн}$ - основна оплата праці оператора, грн.;

$Z_{доод}$ - додаткова оплата його праці, грн.;

$H_{від}$ – норматив відрахувань на соціальні потреби (Пенсійний фонд, фонди медичного, соціального страхування та зайнятості населення), $H_{від} = 0,311$.

Для визначення основної оплати праці використано формулу:

$$Z_{осн} = Z_{осн} = \sum c_{ТАРi} \cdot Z_{ПР} \cdot Л, \quad (5.4)$$

де $\sum c_{ТАРi}$ – годинна тарифна ставка обслуговуючого персоналу по i -тому розряду робіт, грн/год;

$Z_{ПР}$ - витрати на пастеризацію молока, год;

$Л$ – кількість обслуговуючого персоналу, чол.

Додаткова оплата:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot \rho_{\text{доп}}, \quad (5.5)$$

де $\rho_{\text{доп}}$ – коефіцієнт, що враховує добавки до зарплати за класність, премії, виконання додаткових обов'язків та ін. $\rho_{\text{доп}} = 1,4$.

Витрати праці обслуговування пастеризаційної установки на рік знаходили за формулою:

$$Z_{\text{пр}} = n_p \cdot t_d + n_{\text{св}} \cdot t_{\text{св}}, \quad (5.6)$$

де n_p та $n_{\text{св}}$ – кількість повних та неповних (суботніх та передсвяткових) робочих днів на рік;

t_d і $t_{\text{св}}$ – тривалість повного та неповного робочих днів, год.

Для економічної оцінки ефективності варіантів пастеризації молока порівнювали наведені витрати:

$$P_e = EB + e \cdot K \quad (5.7)$$

де e - нормативний коефіцієнт окупності капвкладень;

K - капвкладення по порівнюваним варіантам, грн.

Відрахування на амортизацію та ремонт пастеризаційних установок визначали за формулами:

$$A = \frac{K \cdot a}{100} \quad \text{і} \quad P = \frac{K \cdot r}{100}, \quad (5.8)$$

де a та r – нормативи амортизаційних та ремонтних відрахувань у % від балансової вартості установки.

Після цього знаходили питомі капітальні вкладення:

$$K_{ПК} = K / M_p, \quad (5.9)$$

де M_p – річне виробництво пастеризованого молока, т.

Чистий річний прибуток від використання запропонованої пастеризаційної установки в умовах малої молочної ферми (при однаковій якості продукції в порівнюваних варіантах) визначали за формулою:

$$\Pi_p = (\Pi_{еб} - \Pi_{ен}) - H, \quad (5.10)$$

де H - загальна сума податків і платежів, що припадають на балансову прибуток від використання нової машини, грн.

Для визначення терміну окупності витрат за нову пастеризаційну установку використовувалася формула:

$$T_{ок} = \frac{K_n}{\Pi_p}, \quad (5.11)$$

Питомі розрахункові показники порівнюваних варіантів зведено таблицю 5.1.

Основні розрахункові показники ефективності впровадження результатів дослідження пропонуваної пастеризаційної установки, оснащеної ГД нагрівачем та тепловим насосом представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 - Результати розрахунків основних питомих показників

порівнюваних варіантів використання пастеризаційних установок

Порівнювані варіанти	Питомі показники варіантів				
	$K_{ПК}$ тис. грн /т	$Z_{ПР}$ чол.-ч/т	Z тис. грн /т	Е тис. грн /т	А + Р тис. грн/т
Базовий	1,37	1,67	0,168	0,125	0,443
Запропонований	0,72	1,17	0,117	0,101	0,232

Таблиця 5.2 – Основні економічні показники використання запропонованої пастеризаційної установки для молока

п/п	Показники	Порівнювані варіанти пастеризаційних установок	
		базова ПМР-02+ МХУ-12	запропонована по результатам дослідження
1	Капітальні вкладення, тис. грн.	1806	948
2	Обсяги обробки молока, т/рік	1314	1314
3	Витрати праці пастеризацію, чол.-ч/т	1,67	1,17
4	Зниження витрат праці у %	-	30
5	Вартість електроенергії, тис. грн/рік	164,69	133,2
6	Амортизаційні відрахування, тис. грн/рік	256,45	134,62
7	Відрахування на поточний ремонт, тис.грн/рік	325,08	170,64

Продовження таблиці 5.2

8	Експлуатаційні витрати, тис. <i>грн /рік</i>	1001,35	707,26
9	Зниження експлуатаційних витрат, %	-	29,37
10	Наведені витрати, тис. <i>грн /рік</i>	1272,25	849,46
11	Чистий річний прибуток, тис. <i>грн</i>	-	321,32
12	Термін окупності установки, років	-	2,95

За даними цих таблиць капітальні вкладення в установку для пастеризації молока, запропоновану за результатами проведених нами досліджень, скорочуються на 47,5% порівняно з поширеним у малих господарствах базовим варіантом, а витрати праці на 30%. При цьому знижується і складові експлуатаційних витрат, що може забезпечити без урахування можливого підвищення ціни молока, що реалізується, через поліпшення його якості отримання чистого прибутку понад 300 тисяч гривень на рік, що дозволяє окупити початкові капітальні вкладення за три роки експлуатації пастеризаційної установки при обробці не менше 1,3 тисяч тон молока на рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Серійні парові пастеризаційні установки в умовах молочних ферм малих господарських утворень є недостатньо ефективними та витратними через необхідність оснащення їх додатковим котельним обладнанням та складною автоматикою, що зумовлює необхідність використання на них апаратів прямого нагріву молока, у тому числі та пастеризаційних установок з гідродинамічними нагрівачами.

2. Теплова обробка молока в установці з ГДН відбувається шляхом перетворення механічної енергії приводу гідродинамічного нагрівача за рахунок тертя шарів рідини, тертя її про внутрішні стінки комірок ротора та статора, а також турбулізації потоку.

3. У прикордонному шарі проточної частини ГДН швидкість частинок молока низька, і воно гірше підігрівається, і не бере участь у дисипації енергії приводу. Усунення цього недоліку запропоновано розташуванням навколо ГДН витримувача молока, що забезпечує його утеплення для усунення тепловтрат у навколишнє середовище та нагрівання молока пристінних шарів.

4. На фізико-механічні властивості молока ГДН має менший вплив у порівнянні з пастеризаторами непрямого нагріву: щільність вихідного молока знижується на 4%, в'язкість більш ніж у 2 рази. Коефіцієнти складають: теплоємності 3940 Дж/(кг·К), теплопродуктивності 0,520 Вт/(м·К), температуропровідності $0,128 \cdot 10^{-6}$ м²/с. У нагрівачі відбувається деяке дроблення жирових кульок молока, зменшується їх розмір у середньому на 15%, проте ефект гомогенізації молока він не має.

5. За даними досліджень пастеризаційної установки продуктивністю 600 кг/год, достатньою для малих молочних ферм та молокоприймальних пунктів, ГДН повинен мати:

- діаметр ротора – 150 мм;
- діаметр комірок – 35 мм;
- кількість комірок ротора 12, статора - 11;

- кут нахилу осі комірок щодо осі ротора та статора – 15° ;
- відносну окружну швидкість ротора – 21...24 м/с;
- перепад температур на вході та виході ГДН – 15°C .

Частка, що вноситься за умов пастеризації такого ГДН, становить 0,17. Регенератор повинен мати площу $1,07\text{ м}^2$, що забезпечує його частку в Ra порядку 0,2. Решту критерію Ra виконує витримувач (0,63), місткістю $0,5 \cdot 10^3\text{ м}^3$.

Параметри пастеризаційних установок іншої продуктивності визначаються за наведеними в дисертаційній роботі формулами подібності.

6. Охолодження пастеризованого молока після регенерації доцільно проводити в удосконаленій пастеризаційній установці за рахунок використання теплового насоса на базі теплоносія хладону R 410A, який забезпечує перекачування тепла молока, що охолоджується, холодному молоку по дорозі на пастеризацію в межах температур. Цент перетворення тепла в тепловому насосі становить 5...6, а холоду 5...5,5, потенціал тепла для нагрівання холодного молока – близько 70% теплової потужності насоса.

7. При використанні пастеризаційної установки, обладнаної удосконаленим ГД нагрівачем та тепловими насосом витрати енергії та витрати на неї знижуються на 19%, капітальні вкладення скорочуються майже на 48% порівняно з базовим обладнанням. Знижуються витрати на 30%. Це дозволить отримати річний економічний ефект близько 320 тисяч гривень за терміну окупності до 3 років.

БІБЛІОГРАФІЯ

1.Knyazkova, I.I. (2014). Profilaktika vnezapnoy serdechnoy smerti pri serdechnoy nedostatochnosti fokus na blokatoryi AT1–angiotenzinovyih retseptorov. Liki UkraYini. 3–4, 74–80

2.Rudyk, B.I. (2002). Vybrani lektsiyi z kardiologii. – Ternopil': Ukrmedknyha (in Ukrainian). Dudnyk, S. (2015). Sertsevo–sudynni zakhvoryuvannya v Ukrayini. Vseukrayins'ka medychna hazeta «Vashe zdorov"ya». 1–2, 18–19

3.Tkachenko, N.A., Nazarenko, YU.V., Okunevs'ka, S. O. (2015). Obgruntuvannya ratsional'noho spivvidnoshennya monokul'tur B.animalis Bb–12 zi zmishanym kul'turam laktobakterii u tekhnolohiyakh fermentovanykh funktsional'nykh molochnykh produktiv dlya lyudei z sertsevo–sudynnym zakhvoryuvannam [Elektronnyi resurs]. KHarchova nauka i tekhnolohiya. 4, 16–23

4.Stepanova, L.I. (1999). Spravochnik tehnologa molochnogo proizvodstva. Tehnologii i receptury. Tom 1 Cel'nomolochnie produkti [Tekst]. St. Petersburg: GIORD

5.Krasnikova, L.V., Gunkova, P.I., Markelova, V.V. (2013). Mikrobiologiya moloka i molochnyih produktov: Laboratorniy praktikum: Ucheb.–metod. posobie. SPb. NIU ITMO; IHiBT

6.Chagarovs'kyj, O.P., Tkachenko, N.A., Lisohor, T.A. (2013). KHimiya molochnoyi syrovyni [Tekst] : navchal'nyi posibnyk. – Odesa: OOO Simeks–print (in Ukrainian). Nazarenko, YU.V. (2011). Biotekhnolohiya kyslomolochnoho syru dityachoho kharchuvannya z podovzhenym terminom zberihannya. KHarchova nauka i tekhnolohiya. Odesa. ONAKHT. 2(15), 41–45

7.Didux, N.A., Chagarovs'kyj, O.P., Lysogo, T.A. (2008). Zakhvashval'ni kompozyciyi dlya vyrobnyctva molochnykh produktiv funkcional'nogo pryznachennya. Odessa: Vydavnyctvo «Poligraf»

8.Герцен А.И. Качество молока при різних видах і режимах його

пастеризації / А.И. Герцен, В.Г. Антраментова // Молочно-мясное скотоводство. – Киев, 1973. – Вип. 3.

9. Мазур Т.Г., Очеретяна Л.В., Димань Т.М. Змінення жирової фази молока під час пастеризації // Мат. 70-ї наук. конф. „Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування у ХХІ столітті” 20–21.04.2004.–Київ: НУХТ, 2004.–Ч.2.–С.23.

10. Книга М.И., Змієв В.В. Технологія молока і молочних продуктів. — Харків, 1976. —100 с.

11. Машкін М.І. Молоко і молочні продукти. — К.: Урожай, 1996. — 336 с

12. Машкін М.І. Первинна обробка і переробка молока. — К.: Урожай, 1994. — 237 с.

13. Ніконенко В.М. Обладнання та технологія молочного виробництва. — К.: Урожай, 1995. — 296 с.

14. Мірошник, В. О. Пастеризатор як об'єкт керування за каналами нагрівання і охолодження молока. / В. О. Мірошник, Т. І. Лендел // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2017. Вип. 261. – С. 79-88.

15. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва / П. С. Берник, З. А. Стоцько, І. П. Паламарчук, І. А. Зозуляк. Львів: Видавництво НУ Львівська політехніка, 2004. 336 с.

16. Машкін М.І., Париш Н.М. Технологія виробництва молока і молочних продуктів: Навч. видання.- К.: Вища освіта, 2006 – 351 с.

17. Єресько Г. О., Шинкарик М. М., Ворощук В. Я. Технологічне обладнання молочних виробництв : навч. посіб. Київ : ІНК ОС Центр навч. л-ри, 2007. 344 с.

18. Перцевий Ф. В., Гурський П. В., Грінченко О. О. Технологія переробки молока : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2006. 378 с.

20. Технологія молочних продуктів : підручник / Г. Є. Поліщук, О. В. Грек, Т. А. Скорченко та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч.

технол. – Київ : НУХТ, 2013. – 502 с

21. Технологічні розрахунки у молочній промисловості : навч. посібник / Г. Є. Поліщук, О. В. Грек, Т. А. Скорченко та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. – Київ : НУХТ, 2013. – 343 с.

22. Обладнання для виробництва морозива : навч. посібник / І. І. Бартковський, О. М. Рибак, Г. Є. Поліщук та ін. ; Нац. ун-т харч. технол., Одес. нац. акад. харч. технол., АУВ "Морозиво і заморож. прод.". – Київ : Поліграфіч, 2014. – 316 с.

23. Молоко та молочні продукти (GMP. НАССР) : довідник / ред. О. М. Якубчак. – Київ : Біопром, 2010. – 168 с.

24. Методичні положення та норми продуктивності у виробництві молочних продуктів / В. В. Вітвіцький, Г. Т. Шкурін, В. І. Ковальчук, А. Є. Величко. – Київ : Укראгропромпродуктивність, 2005. – 468 с.

25. Галат Б.Ф. Довідник з технології молока / Галат Б.Ф., Машкін Н.І., Козача Л.Г. К.: Врожай. – 1990. –190с.

26. Молоко і молочні продукти та методи їх дослідження. Стандарти.- Леонорм. - 2000.-т.1,2.-600с.

27. Назаренко І. В. Технологічне обладнання переробки молока : курс лекцій. Миколаїв : МДАУ, 2011. 110 с

28. Єресько Г.О. Технологічне обладнання молочних виробництв / Г.О. Єресько, М.М. Шинкарик, В.Я. Ворощук // Київ: фірма „ІНКОС”, центр навч. літ., 2007. – 337 с.

29. Ревенко І.І. Машини та обладнання для тваринництва / Ревенко І.І., Брагінець, Ребенко В.І. - К.: Кондор. - 2009.- С. 563-683.

30. Технологія переробки молока. Навчальний посібник для вищих аграрних навчальних закладів/ А.Я. Маньковський, Р.И. Кравців, Г.О. Богданов. — Сполом.Львів.-2003. — С. 315.

31. Чагаровський, О.П. Фальсифікація молока. Методи визначення. Практичні рекомендації [Текст]: навч. посіб./О.П.Чагаровський, Н.А.Ткаченко, Т.А. Лисогор. – К.: НУХТ, 2017. – 119 с.

32. Чагаровський, О.П. Хімія молочної сировини [Текст]: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / О.П. Чагаровський, Н.А. Ткаченко, Т.А. Лисогор. – Одеса: «Сімекс-прінт», 2013. – 268 с.
33. Власенко В Ж Технологія виробництва і переробки молока та молочних продуктів. Власенко В.В., Малигін М.І., Бігун П.П. - Вінниця «ГПАШС»,- 2000. - 306с.
34. Сучасні технології молочних продуктів: підручник/ О.А. Савченко, О.В. Грек, О.О. Красуля. – К.; ЦП «Компринт», 2017.– 218 с.
35. Молокопереробка. Інновації : підручник / О. В. Грек, О. О. Красуля ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харч. технол. - Київ : НУХТ, 2017. - 390 с.
36. Бойчук, І.М. Економіка підприємства [Текст]: навч. посіб. – К.: Атика, 2002. – 480 с.
37. Економіка підприємства [Текст]: підручник / За заг. ред. С.Ф.Покропивного, - вид. 2-ге, перероб. та доп. – К.: КНЕУ, 2001. – 528 с.
38. Новицький, В.Є. Міжнародна економічна діяльність України [Текст]: підручник. – К.: КНЕУ, 2003. – 948 с.
39. Одарченко, М. С. Охорона праці на підприємствах харчування [Текст], Х.: Основа, 1998. – 423 с.
40. Грек О.В., Ющенко Н.М., Осьмак Т.Г., Онопрійчук О.О., Рибак О.М., Тимчук А.В., Красуля О.О. Практикум з технології молока та молочних продуктів: навч. посіб. - К. : НУХТ, 2015. - 431 с.
41. Поліщук Г.Є., Грек О.В., Скорченко Т.А. та ін. Технологічні розрахунки у молочній промисловості: навч. посіб. –К.: НУХТ, 2013. – 394 с.
42. Г. Є. Поліщук, О. В. Грек, Т. А. Скорченко та ін. Технологія молочних продуктів: підруч. - К. : НУХТ, 2013. - 502 с.