

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

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»

на тему: «Оптимізація режимів роботи пастеризаційної установки в
умовах фермерських господарств»

КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського
виробництва»*
спеціальності *133 Галузеве
машинобудування*
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМмд_24
МАРТИЩЕНКО Євгеній

Керівник: к.т.н., доцент
ДУДНИК Володимир

Рецензент: к.т.н., доцент
ЛЯШЕНКО Сергій

Полтава – 2023 року

ВСТУП

Виробництво молока до 1990 року зосереджено було, в основному, у великих сільськогосподарських організаціях. До теперішнього часу категорія цих господарств виробляє лише 44,7% молока, 2,8% його виробляється у фермерських господарствах і 52,5% в господарствах населення (особистих підсобних господарствах) [1].

Обробка молока буває первинною, виконувана в господарствах або на первинних підприємствах молочної промисловості і вторинною – на заводах молочної промисловості перед випуском молока в торговельну мережу [2].

Розвиток мікроорганізмів в молоці може бути призупинено дотриманням гігієни при доїнні [3], охолодженням його або застосуванням теплової обробки (пастеризації) з наступним охолодженням. Останнє більш переважає в умовах особистих підсобних і фермерських господарств. Тут доцільний збір молока на сільських, селищних прийомних пунктах [4] і первинна обробка його з включенням операцій пастеризації до задачі на молочні заводи.

Шляхом, пастеризації досягається більш ефективно знищення мікроорганізмів, що робить молоко більш стійким в зберіганні і безпечним в передачі хвороботворних бактерій. Ефективність пастеризації, залежить від температури нагріву молока і тривалості витримки [3, 5]. При нагріванні до 63...70° С і витримці 20 хв. гине понад 99,9% бактерій. Такі ж результати досягаються при нагріванні молока до 80...85° С без витримки.

Нагрівання продуктів здійснюється приладами непрямого нагріву з використанням різних теплоносіїв: водяної пари, димових газів, гарячої води та електричного струму. Найбільш широко використовується насичена водяна пара, оскільки при її конденсації виділяється велика кількість тепла при відносно невеликих витратах [6].

Однак застосування парових пастеризаторів в умовах малих ферм і господарств пов'язане зі значними додатковими витратами на обладнання для отримання пару. До того ж майже всі пастеризатори непрямого нагріву молока мають знижений коефіцієнт корисної дії, високу енергоємність, обмежені

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливості плавного регулювання нагріву молока і зміни режимів роботи.

Об'єкт розробки – технологічний процес пастеризації молока.

Предмет розробки – вдосконалення пастеризаторів безпосереднього нагріву рідини за допомогою гідродинамічних нагрівачів.

Мета кваліфікаційної роботи магістра – вдосконалення процесу пастеризації молока в установці з гідродинамічним нагрівачем з урахуванням умов виробництва його фермерськими та підсобними господарствами.

Постановка актуальної технічної задачі – розробка та вдосконалення пастеризаторів безпосереднього нагріву рідини за допомогою гідродинамічних нагрівачів.

Практичне значення кваліфікаційної роботи магістра – полягає в обґрунтуванні параметрів гідродинамічних нагрівачів і взаємодії теплових апаратів установки з використанням його для пастеризації молока, в розробці методики розрахунку установок і пропозицій по використанню їх фермерськими та підсобними господарствами.

Практичні результати роботи – за результатами досліджень дано рекомендації, щодо вдосконалення конструкції нагрівача та використання його в інших процесах господарства: на нагріванні води, перекачування рідин, поливу.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – річний прибуток від впровадження удосконаленої пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем в розрахунку на один пункт, може скласти до 40 неоподатковуваних мінімумів доходів при терміні окупності капітальних вкладень 1,37 року.

Апробація. Основні положення виконаної роботи доповідались і обговорювались:

- на XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (Україна, Кропивницький, 8-10 листопада 2023 року).

- на VIII Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Інноваційні аспекти систем безпеки праці, цивільного захисту та захисту інтелектуальної власності» (Україна, Полтава, 23-24 березня 2023 року).

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Класифікація пастеризаторів молока

Пастеризація молока і молочних продуктів, набула широкого поширення у всіх країнах світу. Вона дозволяє значно підвищити терміни зберігання і реалізації продукції. Застосовувані для цієї мети пастеризатори можна поділити насамперед за способом впливу на молоко: непрямого і прямого теплового впливу (рис. 1.1). Найбільшу групу апаратів непрямого впливу на молоко становлять теплові пастеризатори [6]. У них нагрів молока виробляється проміжними теплоносіями. У ролі таких теплоносіїв найчастіше використовуються гарячі рідини (в основному, вода і водні розчини солей) водяний пар, топкові гази і гаряче повітря.

Іншу групу пастеризаторів непрямого впливу на молоко складають електричні апарати. За способом передачі тепла молоку вони поділяються на елементні і індуктивні [6].

Рисунок 1.1 - Схема класифікації пастеризаторів молока

Апарати прямого впливу на молоко здійснюють нагрів його без проміжного теплоносія. До них відносяться пристрої для нагріву молока шляхом

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інфрачервоного або ультрафіолетового опромінення його в полі надвисоких частот (НВЧ), а також електродні та гідродинамічні пастеризатори.

Серед цієї групи пастеризаторів особливий інтерес представляють гідродинамічні пастеризатори через компактність всієї установки, простоти безпосереднього перетворення енергії обертання ротора в теплову для нагрівання молока і досить високого ККД процесу пастеризації.

Відомі конструкції гідродинамічних пастеризаторів і нагрівачів рідини можна поділити за способом нагріву рідини: на кавітаційні, рідинного тертя і апарати, що використовують для нагрівання не тільки тертя рідини, але і турбулізацію потоку. Серед них в молочному тваринництві знайшли застосування, в основному, гідродинамічні пастеризатори третього типу [6].

І, нарешті, всі пастеризатори і пастеризаційні установки поділяються на ємнісні і проточні. У ємнісних пастеризаторах процес роботи є циклічним, через що вони мають низьку продуктивність. Переважно у всіх технологічних процесах обробки і переробки молока використовують проточні пастеризатори, які дозволяють скоротити кількість і тривалість технологічних операцій.

1.2 Огляд наукових публікацій з дослідження процесу роботи гідродинамічних нагрівачів

Процеси знезараження рідин нагріванням вивчаються понад 100 років багатьма вітчизняними та зарубіжними дослідниками, починаючи з засновника пастеризації Луї Пастера.

Найбільш інтенсивно наукові роботи велися в області обґрунтування параметрів і режимів роботи пастеризаторів непрямого нагріву молока, теплоносієм в яких виступає пара або гаряча вода [2, 4, 5, 7].

За даними цілого ряду дослідників [5, 8] теплова продуктивність пастеризатора непрямого нагріву, як і будь-якого іншого теплового апарату, залежить від площі поверхні нагрівання F , коефіцієнта теплопередачі k і середньої

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

логарифмічною різницею температур між паром в сорочці та продуктом і характеризується певною формулою [8] теплопередачі:

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

де M - маса молока, що нагрівається;

C_m - теплоємність молока;

t_n і t_k - початкова і кінцева температури нагріву молока.

Тут початкова температура молока – температура виходу його після попереднього підігріву в регенераторі t_{pn} , якщо він є в складі пастеризаційної установки. Залежність (1.1) використовується зазвичай для визначення площі нагрівання в пастеризаторі:

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

де Δt_{cp} - середня логарифмічна різниця температур, яка визначається за рівнянням Грасгофа [5, 8]:

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

де Δt_{\max} - різниця температур між теплоносієм і молоком на вході в апарат;

Δt_{\min} - різниця температур між теплоносієм і молоком на виході з апарату.

Для визначення витрати пари, що гріє в пастеризаторі використовується рівняння теплового балансу:

$$M c_m (t_k - t_n) = P(i - \lambda) \eta_t, \quad (1.4)$$

звідки годинна витрата пари:

$$P = \frac{M c_m (t_k - t_n)}{(i - \lambda) \eta_t}, \quad (1.5)$$

де: P - кількість пари в кг/год;

i - повне теплоутримання пари, Дж/кг;

λ - ентальпія конденсату, Дж/кг;

η_t - тепловий ККД пастеризатора.

Аналогічні залежності використовуються і для розрахунку регенераторів тепла, використовуваних майже у всіх пастеризаційних установках [5]. Коефіцієнт регенерації тепла в них визначається по залежності:

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\zeta_{рег} = \frac{t_{рн} - t_{н}}{t_{к} - t_{рв}}, \quad (1.6)$$

де $t_{рн}$ - температура молока на виході з регенератора в лінії подачі його в пастеризатор, °С;

$t_{рв}$ - температура молока на виході з регенератора в лінії охолодження його після пастеризації, °С.

В сучасних проточних регенераторах коефіцієнт регенерації досягає значень 0,8...0,85 в прямоточних він значно нижче (0,45...0,5) [4, 8].

У роботах дослідників [5, 9], значну увагу присвячено дослідженням теплообміну між нагрівальним середовищем і пастеризованим молоком. Ними обґрунтована кратність циркуляції гарячої води для трубчастих (4...6) і пластинчастих (3...4) пастеризаторів, кратність циркуляції холодної води в лінії охолодження пастеризованого молока, параметри регенератора тепла. Для визначення коефіцієнта теплопередачі в цих роботах пропонується залежність:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{a_2}}, \quad (1.7)$$

де a_1 - коефіцієнт тепловіддачі з боку середовища, що гріє, Вт/(м²·К);

δ - товщина стінки, м;

a_2 - коефіцієнт тепловіддачі з боку стінки до нагрівається продукту, Вт/(м²·К);

$\lambda_{ст}$ - коефіцієнт теплопровідності стінки, Вт/(м·К).

У цих же роботах дані залежності для визначення коефіцієнтів тепловіддачі стосовно трубчастих парових пастеризаторів.

Теоретичних досліджень гідродинамічних пастеризаторів мало, так як в даний час вони ще не знайшли широкого застосування, а процес їх роботи мало вивчений. Недостатня і інформаційна освітленість цього питання.

В результаті досліджень [10] нагрівача встановлено, що розроблений коагулятор стійко працює при перепаді температур продукту до 60°С, продуктивність його досягає 900 кг/год при діаметрі ротора 153 мм і ширині 40 мм, при цьому ККД процесу в цілому становить 80...90%.

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Необхідно відзначити, що всі експерименти дослідники проводили на одній і тій же частоті обертання ротора. Робочі характеристики коагулятора погано вивчені, параметри нагрівача обґрунтовані недостатньо, немає і методики його розрахунку. При попередніх дослідженнях параметри підбиралися емпірично і інтуїтивно. Не обґрунтовані параметри функціонування пастеризаційної установки з використанням гідродинамічного нагрівача, немає і методики її інженерного розрахунку.

Це пов'язано зі складністю аналітичного опису процесів, що протікають в установці і недоліком експериментальних даних по обґрунтуванню режимів її роботи і параметрів.

Робочий процес в гідродинамічному нагрівачі рідини (ГДНР) дослідники розглядають з позицій теорії гідродинамічних передач. В основу розрахунку гідродинамічних передач покладена теорія лопатевих гідромашин Л. Ейлера [11]. При цьому, приймалися такі основні допущення:

1. Потік в області робочого колеса є елементарні струменя, розділені поверхнями струменю осесиметричного потоку в меридіональному розрізі.
2. При русі в робочій порожнині потік не має розривів.
3. Число лопаток приймається нескінченно великим, а товщина їх нескінченно малою.
4. Напрямок потоку на, вихід із, робочого колеса залежить від кута установки лопаток, і не залежить від напрямку потоку на вході.
5. Рідина має усталений рух.
6. Зміни моменту кількості руху рідини в безлопатевому просторі не відбувається.

Ці припущення багато в чому ідеалізують потік рідини в нагрівачі, проте їх прийняття дозволило значно спростити розрахунок гідродинамічних машин, причому точність розрахунку досить задовільна, так як багато в чому розрахунок спирається на експериментальні дані [6, 12].

Перш за все дослідник вивчив баланс енергії гідродинамічного нагрівача.

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтенсивність нагріву води в ГДНР по його даним визначається величиною втрат, споживаної енергії на подолання опору в робочій порожнині, тобто явища, які вважаються негативними в гідродинамічних передачах в нагрівачі представляються позитивними.

Відомо, що в гідравлічних машинах і гідропередачах втрати енергії ділять на чотири види [12, 13]:

- гідравлічні втрати або втрати напору;
- втрати на тертя робочих органів апарату по рідині;
- об'ємні втрати через витоки рідини з області високого тиску в область низького тиску;
- механічні втрати на тертя в приводі.

Найбільший інтерес у дослідника викликали гідравлічні втрати і втрати на тертя робочих органів об рідину. З них переважно утворюється тепловиділення в гідродинамічному нагрівачі.

Механічні втрати незначні, залежать від конструкції приводу і можуть враховуватися механічним ККД. Об'ємні втрати не впливають на тепловиділення і зводяться до мінімуму при хороших ущільненнях.

Розглядаючи рівняння Бернуллі для потоку, що проходить через нагрівач в перетинах на вході 1-1 і виході 2-2 з нього:

$$\frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 = \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 + \varepsilon_{1-2}, \quad (1.8)$$

він отримав рівняння балансу питомої енергії у вигляді:

$$H_t = \Delta H + \Sigma h, \quad (1.9)$$

де H_t - теоретичний напір, створюваний ротором;

ΔH - різниця напорів на виході і вході в нагрівач;

Σh - сумарні втрати напору;

p_1 і p_2 - тиск рідини на вході в нагрівач і виході з нього;

ρ - щільність рідини;

v_1 і v_2 - швидкості потоку на вході в нагрівач і виході з нього;

z_1 і z_2 - геодезичні напори в перетинах 1-1 і 2-2;

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

ε_{1-2} - приріст питомої енергії потоку між перетинами 1-1 і 2-2.

Після визначення складових цієї формули і відповідних перетворень їх запропонована залежність, яка відображає перетворення питомої енергії потоку в робочій порожнині нагрівача:

$$\frac{u_2^2}{g} \mu_p = \frac{k_p Q_l^2}{2gF_p^2} + \frac{k_c Q_l^2}{2gF_c^2} + \frac{k_k Q^2}{2gmF_{nk}^2} + \frac{\phi_{уд}}{2g} \left[\left(u_{p1} - \frac{Q_l}{F_{p1}} \right)^2 + (u_2 \cdot \mu_p)^2 \right] + \Delta H, \quad (1.10)$$

де u_1 і u_2 - окружні швидкості ротора на вході і виході рідини;

F_{p1} - площа перетину каналу лопаті на вході в ротор;

F_p , F_c , і F_{nk} - середні площі перетинів ротора, корпусу і 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;

$\phi_{уд}$ - коефіцієнт втрат на вихрообразування при ударі потоку об лопатку.

Вона служить основою для розрахунку параметрів гідродинамічного нагрівача при відомій витраті води в ньому.

За даними [6] потужність такого нагрівача залежить, в основному, від швидкості обертання ротора, його геометричних розмірів і витрати рідини в лопатовому каналі. Для її визначення запропонована залежність:

$$N = \frac{\rho g Q_l \omega^2 r_{p2}^2 \mu_p + c_{f1} \rho \omega^3 (r_2^5 - r_1^5) + c_{f4} \rho \omega^3 r_2^4 e + c_{f2} \rho \omega^3 (r_{p2}^5 - r_{p1}^5)}{\eta_{мех}}, \quad (1.11)$$

де r_{p1} і r_{p2} - мінімальний і максимальний радіуси ротора по основі і верхівці лопатки;

r_1 і r_2 - мінімальний і максимальний радіуси кільця тертя з бічних сторін ротора;

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

e - ширина циліндричної частини зазору;

$\eta_{мех}$ - механічний ККД пастеризаційної установки.

						Арк.
					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз цих залежностей і результатів експериментальних даних показав, що основна дисипація енергії в такому нагрівачі відбувається в області бокового зазору. Тепловиділення в ньому можна збільшити за рахунок збільшення окружної швидкості лопатей ротора і витрати рідини в робочій порожнині. Слід зазначити, що роль гідравлічних втрат у відомих конструкціях пастеризаторів молока і нагрівачах води в загальному тепловиділення незначна (близько 1,7%), так як періодична зміна напрямку потоку рідини в них перешкоджає значному зростанню швидкості.

Аналіз робіт з дослідження гідромуфт [14] на режимі повного гальмування і лопатевих гідротормозів [13], показав можливість збільшення тепловиділення в гідродинамічних пастеризаторах підвищенням витрати рідини в лопатевому каналі і оптимізацією кута нахилу лопатей ротора. Підвищення витрати рідини в лопатевому каналі можна домогтися збільшенням ширини і зміною форми робочої порожнини нагрівача, а також оптимізацією взаємодії теплових апаратів пастеризаційної установки. Наведені вище залежності не враховують це і розраховані в основному на плоскі диски.

Таким чином, для підвищення продуктивності ККД установки для пастеризації молока з використанням гідродинамічного пастеризатора необхідні подальші дослідження, щодо вдосконалення проточної частини його, оптимізації частоти обертання ротора і параметрів пастеризаційної установки, а також уточнення математичних моделей функціонування теплових апаратів.

Висновки і постановка завдань досліджень

Поширені в даний час парові пастеризаційні установки непрямого нагріву мають низький коефіцієнт корисної дії (50...60%) і високу енергоємність, застосування їх в технології первинної обробки молока в умовах малих господарських формувань пов'язане зі значними додатковими витратами для отримання пару, перекачування рідин, установки витяжних систем і складної

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

автоматики, через що краще пастеризаційні установки з нагрівачами прямого впливу на молоко, до яких відносяться і гідродинамічні нагрівачі.

Пастеризація молока в установці з гідродинамічним нагрівачем обумовлена дисипацією механічної енергії приводу її гідродинамічного нагрівача за рахунок сил тертя молока об стінки проточних каналів і сил в'язкості при впливі на нього лопаток ротора і корпусу нагрівача. Процес нагріву молока в ній здійснюється від центру потоку його в проточній частині до стінок корпусу гідродинамічного нагрівача, через що пристінний шар молока знаходиться в гірших умовах пастеризації. Різниця температур нагрівання його досягає 5°C і може бути знижена зменшенням товщини пристінного шару за рахунок підвищення температури пастеризації молока. Для придушення мікрофлори в пристінному шарі молока температура його пастеризації повинна бути не нижче 65°C.

Отже, метою роботи є вдосконалення процесу пастеризації молока в установці з гідродинамічним нагрівачем з урахуванням умов виробництва його фермерськими та особистими підсобними господарствами. Відповідно до цього необхідно вирішити такі завдання даного дослідження:

- вивчити динаміку перебігу рідини в робочій порожнині гідродинамічного нагрівача пастеризаційної установки, тепломасообмін в ній на етапах розгону і основної роботи, а також закономірності зміни фізико-механічних властивостей молока в процесі його обробки;

- удосконалити конструкцію пастеризаційної установки і визначити ступінь впливу на молоко кожного її теплового апарату;

- провести дослідження процесу роботи пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем, обґрунтувати основні параметри, режими роботи і розробити методику її розрахунку.

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Функціональна схема пастеризаційної установки та процес роботи гідродинамічного нагрівача

Принципова схема експериментальної пастеризаційної установки представлена рис. 2.1. Установка містить гідродинамічний нагрівач 1, витримувач молока 4, пластинчастий теплообмінник 9 та насоси 7 та 12 для подачі молока та холодної води.

Рисунок 2.1 - Схема експериментальної пастеризаційної установки:

Головним елементом цієї установки є гідродинамічний нагрівач (рис. 2.2). Він має корпус 4, усередині якого розташований ротор 5 з невеликим проміжком між ними. На межі контакту ротора з корпусом виконані наскрізні свердління 3 так, що на циліндричних поверхнях обох деталей нагрівача утворюються напівкомірки у вигляді напівциліндрів на всю ширину ротора. Перегородки між сусідніми напівциліндрами ротора та корпусу виконують роль лопаток, розташованих з певним кроком. У центрі ротора є розточка 1, з'єднана каналами 7 з комірками 3. Ротор закритий з обох боків кришками, в одній з яких є отвір 9 для подачі молока в нагрівач і патрубок 8 виведення нагрітого до температури пастеризації молока, а в іншій – вихід для валу приводу нагрівача від

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електродвигуна. Корпус та бічні кришки нагрівача мають теплоізоляційне покриття 2. Крім теплових апаратів (ГД нагрівача 1, витримувача 4, регенератора 9 і охолоджувача 1) пастеризаційна установка (рис. 2.1) має бак для пастеризованого молока, бак збору пастеризованого молока і бак для води (у складі холодильної машини). Маються також крани 2, 3 та 5 регулювання подачі молока та автоматичний клапан повернення молока на повторну пастеризацію.

Рисунок 2.2 - Схема ГД нагрівача молока:

При роботі пастеризаційної установки молоко з приймального бака 6 насосом 7 подається в секцію 9 пластинчастого регенератора, де воно попередньо підігрівається гарячим пастеризованим молоком, що надходить з витримувача 4. Підігріте молоко подається в радіальні канали 7 (рис. 2.2) ротора наповнює комірки 3. На молоко при обертанні ротора здійснюється гідродинамічний вплив лопаток ротора та корпусу. Тут виникає сильна турбулізація потоку, молоко піддається багаторазовому внутрішньому тертю, що забезпечує дисипацію енергії обертання ротора в теплову енергію молока.

Далі нагріте до температури пастеризації молоко з комірок нагрівача через патрубків 8 (рис. 2.2) і автоматичний клапан 8 (рис. 2.1) надходить у витримувач 4.

Гаряче молоко після витримки надходить на охолодження в регенератор 9 тепла. Тут воно охолоджується зустрічним потоком холодного молока по дорозі в гідродинамічний нагрівач і переходить у секцію 10 пластинчастого апарату, в якій

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відбувається остаточне охолодження його холодною водою з водоохолоджувальної установки або проточної артезіанської. Охолоджене молоко збирається в резервуар-охолоджувач 13 для зберігання до оправки на молочний завод.

У лінії виходу гарячого молока з гідродинамічного нагрівача передбачений клапан 8 повернення на повторне нагрівання, якщо температура його нижче встановленої для пастеризації. Крани 2, 3 і 5 установки служать для регулювання подачі і напору молока.

2.2 Обґрунтування температурних режимів пастеризації молока з використанням ГД нагрівача

Орієнтовний час нагрівання молока в ГД нагрівачі досліджуваної пастеризаційної установки знаходиться в межах 2...5 с. За даними [15] температура пастеризації при цьому для повного придушення мікрофлори повинна становити не менше 72°C, тому в проведених нами дослідах вона прийнята рівною 75°C і підтримувалася постійною шляхом регулювання подачі молока в ГД нагрівач за допомогою крана на його вихідному патрубку.

Нехтуючи деякими втратами тепла в навколишнє середовище через утеплені стінки витримувача, отримаємо на вході в регенератор температуру гарячого молока близько 75°C (рис. 2.3).

Рисунок 2.3 - Блок-схема розподілу температур молока в теплових апаратах пастеризаційної установки

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Так як доступне максимальне значення коефіцієнтів регенерації молока в сучасних пастеризаторах не перевищує 0,82, то при пастеризації охолодженого до температури $t_n=4^{\circ}\text{C}$ молока різницю температур його на вході (між температурами двох потоків) складе:

$$\tau = (1 - \varepsilon)(t_n - t_n) = (1 - 0,8)(75 - 4) = 14,2^{\circ}\text{C}.$$

Беручи $t = 14^{\circ}\text{C}$, отримаємо температуру молока на вході в ГД нагрівач $t_p = 61^{\circ}\text{C}$, а на виході охолоджуваного пастеризованого молока $t_{pK} = 18^{\circ}\text{C}$. Температура молока на вході в ГД нагрівач прийнята рівною $t_p = 61^{\circ}\text{C}$ з таких міркувань.

Процес роботи ГД нагрівача не передбачає безперервний перебіг молока від входу до виходу з поступовим нагріванням його від початкової температури t_p до кінцевої t_n на виході, як у серійних парових пастеризаторів. У ньому з вихідного патрубку молоко надходить в проточну частину нагрівача, де відразу змішується з гарячим молоком і протягом декількох секунд (100...200 оборотів ротора) ця суміш піддається гідродинамічному впливу. При цьому можливе надходження до виходу і частини молока, мікроорганізми в якій не встигли піддатися впливу температури пастеризації $t_n = 61^{\circ}\text{C}$ [16]. Це викликає необхідність подачі в нагрівач молока з температурою, яка гарантує придушення мікрофлори, яка дорівнює за даними багатьох дослідників 60°C [5].

Таким чином, ГД нагрівач повинен забезпечувати нагрівання молока на 14°C в межах від 61° до 75°C , лише частково пригнічуючи мікрофлору через можливе значного розкиду часу витримки окремих порцій молока в ньому (від часток секунди до декількох секунд). Основна ж роль знищення мікрофлори відводиться витримувачу і регенератору.

У блок-схемі на рис. 2.3 необхідно було б збільшити площу регенератора експериментальної пастеризаційної установки з вихідною продуктивністю $Q = 600$ кг/год при коефіцієнті теплопередачі $k_p = 3000$ Вт/м² К^o до:

$$F_p = \frac{\xi M_c}{k_p(1-\xi)} = \frac{0,8 \cdot 0,6 \cdot 3880}{3000(1-0,8)} = 3,1, \text{ м}^2. \quad (2.1)$$

В цьому режимі температури молока на вході і виході в усіх теплових

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

апаратах установки були б досить стабільними (рис. 2.4). Відхилення від встановлених величин становили 4...6% через коливання подачі молока і його тиску на виході з ГД нагрівача.

Рисунок 2.4 - Температурні графіки роботи витримувача (а), регенератора (б, в) і охолоджувача (г) пастеризаційної установки після виходу її на робочий режим

При пуску пастеризаційної установки в роботу автоматично відключаються витримувач, регенератор і охолоджувач. Молоко циркулює по малому колу (насос, ГД нагрівач, половина регенератора і шланги) і поступово нагрівається до температури пастеризації (період розгону установки), після чого установка виходить на робочий режим з подачею молока з ГД нагрівача у витримувач і далі

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в регенератор і охолоджувач. Обсяг молока в цьому замкнутому малому колі становить 18,5 літрів. Тривалість розгону установки залежить від теплової продуктивності ГД нагрівача і при $Q_n = 0,6$ т/год займає 6...7 хвилин.

Температура молока при розгоні нагрівача в перші хвилини досить інтенсивно підвищується, а потім у міру зниження в'язкості молока це зростання зменшується і до сьомої хвилини вона досягає встановленої температури пастеризації.

Тривалість розгону ГД нагрівача на робочий температурний режим пастеризації молока залежить від частоти обертання ротора (рис. 2.5).

Рисунок 2.5 - Графік залежності часу T виведення пастеризаційної установки (розгону її) на робочий режим від частоти зі обертання ротора

За даними рис. 2.5 і табл. А. 1 (Додаток А) при низьких частотах обертання ротора близько 140 1/с тривалість розгону установки становить близько однієї години. Збільшення її веде до зниження тривалості розгону нагрівача, причому інтенсивність цього зниження різко зменшується в межах частот обертання ротора 250...320 1/с. У цих межах для досліджуваного ГД нагрівача вона становить 6...8 хвилин. Теоретичні дані тривалості розгону нагрівача на робочий режим пастеризації близькі до експериментальних, але менше їх на 5...10%, так як не враховують втрати тепла в навколишнє середовище.

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика визначення температур молока в теплових апаратах пастеризаційної установки

На вхідних і вихідних патрубках ГД нагрівача, витримувача, регенератора і охолоджувача постійно були встановлені рідинні термометри типу ТС-4 (молочні термометри) [15]. Межі вимірювання такого термометра становили 0...100°C, ціна поділки шкали 1°. Похибка показів не більше $\pm 1^\circ\text{C}$. Довжина термометра 270 мм, а діаметр оболонки 15 мм. В якості рідини в ньому використаний толуол, пофарбований в червоний колір.

Вимірювання температури рідини за допомогою цих термометрів проводилося в сталому режимі роботи пастеризаційної установки шляхом візуального зчитування показників в заданий дослідом час їх реєстрації. Записи їх показників здійснювалися в журнал і слугували даними для визначення температурних режимів роботи кожного теплового апарату пастеризаційної установки.

На виході ГД нагрівача додатково був встановлений термометр контактний ТПК №4 з межами вимірювання температур 0...100°C і ціною поділки 1°. Він забезпечував сигналізацію про досягнення будь-якої заданої температури пастеризації в межах вимірювання термометра і магнітного регулювання потоку молока на повторну пастеризацію при температурах його нижче заданої.

Дослідження перехідних процесів нагріву молока в установці до виходу її на робочий режим проводилися також з вимірюванням поточних температур молока за допомогою багатофункціонального цифрового вимірювача марки «Center 309». Базова похибка його становить $\pm 0,3\%$, а максимальна роздільна здатність 0,1°C і пов'язана з гальмуванням потоку молока на датчику, неоднорідністю матеріалу електродів і непостійністю градувальних характеристик. В якості датчиків в ньому використані дві нікель-хромові

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

термопари 2 (рис. 3.1) моделі ТРК-02 (межі вимірювань від – 50°С до 700°С).

У перехідному режимі роботи ГД нагрівача датчики 2 встановлювалися на вході і виході так, щоб термопари їх омивалися потоком молока (відстань від стінки патрубку становило 8...10 мм). Вимірювання температур молока проводилися як в режимі періодичного зчитування показань на моніторі (ПК індикатор), так і в режимі безперервного запису температур на персональний комп'ютер (ПК). В останньому випадку використовувалося програмне забезпечення TestLink SE-309, а цифровий вимірювач забезпечував обмін інформацією з ПК по послідовному асинхронному інтерфейсу 4 марки RS-232. Швидкість передачі інформації становила 9600 біт/с.

Рисунок 3.1 - Фрагмент установки термопар на патрубках ГД нагрівача: 1 –

Кожен досвід виконувався в наступній послідовності. Включався ПК, привід нагрівача і потім насос подачі молока. Регулювалася подача молока в насос в межах 200...700 л/год через кожні 50 л.

Далі включався вимірювач температури «Center 309». Знімалися показання всіх термометрів і термодатчиків (температура пастеризації регулювалася заздалегідь і, в основному, підтримувалася постійною). Потім очікували момент

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спрацьовування термодіапа на виході ГД нагрівача і визначався час виходу пастеризаційної установки на робочий режим за показниками секундоміра у вимірювачі «Center 309». У цей момент проводився запис в журнал спостережень показників всіх термометрів.

Одночасно протягом усього часу виходу ГД нагрівача на робочий режим здійснювалася реєстрація поточних температур молока на вході і виході його в пам'ять комп'ютера. Дані його оброблялися в програмі SE-309 і роздруковувалися у вигляді таблиць вимірювання температури молока за досліджуваний час і відповідних графіків.

Після цього установка відключалася, регулювалася на нову подачу молока, і дослід повторювався. Кратність досліду на кожній подачі була рівною трьом.

3.2 Методика визначення фізико-механічних властивостей молока

У процесі пастеризації молоко піддавалося попередньому нагріванню в регенераторі, інтенсивному нагріванню в ГД нагрівачі з подальшою витримкою при заданій температурі пастеризації, охолодженню в регенераторі і охолоджувачі. На всіх стадіях теплової обробки його фізико-механічні властивості змінюються. Дослідження характеру зміни цих властивостей входило в одне їх завдання цієї роботи.

Відбір проб молока для цих досліджень проводився зі збірної ємності після ретельного перемішування. Забір молока здійснювався трубкою-пробником з внутрішнім діаметром 9 мм і вихідним отвором 5 мм. Одночасно фіксувалася температура досліджуваного молока за показниками вставленого в ємність термометра марки ТС-4.

Проби молока при цьому використовувалися для визначення щільності пастеризованого молока, кінематичної в'язкості його, вмісту білка в ньому і показників змочування. Температура молока при цьому змінювалася від 5°C до 100°C через кожні 5°.

Для визначення щільності молока по ГОСТ 3625-47 [17] і залежності її від

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

температури проба його в 200 мл зливалася по стінці в скляний циліндр. Потім в цей циліндр занурювався ареометр типу А (з термометром) до ділення 1,030, після чого проводився відлік його показників: один за шкалою ареометра (ціна поділки 0,001), а інший за шкалою термометра.

Надалі циліндр з молоком і ареометром встановлювався в металеву банку з водою і підігрівався в ній на електроплитці, як в «водяній бані». Після нагріву молока на кожні 5°C проводився новий відлік показників ареометра і так до досягнення температури 100°C.

Перетворення механічної енергії приводу в ГД нагрівачі в теплову, в основному, відбувається за рахунок взаємного переміщення шарів молока відносно один одного. При цьому на рідину діє сила внутрішнього тертя, пропорційна динамічній в'язкості і градієнту швидкості деформації $\frac{dv}{dx}$:

$$\tau = -\eta \frac{dv}{dx}, \quad (3.1)$$

де τ - напруга зсуву;

x - напрямок течії рідини.

Молоко і продукти з нього (вершки, сметана, кефір, згущене молоко і ін.) складні за хімічним складом і найбільш чутливі до зміни реологічних властивостей, основним з яких є в'язкість. Майже всі вони відносяться до групи так званих «неньютонівських» або нелінійних рідин. Для них визначається уявна в'язкість, яка залежить не тільки від температури і тиску рідини, але і від швидкості зсуву шарів, часу та інших факторів. Крім динамічної в'язкості η ці рідини характеризуються і кінематичною в'язкістю – відношенням η до щільності рідини ρ :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}. \quad (3.2)$$

Оцінка властивостей молока та продукції з нього здійснюється зазвичай за кінематичною в'язкістю. Дослідне визначення її здійснювалося нами по ГОСТ 33-82 [17] за допомогою капілярного віскозиметра ВПМ-1. Робота його заснована на властивості молока утворювати гель при додаванні в нього поверхнево-активної

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

речовини «Мастопрім». Фіксація моменту закінчення витоків гелю визначається за допомогою фотоперетворювача з цифровою індикацією часу закінчення, встановленого в нижній частині трубки робочої посудини. Так як час закінчення проби молока (гелю) пропорційний кінематичній в'язкості, то її визначали по залежності:

$$v = ct_c, \quad (3.3)$$

де c - постійна віскозиметра (по паспорту приладу $c = 0,1075 \text{ мм}^2/\text{с}^2$);

t_c - середній час витікання молока (гелю) при температурі його нагріву, яка досліджується, с.

Досліди по визначенню кінематичної в'язкості молока і вершків проводилися при температурах нагріву їх від 5° до 100°C через кожні 5°C . Кратність дослідів при кожній температурі нагріву прийнята за 3. Похибка приладу не перевищувала 6%. Розрахунок динамічної в'язкості проводився за формулою (3.2) з урахуванням даних по визначенню щільності молока.

Пастеризація молока не повинна погіршувати його якість і поживну цінність, яка визначається не тільки вмістом жиру, але і співвідношенням білків. Збільшення температури і тривалості теплової обробки викликає згортання альбуміну і денатурацію ряду інших білків, збільшуючи кількість вільної казеїнової кислоти і побуріння молока. Висока температура нагріву викликає зміни і в сольовому складі молока.

У зв'язку з цим контроль якості молока в дослідях по його пастеризації із застосуванням ГД нагрівача проводився нами виміром вмісту сироваткових білків в пастеризованому молоці за відомою методикою [17]. Для цього використано властивість білка збільшувати інтенсивність люмінесцентного світіння пропорційна вмісту його в молоці при контролі в індикаторі білка.

Показники якості молока залежать також від структури і стану жирових кульок в ньому [3, 12, 17]. Піддаючись механічному впливу та внутрішньому тертю в ГД нагрівачі, ліпідна оболонка їх стає більш м'якою, в'язкість молока зменшується, через що можливі зміни в структурі жирових кульок пастеризованого молока. Явище це

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досліджувалося нами при зміні окружної швидкості обертання ротора в межах 15...30 м/с і часу обробки молока в ГД нагрівачі в межах 2...10 с. Відбір проб молока і їх аналіз проводився за методикою [18]. Визначення середнього діаметра кульок в молоці здійснювалося за їх кількістю в розмірних групах [18].

3.3 Методика планування експерименту з оптимізації параметрів гідродинамічного нагрівача пастеризаційної установки

Огляд літературних джерел з питань пастеризації молока, гідродинамічним нагрівачем і гідромуфтою, а також аналіз проведених нами теоретичних досліджень пастеризаційної установки з ГД нагрівачем і попередніх експериментів на макеті такої установки показав, що моделі продуктивності пастеризаційної установки і пов'язаної з нею дисипації механічної енергії приводу нагрівача в теплову представляють функцію значної кількості факторів.

Параметром оптимізації в першій моделі доцільно прийняти питому продуктивність пастеризаційної установки M_{yo} , тобто відношення годинної подачі в ГД нагрівач до ширини його ротора, виражене в кг/(г·см). На цей параметр впливають частота обертання ротора, його діаметр, радіальний і осьові зазори, розміри і кількість комірок, в'язкість молока, температури пастеризації і регенерації молока, перепад температур на виході і вході в ГД нагрівач, тривалість обробки молока в нагрівачі і інші фактори.

На основі апріорного ранжирування факторів і попередніх експериментів по пастеризації молока в досліджуваній пастеризаційній установці визначено, що найбільший вплив на питому продуктивність пастеризаційної установки надають перші п'ять факторів. При цьому слід зауважити, що хоча вплив частоти обертання і діаметра ротора на параметр оптимізації здійснюється в різноманітному ступені, їх об'єднує загальний фактор - окружна швидкість ротора на рівні осі проточної частини нагрівача. Температури пастеризації і регенерації уточнені в попередніх дослідках і в даних експериментах прийняті постійними:

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$t_n = 75^\circ C$, і $t_p = 61^\circ C$. У цих межах кінематична в'язкість молока змінюється лише на 13...15%, що дозволяє виключити цей фактор з числа значущих.

Осьові зазори при нагріванні молока практично не змінюються, так як деталі нагрівача виконані з однорідного матеріалу і прийняті нами за рекомендаціями [6] рівними 3 мм.

Тривалість обробки молока в нагрівачі віднесена також до несуттєвих факторів, так як досить нагріти молоко до встановленої (заданої) температури пастеризації $t_n = 75^\circ C$, а подальшу теплову обробку до необхідного критерію пастеризації продовжити у витримувачі і регенераторі.

Таким чином, до переліку значущих чинників, що впливають на обраний параметр оптимізації, включені: x_1 – окружна швидкість ротора на рівні осі проточної частини нагрівача v_p , x_2 – перепад температур на виході і вході ГД нагрівача $\Delta t = t_n - t_p$, x_3 – радіальний зазор ротор-корпус δ . Вони відповідають вимогам керованості, операційності, однозначності, сумісності і незалежності один від одного [19].

В результаті пошукових дослідів визначено рівні варіювання факторів та інтервали їх варіювання, що представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фактори і рівні їх варіювання в плані по оптимізації питомої продуктивності пастеризаційної установки

Найменування факторів	Позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
		основний (0)	верхній (+1)	нижній (-1)	
v_p – окружна швидкість ротора на рівні осі проточної частини нагрівача, м/с	x_1	22	24	20	2
Δt – перепад температур в ГД нагрівачі, $^\circ C$	x_2	14	16	12	2
δ – радіальний зазор, мм	x_3	1,5	2,5	0,5	1

Для реалізації обраний трирівневий некомпозиційний план Бокса-Бенкена типу 3^3 [19] з описом функції відгуку (y) у вигляді рівняння регресії другого порядку:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i \geq j}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (3.4)$$

де b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} - коефіцієнти регресії;

n - число факторів.

Матриця плану приведена в додатках (табл. А.1, Додаток А).

Черговість проведення дослідів в матриці вибрана по таблиці випадкових чисел: 10, 1, 1 2, 15, 14, 11, 8, 7, 2, 6, 9, 3, 5, 4, 13.

У другій моделі – по оптимізації процесу дисипації енергії приводу нагрівача в теплову параметром оптимізації прийнято питома тепловиділення, тобто відношення кількості одержуваного в годину тепла до довжини ротора ГД нагрівача в кДж/(г·см). Так як перепад температур Δt не впливає на теплопродуктивність установки, то тут в якості другого фактору прийнятий радіус комірки ротора.

Рівні варіювання факторів в плані по оптимізації питомого тепловиділення в ГД нагрівачі представлені в таблиці 3.2.

Матриця цього плану приведена в табл. Б.1, Додаток Б. Черговість дослідів залишена такою ж, як і в першій моделі.

Ступінь завершеності пастеризації оцінювалася критерієм R_a , величина якого підтримувалася рівною не менше 1 підбором кількості пластин

Таблиця 3.2 – Перелік факторів і рівнів їх варіювання в плані по оптимізації тепловиділення в ГД нагрівачі установки для пастеризації

Найменування факторів	Позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
		основний (0)	верхній (+1)	нижній (-1)	
v_p – окружна швидкість ротора на рівні осі проточної частини нагрівача, м/с	x_1	22	24	20	2
$r_{яч}$ – радіус комірки, мм	x_2	15	20	10	5
δ – радіальний зазор, мм	x_3	1,5	2,5	0,5	1

регенератора і місткості витримувача. Обробка даних експерименту проводилася на ПЕОМ Pentium II по залежностям математичної статистики [20]. При цьому визначалося середнє значення параметра оптимізації y , середньоквадратичне відхилення його δ_0 і коефіцієнт варіації:

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$v = \frac{\sigma_0}{Q_{уд}} \cdot 100\% . \quad (3.5)$$

Результати визначення параметра оптимізації після виключення грубих помилок (промахів у вимірах) отримували при триразовій повторності і дослідний ряд їх перевіряли при п'ятивідсотковому рівні значущості за допомогою нульової гіпотези [20].

Дисперсії показників процесу пастеризації молока перевірялися на однорідність за критерієм Кохрена [19]. Після цього визначали коефіцієнти регресії апроксимуючих поліномів за загальноприйнятою методикою [19], а значимість їх оцінювали за допомогою критерію Стюдента. Рівень значущості був прийнятий рівним 0,05. Далі відсівалися незначущі коефіцієнти регресії, а ті, які залишилися, перераховувалися з використанням методу найменших квадратів. Отримані математичні моделі процесу перевіряли на адекватність за критерієм Фішера.

Подальша обробка результатів експериментальних досліджень полягала в побудові поверхонь відгуку та ізоліній параметра оптимізації при фіксуванні одного менш значимого фактору по черзі на всіх рівнях його варіювання. Після аналізу перетинів поверхні відгуку визначалася зона раціонального режиму роботи пастеризаційної установки з ГД нагрівачем.

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.1 Зміна фізико-механічних властивостей молока при пастеризації з використанням гідродинамічного нагрівача

Молоко являє собою складну систему, в якій сухі речовини розчинені у воді, жир знаходиться в стані емульсії, білки - в колоїдній фазі, а молочний цукор і солі утворюють молекулярну і іонну фази. При динамічній і тепловій дії на нього в пастеризаційній установці з гідродинамічним нагрівачем відбувається не тільки зміна складу і структури молока, але і його фізико-механічних властивостей.

Щільність охолодженого до 5°C молока перед пастеризацією становила 1032 кг/м³ і поступово знижувалася в міру його нагрівання (рис. 4.1).

Рисунок 4.1 - Залежність щільності ρ молока і вершків від температури t їх нагрівання

Для порівняння на рис. 4.1 представлені дані про вплив температури нагріву на щільність води і вершків жирністю 15%. Дані цього графіка показують, що щільність води в межах досліджуваних температур практично не змінюється. Зниження її становить лише 0,9%, в той час як щільність молока знижується на 4,1%, а вершків – на 3,6%. Зниження щільності молока при нагріванні його пояснюється збільшенням обсягу молока через денатурації білків, змін в

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

сольовому складі його і розрідження жирових шариків. Щільність молока в межах температур пастеризації (60...80°C) становить округлено 1000 кг/м³. Більш істотно при нагріванні змінюється кінематична в'язкість молока (рис. 4.2).

Рисунок 4.2 - Вплив температури нагрівання t на кінематичну в'язкість ν молока і вершків

Вона досить різко знижується в інтервалі температур 5...40°C і повільно – понад 60°C, тобто в межах температур пастеризації. Для вершків зменшення кінематичної в'язкості при їх нагріванні ще більше значне: вона зменшується в 2 рази при нагріванні від 20°C до 40°C і на 27% при нагріванні від 60°C до 80°C. В'язкість води в порівнянні з молоком нижче на 35...45%, а в порівнянні з вершками 15% жирності – в середньому в 2 рази.

Залежність кінематичної в'язкості молока від температури може бути представлена у вигляді такої статичної функції:

$$\nu = 3,5037 \cdot t^{-1,1108}. \quad (4.1)$$

В межах температур пастеризації молока і вершків у гідродинамічному нагрівачі ця залежність з похибкою до 5% може бути лінеалізована:

$$\nu_n = b_1 - a_1 t. \quad (4.2)$$

де b_1 і a_1 - розмірні коефіцієнти лінеалізації в'язкості від температури нагріву молока.

Відповідно до даних рисунка 4.2:

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для молока $b = 1,09 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $a_1 = 0,0065 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}^\circ \cdot \text{C}$;

для вершків $b = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $a_1 = 0,014 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}^\circ \cdot \text{C}$.

Таким чином, коефіцієнт внутрішнього тертя молока, що знаходиться в гідродинамічному нагрівачі, майже в 3 рази нижче, ніж охолодженого до 5°C . Це необхідно враховувати при виборі режимів роботи нагрівача з метою підвищення ефективності, дисипації механічної енергії його приводу при теплову нагріві молока.

Відмінною особливістю гідродинамічного нагрівача, як уже зазначалося раніше, є те, що нагрів молока в ньому відбувається не від стінок до центру потоку молока, як у парових пастеризаторів, а, навпаки, від центру до периферії потоку – до стінок корпусу. Це ставить в гірші умови нагріву пристінні шари молока, змушуючи збільшувати температуру нагрівання молока.

І якщо ефективність знищення мікрофлори при цьому не викликає сумнівів, так як нагріте молоко проходить далі у витримувач і регенератор, що забезпечують рівність критерію пастеризації Ра одиниці, то якість пастеризованого молока в процесі експериментів необхідно було б перевірити ретельніше. Ця оцінка проводилася за вмістом в пастеризованому молоці сироваткових білків на індикаторі білків під впливом ультрафіолетового випромінювання. За даними лабораторних експериментів молоко, пастеризоване в установці з гідродинамічним нагрівачем, мало смак і запах, властивий молоку з явно вираженою пастеризацією. Колір його був від білого до слабо жовтого, кислотність – в межах $16,6 \dots 17^\circ\text{T}$, вміст жиру – 3,4%, як і в початковому молоці до пастеризації.

Початкове молоко до пастеризації містило 3,15% білків, в тому числі сироваткових (альбумін і глобулін) – 0,38%. Дані про ступінь денатурації сироваткових білків при нагріванні молока наведені в таблиці 4.1.

Аналіз даних цієї таблиці показує, що нагрівання молока в гідродинамічному нагрівачі навіть до 85°C з витримкою не більше 5 с не змінює властивостей молока за білковим його змістом. Однак тривала обробка його в

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

пастеризаційній установці більше 30 с навіть при температурі пастеризації 75°C вже викликає денатурацію сироваткових білків. Альбумін при цьому починає необоротно згортатися, з молока виділяється вуглекислота і кислотність молока знижується, відбуваються зміни і в сольовому складі молока.

Таким чином, якість молока при пастеризації в установці з гідродинамічним нагрівачем досить висока, якщо температури пастеризації не перевищують 80...85°C при загальній тривалості витримки при цій температурі не більше 5 с.

Таблиця 4.1 – Результати досліджень щодо впливу ступеня нагріву молока на вміст сироваткових білків в ньому

Температура пастеризації, °С	Час витримки, с	Вміст білків в молоці, %		Відсоток денатурації сироваткових білків
		загальне	сироваткових	
Початкове молоко		3,15	0,38	-
65	5	3,15	0,38	-
	10	3,15	0,38	-
	20	3,15	0,38	-
	30	3,15	0,38	-
	60	3,145	0,375	1,3
70	5	3,15	0,38	-
	10	3,15	0,38	-
	20	3,15	0,38	-
	30	3,148	0,378	0,5
	60	3,142	0,372	2,1
75	5	3,15	0,38	-
	10	3,15	0,38	-
	20	3,145	0,375	1,3
	30	3,140	0,37	2,6
	60	3,137	0,367	3,4
80	5	3,15	0,38	-
	10	3,148	0,378	0,5
	20	3,141	0,371	2,4
	30	3,137	0,37	3,4
	60	3,132	0,362	4,7
85	5	3,15	0,38	-
	30	3,132	0,362	4,7
	60	3,127	0,357	6,1

Дослідження пристінного шару молока в гідродинамічному нагрівачі показали, що його товщина знаходиться в прямій залежності від в'язкості молока і температури нагріву. Вона ж знаходиться в тісному зв'язку з показниками змочуваності деталей пастеризаційної установки.

Змочуваність характеризується крайовим кутом змочування, величини якого для різних матеріалів пастеризаційної установки за даними наших експериментів наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Величини крайових кутів змочування внутрішніх поверхонь стінок теплових апаратів пастеризаційної установки

Матеріал змочуваної поверхні	Крайовий кут змочування Θ , градусів при температурі нагріву молока і деталі			
	5°C	40°C	60°C	80°C
Сталь нержавіюча (хромонікелева)	170	158	142	125
Поверхня пластини П-1 регенератора зі сталі 12ХНЗА	175	162	145	127
Алюміній харчовий АЛ4Ч	150	130	115	101
Латунь (томпак Л96)	154	145	122	110
Бронза Бр ОЦСЗ-12-5	157	148	126	113
Капрон	40	35	30	26
Поліетилен	25	80	16	12
Скло молокопроводу	84	79	67	56
Гума харчова (по ГОСТ 8318- 57)	22	18	15	10

За даними таблиці 4.2 всі метали і їх сплави гідрофобні, крайовий кут змочування їх Θ тупий (більше 90°). Деталі пастеризаційної установки з цих матеріалів погано змочуються молоком, що сприяє зменшенню товщини пристінного шару і краще його прогріванню в процесі пастеризації.

Інша група матеріалів (скло для молокопроводів, поліетилен сполучних шлангів, капрон, гума харчова) мають $\Theta = 10...84^\circ$ і відносяться до гідрофільних, дуже добре змочуваних молоком і утримують на своїй поверхні досить товсті молочні плівки в пристінному шарі.

Підвищення температури молока знижує коефіцієнт внутрішнього тертя його і зменшує крайовий кут змочування. В межах температур молока в гідродинамічному нагрівачі це зниження становить для нержавіючої сталі 12%, а в трубопроводах з гуми і поліетилену 25...33%.

На кордоні змочування поверхонь пастеризаційної установки молоком діють сили «прилипання» плівки молока до них, які оцінюються міжфазною енергією на поверхні їх розділу. Залежність питомої міжфазної енергії для кордону середовищ «молоко - поверхня» від температури деталі пастеризаційної установки дана на рис. 4.3.

Питома міжфазна енергія для всіх матеріалів лінійно зменшується з підвищенням температури молока. Зменшення це становить для всіх матеріалів приблизно 14% на кожні 20°C нагрівання молока. Це впливає і на товщину пристінного шару молока при його перебігу в теплових апаратах пастеризаційної установки, яка орієнтовно може прийматися рівною товщині плівки змочування деталі молоком.

Рисунок 4.3 - Залежність питомої міжфазної енергії середовища «молоко - поверхня деталі» від температури нагріву молока при постійній температурі навколишнього повітря 293°K: 1 - нерж. сталь; 2 - алюміній харчової; 3 - скло

Товщину її визначали розрахунковим шляхом по залишку молока на відомій площі внутрішньої поверхні склянки з досліджуваного матеріалу після зливу з нього нагрітого молока.

З ростом температури товщина пристінного шару інтенсивно знижується і стає більш-менш постійною при температурах молока 75...100°C. Пояснюється це істотним зниженням як в'язкості молока, так і позитивною зміною показників змочуваності їх внутрішніх стінок теплових апаратів. Температура внутрішньої поверхні стінки корпусу нагрівача при цьому менше температури пастеризації молока на 4...5°C. У зв'язку з цим вони на 25...30% вище експериментальних даних в області низьких температур молока і на 10...15% в області температур пастеризації.

У гідродинамічному нагрівачі молоко піддається не тільки інтенсивному нагріву, але і механічному впливу лопаток ротора, корпусу і в бічних зазорах.

Піддаючись тертю і нагріванню дещо змінюється фізичний стан жиркових

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кульок і самого жиру. При швидкостях ротора до 20 м/с спостерігається деяке збільшення середнього діаметра жирових кульок в молоці за рахунок їх злипання в грудочки, а при більш високих окружних швидкостях ротора і часу перебування молока в гідродинамічному нагрівачі ці грудочки роз'єднуються і середній діаметр жирових кульок знижується. Однак в цілому гідродинамічний нагрівач не має здатності гомогенізувати молоко, хоча відстоювання жиру в пастеризованому (з використанням такого нагрівача) молоці сповільнюється майже в 10 разів у порівнянні з базовим молоком.

4.2 Обґрунтування зони раціонального поєднання основних чинників, що впливають на теплопродуктивність пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем

Для визначення зони раціональних режимів роботи установки, виявлення сили впливу кожного фактору на параметр оптимізації, оцінки ролі їх взаємодії і оптимального поєднання, було проведено два багатофакторних експерименти. Результати першого з них по вивченню питомої подачі представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Матриця планування і результати експериментів з дослідження питомої продуктивності установки

№ досліджу	Кодовані рівні варіювання факторів			Питома продуктивність установки $M_{y\delta}$ (y), кг/ч·см				$\pm\sigma$, кг/г·см
	окружна швидкість ротора v_p (x_1)	перепад температур $\Delta t = t_g - t_p$ (x_2)	радіальний зазор δ (x_3)	y_1	y_2	y_3	y	
1	+1	0	+1	174	182	184	180	5,29
2	-1	0	+1	142	132	131	135	6,08
3	0	+1	+1	114	101	115	110	7,81
4	0	-1	+1	134	131	127	130	3,54
5	+1	+1	0	177	170	178	175	6,44
6	+1	-1	0	193	204	203	200	7,00
7	-1	+1	0	95	93	82	90	11,35
8	-1	-1	0	109	110	96	105	7,81
9	0	0	0	138	149	142	145	6,08
10	0	0	0	147	143	148	146	7,81
11	0	0	0	141	140	146	145	6,08
12	+1	0	-1	164	174	172	170	5,29
13	-1	0	-1	86	107	107	100	12,12
14	0	+1	-1	124	122	114	120	5,29
15	0	-1	-1	137	129	139	135	5,29

Отримані дані перевірені за критерієм нульової гіпотези і на однорідність ряду дисперсії за критерієм Кохрена:

$$U_{\max} = 0,01 < U_{\text{табл}} = 1,412, \quad (4.3)$$

$$G_{\text{досл}} = 0,07 < G_{\text{табл}} = 0,3346. \quad (4.4)$$

що підтверджує відсутність у рядках таблиці 4.3 грубих помилок.

Дані таблиці 4.3 оброблені в програмі MathCAD, в результаті чого отримані коефіцієнти прийнятого нами рівняння регресії, представлені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Коефіцієнти рівняння регресії і їх довірчі інтервали

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{23}	b_{13}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
145	36,8	-9,38	3,75	-2,5	-1,25	-6,25	11,14	-16,99	-12,3
$\pm 10,3$	$\pm 3,86$	$\pm 3,86$	$\pm 3,75$	$\pm 4,37$	$\pm 4,37$	$\pm 4,37$	$\pm 4,37$	$\pm 4,37$	$\pm 4,37$

Значимість коефіцієнтів перевірялася за допомогою критерію Фішера по залежності [19]:

$$\pm \Delta b_i = \pm t S_{bi}, \quad (4.5)$$

де S_{bi} - квадратична помилка коефіцієнта регресії, яка визначається за дисперсії цього коефіцієнта:

$$S_{bi}^2 = \frac{S_y^2}{N}, \quad (4.6)$$

N - кількість дослідів (число строчок в матриці плану), $N = 15$;

$$S_y^2 = \frac{\sum_1^N \sum_1^k (y_i - y)^2}{N(k-1)}, \quad (4.7)$$

де y_i і y - значення параметру оптимізації у всіх повторних дослідах строчки матриці і його середнє значення в даному досліді;

k - частота проведення дослідів, $k = 3$.

Результати розрахунку довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії дані в таблиці 4.4, а допоміжна таблиця – в табл. Б.2 Додатки Б.

Так як коефіцієнти b_{12} і b_{23} виявилися незначними, то рівняння регресії (питомої подачі пастеризаційної установки) має вигляд:

$$y_i = 145 + 36,8x_1 - 9,38x_2 + 3,75x_3 - 6,25x_1x_3 + 11,14x_1^2 - 12,3x_3^2. \quad (4.8)$$

Це рівняння було перевірено на адекватність експериментальним даним за критерієм Фішера: $F = 2,08 < F_{\text{табл}} = 2,1$ при коефіцієнті кореляції $R_y^2 = 0,9885$, що

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дає підставу вважати отриману регресійну модель (4.8) адекватною.

Поверхня відгуку і ізолінії питомої продуктивності пастеризаційної установки побудовані за цією залежності в функції зазору δ ротор-корпус і перепаду температур Δt в ГД нагрівачі при $x_1 = 0$ ($v_p = 22$ м/с), представлені на рис. 4.7.

Рисунок 4.7 - Поверхня відгуку (а) і ізолінії (б) питомої продуктивності пастеризаційної установки $M_{y\delta}$ в функції зазору δ ротор-корпус і перепаду температур Δt в ГД нагрівачі при $x_1 = 0$ ($v_p = 22$ м/с)

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поверхня, відгуку при фіксованому значенні окружної швидкості ротора (див. рис. В.1 Додатку В) має вигляд пагорба з явно вираженою зоною раціональних сполучень радіального зазору δ і перепаду температур $\Delta t = t_n - t_p$ ГД нагрівача. За даними цих рисунків величина зазору повинна бути в межах $\delta=1,5...2$ мм, при перепаді температур $\Delta t = 14...15^\circ\text{C}$.

Поверхні відгуку питомої подачі молока в пастеризаційну установку при фіксації зазору δ (рис. В.2 Додатку В) і перепаду температур Δt в нагрівачі (рис. В.3 Додатки В) представляються сідлуватою з підйомом по осі росту окружної швидкості обертання ротора v_p , що підтверджується і аналізом теоретичних залежностей подачі нагрівача. Тут вплив зазору і перепаду температур такий же, як і на рис. 4.7: збільшення і зменшення їх від зазначених вище раціональних величин викликає зниження питомої подачі.

У зв'язку з цим вибір окружної швидкості обертання ротора повинен бути обмежений необхідною продуктивністю пастеризаційної установки, а перехід на інші подачі проводиться з використанням критеріїв подібності [20]. Для продуктивності установки $M=0,6$ т/год окружна швидкість ротора повинна бути в межах 22...23 м/с.

Далі рівняння регресії (4.8) представлено з натуральними значеннями факторів, певних по залежності:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\Delta X}, \quad (4.9)$$

де x_i - кодоване значення фактору на певному рівні (+1; -1 и 0);

X_i , X_{0i} і ΔX - натуральні значення фактору на одному з рівнів, на нульовому рівні і інтервалу його варіювання.

Рівняння питомої продуктивності пастеризаційної установки в розкодованому вигляді буде:

$$M_{\text{нмт}} = 186 - 98,87v_p + 114,3\Delta t + 109,4\delta - 3,13v_p\delta + 2,79v_p^2 - 4,2(\Delta t)^2 - 12,3\delta^2. \quad (4.10)$$

Аналіз його показує, що поряд зі швидкістю обертання ротора істотний вплив на питому подачу в пастеризаційній установці надає перепад температур в її нагрівачі. З факторів взаємодії виділено лише радіальний зазор-окружна

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкість обертання ротора, збільшення якого знижує параметр оптимізації.

З подачею в пастеризаційній установці тісно пов'язаний і другий досліджуваний параметр оптимізації - питома тепловиділення $Q_{туд}$ одним сантиметром ширини ротора (кДж/г·см). Воно залежить від окружної швидкості обертання ротора $v_p(x_1)$, діаметра осередки $r_{яч}(x_2)$ і радіального зазору σ ротор - корпус (x_3) в ГД нагрівачі.

У таблиці Б.1 (Додаток Б) представлений план цього експерименту і його результати. Перевірка їх за критерієм Кохрена показала:

$$G_{досл} = 0,07536 < G_{табл} = 0,3346. \quad (4.11)$$

відсутність грубих промахів в реалізації дослідів, послідовність проведення яких залишена такою ж, як і при реалізації матриці першого плану.

Коефіцієнти рівняння регресії (питомого тепловиділення) і їх довірчі інтервали дані в таблиці Б.3 (Додаток Б).

Після виключення незначущих коефіцієнтів рівняння регресії в кодованому вигляді має вигляд:

$$y_2 = 8,06 + 2,12x_1 + 0,33x_3 + 0,3x_1x_2 - 0,48x_1x_2 - 0,32x_2x_3 + 0,61x_1^2 - 0,77x_2^2 - 0,86x_3^2. \quad (4.12)$$

Перевірка його на адекватність показала, що $F = 1,972 < F_{табл} = 2,1$ при коефіцієнті кореляції $R_y^2 = 0,9575$. Рівняння адекватно описує результати дослідів.

Поверхня відгуку питомого тепловиділення представлена на рис. 4.8 в функції радіуса осередку $r_{яч}$ і радіального зазору δ ротор-корпус ГД нагрівача при постійній окружній швидкості ротора $v_p = 22$ м/с ($x_1 = 0$).

Вона має вигляд пагорба (аналогічно рис. 4.7), як і для питомої подачі, але при іншій сукупності факторів. Зона раціональних сполучень зазору σ і радіуса осередки ротора з аналізу ізоліній питомої тепловиділення знаходиться також в межах $\delta = 1,5...2$ мм, а $r_{яч} = 14...16$ мм.

Поверхні відгуку питомого тепловиділення в пастеризаційній установці з ГД нагрівачем при постійному зазорі δ (рис. Г.2 Додатки Г) і радіусу осередків ротора $r_{яч}$ (рис. Г.1 Додатка Г) сідлоподібні з підйомом у бік збільшення швидкості обертання ротора. Аналіз їх показує обґрунтованість вибору

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

раціональних величин зазору і радіуса осередки. Їх зміна за межами цих величин викликає зниження тепловиділення в ГД нагрівачі.

Рисунок 4.8 - Поверхня відгуку (а) і ізолінії (б) питомої теплопродуктивності пастеризаційної установки Q_{yd} в функції радіального зазору ротор-корпус і радіуса осередків $r_{яч}$ в ГД нагрівачі при $x_1=0$ ($v_p = 22$ м/с).

Рекомендації по вибору окружної швидкості обертання ротора залишаються при цьому такими ж, як і при виборі подачі в досліджуваній установці, однак підвищення її понад 24 м/с може викликати кавітацію в ГД нагрівачі і підвищений

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знос його внутрішніх поверхонь [31].

У розкодованому вигляді рівняння регресії (4.12) питомого тепловиділення (на 1 см ширини ротора) в МДж/(г·см) буде:

$$Q_{\text{пит}} = 49,73 - 5,74v_p + 0,36r_{\text{яч}} + 9,15\delta + 0,03v_p r_{\text{яч}} - 0,24v_p \delta - 0,64 r_{\text{яч}} \delta + 0,1525v_p^2 - 0,0308 r_{\text{яч}}^2 - 0,86\delta^2 \quad (4.13)$$

Аналіз його показує значну роль в питомому тепловиділенні окружної швидкості обертання ротора v_p . Спільна зміна цієї швидкості і зазору, а також радіуса осередки і зазору також виявляє помітний вплив на тепловиділення: збільшення їх отворів знижує досліджуваний параметр пастеризаційної установки.

Вивчення поверхонь відгуку $Q_{\text{туд}}$ і ізоляції тепло продуктивності дає підставу вважати вибір раціональних параметрів з аналізу результатів попередніх дослідів вивчення питомої подачі пастеризаційної установки цілком достатніми.

Висновки за результатами експериментальних досліджень

1. З фізико-механічних властивостей молока, що впливають на процес його пастеризації в установці з ГД нагрівачем, необхідно, виділити щільність, в'язкість і змочуваність поверхонь деталей, що стикаються з ним. Зі збільшенням нагріву молока від 4°C до температур пастеризації (70...90°C) щільність його знижується лінійно на 4,1 %, а кінематична в'язкість зменшується майже в 3 рази по залежності (4.1): спочатку різко в інтервалі температур 4...40°C і плавно – понад 60°C, що необхідно враховувати при розрахунку всіх теплових апаратів установки через різницю режимів теплової обробки молока в них.

2. Гідродинамічний нагрівач установки не має гомогенізованого ефекту і зменшує розмір жирових кульок в молоці в процесі пастеризації його лише на 10...20%.

3. Температура пастеризації в, установці з ГД нагрівачем при тривалості обробки молока 2...5 с повинна бути не менше 72°C і підтримуватися постійною зміною подачі молока в нього регулюванням на вихідному патрубку.

4. Час розгону пастеризаційної установки на робочий режим (попереднє

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

нагрівання молока круговою циркуляцією) залежить від місткості цього малого кола циркуляції в пастеризаційній установці і при продуктивності її 0,6 т/ч складає 6...7 хвилин. Частота обертання ротора при цьому повинна бути не менше 260 1/с.

5. Тепловіддача в ГД нагрівачі за час розгону пастеризаційної установки на робочий режим знижується в 1,8 рази практично лінійно, залишаючись далі постійної при заданій різниці температур Δt роботи установки.

6. Залежності продуктивності пастеризаційної установки від радіального зазору ротор-корпус і радіуса осередку ГД нагрівача слабо параболічні з зоною відносного максимуму в межах зазору 0,5...2 мм, а радіуса осередку 14...23 мм.

7. Втрати тепла в навколишнє середовище складають до 2,7% від споживаної пастеризаційною установкою потужності, для скорочення їх необхідно утеплення ГД нагрівача, витримувач і регенератора. Доцільний також монтаж витримувача безпосередньо в корпусі ГД нагрівача.

8. При продуктивності пастеризаційної установки 0,6 т/год з діаметром ротора ГД нагрівача 0,153 м вона повинна забезпечувати:

- температуру пастеризації молока - 75°C,
- температуру регенерації - 60...62°C,
- температуру охолодження молока - 4...5°C.

9. Раціональний режим роботи пастеризаційної установки з ГД нагрівачем який має:

- окружну швидкість обертання ротора на рівні осі проточної частини – 23 м/с;
- радіальний зазор ротор-корпус - в межах 1,5...2 мм;
- перепад температур на виході і вході - в межах 14...15°C.

Питома продуктивність пастеризаційної установки при цьому становить 180...210 кг/м³ на один сантиметр довжини ротора нагрівача на годину, питома теплова потужність - 8...8,2 МДж/(г·см), а потужність приводу - близько 10 кВт .

10. Результати експериментальних досліджень підтвердили достовірність теоретичних висновків і припущень, зроблених при цьому: гіпотеза про їх відповідність не відкидається при 5% рівні значущості.

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза являє собою врегульовану нормами діяльність експертів по аналізу, перевірці і оцінці документації об'єктів і рішень, на їх відповідність правилам і вимогам охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування в цілях попередження можливих негативних наслідків для навколишнього середовища.

Цілі екологічної експертизи [21]:

- забезпечення наукового визначення відповідності проектних рішень сучасним екологічним вимогам перед їх затвердженням в компетентних державних органах;
- попередження можливого негативного втручання на екосистему функціонуючих і проектних об'єктів в процесі її реалізації.

Екологічна експертиза буває державною, громадською, а також інших видів. Вона є обов'язковою умовою законодавчої роботи господарства і іншої діяльності, яка впливає на стан навколишнього середовища. В останні роки відбуваються негативні зміни навколишнього середовища, тому у 1991 році 25 червня був прийнятий Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», а 9 лютого 1995 року був прийнятий Закон України «Про екологічну експертизу». Зазначені закони визначає правові, екологічні і соціальні основи організації охорони навколишнього середовища, вимоги до проведення екологічної експертизи [22].

Еколого-експертний процес складається з трьох основних етапів [21]:

- підготовчого, або перевірки необхідних даних, представлених проектних матеріалів і їх відповідності до законодавства;
- основного, або аналітичної обробки даних по об'єктах експертизи;
- заключного, або підведення результату і оцінці даних і складання акту

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

експертизи.

Екологія в сільськогосподарському виробництві займає чинне місце, оскільки здійснюється суттєвий вплив на оточуюче середовище, особливо в наш час і з розвитком нових технологічних процесів, що впроваджуються у виробництво, застосуванням модернізованої техніки в Україні.

Спрямована екологічна експертиза на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам та вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Завдання екологічної експертизи полягають у регулюванні суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища, раціонального використання та відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян держави.

Мета екологічної експертизи – запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на природне середовище та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях та об'єктах.

Технологія сільськогосподарського виробництва має базуватися на екологічно-обґрунтованих раціональних нормах.

Відповідно до теми роботи об'єктом забруднення навколишнього середовища є шкідливі речовини, що виділяються при мийці технологічних трубопроводів обладнання і тари лужними розчинами при роботі компресорної станції, механічних майстерень та ін. При переробці сировини (молока) на харчові продукти з природних ресурсів використовуються повітря і вода. Частина з них утилізується. Частина повертається у вигляді забруднених пилом, токсичними газами викидів в атмосферу, або стічних вод, що містять в собі механічні домішки.

Фізичними забрудненням є різноманітні види шуму, а також

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електромагнітне випромінювання при роботі обладнання. Це шкідливо впливає на людину та на її оточуюче середовище, спричиняє порушення природного теплового балансу в атмосфері. Також негативний вплив на атмосферу мають відпрацьовані нафтопродукти, якими змазують частини обладнання. При митті обладнання лужними розчинами відбувається негативний вплив на стічні води. Для цього є очисні споруди.

Стічні води потрібно очищати оскільки неочищені стічні води потрапляючи у водойми забруднюють гідросферу. Але всі відходи при відповідному використанні і утилізації не мають впливу на довкілля.

Отже, необхідно контролювати кількість викидів в атмосферу, щоб вони не перевищували границю допустимих норм. Для цього встановлюють устаткування, фільтри, пиловловлювачі. Для очищення атмосфери територію озеленюють. Рослинні ресурси позитивно впливають на атмосферу.

Отже, дані заходи забезпечать мінімальний вплив на екологічну систему при технічному обслуговуванні і ремонті техніки в майстерні.

5.2 Охорона праці

5.2.1 Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому покращенню умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва [23].

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

5.2.2 Вимоги безпеки при первинній обробці молока

Загальні вимоги безпеки підчас переробки молока [24]:

1. До роботи по первинній обробці молока допускаються особи не молодше 18 років, що не мають медичних протипоказань, пройшли вступний і первинний інструктаж і мають першу кваліфікаційну групу по електробезпеці.

2. Після відпрацювання 2-3 днів під наглядом механіка, завідуючий фермою оформляє допуск до самостійної роботи.

3. Працюючі повинні виконувати правила внутрішнього розпорядку, не допускати присутності в робочій зоні сторонніх осіб особливо дітей, розпивання спиртних напоїв, куріння, роботи в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння.

4. Працюючий повинен виконувати ту роботу по якій пройшов інструктаж і на виконання якої отримав завдання, не передоручати свою роботу іншим.

5. Працюючі по первинній обробці молока можуть потрапити під дію небезпечних і шкідливих виробничих факторів, по відношенню до яких повинні проявляти обережність: рухомі машини і механізми, рухомі частини обладнання, термічні фактори (пар, гаряча вода), підвищений рівень шуму, протяги недостатня освітленість робочої зони, слизька підлога, небезпека ураження електричним струмом, хімічна небезпека.

6. Спецодяг, взуття та інші засоби індивідуального захисту, повинні

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зберігатися в спеціально відведених місцях з дотриманням правил зберігання та використовуватися справними і за призначенням.

7. В процесі роботи суворо дотримуватись електро- та пожежобезпеки, не завалювати проходи, виходи, підходи до електричних вимикачів сировиною, тарою, відходами, матеріалами і продуктами.

8. Утримувати робоче місце в чистоті. Слизькі місця посипати тирсою.

9. Миючі і дезінфікуючі засоби зберігати в окремому приміщенні в маркірованій тарі з етикеткою.

10. Працюючі повинні знати і вміти використовувати способи ліквідації небезпеки і надання долікарської допомога потерпілому.

11. При виявленні відхилень від норми безпеки, при аваріях і травмуванні повідомляти завідуючого фермою.

5.2.3 Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які [23]:

- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактору визначається як травма.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Висновки та пропозиції.

Для того щоб на підприємстві трапилося менше випадків які закінчуються травмами необхідно дотримуватись наступних заходів:

1. Забезпечити видання стандартних розмірів спецодягу та головних уборів.
2. Забезпечити біля кожного робочого місця наявність інструкції по вимогам безпеки та знаки з попереджувальними написами.
3. Обладнати приміщення для проведення інструктажів та навчання працівників з питань охорони праці.
4. Організувати постійний контроль за станом охорони праці.

Виконання запропонованих заходів сприятиме зниженню ризику небезпек, що призведе до зниження рівня виробничого травматизму.

5.3 Розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження результатів дослідження

Розрахунок економічної ефективності впровадження результатів дослідження проводився за діючими методиками, стандартами і нормативними документами [25] з урахуванням середнього рівня інфляції, при цьому використані показники, що відображають вартісні і натуральні характеристики порівнюваних варіантів, що обумовлено сучасними вимогами ринкової економіки.

Оцінка ефективності використання вдосконаленої установки для пастеризації молока з ГД нагрівачем виконана за показниками витрат праці, матеріалів, електроенергії та експлуатаційних витрат при монтажі її в молокоприймальному пункті (молочного заводу) сільського поселення для збору і первинної обробки молока від власних підсобних і фермерських господарств. За

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

базу порівняння прийнята промислова пастеризаційна установка марки ПМР-0,2, оснащена також гідродинамічним нагрівачем з бічним розташуванням осередків в роторі.

Капітальні вкладення у вдосконалену установку визначали з урахуванням витрат на придбання матеріалів, комплектуючих виробів, виготовлення нових деталей, доставку їх та монтаж по питомим витратам на один кілограм пристроїв аналогічної конструкції і призначення:

$$K_{\delta} = k_{\text{шт}} G_{\delta}, \quad (5.1)$$

де $k_{\text{шт}}$ - питома ціна одного кілограму конструкції промислових пастеризаційних установок, $k_{\text{шт}} = 350 \dots 400$ грн/кг;

G_{δ} - маса пастеризаційної установки з ГД нагрівачем, яка впроваджується, кг.

Експлуатаційні витрати в порівнюваних варіантах являють собою прямі поточні витрати, які визначалися за формулою:

$$I_e = Z_{\text{п}} + Z_e + A + T_{\text{р}} + \Pi, \quad (5.2)$$

де $Z_{\text{п}}$ - витрати на оплату праці оператора пастеризаційної установки, грн.;

Z_e - витрати на електроенергію, грн.;

A - амортизаційні відрахування, грн.;

$T_{\text{р}}$ - витрати на ремонт і технічне обслуговування, грн.;

Π - інші витрати, грн.

Інші витрати включають витрати на мастило, воду і хімікати для промивання установки, обтиральні матеріали та ін. Вони рівні в порівнюваних варіантах і в подальших розрахунках не враховувалися.

Витрати на оплату праці з нарахуваннями розраховувалися за формулою:

$$Z_{\text{п}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})(1 + N_{\text{від}}), \quad (5.3)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ - додаткова оплата праці, грн.;

$N_{\text{від}}$ - норматив відрахувань на соціальні потреби [25];

Основна оплата праці визначалася за формулою:

$$Z_{\text{осн}} = \sum c_{\text{тар } i} \cdot Z_{\text{тр}} \cdot L, \quad (5.4)$$

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $c_{\text{тар } i}$ - погодинна тарифна ставка обслуговуючого персоналу по i -тому розряду робіт, грн./год;

$Z_{\text{тр}}$ - витрати праці на пастеризацію молока, год;

L - кількість обслуговуючого персоналу, люд.

Визначення додаткової оплати праці здійснювалося по формулі:

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

де $\rho_{\text{дод}}$ - коефіцієнт, який враховує добавки до зарплати за класність, премії, виконання додаткових обов'язків і ін [25].

Витрати праці на обслуговування установки в рік знаходили за формулою:

$$Z_{\text{тр}} = n_{\text{р}} \cdot t_{\text{д}} + n_{\text{нр}} \cdot t_{\text{нр}}, \quad (5.6)$$

де $n_{\text{р}}$ і $n_{\text{нр}}$ - кількість повних і неповних (суботніх і передсвяткових) робочих днів в році.

$t_{\text{д}}$ і $t_{\text{нр}}$ - тривалість повного і неповного робочих днів, год.

Критерієм економічної оцінки ефективності порівнюваних варіантів пастеризації молока слугували наведені витрати:

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

де e - нормативний коефіцієнт окупності капвкладень;

K - капвкладення по порівнюваних варіантах, грн.

Відрахування на амортизацію і ремонт пастеризаційних установок визначалися за формулами:

$$A = \frac{K \cdot \alpha}{100} \quad \text{і} \quad T_{\text{р}} = \frac{K \cdot r}{100}, \quad (4.8)$$

де α і r - нормативи амортизаційних і ремонтних відрахувань в % від балансової вартості установки.

Питомі капітальні вкладення знаходили за виразом:

$$K_{\text{уд}} = K / M_{\text{г}}, \quad (5.9)$$

де $M_{\text{г}}$ - річне виробництво пастеризованого молока, т.

Далі розраховували чистий річний прибуток від використання вдосконаленої пастеризаційної установки в умовах молокоприймального пункту (при однаковій якості продукції в порівнюваних варіантах) за формулою [25]:

$$E_{\text{г}} = (P_{\text{еб}} - P_{\text{ен}}) - H, \quad (5.10)$$

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де H - загальна сума податків і платежів, які приходяться балансовий прибуток від використання нової машини, грн.

Термін окупності витрат на нову пастеризаційну установку визначається по формулі:

$$T_{ок} = \frac{K_H}{E_T}, \quad (5.11)$$

Розрахункові показники порівнюваних варіантів зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків основних питомих показників порівнюваних варіантів використання пастеризаційних установок в умовах молокоприймального пункту

Порівнювані варіанти	Питомі показники варіантів				
	$K_{уд}$, грн/т	$Z_{пр}$, люд.-год/т	Z_n , грн/т	Z_c , грн/т	$A + T_p$, грн/т
Базовий	123,19	2,08	62,40	62,11	39,67
Ймовірний	82,83	1,25	37,44	62,11	26,67

Результати розрахунку основних показників ефективності впровадження результатів дослідження пастеризаційної установки з ГД нагрівачем представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Основні економічні показники впровадження результатів дослідження пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем молока

№ п/п	Показники	Порівнювані пастеризовані установки	
		базова ПМР-02	удосконалена
1	Капітальні вкладення, тис. грн.	139,2	93,6
2	Обсяги обробки молока, т/рік	1130	1130
3	Витрати праці на пастеризацію, люд.-год/т	2,08	1,25
4	Зниження витрат праці в %	-	40
5	Вартість електроенергії, грн/рік	70188	70188
6	Амортизаційні відрахування, грн/рік	19766,4	13291,2
7	Відрахування на поточний ремонт, грн/рік	25056	16848
8	Експлуатаційні витрати, грн/рік	195707	150676
9	Зниження експлуатаційних витрат, %	-	23
10	Наведені витрати, грн/рік	216587	164716
11	Чистий річний прибуток, грн	-	39442
12	Термін окупності установки, років	-	1,37

ВИСНОВКИ

1. Поширені в даний час парові пастеризаційні установки непрямого нагріву мають низький коефіцієнт корисної дії (55...60%) і високу енергоємність, застосування їх в технології первинної обробки молока в умовах малих господарських формувань пов'язане зі значними додатковими витратами для отримання пару, перекачування рідин, установки витяжних систем і складної автоматики, через що краще пастеризаційні установки з нагрівачами прямого впливу на молоко, до яких відносяться і гідродинамічні нагрівачі.

2. Пастеризація молока в установці з гідродинамічним нагрівачем обумовлена дисипацією механічної енергії приводу її гідродинамічного нагрівача за рахунок сил тертя молока об стінки проточних каналів і сил в'язкості при впливі на нього лопаток ротора і корпусу нагрівача. Процес нагріву молока в ній здійснюється від центру потоку його в проточній частині до стінок корпусу гідродинамічного нагрівача, через що пристінний шар молока знаходиться в гірших умовах пастеризації. Різниця температур нагрівання його досягає 5°C і може бути знижена зменшенням товщини пристінного шару за рахунок підвищення температури пастеризації молока. Для зменшення мікрофлори в пристінному шарі молока температура його пастеризації повинна бути не нижче 65°C.

3. Перебіг молока в проточній частині теплових апаратів пастеризаційної установки носить турбулентний характер з переходом в ламінарний в пристінному граничному шарі. Найбільш інтенсивний потік молока в проточній частині гідродинамічного нагрівача. Він характеризується наявністю вихорів в комірках ротора і корпусу, а також різкими змінами напрямку руху і швидкості. Співвідношення окружної швидкості молока на рівні центру потоку до осьової перевищує 10. Окружна швидкість потоку для підвищення дисипації енергії приводу в теплову повинна бути близька до кавітаційної.

4. Нагрівання молока до температур пастеризації, що подається в установку, супроводжується зниженням щільності його на 4,1%, а кінематичної в'язкості – в 2,5 рази, що відбивається і на зменшенні показників змочуваності їх деталей пастеризаційної установки: крайового кута змочування і питомої енергії

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

адгезії на межі середовищ «молоко-деталь» на 20...35%. Ця зміна найбільш різка в області низьких температур молока (5...40°C).

5. Гідродинамічний нагрівач, витримувач і регенератор, які входять до складу пастеризаційної установки, повинні бути утеплені, що підвищує її ККД та економить 2,7% потужності приводу. Доцільний монтаж витримувача безпосередньо в корпусі нагрівача.

6. За результатами досліджень раціональний наступний тепловий режим роботи пастеризаційної установки:

- вихідна температура молока, що пастеризується - 4...10°C;
- температура пастеризації - 75°C;
- температура регенерації - 60 ... 61°C;
- температура охолодженого пастеризованого молока - 4...5°C.

В цьому режимі витрати часу на розгін установки продуктивністю 0,6 т/год не перевищують 6...7 хвилин, протягом яких тепловіддача в гідродинамічному нагрівачі знижується в 1,8 рази.

7. Процес роботи пастеризаційної установки в такому тепловому режимі обробки молока повинен здійснюватися при:

- окружній швидкості обертання ротора нагрівача - 23 м/с;
- радіальному зазорі ротор-корпус в ньому - 1,5...2 мм;
- радіусі комірок - в межах 14...16 мм;
- перепаді температур на виході і вході в нагрівач - 14...15°C;

Частка, що вноситься в критерій пастеризації R_a при цьому становить: нагрівачем – 0,16, регенератором – 0,24, а витримувачем – 0,6 при коефіцієнті регенерації 0,8 ... 0,82. Це забезпечує питому продуктивність установки 180...210 кг/год, а тепла потужність - 8...8,2 МДж/год на сантиметр довжини ротора діаметром 0,153 м при потужності приводу нагрівача близько 10 кВт.

8. Чистий річний прибуток від впровадження удосконаленої пастеризаційної установки з гідродинамічним нагрівачем в розрахунку на один сільський молокоприймальних пункт, організований районним молочним заводом, може скласти до 40 неоподатковуваних мінімумів доходів громадян при терміні окупності капітальних вкладень 1,37 року.

					КРМ.133ГМмд_24.11.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		