

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

на тему:

Удосконалення технологічного процесу обробки молока

на фермі великої рогатої худоби

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-1-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Підстрела Євген Сергійович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

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

Кафедра інжинірингу технічних систем

Рівень вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інжинірингу технічних систем.
(назва кафедри)
доцент
(вчене звання)
Дудін В.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«05» травня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Підстрела Євген Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Удосконалення технологічного процесу обробки молока на фермі великої рогатої худоби

керівник проєкту Івлєв Віталій Володимирович, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«05» травня 2026 року № 912

2. Строк подання здобувачем проєкту 07.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: ферма великої рогатої худоби на 400 корів зі шлейфом; безприв'язне утримання тварин; технологічна лінія доїння та первинної обробки молока; доїльна установка, молокопровід, фільтр, охолоджувач, пастеризаційно-охолоджувальна установка і резервуар для зберігання молока.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Модернізація процесу доїння корів. 3. Удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема процесу обробки молока. 2. План молочної. 3. Охолоджувач води природним льодом. 4. Деталювання. 5. Охорона праці. 6. Техніко-економічні показники.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Івлєв В.В., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 05.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2026 р.	
2	Теоретичний	до 15.04.2026 р.	
3	Експериментальний	до 30.04.2026 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2026 р.	
5	Економічний	до 22.05.2026р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2026 р.	

Здобувач

(підпис)

Підстрела Є.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Івлєв В.В.

(прізвище та ініціали)

Зміст

ВСТУП.....	7
1 Аналіз стану питання	9
1.1 Огляд технологій доїння корів.....	9
1.2 Технологічні схеми ліній первинної обробки молока.....	12
1.3 Аналіз конструкцій обладнання для теплової обробки молока	16
1.4 Висновки до розділу	20
2 Модернізація процесу доїння корів.....	22
2.1 Вихідні дані та зоотехнічні вимоги	22
2.2 Розробка технологічної схеми процесу	24
2.3 Розрахунок технічних та технологічних параметрів процесу доїння.....	27
2.4 Розрахунок обладнання для обробки молока.....	29
2.5 Висновки до розділу	32
3 Удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки.....	34
3.1 Обґрунтування необхідності удосконалення	34
3.2 Вихідні дані.....	36
3.3 Розробка варіанту удосконалення	38
3.4 Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів	41
3.5 Висновки до розділу	46
4 Охорона праці.....	47
4.1 Загальні вимоги охорони праці при доїнні корів.....	47
4.2 Вимоги охорони праці при роботі пастеризаційно-охолоджувальною установкою.....	49
4.3 Висновки до розділу	53
5 Техніко-економічна оцінка.....	54
5.1 Вихідні дані.....	54
5.2 Результати економічної оцінки.....	55
5.3 Висновки до розділу	57
Загальні висновки.....	58
Бібліографія.....	59
Додатки.....	61

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт виконано на тему: «Удосконалення технологічного процесу обробки молока на фермі великої рогатої худоби».

У роботі розглянуто питання організації технологічного процесу доїння, первинної обробки, пастеризації, охолодження та зберігання молока на фермі великої рогатої худоби. Проведено аналіз існуючих технологій доїння корів, технологічних схем ліній первинної обробки молока та обладнання для теплової обробки молочної сировини [1; 2].

Для ферми на 400 корів зі шлейфом обґрунтовано технологічну схему процесу доїння та обробки молока за умов безприв'язного утримання. Визначено основні технічні й технологічні параметри процесу, підібрано обладнання для доїння, фільтрації, охолодження, пастеризації та зберігання молока [3; 4].

У конструктивній частині запропоновано удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки шляхом використання охолодження води природним льодом. Таке рішення спрямоване на зниження витрат електроенергії, підвищення ефективності охолодження та забезпечення стабільної якості молока після теплової обробки [5; 6].

У розділі охорони праці розглянуто вимоги безпеки під час доїння корів і роботи з пастеризаційно-охолоджувальною установкою. Виконано техніко-економічну оцінку запропонованого удосконалення, яка підтвердила доцільність його впровадження у виробничих умовах молочнотоварної ферми [7].

Ключові слова: молоко, доїння, первинна обробка, пастеризація, охолодження, пастеризаційно-охолоджувальна установка, природний лід, ресурсозбереження, ферма великої рогатої худоби.

ВСТУП

Молочне скотарство є однією з важливих галузей аграрного виробництва, яка забезпечує населення цінною харчовою продукцією та є основою для розвитку переробної промисловості. Якість молока значною мірою формується безпосередньо на фермі, тому важливе значення мають правильна організація доїння, первинної обробки, охолодження, пастеризації та зберігання молока [1; 2]. Недотримання технологічних і санітарних вимог призводить до зниження якості продукції, збільшення втрат і погіршення економічних показників роботи ферми.

У сучасних умовах особливої актуальності набуває впровадження енергоощадних і ресурсозберігаючих технологій у процесах обробки молока. Значна частина витрат на фермах пов'язана з охолодженням, нагріванням, транспортуванням і зберіганням молока, тому удосконалення пастеризаційно-охолоджувального обладнання дозволяє підвищити ефективність виробництва, зменшити енергетичні витрати та забезпечити стабільну якість молочної сировини [5; 6].

Тема дипломного проєкту - «Удосконалення технологічного процесу обробки молока на фермі великої рогатої худоби» - є актуальною, оскільки спрямована на покращення технологічної лінії первинної обробки молока, підвищення надійності роботи обладнання та зниження витрат енергії під час теплової обробки й охолодження молока.

Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності технологічного процесу обробки молока на фермі великої рогатої худоби шляхом удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки та раціонального вибору обладнання для доїння, транспортування, теплової обробки й зберігання молока.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: провести аналіз існуючих технологій доїння та первинної обробки молока; розглянути технологічні схеми ліній обробки молока на фермах; обґрунтувати технологічну схему процесу для ферми на 400 корів зі шлейфом; визначити основні технічні та технологічні параметри процесу доїння й обробки молока; розробити варіант удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки; розглянути

питання охорони праці під час доїння корів і роботи з обладнанням; виконати техніко-економічну оцінку запропонованого удосконалення.

Об'єктом дослідження є технологічний процес обробки молока на фермі великої рогатої худоби.

Предметом дослідження є параметри роботи обладнання для доїння, первинної обробки, пастеризації, охолодження та зберігання молока.

У дипломному проєкті запропоновано удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки, яке передбачає використання охолодження води природним льодом. Таке рішення дозволяє зменшити витрати електроенергії на охолодження, підвищити ефективність використання природних ресурсів і забезпечити необхідні температурні режими обробки молока.

Практичне значення роботи полягає у можливості застосування запропонованих технічних і технологічних рішень на молочнотоварних фермах для підвищення якості молока, зменшення експлуатаційних витрат і поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу.

1 Аналіз стану питання

Молоко належить до швидкопсувної сировини, тому якість готової продукції значною мірою формується не тільки під час переробки, а вже на етапах доїння, транспортування молока по фермі, фільтрування, охолодження, короткочасного зберігання та теплової обробки. Після видоювання молоко має температуру, близьку до температури тіла тварини, містить природну мікрофлору та може додатково забруднюватися через доїльне обладнання, повітря, молокопроводи, фільтри, приймальні ємності та порушення санітарного режиму. Тому технологічний процес обробки молока на фермі великої рогатої худоби повинен забезпечувати безперервність руху продукту, мінімальний контакт із навколишнім середовищем, швидке охолодження, санітарну надійність обладнання та енергоощадне виконання операцій [1; 5].

Для сучасної молочнотоварної ферми первинна обробка молока є складовою єдиного технологічного ланцюга: підготовка корови до доїння, видоювання, контроль перших цівок, транспортування молока закритими трубопроводами, очищення від механічних домішок, охолодження, зберігання у резервуарі та передача на переробку або реалізацію. Якщо на фермі передбачена власна переробка або знезараження молока для технологічних потреб, до цього ланцюга додається тепла обробка. Саме на стадії теплової обробки виникають найбільші витрати теплоти й електроенергії, тому актуальним напрямом удосконалення є застосування рекуперації теплоти, раціонального компонування теплообмінних секцій, теплоізоляції та автоматичного регулювання температурних режимів [2; 3].

Мета аналізу стану питання полягає у визначенні особливостей існуючих технологій доїння, схем первинної обробки молока та конструкцій обладнання для теплової обробки, а також у встановленні напрямів удосконалення технологічного процесу з погляду якості молока, продуктивності, санітарної безпеки та ресурсозбереження.

1.1 Огляд технологій доїння корів

Доїння є початковою операцією технологічного процесу отримання молока. Його якість впливає на бактеріальне обсіменіння, кількість соматичних клітин,

механічну забрудненість і подальшу стабільність молока під час охолодження та теплової обробки. При неправильній організації доїння збільшується тривалість контакту молока з повітрям, виникають коливання вакууму, погіршується робота дійкової гуми, підвищується ризик травмування дійок і розвитку маститу. Тому технологію доїння потрібно розглядати не ізольовано, а як перший елемент лінії первинної обробки молока [2; 3].

За способом переміщення молока від корови до молочного приміщення розрізняють доїння у переносні відра або бідони, доїння в молокопровід, доїння у доїльних залах різних типів та роботизоване доїння. Найпростішою є система доїння у переносні відра. Вона має невисоку вартість і може застосовуватися у невеликих господарствах, однак потребує значних затрат ручної праці, має вищий ризик повторного забруднення молока під час переливання, фільтрування та транспортування до молочної. Така система менш придатна для ферм із високими вимогами до стабільної якості сировини [3; 4].

Доїння в молокопровід застосовується у прив'язному утриманні та дає змогу транспортувати молоко закритою системою без переливання у проміжні відкриті ємності. Основними елементами такої системи є вакуумна лінія, молокопровід, доїльні апарати, молокоприймальна група, молочний насос, фільтр і лінія подачі у танк-охолоджувач. Перевагою є зменшення ручних операцій та контактів молока з повітрям, а недоліком – необхідність ретельного промивання довгих трубопроводів і підтримання стабільного вакуумного режиму. У разі недостатньої швидкості руху мийного розчину або наявності застійних зон на внутрішніх поверхнях можуть накопичуватися білково-жирові відкладення [3; 4].

Доїльні зали типу «ялинка», «паралель», «тандем» і «карусель» характерні для ферм із безприв'язним утриманням. Вони забезпечують групове підведення тварин до доїльного місця, скорочують тривалість підготовчо-заклучних операцій і полегшують організацію санітарного контролю. У таких системах молоко відразу надходить у закритий молокопровід, після чого проходить через молокоприймальну групу, фільтр і охолоджувальне обладнання. Найбільш продуктивними є роторні установки, проте їх застосування доцільне за великої кількості корів і стабільного завантаження протягом доби [3; 4].

Роботизоване доїння є найбільш автоматизованим способом, при якому корова самостійно заходить до доїльного боксу, а система виконує ідентифікацію тварини, підготовку дійок, приєднання доїльних стаканів, контроль молоковіддачі та зняття апарата. Перевагами є зменшення ручної праці, накопичення індивідуальних даних щодо надоїв і здоров'я вимені, можливість підвищення частоти доїння. Обмеженнями залишаються висока вартість, потреба у сервісному обслуговуванні, вимоги до планування приміщень і необхідність якісної підготовки персоналу.

Незалежно від типу доїльної системи, до обладнання висувають спільні вимоги: молочні поверхні мають бути гладкими, корозійностійкими, без щілин і важкодоступних з'єднань; гумові елементи необхідно своєчасно замінювати; після кожного доїння потрібно виконувати промивання і дезінфекцію. Належна санітарна обробка важлива тому, що залишки молока на поверхнях є поживним середовищем для розвитку мікроорганізмів, а їх накопичення підвищує бактеріальне забруднення наступних партій молока [3; 4].

Отже, з погляду подальшої первинної обробки молока найбільш раціональними для середніх і великих ферм є системи закритого транспортування молока: молокопровід або доїльна зала з прямим надходженням молока до молочної. Вони знижують втрати, зменшують ризик забруднення та полегшують включення в технологічний ланцюг фільтрів, попередніх охолоджувачів, танків-охолоджувачів і пастеризаційного обладнання [3; 4].

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика основних технологій доїння корів

Технологія доїння	Переваги	Недоліки та умови застосування
Доїння у переносні відра або бідони	Невисока вартість обладнання; простота обслуговування; можливість використання у малих господарствах.	Висока трудомісткість; контакт молока з повітрям і тарою; потреба у ручному перенесенні та переливанні; складніше забезпечити стабільну санітарну якість.

Доїння у молокопровід	Закрите транспортування молока; менше ручних операцій; можливість прямої подачі до фільтра і танка-охолоджувача.	Потреба у якісному промиванні трубопроводів; залежність від стабільності вакууму; доцільне для прив'язного утримання або реконструкції наявних корівників.
Доїльна зала	Вища продуктивність праці; краща організація підготовки вимені; зручність контролю якості молока; добра сумісність із закритими лініями охолодження.	Потребує перепланування руху тварин; більші капітальні витрати; ефективна при достатній чисельності стада та ритмічній роботі персоналу.
Роботизоване доїння	Максимальна автоматизація; індивідуальний облік надоїв; зменшення ручної праці; можливість частішого доїння.	Висока вартість; вимоги до сервісу, електропостачання, навчання персоналу та адаптації тварин.

1.2 Технологічні схеми ліній первинної обробки молока

Первинна обробка молока на фермі – це сукупність операцій, які виконують відразу після доїння з метою збереження природних властивостей сировини, зменшення бактеріального розвитку і підготовки молока до транспортування або подальшої переробки. Типова лінія включає приймання молока з доїльної установки, фільтрування, облік кількості, охолодження, зберігання і санітарне

промивання обладнання. За наявності власної переробки до лінії вводять пастеризаційну установку, резервуар для нормалізації або витримування, а також додатковий контур охолодження після теплової обробки [1; 5].

Найпростішою схемою є лінія з доїнням у відра, ручним переливанням через фільтр і охолодженням у флягах або невеликому резервуарі. Така схема технічно проста, однак має багато відкритих операцій, тому її доцільність обмежується малими господарствами. За збільшення поголів'я і добового надою важливо перейти до закритого транспортування молока, оскільки воно дає змогу скоротити тривалість переміщення продукту, зменшити ручні операції і стабілізувати санітарний стан лінії.

Поширеною для реконструйованих молочнотоварних ферм є схема: доїльний апарат – молокопровід – молокоприймальна група – молочний насос – фільтр – пластинчастий або трубчастий охолоджувач – танк-охолоджувач – молоковоз. У цій схемі молоко не контактує з відкритим повітрям, а основними контрольними точками є вакуумний режим, герметичність з'єднань, чистота фільтрувальних елементів, температура після охолоджувача і температура зберігання у резервуарі.

Для ферм, де передбачене часткове знезараження молока або власна реалізація продукції, схема доповнюється тепловою обробкою. У цьому випадку після попереднього зберігання молоко подається з балансувального бачка у пастеризатор, проходить нагрівання до заданої температури, витримування, охолодження і надходить у чистий резервуар. Важливо розділяти потоки сирого і пастеризованого молока, щоб уникнути повторного забруднення продукту після теплової обробки.

Згідно з чинними вимогами до безпечності та якості молока, молоко після доїння необхідно швидко переміщувати до чистого приміщення, а за щоденного збору охолоджувати до температури не вище ніж 8 °C; якщо збір відбувається рідше одного разу на добу – до температури не вище ніж 6 °C. Для сирого молока, яке вводиться в обіг як харчовий продукт без термічної обробки, після доїння встановлено охолодження до температури не вище ніж 6 °C. Отже, холодильна частина лінії є обов'язковою не тільки з технологічного, а й з нормативного погляду [1].

Фільтрування молока призначене для видалення механічних домішок, але воно не знезаражує молоко. Тому фільтр не може замінити охолодження або пастеризацію. У сучасних лініях застосовують змінні дискові, рукавні або картриджні фільтри. Їх розміщують перед охолоджувачем або резервуаром, забезпечуючи легкий доступ для заміни. Забруднений фільтр збільшує гідравлічний опір, погіршує стабільність потоку і може стати джерелом мікробного забруднення, тому його необхідно замінювати відповідно до режиму доїння.

Охолодження є однією з ключових операцій первинної обробки. Воно може виконуватися безпосередньо у танку-охолоджувачі або у двоступеневій схемі: попереднє охолодження у пластинчастому теплообміннику водою, після чого остаточне охолодження у холодильному резервуарі. Двоступенева схема зменшує навантаження на холодильний агрегат, скорочує час виходу молока на задану температуру і дозволяє використовувати підігріту воду для технологічних потреб ферми, наприклад для напування тварин або попереднього підігрівання мийної води.

Танк-охолоджувач виконує функції накопичення, охолодження, підтримання температури і перемішування молока. Перемішування має бути достатнім для вирівнювання температури та запобігання відстоюванню жиру, але без інтенсивного збивання, яке може пошкоджувати жирові кульки. Важливими параметрами резервуара є місткість, швидкість охолодження першої порції молока, теплова ізоляція, наявність автоматичного промивання, точність контролю температури та зручність санітарного обслуговування.

У лініях первинної обробки молока доцільно передбачати CIP-мийку, тобто циркуляційне промивання обладнання без розбирання. Така система зменшує трудомісткість санітарної обробки, забезпечує повторюваність режиму миття і дає змогу контролювати температуру, концентрацію мийного розчину та тривалість циркуляції. Для трубопроводів і пастеризаційного обладнання особливо важливі відсутність застійних зон, правильні ухили, достатня швидкість руху мийного розчину і можливість повного зливу.

На рисунковому рівні узагальнену схему первинної обробки молока можна подати так: корова – доїльний апарат – молокопровід – молокоприймальна група –

молочний насос – фільтр – попередній охолоджувач – танк-охолоджувач – пастеризатор або молоковоз. Удосконалення такої схеми доцільно спрямовувати на зменшення кількості відкритих переходів, скорочення довжини трубопроводів, автоматичний контроль температури, підвищення ефективності теплообміну і використання вторинної теплоти.

Таблиця 1.2 – Основні операції лінії первинної обробки молока на фермі

Операція	Призначення	Обладнання та контрольні параметри
Приймання молока з доїльної установки	Передача молока від доїльних апаратів до молочної з мінімальним контактом із повітрям.	Молокопровід, молокоприймальна група, вакуумна система; контроль герметичності, вакууму, відсутності підсосу повітря.
Фільтрування	Вилучення механічних домішок і захист наступного обладнання від забруднення.	Молочний фільтр, змінні фільтрувальні елементи; контроль стану фільтра, перепаду тиску, своєчасної заміни.
Охолодження	Сповільнення розвитку мікрофлори та збереження якості молока до транспортування чи переробки.	Пластинчастий охолоджувач, холодильний агрегат, танк-охолоджувач; контроль температури молока, часу охолодження, чистоти теплообмінних поверхонь.
Зберігання	Накопичення молока до моменту вивезення або подачі на теплову обробку.	Ізотермічний резервуар з мішалкою; контроль температури, перемішування, санітарного стану і герметичності кришки.

Теплова обробка	Знезараження молока і підготовка до реалізації, переробки або технологічного використання.	Пастеризатор, витримувач, теплообмінник; контроль температури, часу витримування, тиску і розділення потоків сирого та пастеризованого молока.
Санітарне промивання	Видалення залишків молока, мінеральних і жирових відкладень, зниження мікробного забруднення.	CIP-станція, мийні розчини, гаряча вода; контроль температури, концентрації, тривалості циркуляції та повного зливу.

1.3 Аналіз конструкцій обладнання для теплової обробки молока

Теплова обробка молока на фермі застосовується для зниження мікробного обсіменіння, підвищення безпечності продукту і продовження строку його зберігання. Вона може бути потрібною для реалізації пастеризованого молока, виробництва кисломолочних продуктів, підготовки молока до виготовлення сиру або знезараження несортного молока для випоювання телят. Вибір обладнання залежить від добового обсягу молока, необхідного режиму нагрівання, наявності пари або електроенергії, вимог до автоматизації, санітарної обробки та енергоефективності [5; 6].

За характером роботи пастеризаційне обладнання поділяють на періодичне і безперервне. До періодичного належать ванни тривалої пастеризації та ємнісні пастеризатори з водяною або паровою сорочкою. У них молоко нагрівається у резервуарі, витримується заданий час, після чого охолоджується. Такі апарати прості за конструкцією, але мають значну тривалість циклу, нижчу продуктивність, більші питомі витрати енергії та складнішу організацію швидкого охолодження великої партії.

Безперервні пастеризатори забезпечують рух молока потоком через теплообмінні секції. Найчастіше застосовують пластинчасті, трубчасті та

комбіновані установки. У пластинчастому пастеризаторі теплообмін відбувається через тонкі гофровані пластини, між якими чергуються канали для молока і теплоносія. Завдяки великій площі поверхні та турбулізації потоку пластинчасті апарати мають високий коефіцієнт теплопередачі, компактні габарити і добре підходять для режимів швидкого нагрівання та охолодження.

Трубчасті пастеризатори складаються з пучків труб або коаксіальних каналів, у яких молоко переміщується всередині труб, а теплоносії рухається у міжтрубному просторі або навпаки. Вони менш чутливі до механічних домішок і підходять для продуктів із підвищеною в'язкістю, однак займають більше місця і зазвичай мають нижчу питому площу теплообміну порівняно з пластинчастими. Для звичайного питного молока на фермі перевагу часто має пластинчастий теплообмінник, оскільки він компактніший і зручніший для рекуперації.

Типовий безперервний пастеризатор складається з балансувального бачка, живильного насоса, секції регенеративного нагрівання, секції остаточного нагрівання гарячою водою або парою, витримувача, секції регенеративного охолодження, секції остаточного охолодження, системи автоматичного контролю температури і перепускного клапана. Якщо молоко не досягло заданої температури пастеризації, автоматичний клапан повертає його на повторну обробку. Це забезпечує технологічну надійність і зменшує ризик потрапляння недостатньо обробленого молока у готовий потік [6].

Найважливішим напрямом ресурсозбереження у тепловій обробці є рекуперація теплоти. Сутність її полягає у тому, що гаряче пастеризоване молоко, яке виходить із витримувача, віддає частину теплоти холодному сирому молоку, що тільки надходить у пастеризатор. У результаті сире молоко попередньо нагрівається, а пастеризоване одночасно попередньо охолоджується. Це скорочує витрати гарячої води або пари на нагрівання і зменшує навантаження на холодильну систему після пастеризації. У сучасних пластинчастих пастеризаторах ефективність регенерації може досягати дуже високих значень, тому саме регенеративна секція визначає економічність роботи установки [6].

Крім рекуперації теплоти, енергозбереження забезпечується якісною теплоізоляцією трубопроводів і витримувача, застосуванням частотного

регулювання насосів, мінімізацією холостих прогонів, стабілізацією витрати молока, автоматичним підтриманням температури теплоносія, правильним підбором площі теплообміну та своєчасним видаленням накипу й білково-жирових відкладень. Забруднення теплообмінної поверхні збільшує термічний опір, погіршує теплопередачу, підвищує витрати енергії та може призвести до нестабільного режиму пастеризації.

Пастеризатори з електричним нагріванням прості в монтажі та не потребують парової котельні, тому можуть бути зручними для малих ферм. Проте при великих обсягах молока їх експлуатаційні витрати залежать від тарифу на електроенергію, а потужність нагрівачів має забезпечувати швидкий вихід на режим. Парові або водогрійні системи доцільні для більших обсягів, особливо якщо на фермі вже є котельня або джерело теплоти. Водночас такі системи потребують додаткових елементів безпеки, контролю тиску та обслуговування теплоносія.

Окрему групу становлять пастеризатори для випоювання телят. Вони призначені для знезараження молока, яке не може бути реалізоване як товарне, але допускається для використання у годівлі після термічної обробки відповідно до ветеринарних вимог. Для таких установок важлива не тільки температура, а й зручність промивання, стійкість до коливань якості молока, можливість роботи з невеликими партіями та безпечне охолодження до температури випоювання.

При виборі конструкції пастеризатора для ферми ВРХ необхідно враховувати добовий надій, кратність доїння, пікову годинну подачу молока, потребу у зберіганні, наявність холодильного обладнання і можливість санітарного розділення сирогої та пастеризованої зон. Обладнання повинно бути виготовлене з матеріалів, дозволених для контакту з харчовими продуктами, мати мінімальну кількість застійних ділянок, забезпечувати повний злив молока і мийних розчинів, а також бути придатним для циркуляційного промивання.

Аналіз конструкцій показує, що для удосконалення технологічного процесу обробки молока найбільш перспективною є модернізація проточного пастеризаційного обладнання з регенеративним теплообміном. Порівняно з періодичними ваннами така система має вищу продуктивність, стабільніший температурний режим, кращі умови автоматизації та менші питомі витрати енергії.

Конструктивне удосконалення може бути спрямоване на підвищення ефективності регенеративної секції, покращення теплоізоляції, зменшення втрат під час пуску і зупинки, оптимізацію мийного контуру та підвищення надійності контролю температури.

Таблиця 1.3 – Порівняння основних конструкцій обладнання для теплової обробки молока

Тип обладнання	Характеристика конструкції	Оцінка для умов ферми ВРХ
Ванна тривалої пастеризації	Ємність із сорочкою нагрівання, мішалкою і кришкою; молоко обробляється партіями.	Проста та відносно недорога, але має низьку продуктивність, значні теплові втрати і тривалий цикл; доцільна для малих обсягів.
Електричний ємнісний пастеризатор	Нагрівання здійснюється ТЕНами або через водяну сорочку; керування температурою автоматизоване частково або повністю.	Зручний для малих ферм без парового господарства; енерговитрати залежать від тарифу і завантаження; складніше реалізувати рекуперацію.
Пластинчастий проточний пастеризатор	Набір гофрованих пластин утворює канали для молока, теплоносія і охолоджувача; можливе компонування регенеративних секцій.	Найбільш придатний для енергоощадної обробки питного молока; компактний, продуктивний, добре автоматизується, потребує якісного фільтрування і СІР-миття.
Трубчастий пастеризатор	Молоко рухається трубами, теплоносій – у	Доцільний для в'язких або забруднених продуктів; для

	міжтрубному просторі; конструкція стійкіша до продуктів із підвищеною в'язкістю.	звичайного молока часто має більші габарити і нижчу компактність порівняно з пластинчастим.
Комбінована установка з регенерацією	Містить секції регенеративного нагрівання та охолодження, витримувач, клапани безпеки і автоматичне керування.	Оптимальний напрям удосконалення: знижує витрати теплоти й холоду, стабілізує режим і підвищує якість теплової обробки.

1.4 Висновки до розділу

У першому розділі встановлено, що якість молока формується на всіх етапах технологічного ланцюга: від підготовки корови до доїння до охолодження, зберігання і теплової обробки. Найбільш небезпечними з погляду погіршення якості є відкриті переходи, тривале перебування молока за підвищеної температури, забруднені молочні поверхні та нестабільна робота охолоджувального обладнання.

Порівняння технологій доїння показало, що для середніх і великих ферм ВРХ доцільними є системи закритого транспортування молока: молокопровід або доїльна зала. Вони забезпечують менший контакт молока з повітрям, знижують трудомісткість і створюють передумови для автоматизованого фільтрування, охолодження, обліку та санітарного промивання [3; 4].

Аналіз ліній первинної обробки молока підтвердив, що обов'язковими операціями повинні бути фільтрування, швидке охолодження, зберігання у теплоізолюваному резервуарі та якісне СІР-промивання. Фільтр виконує лише механічне очищення, тому не може замінити охолодження або теплову обробку. Температурний режим після доїння є одним з головних контрольних параметрів роботи молочної.

Розгляд конструкцій обладнання для теплової обробки показав, що періодичні пастеризаційні ванни прості, але мають підвищені питомі витрати енергії та обмежену продуктивність. Для ферми, де необхідна стабільна якість і раціональне використання енергоресурсів, більш перспективними є проточні пастеризатори, насамперед пластинчастого типу.

Основним резервом ресурсозбереження у процесі теплової обробки молока є рекуперація теплоти між гарячим пастеризованим і холодним сирим молоком. Застосування регенеративної секції дає змогу одночасно зменшити потребу в нагріванні та охолодженні, стабілізувати температурний режим і скоротити експлуатаційні витрати.

Подальше удосконалення технологічного процесу обробки молока доцільно спрямувати на модернізацію пастеризаційного обладнання з підвищенням ефективності теплообміну, покращенням теплоізоляції, автоматизацією контролю температури, забезпеченням надійного розділення сирого і пастеризованого потоків та оптимізацією санітарного промивання.

2 Модернізація процесу доїння корів

2.1 Вихідні дані та зоотехнічні вимоги

Технологічний процес обробки молока на фермі великої рогатої худоби необхідно розглядати як єдину систему, що включає підготовку корів до доїння, машинне видоювання, транспортування молока закритим молокопроводом, очищення, охолодження, тимчасове зберігання та, за виробничої потреби, теплову обробку. Для ферми на 400 корів зі шлейфом доцільно застосовувати безприв'язне утримання з організацією доїння у спеціалізованому доїльному залі, оскільки така схема забезпечує кращу санітарну ізоляцію молока, скорочує ручні операції і створює умови для подальшої автоматизації первинної обробки.

Вихідні дані для розрахунку прийнято з урахуванням призначення ферми, дворазового доїння та необхідності швидкого охолодження молока після видоювання. Розрахункові показники наведено в таблиці 2.1. У разі уточнення фактичного середньодобового надою або графіка реалізації молока значення продуктивності обладнання коригують пропорційно до добового надходження молока.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку технологічного процесу

Показник	Позначення	Значення
Поголів'я корів, гол.	N_k	400
Спосіб утримання	—	безприв'язний
Кратність доїння за добу	i	2
Розрахунковий середньодобовий надій від однієї корови, кг	q_d	20
Температура молока після видоювання, °C	t_1	34...36
Температура охолодженого молока, °C	t_2	4...6
Тривалість технологічної зміни для теплової обробки, год	$T_{зм}$	8
Коефіцієнт резерву продуктивності обладнання	k_p	1,15...1,25
Густина молока, кг/м ³	ρ	1030
Питома теплоємність молока, кДж/(кг·°C)	c_m	3,9

Зоотехнічні вимоги до процесу доїння та первинної обробки молока спрямовані на збереження продуктивності тварин і якості молочної сировини.

Перед доїнням корови повинні подаватися до накопичувального майданчика спокійно, без стресового впливу. Підготовка вимені включає огляд, здоювання перших цівок, очищення та обсушування дійок. Тривалість від початку стимуляції до підключення доїльного апарата бажано підтримувати в межах часу активного рефлексу молоковіддачі.

Основні технологічні вимоги до доїння та обробки молока наведено в таблиці 2.2. Вони є базою для вибору типу доїльної установки, продуктивності молокопроводу, місткості резервуара-охолоджувача та продуктивності пастеризатора.

Таблиця 2.2 – Зоотехнічні та санітарно-технологічні вимоги до процесу

Операція	Основна вимога	Очікуваний результат
Подача тварин до доїльного залу	рівномірне переміщення груп без ударів, шуму та перевантаження проходів	зниження стресу і стабільна молоковіддача
Підготовка вимені	обов'язкове очищення, контроль перших цівок і обсушування дійок	зменшення бактеріального забруднення молока
Підключення апаратів	підключення після підготовки вимені без підсмоктування повітря	стабільний вакуум у доїльній системі
Машинне доїння	підтримання рівномірного вакуумного режиму та своєчасне зняття апаратів	повне видоювання без травмування дійок
Транспортування молока	рух молока закритим молокопроводом із мінімальною кількістю роз'ємів	обмеження вторинного забруднення
Очищення молока	фільтрування або відцентрове очищення від механічних домішок	підвищення товарної якості сировини

Охолодження	зниження температури молока до 4...6 °С у найкоротший допустимий строк	сповільнення розвитку мікрофлори
Теплова обробка	витримування заданого температурного режиму пастеризації	підвищення безпеки продукту або молока для вигодовування телят
Мийка обладнання	циркуляційна мийка молокопроводу, апаратів, фільтра, охолоджувача та резервуара	підтримання санітарного стану лінії

Для ферми на 400 корів найбільш раціональним є застосування групового доїння у залі типу «ялинка» або «паралель» на 24 доїльні місця. Такий варіант забезпечує допустиму тривалість одного доїння, не потребує надмірного збільшення кількості операторів і добре поєднується з молочним блоком, у якому розміщено фільтр, охолоджувач, резервуар-охолоджувач, пастеризатор та систему циркуляційного миття.

2.2 Розробка технологічної схеми процесу

Проектована технологічна схема передбачає послідовне виконання операцій від підготовки тварин до одержання охолодженого або пастеризованого молока. При безприв'язному утриманні корів процес починається з формування технологічних груп і подачі їх з секцій корівника до накопичувального майданчика перед доїльним залом. Після входу групи у доїльний зал оператори виконують підготовку вимені, підключають доїльні апарати, контролюють хід доїння та знімають апарати після зменшення інтенсивності молоковіддачі [2; 3].

Молоко від кожного доїльного поста надходить у молокопровід, далі через молокоприймальний вузол, фільтр і насос подається на охолодження. Для зменшення енергетичних витрат доцільно передбачити пластинчастий попередній

охолоджувач, у якому молоко перед резервуаром-охолоджувачем частково охолоджується водою. За необхідності переробки молока на фермі або підготовки молока для випоювання телят у схему включають пастеризатор з регенеративною секцією, де тепле пастеризоване молоко передає частину теплоти холодному вхідному молоку.

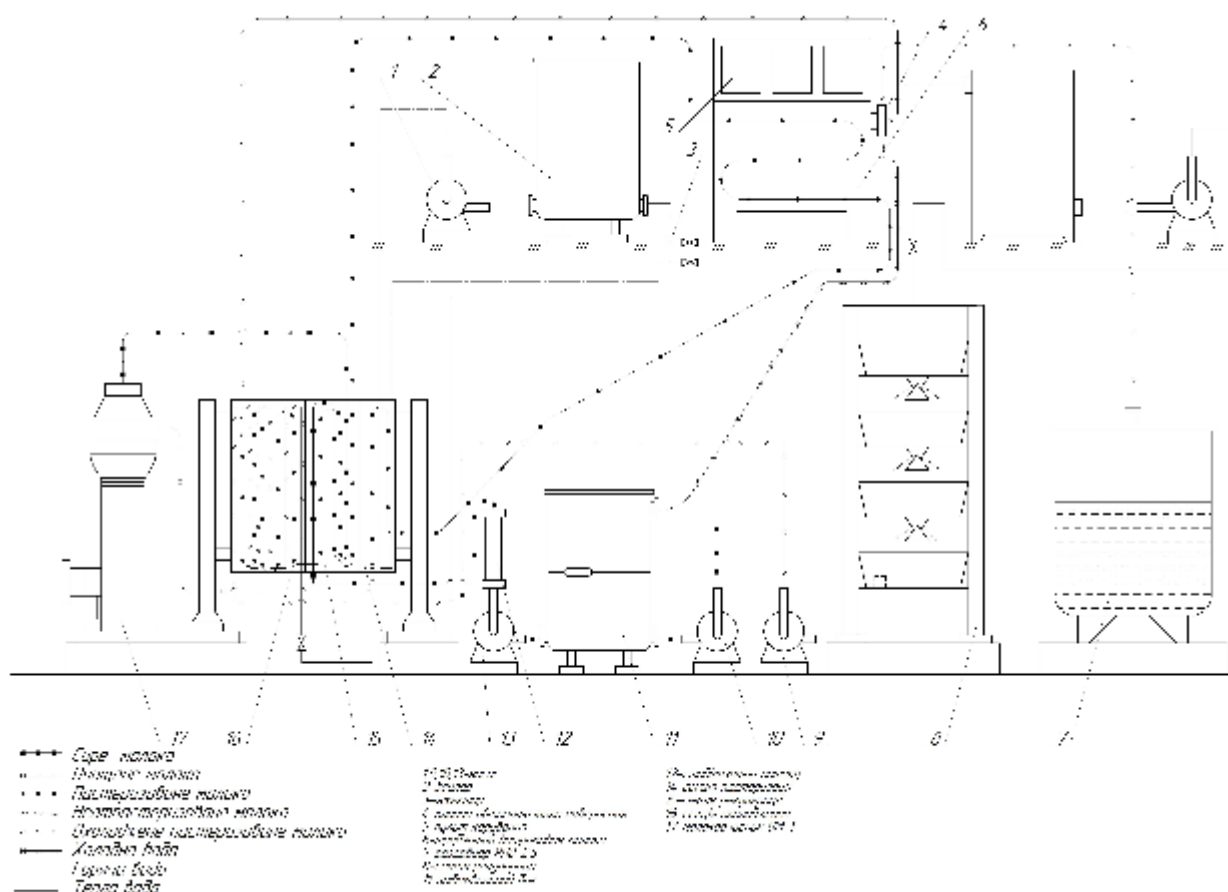


Рисунок 2.1 – Технологічна схема процесу первинної обробки молока

На рисунку 2.1 показано взаємозв'язок між доїльною установкою, молокопроводом, обладнанням для очищення, охолодження, пастеризації та резервуаром зберігання. Схема передбачає розділення потоків сирого, очищеного, пастеризованого та охолодженого молока, а також контурів холодної, теплої і гарячої води. Таке розділення дає змогу організувати регенеративний теплообмін і зменшити витрати енергії на нагрівання та охолодження.

У молочному блоці обладнання розміщується за принципом послідовності руху продукту: приймання молока від доїльної установки, очищення, охолодження, накопичення, теплова обробка та санітарне миття. Планування повинно забезпечувати короткі молокопроводи, зручний доступ до фільтрів і насосів,

можливість візуального контролю температури, а також відокремлення чистої зони від зони перебування тварин.

Запропонована технологічна лінія включає такі основні операції: підготовка корів до доїння; машинне доїння; транспортування молока молокопроводом; первинне фільтрування; облік кількості молока; попереднє охолодження; зберігання в резервуарі-охолоджувачі; пастеризація частини або всього добового обсягу; регенеративне охолодження; циркуляційне миття обладнання. Послідовність операцій наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технологічна послідовність процесу доїння та обробки молока

№	Операція	Обладнання	Контрольований параметр
1	Підведення групи корів до залу	накопичувальний майданчик, ворота, проходи	рівномірність руху групи
2	Підготовка вимені	мийні засоби, серветки, переддоїльні стакани	чистота дійок, відсутність домішок
3	Машинне доїння	доїльний зал 2×12, доїльні апарати, вакуумна система	вакуум, пульсація, тривалість доїння
4	Транспортування молока	молокопровід, молокоприймальний вузол	герметичність, швидкість потоку
5	Очищення молока	молочний фільтр або сепаратор-молокоочисник	ступінь затримання механічних домішок
6	Охолодження	пластинчастий охолоджувач, резервуар-охолоджувач	кінцева температура 4...6 °C
7	Тимчасове зберігання	резервуар-охолоджувач	температура, перемішування, санітарний стан
8	Пастеризація	пластинчастий або трубчастий пастеризатор з рекуперацією	температура і час витримки
9	Миття лінії	CIP-система, мийні насоси, баки розчинів	температура, концентрація і тривалість миття

Основним напрямом модернізації процесу є не тільки збільшення продуктивності обладнання, а й скорочення втрат теплоти. Тому в технологічній

схемі передбачено використання рекуперативного теплообміну в пастеризаторі. У регенеративній секції холодне молоко, що надходить на пастеризацію, попередньо нагрівається теплим пастеризованим молоком. Одночасно пастеризоване молоко попередньо охолоджується перед остаточним охолодженням. Це зменшує витрати гарячої води або пари та знижує навантаження на холодильну установку.

2.3 Розрахунок технічних та технологічних параметрів процесу доїння

Добовий обсяг молока визначається за кількістю корів і середньодобовим надоєм від однієї корови:

$$Q_d = N_k \cdot q_d \quad (2.1)$$

де Q_d – добовий обсяг молока, кг;

N_k – кількість корів, гол.;

q_d – середньодобовий надій від однієї корови, кг.

Підставляючи вихідні дані, одержуємо:

$$Q_d = 400 \cdot 20 = 8000 \text{ кг/добу.}$$

Обсяг молока за одне доїння за дворазового режиму становить:

$$Q_{дн} = Q_d / i \quad (2.2)$$

$$Q_{дн} = 8000 / 2 = 4000 \text{ кг.}$$

Для оцінки річного виробництва молока використовують залежність:

$$Q_p = Q_d \cdot 365 \quad (2.3)$$

$$Q_p = 8000 \cdot 365 = 2920000 \text{ кг} = 2920 \text{ т.}$$

Продуктивність доїльного залу визначається кількістю доїльних місць, тривалістю одного циклу доїння групи та коефіцієнтом використання робочого часу:

$$W_z = 60 \cdot m \cdot \varphi / \tau_{ц}$$

де W_z – продуктивність доїльного залу, корів/год;

m – кількість доїльних місць;

φ – коефіцієнт використання часу;

$\tau_{ц}$ – тривалість циклу доїння однієї групи, хв.

Для доїльного залу 2×12 приймаємо $m = 24$, $\tau_{ц} = 8$ хв, $\varphi = 0,85$. Тоді:

$$W_3 = 60 \cdot 24 \cdot 0,85 / 8 = 153 \text{ корів/год.}$$

Тривалість одного доїння стада дорівнює:

$$T_d = N_k / W_3 \quad (2.4)$$

$$T_d = 400 / 153 = 2,61 \text{ год.}$$

Одержане значення не перевищує допустимої тривалості одного доїння для ферми такого типу, тому доїльний зал 2×12 можна прийняти як основний варіант для технологічної схеми. Середня масова продуктивність молочного потоку під час одного доїння становить:

$$G_m = Q_{дн} / T_d \quad (2.5)$$

$$G_m = 4000 / 2,61 = 1533 \text{ кг/год.}$$

З урахуванням резерву продуктивності $k_p = 1,2$ розрахункова продуктивність молочного насоса, фільтра та охолоджувача повинна бути не меншою:

$$G_p = k_p \cdot G_m \quad (2.6)$$

$$G_p = 1,2 \cdot 1533 = 1840 \text{ кг/год} \approx 1,8 \text{ т/год.}$$

Отже, для стабільної роботи лінії доцільно прийняти обладнання первинної обробки з номінальною продуктивністю не менше 2,0 т/год. Такий запас компенсує нерівномірність надходження молока, короткочасні пікові навантаження та втрати часу на перемикання потоків.

Розрахункова подача вакуумного насоса визначається за кількістю одночасно підключених доїльних апаратів, питомою витратою повітря на один апарат і витратами на негерметичність системи:

$$Q_v = k_v \cdot (n_a \cdot q_a + Q_{п}) \quad (2.7)$$

де Q_v – подача вакуумного насоса, л/хв;

k_v – коефіцієнт резерву;

n_a – кількість одночасно працюючих апаратів;

q_a – питома витрата повітря на один апарат, л/хв;

$Q_{п}$ – додаткові витрати повітря на підсмоктування та регулювання, л/хв.

Приймаємо $n_a = 24$, $q_a = 50$ л/хв, $Q_{п} = 200$ л/хв, $k_v = 1,25$:

$$Q_v = 1,25 \cdot (24 \cdot 50 + 200) = 1750 \text{ л/хв} = 105 \text{ м}^3/\text{год.}$$

За результатами розрахунку для доїльного залу 2×12 приймається вакуумна установка з продуктивністю не менше 120 м³/год. Для підвищення надійності доцільно передбачити резервування вакуумного агрегату або можливість швидкого перемикання на резервний насос.

Місткість молокоприймальної ємності визначається за умовою накопичення молока протягом короткочасної перерви в роботі насоса:

$$V_{\text{пр}} = G_{\text{м}} \cdot \tau_{\text{н}} / (60 \cdot \rho) \quad (2.8)$$

де $V_{\text{пр}}$ – місткість молокоприймальної ємності, м³;

$\tau_{\text{н}}$ – допустимий час накопичення молока, хв;

ρ – густина молока, кг/м³. За $\tau_{\text{н}} = 3$ хв:

$$V_{\text{пр}} = 1533 \cdot 3 / (60 \cdot 1030) = 0,074 \text{ м}^3 = 74 \text{ л.}$$

Приймаємо молокоприймальну ємність місткістю 100 л. Така місткість забезпечує запас при короткочасному зменшенні продуктивності насоса та не створює значного затримування молока в теплій зоні.

Внутрішній діаметр молокопроводу перевіряється за допустимою швидкістю руху молока. За розрахункової продуктивності $G_{\text{р}} = 1840$ кг/год і швидкості $v = 1$ м/с площа прохідного перерізу становить:

$$F = G_{\text{р}} / (3600 \cdot \rho \cdot v) \quad (2.9)$$

$$F = 1840 / (3600 \cdot 1030 \cdot 1) = 0,000496 \text{ м}^2.$$

$$d = \sqrt{(4F / \pi)} = \sqrt{(4 \cdot 0,000496 / 3,14)} = 0,025 \text{ м.}$$

За розрахунком мінімальний внутрішній діаметр молокопроводу становить близько 25 мм. З урахуванням промивання, монтажних втрат і перспективного збільшення продуктивності приймаємо молокопровід із нержавіючої сталі умовним діаметром DN32.

2.4 Розрахунок обладнання для обробки молока

Обладнання для обробки молока повинно забезпечити приймання всього потоку молока від доїльного залу без накопичення теплого продукту в лінії. Тому продуктивність фільтра, молочного насоса, пластинчастого охолоджувача і трубопроводів приймається не меншою за розрахункову продуктивність $G_{\text{р}} = 1,8$

т/год. Номінальне значення 2,0 т/год є технологічно доцільним, оскільки відповідає реальному піковому надходженню молока у період масового видоювання групи.

Місткість резервуара-охолоджувача визначається за добовим надходженням молока, густиною продукту і коефіцієнтом резерву:

$$V_{\text{рез}} = k_p \cdot Q_d / \rho \quad (2.10)$$

$$V_{\text{рез}} = 1,1 \cdot 8000 / 1030 = 8,54 \text{ м}^3.$$

Отже, для ферми на 400 корів доцільно прийняти резервуар-охолоджувач місткістю 10 м³ або два резервуари по 5 м³. Варіант з двома резервуарами підвищує експлуатаційну надійність, спрощує миття та дозволяє розділяти партії молока за якістю або призначенням.

Теплове навантаження на охолоджувальне обладнання визначається за масовою продуктивністю потоку і різницею температур між молоком після видоювання та молоком після охолодження:

$$P_{\text{ох}} = G_p \cdot c_m \cdot (t_1 - t_2) / 3600 \quad (2.11)$$

За $G_p = 2000 \text{ кг/год}$, $c_m = 3,9 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$, $t_1 = 35 \text{ °C}$, $t_2 = 4 \text{ °C}$:

$$P_{\text{ох}} = 2000 \cdot 3,9 \cdot (35 - 4) / 3600 = 67,2 \text{ кВт.}$$

Отримане значення показує, що пластинчастий охолоджувач і холодильний агрегат повинні забезпечувати відведення теплоти на рівні не менше 67 кВт у період пікового надходження молока. За наявності попереднього охолодження водою навантаження на холодильну установку зменшується, а температура молока перед резервуаром-охолоджувачем знижується ще до надходження у бак.

Продуктивність пастеризатора визначається добовим обсягом молока, який необхідно обробити протягом зміни:

$$G_{\text{п}} = Q_d / T_{\text{зм}} \quad (2.12)$$

$$G_{\text{п}} = 8000 / 8 = 1000 \text{ кг/год.}$$

За розрахунком для теплової обробки добового надходження молока в межах однієї зміни необхідний пастеризатор продуктивністю не менше 1,0 т/год. Для цієї продуктивності може застосовуватися пластинчастий пастеризатор з секціями регенерації, пастеризації, витримування та охолодження. Якщо теплова обробка

виконується тільки для частини молока, пастеризатор працюватиме з меншим завантаженням або протягом коротшого часу.

Теплова потужність, необхідна для нагрівання молока перед пастеризацією без урахування регенерації, визначається за формулою:

$$P_H = G_{\Pi} \cdot c_m \cdot (t_{\Pi} - t_{\text{вх}}) / 3600 \quad (2.13)$$

де P_H – теплова потужність нагрівання, кВт;

t_{Π} – температура пастеризації, °С;

$t_{\text{вх}}$ – температура молока перед пастеризатором, °С.

Для $t_{\Pi} = 76$ °С і $t_{\text{вх}} = 4$ °С:

$$P_H = 1000 \cdot 3,9 \cdot (76 - 4) / 3600 = 78,0 \text{ кВт.}$$

У разі застосування регенеративної секції частина теплоти повертається у процес. Зовнішня теплова потужність з урахуванням коефіцієнта рекуперації $\eta_{\text{рек}} = 0,65$ становить:

$$P_{\text{зов}} = P_H \cdot (1 - \eta_{\text{рек}}) \quad (2.14)$$

$$P_{\text{зов}} = 78,0 \cdot (1 - 0,65) = 27,3 \text{ кВт.}$$

Економія теплової потужності внаслідок рекуперації дорівнює:

$$\Delta P = P_H - P_{\text{зов}} \quad (2.15)$$

$$\Delta P = 78,0 - 27,3 = 50,7 \text{ кВт.}$$

Отже, застосування регенеративного теплообміну дає змогу скоротити потребу в зовнішній теплоті приблизно на 65 %. За восьмигодинної роботи пастеризатора це відповідає економії близько 406 кВт·год теплової енергії за зміну. Крім того, зменшується кількість теплоти, яку необхідно відвести на ділянці остаточного охолодження пастеризованого молока.

Витрата гарячої води для нагрівання молока після рекуперації за перепаду температур води $\Delta t_v = 20$ °С визначається:

$$V_{\Gamma} = 3600 \cdot P_{\text{зов}} / (c_v \cdot \Delta t_v)$$

де V_{Γ} – витрата гарячої води, кг/год;

c_v – питома теплоємність води, кДж/(кг·°С).

$$V_{\Gamma} = 3600 \cdot 27,3 / (4,19 \cdot 20) = 1173 \text{ кг/год} \approx 1,17 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Без регенеративного теплообміну витрата гарячої води становила б приблизно 3,35 м³/год. Отже, рекуперація не тільки зменшує енергоспоживання, а й знижує навантаження на систему гарячого водопостачання молочного блоку.

Модернізована лінія має працювати за таким режимом: під час доїння молоко безперервно подається на фільтрування та охолодження; після завершення доїння резервуар-охолоджувач переходить у режим зберігання з періодичним перемішуванням; за потреби пастеризації молоко насосом подається з резервуара через регенеративну секцію пастеризатора, секцію остаточного нагрівання, витримувач і секції охолодження. Після завершення роботи вся продуктова частина лінії підключається до циркуляційної мийки.

З технічної точки зору найбільш важливими елементами модернізації є: застосування пластинчастого теплообмінника з регенерацією теплоти; узгодження продуктивності доїльного залу, насоса, фільтра й охолоджувача; збільшення резерву місткості охолоджувального танка; зменшення довжини трубопроводів; автоматизований контроль температури молока. У сукупності ці заходи скорочують тривалість перебування теплого молока в лінії, підвищують стабільність якості сировини і зменшують витрати енергії.

2.5 Висновки до розділу

У другому розділі розроблено технологічну схему процесу доїння та обробки молока для ферми на 400 корів зі шлейфом. Для безприв'язного утримання прийнято доїльний зал 2×12, який забезпечує продуктивність близько 153 корів/год і дає можливість виконати одне доїння за 2,61 год.

Розрахункове добове надходження молока становить 8000 кг, а обсяг молока за одне доїння – 4000 кг. З урахуванням коефіцієнта резерву продуктивність обладнання первинної обробки повинна бути не меншою 1,8 т/год, тому для фільтра, насоса і пластинчастого охолоджувача прийнято номінальну продуктивність 2,0 т/год.

За розрахунком вакуумна установка повинна мати продуктивність не менше 105 м³/год, тому прийнято вакуумний агрегат продуктивністю не менше 120 м³/год. Місткість молокоприймальної ємності прийнято 100 л, а молокопровід – DN32.

Для зберігання добового обсягу молока прийнято резервуар-охолоджувач місткістю 10 м^3 або два резервуари по 5 м^3 . Розрахункова теплова потужність охолодження молока з 35 до $4 \text{ }^\circ\text{C}$ за продуктивності $2,0 \text{ т/год}$ становить близько 67 кВт .

Для теплової обробки добового обсягу молока в межах однієї зміни необхідний пастеризатор продуктивністю $1,0 \text{ т/год}$. Застосування регенеративної секції з коефіцієнтом рекуперації $0,65$ знижує потребу в зовнішній теплоті з $78,0$ до $27,3 \text{ кВт}$, тобто дає змогу скоротити теплові витрати приблизно на 65% . Це підтверджує доцільність подальшого удосконалення обладнання саме в напрямі ресурсозбереження та рекуперації теплоти.

3 Удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки

3.1 Обґрунтування необхідності удосконалення

Первинна обробка молока на фермі великої рогатої худоби є завершальною частиною технологічного процесу доїння і безпосередньо впливає на якість готової продукції. Після видоювання молоко має підвищену температуру, легко сприймає сторонні запахи та є сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів. Тому технологічна лінія повинна забезпечувати швидке очищення, теплову обробку, охолодження та подальше зберігання молока без контакту з повітрям і забрудненими поверхнями [1; 5].

Для ферми на 400 корів зі шлейфом характерним є надходження значної кількості молока за короткий проміжок часу після кожного доїння. Якщо обладнання первинної обробки має недостатню продуктивність або не забезпечує стабільного температурного режиму, збільшується тривалість перебування молока у теплому стані. Це призводить до погіршення санітарних показників, зростання витрат енергії на подальше охолодження і зниження технологічної надійності лінії.

Пастеризаційно-охолоджувальні установки, які застосовують на молочних фермах, виконують дві енергоємні операції: нагрівання молока до температури пастеризації та його подальше охолодження до температури зберігання. Найбільші втрати енергії виникають у разі відсутності або недостатньої ефективності рекуперації теплоти, коли нагріте пастеризоване молоко не використовується для попереднього підігрівання сирого молока. Додатковою проблемою є висока витрата холодної води та електроенергії на роботу холодильної установки у літній період.

Раціональним напрямом удосконалення є поєднання регенеративного теплообміну з використанням акумульованого холоду природного льоду для охолодження води, яка подається у секцію остаточного охолодження. Таке рішення дозволяє зменшити навантаження на холодильну машину, стабілізувати температуру холодоносія та забезпечити ресурсозбереження без зміни основної технологічної схеми пастеризації.

Удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки передбачає встановлення утепленого резервуара холодної води з природним льодом, циркуляційного насоса, регулювальної арматури, датчиків температури та секції остаточного охолодження у складі пластинчастого теплообмінника. При цьому молоко і холодоносії не змішуються, а теплообмін відбувається через теплообмінну поверхню, що забезпечує санітарну безпеку процесу.

Таблиця 3.1 – Основні недоліки базової пастеризаційно-охолоджувальної лінії та напрями їх усунення

Недолік базової схеми	Наслідок для процесу	Запропонований напрям удосконалення
Відсутність ефективного використання теплоти пастеризованого молока	Зростання витрат теплової енергії на нагрівання сирого молока	Використання регенеративної секції пластинчастого теплообмінника
Нестабільна температура води для остаточного охолодження	Збільшення тривалості охолодження та навантаження на холодильне обладнання	Охолодження води у резервуарі з природним льодом
Підвищена витрата свіжої води	Зростання експлуатаційних витрат і потреби у водопостачанні	Організація замкненого циркуляційного контуру холодоносія
Недостатній контроль температурних режимів	Ризик відхилення від заданих параметрів пастеризації та охолодження	Встановлення датчиків температури та автоматизоване керування насосом і клапанами
Великі пікові навантаження після доїння	Нерівномірна робота обладнання та збільшення простоїв	Підбір продуктивності установки відповідно до разового надою

3.2 Вихідні дані

Вихідні дані для розрахунку прийнято з урахуванням виробничих умов ферми на 400 корів зі шлейфом, дворазового доїння та необхідності первинної обробки молока безпосередньо після його надходження з доїльного залу. Для розрахунку прийнято, що середньодобовий надій однієї корови становить 16,8 кг, а добова кількість молока – 6720 кг. За дворазового доїння разовий надій становить 3360 кг.

До основних зоотехнічних вимог, які враховуються під час удосконалення установки, належать: закритий рух молока від доїльного обладнання до резервуара, очищення від механічних домішок, швидке зниження температури після теплової обробки, недопущення повторного забруднення, можливість санітарного промивання всіх елементів лінії та підтримання температури зберігання на рівні не вище 4...6 °С.

Молоко розглядається як рідкий харчовий продукт із густиною близько 1028 кг/м³ і питомою теплоємністю 3,9 кДж/(кг·°С). Для води прийнято питому теплоємність 4,2 кДж/(кг·°С), а приховану теплоту плавлення льоду – 336 кДж/кг. Ці параметри використовуються для визначення теплоти нагрівання, кількості холоду та витрати льоду.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для розрахунку пастеризаційно-охолоджувальної установки

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Кількість корів	N	400	гол.
Середньодобовий надій однієї корови	m_k	16,8	кг/добу
Кратність доїння	z	2	рази/добу
Добова кількість молока	M_d	6720	кг/добу
Разова кількість молока після одного доїння	$M_{\text{ц}}$	3360	кг

Густина молока	ρ_m	1028	кг/м ³
Питома теплоємність молока	c_m	3,9	кДж/(кг·°C)
Питома теплоємність води	c_v	4,2	кДж/(кг·°C)
Початкова температура молока перед підігріванням	t_0	6	°C
Температура пастеризації	t_{Π}	76	°C
Температура молока після регенеративної секції перед остаточним охолодженням	t_p	30	°C
Температура молока після охолодження	t_{ox}	4	°C
Початкова температура води для охолодження	$t_{в.п}$	17	°C
Кінцева температура охолодженої води	$t_{в.к}$	1	°C
Прихована теплота плавлення льоду	r_l	336	кДж/кг
Коефіцієнт рекуперації теплоти	η_p	0,65	-

Добова кількість молока визначається за формулою

$$M_d = N \cdot m_k \quad (3.1)$$

де M_d – добова кількість молока, кг/добу

N – кількість корів, гол.;

m_k – середньодобовий надій однієї корови, кг/добу.

Після підстановки вихідних даних одержуємо: $M_d = 400 \cdot 16,8 = 6720$ кг/добу.

Разова кількість молока, яка надходить на первинну обробку після одного доїння, становить

$$M_{\text{ц}} = M_d / z \quad (3.2)$$

де $M_{\text{ц}}$ – кількість молока за один цикл обробки, кг

z – кратність доїння, разів/добу.

Для прийнятих умов: $M_{\text{ц}} = 6720 / 2 = 3360$ кг.

Отже, пастеризаційно-охолоджувальна установка повинна забезпечувати обробку не менше 3360 кг молока за один цикл роботи після доїння.

3.3 Розробка варіанту удосконалення

За основу прийнято пастеризаційно-охолоджувальну установку продуктивністю близько 1000 кг/год, яка працює у складі лінії первинної обробки молока ферми. Удосконалення спрямоване не на зміну режиму пастеризації, а на підвищення енергетичної ефективності процесу за рахунок використання двох взаємопов'язаних рішень: регенеративного теплообміну та охолодження води природним льодом.

Регенеративна секція пластинчастого апарата забезпечує попереднє нагрівання холодного сирого молока теплотою вже пастеризованого молока. У результаті зменшується кількість теплоти, яку необхідно підвести у пастеризаційній секції. Одночасно пастеризоване молоко попередньо охолоджується перед надходженням у секцію остаточного охолодження, що зменшує потребу у холоді.

Другою частиною удосконалення є охолоджувач води природним льодом. Він складається з утепленого резервуара, у якому розміщується запас льоду, системи труб для циркуляції води, насоса та запірно-регулювальної арматури. Вода після проходження через секцію охолодження повертається у резервуар, де віддає тепло льоду та повторно використовується як холодоносіє. Така схема дає змогу зменшити витрату свіжої води і частково або повністю замінити роботу компресорної холодильної установки у періоди, коли є достатній запас льоду.

Установка складається з резервуарів, розташованих один над одним або у вигляді утепленого бака з окремими зонами руху води, з'єднаних між собою системою трубопроводів. Верхня зона використовується для повернення нагрітої води, нижня – для відбору охолодженої води з температурою 1...2 °С. Для запобігання потраплянню талої води у молоко контури молока і холодоносія повністю розділені.

Схема удосконаленої пастеризаційно-охолоджувальної установки наведена на рисунку 3.1.

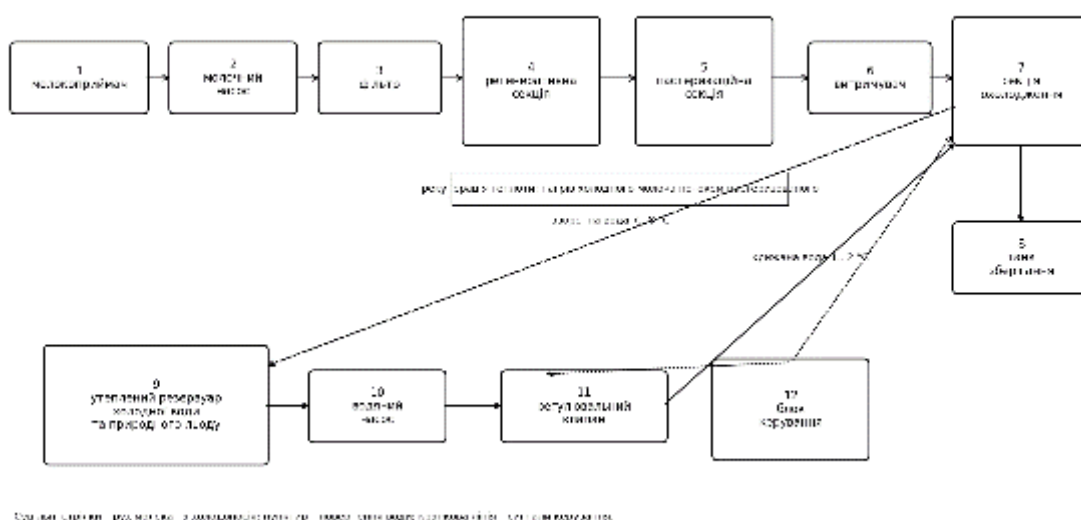


Рисунок 3.1 – Конструктивно-технологічна схема удосконаленої пастеризаційно-охолоджувальної установки

Позиції на рисунку 3.1: 1 – молокоприймач; 2 – молочний насос; 3 – фільтр; 4 – регенеративна секція; 5 – пастеризаційна секція; 6 – витримувач; 7 – секція остаточного охолодження; 8 – танк зберігання молока; 9 – утеплений резервуар холодної води та природного льоду; 10 – водяний насос; 11 – регулювальний клапан; 12 – блок керування.

Таблиця 3.3 – Призначення елементів удосконаленої установки

Поз.	Елемент установки	Призначення
1	Молокоприймач	Приймання молока після доїння та вирівнювання подачі на насос

2	Молочний насос	Подача молока через фільтр і теплообмінні секції
3	Фільтр	Видалення механічних домішок перед тепловою обробкою
4	Регенеративна секція	Попереднє нагрівання сирого молока та попереднє охолодження пастеризованого молока
5	Пастеризаційна секція	Нагрівання молока до температури пастеризації
6	Витримувач	Забезпечення необхідної тривалості перебування молока за температури пастеризації
7	Секція остаточного охолодження	Зниження температури молока до 4 °C за рахунок крижаної води
8	Танк зберігання	Тимчасове зберігання охолодженого молока до відвантаження
9	Резервуар холодної води та льоду	Акумуляування холоду природного льоду та охолодження циркуляційної води
10	Водяний насос	Циркуляція холодоносія через секцію остаточного охолодження
11	Регулювальний клапан	Підтримання потрібної витрати холодоносія
12	Блок керування	Контроль температури молока і води, керування насосом та клапаном

Технологічний процес роботи удосконаленої установки відбувається у такій послідовності. Молоко з молокоприймача насосом подається через фільтр до регенеративної секції, де нагрівається теплом пастеризованого молока. Далі воно надходить у пастеризаційну секцію, досягає заданої температури і проходить витримувач. Після цього пастеризоване молоко повертається у регенеративну секцію, віддає частину теплоти сирому молоку, а потім подається до секції

остаточного охолодження. У цій секції тепло відводиться крижаною водою, яка циркулює між теплообмінником і резервуаром з природним льодом.

Запропонована схема не ускладнює санітарне обслуговування молочної лінії, оскільки молочний контур залишається закритим і може промиватися штатною системою циркуляційного миття. Водяний контур працює окремо і не контактує з молоком. Це забезпечує одночасно санітарну безпеку та ресурсозбереження.

3.4 Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів

Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів виконуємо для визначення продуктивності установки, теплового навантаження, витрати холодоносія, необхідної кількості льоду та орієнтовних параметрів теплообмінної поверхні.

Необхідна годинна продуктивність установки визначається з умови обробки разового надою за допустимий час:

$$Q_{\text{год}} = M_{\text{ц}} / \tau \quad (3.3)$$

де $Q_{\text{год}}$ – годинна продуктивність установки, кг/год

τ – тривалість обробки разового надою, год.

Приймаємо тривалість обробки одного надою $\tau = 3,5$ год. Тоді $Q_{\text{год}} = 3360 / 3,5 = 960$ кг/год. З урахуванням резерву та стандартного ряду обладнання приймаємо продуктивність пастеризаційно-охолоджувальної установки $Q_{\text{год}} = 1000$ кг/год.

Об'ємна подача молока становить

$$V_{\text{м}} = Q_{\text{год}} / \rho_{\text{м}} \quad (3.4)$$

де $V_{\text{м}}$ – об'ємна подача молока, м³/год

$\rho_{\text{м}}$ – густина молока, кг/м³.

Після підстановки: $V_{\text{м}} = 1000 / 1028 = 0,973$ м³/год. Отже, для розрахунку приймаємо подачу молока 1,0 м³/год.

Потужність теплового потоку, необхідного для нагрівання молока від початкової температури до температури пастеризації, визначається за формулою

$$P_{\text{н}} = Q_{\text{год}} \cdot c_{\text{м}} \cdot (t_{\text{п}} - t_0) / 3600 \quad (3.5)$$

де $P_{\text{н}}$ – теплова потужність нагрівання, кВт

c_m – питома теплоємність молока, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

$t_{\text{п}}$ – температура пастеризації, $^\circ\text{C}$;

t_0 – початкова температура молока, $^\circ\text{C}$.

Розрахункова теплова потужність нагрівання становить $P_{\text{н}} = 1000 \cdot 3,9 \cdot (76 - 6) / 3600 = 75,8 \text{ кВт}$.

За наявності регенеративної секції частина теплоти повертається у процес. Необхідна потужність зовнішнього теплопідведення визначається як

$$P_{\text{н.з}} = P_{\text{н}} \cdot (1 - \eta_{\text{р}}) \quad (3.6)$$

де $P_{\text{н.з}}$ – теплова потужність, яку необхідно підвести ззовні, кВт

$\eta_{\text{р}}$ – коефіцієнт рекуперації теплоти.

За $\eta_{\text{р}} = 0,65$ отримаємо $P_{\text{н.з}} = 75,8 \cdot (1 - 0,65) = 26,5 \text{ кВт}$. Отже, регенерація дозволяє зменшити потребу у зовнішньому теплопідведенні приблизно на 49,3 кВт.

Після проходження регенеративної секції молоко надходить на остаточне охолодження. Приймаємо, що температура молока перед остаточним охолодженням становить 30°C , а після охолодження – 4°C . Тоді теплова потужність охолодження дорівнює

$$P_{\text{ох}} = Q_{\text{год}} \cdot c_m \cdot (t_{\text{р}} - t_{\text{ох}}) / 3600 \quad (3.7)$$

де $P_{\text{ох}}$ – теплова потужність остаточного охолодження, кВт

$t_{\text{р}}$ – температура молока перед остаточним охолодженням, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{ох}}$ – температура молока після остаточного охолодження, $^\circ\text{C}$.

Після підстановки: $P_{\text{ох}} = 1000 \cdot 3,9 \cdot (30 - 4) / 3600 = 28,2 \text{ кВт}$.

Витрата холодної води у секції остаточного охолодження визначається з теплового балансу:

$$G_{\text{в}} = Q_{\text{год}} \cdot c_m \cdot (t_{\text{р}} - t_{\text{ох}}) / [c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}})] \quad (3.8)$$

де $G_{\text{в}}$ – витрата холодної води, $\text{кг}/\text{год}$

$t_{\text{в1}}$ – температура води на вході у секцію охолодження, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{в2}}$ – температура води на виході із секції охолодження, $^\circ\text{C}$.

Приймаємо $t_{\text{в1}} = 1^\circ\text{C}$, $t_{\text{в2}} = 8^\circ\text{C}$. Тоді $G_{\text{в}} = 1000 \cdot 3,9 \cdot (30 - 4) / [4,2 \cdot (8 - 1)] = 3442 \text{ кг}/\text{год}$, або приблизно $3,5 \text{ м}^3/\text{год}$.

У вихідному варіанті для охолодження партії молока масою 3360 кг приймається витрата води, що дорівнює масі партії молока. З урахуванням трикратної циркуляції добова маса води, яку необхідно охолодити, становить

$$M_{\text{в.д}} = 3 \cdot M_{\text{ц}}$$

де $M_{\text{в.д}}$ – добова маса води, що підлягає охолодженню, кг/добу.

$$M_{\text{в.д}} = 3 \cdot 3360 = 10080 \text{ кг/добу.}$$

Кількість льоду, необхідного для охолодження води від 17 °С до 1 °С, визначаємо за залежністю

$$M_{\text{л}} = M_{\text{в.д}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в.п}} - t_{\text{в.к}}) / r_{\text{л}} \quad (3.9)$$

де $M_{\text{л}}$ – кількість льоду, кг/добу

$M_{\text{в.д}}$ – маса води, що охолоджується, кг/добу;

$t_{\text{в.п}}$ – початкова температура води, °С;

$t_{\text{в.к}}$ – кінцева температура води, °С;

$r_{\text{л}}$ – прихована теплота плавлення льоду, кДж/кг.

Після підстановки вихідних даних: $M_{\text{л}} = 10080 \cdot 4,2 \cdot (17 - 1) / 336 = 2016$ кг/добу. З урахуванням 10 % запасу приймаємо добову потребу льоду 2220 кг/добу.

Розрахунок теплообмінної поверхні секції остаточного охолодження виконуємо за формулою

$$F = P_{\text{ох}} / (K \cdot \Delta t_{\text{ср}}) \quad (3.10)$$

де F – площа теплообмінної поверхні, м²

K – коефіцієнт теплопередачі, кВт/(м²·°С);

$\Delta t_{\text{ср}}$ – середньологарифмічна різниця температур, °С.

Середньологарифмічна різниця температур для протитечійного руху молока і води визначається за формулою

$$\Delta t_{\text{ср}} = [(t_{\text{м1}} - t_{\text{в2}}) - (t_{\text{м2}} - t_{\text{в1}})] / \ln[(t_{\text{м1}} - t_{\text{в2}})/(t_{\text{м2}} - t_{\text{в1}})] \quad (3.11)$$

де $t_{\text{м1}}$ і $t_{\text{м2}}$ – температура молока відповідно на вході та виході із секції охолодження, °С.

Для $t_{\text{м1}} = 30$ °С, $t_{\text{м2}} = 4$ °С, $t_{\text{в1}} = 1$ °С, $t_{\text{в2}} = 8$ °С маємо: $\Delta t_{\text{ср}} = [(30 - 8) - (4 - 1)] / \ln[(30 - 8)/(4 - 1)] = 9,5$ °С. За $K = 0,8$ кВт/(м²·°С) площа теплообмінної поверхні становить $F = 28,2 / (0,8 \cdot 9,5) = 3,7$ м². З урахуванням запасу приймаємо $F = 4,5$ м².

Об'єм робочого запасу льоду у резервуарі визначаємо за формулою

$$V_{\text{л}} = k_3 \cdot M_{\text{л}} / \rho_{\text{л}} \quad (3.12)$$

де $V_{\text{л}}$ – об'єм льоду, м^3

k_3 – коефіцієнт запасу;

$\rho_{\text{л}}$ – густина льоду, $\text{кг}/\text{м}^3$.

За $k_3 = 1,1$ і $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг}/\text{м}^3$: $V_{\text{л}} = 1,1 \cdot 2016 / 900 = 2,46 \text{ м}^3$. Отже, для добового режиму роботи необхідно передбачити робочий запас льоду не менше $2,5 \text{ м}^3$. Для сезонного зберігання природного льоду об'єм льодовища визначають множенням добової потреби на тривалість використання.

Потужність електродвигуна циркуляційного насоса для подачі холодної води визначаємо за формулою

$$N_{\text{н}} = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot Q_{\text{в}} \cdot H / (1000 \cdot \eta_{\text{н}}) \quad (3.13)$$

де $N_{\text{н}}$ – потужність електродвигуна насоса, кВт

$\rho_{\text{в}}$ – густина води, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$;

$Q_{\text{в}}$ – подача води, $\text{м}^3/\text{с}$;

H – напір насоса, м ;

$\eta_{\text{н}}$ – коефіцієнт корисної дії насоса.

За витрати води $4,0 \text{ м}^3/\text{год}$, напору 15 м та $\eta_{\text{н}} = 0,60$ одержуємо $N_{\text{н}} = 0,27 \text{ кВт}$. З урахуванням пускових навантажень та стандартного ряду електродвигунів приймаємо насос з електродвигуном потужністю $0,55 \text{ кВт}$.

Об'єм резервуара холодної води приймаємо з урахуванням необхідності згладжування коливань температури та забезпечення безперервної роботи секції охолодження:

$$V_{\text{р}} = k_{\text{р}} \cdot G_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{р}} / \rho_{\text{в}} \quad (3.14)$$

де $V_{\text{р}}$ – об'єм резервуара холодної води, м^3

$k_{\text{р}}$ – коефіцієнт резерву;

$\tau_{\text{р}}$ – розрахунковий час автономної роботи контуру, год .

За $G_{\text{в}} = 3500 \text{ кг}/\text{год}$, $\tau_{\text{р}} = 0,5 \text{ год}$ і $k_{\text{р}} = 1,2$: $V_{\text{р}} = 1,2 \cdot 3500 \cdot 0,5 / 1000 = 2,1 \text{ м}^3$.

Конструктивно приймаємо резервуар місткістю $3,0 \text{ м}^3$, що забезпечує запас холодоносія та простір для розміщення льоду.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку конструкційно-технологічних параметрів

Показник	Розрахункове значення	Прийняте значення
Добова кількість молока	6720 кг/добу	6720 кг/добу
Разовий надій після одного доїння	3360 кг	3360 кг
Годинна продуктивність установки	960 кг/год	1000 кг/год
Об'ємна подача молока	0,973 м³/год	1,0 м³/год
Повна теплова потужність нагрівання	75,8 кВт	76 кВт
Зовнішнє теплопідведення після рекуперації	26,5 кВт	27 кВт
Потужність рекуперованого теплового потоку	49,3 кВт	49 кВт
Потужність остаточного охолодження	28,2 кВт	29 кВт
Витрата холодної води	3,44 м³/год	3,5...4,0 м³/год
Добова маса води для охолодження	10080 кг/добу	10,1 м³/добу
Добова потреба льоду без запасу	2016 кг/добу	2,02 т/добу
Добова потреба льоду із запасом	2218 кг/добу	2,22 т/добу
Площа теплообмінної поверхні секції охолодження	3,7 м²	4,5 м²
Робочий об'єм запасу льоду	2,46 м³	2,5 м³
Місткість резервуара холодної води	2,1 м³	3,0 м³
Потужність електродвигуна водяного насоса	0,27 кВт	0,55 кВт

Отримані результати показують, що для ферми на 400 корів доцільно застосувати пастеризаційно-охолоджувальну установку продуктивністю 1000 кг/год із регенеративною секцією та контуром крижаної води. Регенерація теплоти зменшує потребу у зовнішньому теплопідведенні з 75,8 до 26,5 кВт, а використання

природного льоду забезпечує остаточне охолодження молока за витрати холодної води близько 3,5...4,0 м³/год.

Конструктивно резервуар холодної води доцільно виконати утепленим, із можливістю завантаження льоду та відбору найхолоднішої води з нижньої зони. Для стабільної роботи системи необхідно передбачити контроль температури води на вході і виході з теплообмінника, а також автоматичне вимикання насоса у разі недостатнього рівня води. Трубопроводи холодоносія повинні мати теплову ізоляцію, що зменшує втрати холоду під час циркуляції.

3.5 Висновки до розділу

У третьому розділі обґрунтовано необхідність удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки лінії первинної обробки молока на фермі великої рогатої худоби. Встановлено, що основними резервами підвищення ефективності процесу є зменшення витрат теплової енергії на пастеризацію та скорочення витрат холоду під час остаточного охолодження молока.

Запропоновано варіант удосконалення, який передбачає використання регенеративної секції пластинчастого теплообмінника та окремого контуру крижаної води з охолодженням за рахунок природного льоду. Така схема забезпечує закритий рух молока, не порушує санітарних вимог і може бути впроваджена як доповнення до існуючої пастеризаційно-охолоджувальної установки.

За результатами розрахунків прийнято продуктивність установки 1000 кг/год, що забезпечує обробку разового надою 3360 кг за 3,5 год. Повна теплова потужність нагрівання молока становить 75,8 кВт, а завдяки рекуперації зовнішнє теплопідведення зменшується до 26,5 кВт. Потужність остаточного охолодження становить 28,2 кВт.

Для роботи контуру крижаної води необхідна витрата холодоносія 3,5...4,0 м³/год. Добова потреба льоду для охолодження води від 17 до 1 °С становить 2016 кг, а з урахуванням запасу – близько 2220 кг. Розрахункова площа теплообмінної поверхні секції остаточного охолодження становить 3,7 м², тому конструктивно прийнято 4,5 м².

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги охорони праці при доїнні корів

Охорона праці при доїнні корів є складовою частиною організації технологічного процесу виробництва молока. На фермі великої рогатої худоби на 400 корів зі шлейфом основними робочими місцями є зона очікування тварин, доїльна зала, молочне відділення, приміщення первинної обробки молока та допоміжні зони для миття і санітарної обробки обладнання. Безпечність робіт забезпечується правильним плануванням руху тварин, справністю доїльного і холодильного обладнання, дотриманням санітарно-гігієнічних вимог та виконанням працівниками інструкцій з охорони праці [7].

До виконання робіт з доїння допускаються працівники, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з охорони праці, навчання безпечним методам роботи, перевірку знань і стажування на робочому місці. Працівник повинен знати технологічну схему доїння, порядок підготовки вимені, правила підключення доїльних апаратів, вимоги до миття обладнання, дії у разі порушення вакуумного режиму, витікання молока, травмування тварини або аварійної зупинки установки.

Перед початком зміни оператор перевіряє справність доїльних апаратів, підвісної частини, молочних і вакуумних шлангів, колекторів, пульсаторів, молокопроводу, фільтрів, кранів, засобів освітлення і вентиляції. Не допускається робота при тріщинах на гумових деталях, пошкодженій ізоляції електропроводки, відсутності заземлення, несправних огороженнях, забитих трапах або слизькій підлозі. У зоні руху тварин не повинно бути сторонніх предметів, відкритих люків, незакріплених шлангів і кабелів.

Особливістю процесу доїння при безприв'язному утриманні є переміщення груп корів до доїльної зали. Тому роботу організовують так, щоб тварини рухалися спокійно, без різких звуків, ударів і примусового підганяння небезпечними предметами. Ворота, хвіртки, фіксатори та огорожі повинні легко відкриватися і надійно закриватися. Оператор не повинен знаходитися між твариною і нерухомою

перешкодою, заходити в зону можливого удару задніми кінцівками або нахилитися під тварину без необхідності.

Підготовка корів до доїння включає огляд вимені, здаювання перших цівок молока, очищення та дезінфекцію дійок, витирання індивідуальними серветками. Ці операції виконують у рукавичках, дотримуючись однакової послідовності для кожної тварини. Заборонено використовувати спільні забруднені рушники, торкатися чистих частин доїльного апарата брудними руками, залишати підвісну частину на підлозі або підключати апарат до тварини за наявності ознак маститу без окремого порядку доїння.

Під час підключення доїльного апарата оператор повинен тримати підвісну частину так, щоб не допустити падіння стаканів, перекручування молочних і вакуумних шлангів та підсосу повітря. Забороняється усувати несправності апарата при працюючому вакуумі без відключення відповідної лінії. У разі падіння доїльного стакана його необхідно промити і продезінфікувати, після чого продовжити роботу відповідно до технологічної інструкції.

Молочне відділення належить до приміщень з підвищеною вологістю, тому електробезпека має першочергове значення. Електродвигуни, насоси, блоки керування, пастеризаційно-охолоджувальна установка та холодильне обладнання повинні мати справне заземлення. Не допускається торкатися електрообладнання мокрими руками, відкривати електричні шафи без дозволу, самостійно ремонтувати пускову апаратуру, застосовувати переносні світильники без захисних плафонів і низьковольтного живлення [7].

Працівники повинні користуватися санітарним одягом і засобами індивідуального захисту: халатом або комбінезоном, головним убором, гумовими чоботами з неслизькою підошвою, рукавичками, а під час приготування мийних розчинів - захисними окулярами або щитком. Спецодяг зберігають окремо від особистого одягу. Після завершення роботи руки миють теплою водою з милом, а у разі потрапляння мийного засобу на шкіру або в очі негайно промивають уражене місце великою кількістю води.

Важливою умовою безпечної праці є підтримання належного мікроклімату та освітлення. У доїльній залі і молочному блоці повинна працювати вентиляція, яка

видаляє надлишкову вологу, запахи мийних розчинів і тепло від обладнання. Робочі місця освітлюють так, щоб оператор чітко бачив вим'я, доїльні стакани, крани, контрольно-вимірювальні прилади і проходи. Недостатнє освітлення підвищує ризик помилок під час підключення апарата, травмування тварини та падіння працівника.

Підлога у виробничих приміщеннях повинна бути рівною, неслизькою, з ухилом до трапів. Розлите молоко, воду або мийні розчини прибирають одразу після виявлення. Проходи до обладнання, евакуаційні виходи і підходи до засобів пожежогасіння не захаращують. Шланги після використання розміщують на тримачах, а інструмент і допоміжні пристрої зберігають у визначених місцях.

Пожежна безпека забезпечується справністю електропроводки, недопущенням перевантаження мережі, регулярним очищенням приміщень від сміття та наявністю первинних засобів пожежогасіння. Паління у доїльній залі, молочному відділенні та біля складів мийних засобів забороняється. Працівники повинні знати місця розташування вогнегасників, порядок відключення електроживлення і план евакуації з приміщення.

4.2 Вимоги охорони праці при роботі пастеризаційно-охолоджувальною установкою

Пастеризаційно-охолоджувальна установка призначена для теплової обробки молока з подальшим охолодженням до температури зберігання. У процесі роботи одночасно використовуються електрична енергія, гаряча вода або пара, холодоносій, молоко і мийні розчини. Через це установка є джерелом термічної, електричної, механічної та хімічної небезпеки. Удосконалення установки, пов'язане з раціональним використанням теплоти та охолодженням води природним льодом, повинно виконуватися без погіршення умов праці й обслуговування [5; 6].

Перед пуском оператор оглядає установку, перевіряє наявність захисних кожухів, справність трубопроводів, затягування з'єднань, положення кранів, чистоту фільтрів, роботу насосів, покази термометрів і манометрів. Особливу увагу приділяють герметичності молочної, водяної та мийної ліній. Пуск обладнання

дозволяється тільки після переконання, що всі кришки, огороження та запобіжні пристрої встановлені, а у зоні обслуговування немає сторонніх осіб.

Теплова обробка молока супроводжується нагріванням поверхонь теплообмінника, трубопроводів, арматури та ємностей. Дотик до неізольованих гарячих елементів може спричинити опіки. Тому гарячі поверхні ізолюють або огорожують, а місця можливого контакту позначають попереджувальними написами. При роботі з гарячою водою, парою або нагрітими мийними розчинами оператор користується рукавицями та не відкриває різьбові з'єднання до повного зниження тиску і температури [5; 6].

Під час охолодження молока застосовують охолоджену воду або інший дозволений холодоносіє, який не повинен контактувати з продуктом. У схемі з використанням природного льоду необхідно забезпечити відокремлення охолоджувальної води від молока, справність теплообмінних поверхонь і відсутність перетікання між контурами. Ємності з льодом і холодною водою повинні мати кришки або огороження, що запобігають падінню працівника, потраплянню сторонніх предметів і забрудненню води.

Насоси, електродвигуни, пускова апаратура та блоки керування експлуатують відповідно до інструкції виробника. Заборонено вмикати обладнання при знятих кожухах, підтіканнях на електродвигун, сторонньому шумі, підвищеній вібрації або запаху перегрітої ізоляції. У разі аварійної ситуації установку негайно зупиняють кнопкою аварійного вимкнення, перекривають подачу теплоносія і повідомляють відповідальну особу.

Миття і санітарна обробка пастеризаційно-охолоджувальної установки виконуються після завершення технологічного циклу. Мийні розчини готують у спеціально відведеному місці з дотриманням концентрації та температури. Забороняється змішувати кислотні й лужні засоби без технологічної потреби, переливати реагенти у непідписані ємності або залишати їх біля харчового продукту. При потраплянні розчину на підлогу його нейтралізують або змивають, щоб запобігти ковзанню і хімічним опікам.

Під час циркуляційного миття необхідно контролювати щільність з'єднань і напрямок руху рідини. Відкривати люки, кришки, фільтри та розбірні з'єднання

дозволено лише після зупинки насоса і зниження тиску. Проби мийних розчинів відбирають у посуд, стійкий до дії реагентів. Після миття проводять ополіскування системи чистою водою до видалення залишків мийних засобів.

Таблиця 4.2 – Карта контролю показників безпеки пастеризаційно-охолоджувальної установки

Показник контролю	Періодичність	Нормальний стан	Відповідальний
Справність заземлення і захисного відключення	Перед початком зміни	Відсутні пошкодження, контрольна індикація справна	Оператор, електромонтер
Герметичність трубопроводів молока, води і мийних розчинів	Щозміни	Підтікання не допускається	Оператор
Стан теплоізоляції гарячих поверхонь	Щотижня	Ізоляція ціла, відкритих гарячих ділянок немає	Механік
Робота манометрів, термометрів і датчиків температури	Щозміни	Покази стабільні, прилади не мають механічних пошкоджень	Оператор
Наявність огорожень, кришок і запобіжних пристроїв	Перед запуском	Усі огороження встановлені на штатних місцях	Оператор
Стан підлоги, трапів і проходів	Протягом зміни	Підлога неслизька, проходи вільні, рідина відведена	Оператор
Маркування ємностей з мийними засобами	Під час приготування розчинів	Ємності підписані, реагенти не змішуються довільно	Оператор

При обслуговуванні удосконаленої системи охолодження води природним льодом необхідно враховувати додаткові небезпеки: низьку температуру поверхонь, підвищену вологість, значну масу льоду та можливість утворення слизьких ділянок підлоги. Переміщення льоду виконують механізовано або з

використанням справного ручного інвентарю. Шматки льоду не допускається скидати з висоти у відкриту ємність, оскільки бризки холодної води і уламки можуть травмувати працівника.

Резервуари, розташовані один над одним, повинні мати стійкі опори, справні кріплення та зручні площадки для обслуговування. Якщо доступ до верхнього резервуара здійснюється з площадки або драбини, вони повинні мати поручні та неслизькі сходинки. Забороняється ставати на трубопроводи, кришки, кожухи або інші елементи, які не призначені для перебування людини.

Рекуперація теплоти в установці зменшує витрати енергії, однак вимагає постійного контролю герметичності теплообмінника. У разі порушення герметичності можливе забруднення молока водою або мийними розчинами. Тому перед початком роботи перевіряють тиск у контурах, а після завершення циклу контролюють якість промивання і відсутність стороннього запаху. Поява нехарактерного кольору, піни або домішок у молоці є підставою для негайної зупинки лінії.

Поточне технічне обслуговування включає очищення фільтрів, перевірку прокладок, підтягування з'єднань, огляд теплообмінних пластин або труб, перевірку датчиків температури, стану арматури і запобіжних клапанів. Роботи виконують тільки після відключення електроживлення, зупинки насосів і вивішування попереджувальної таблички про проведення обслуговування. Повторний пуск допускається після встановлення всіх деталей на місце та пробного запуску без навантаження.

При виникненні пожежі, ураженні електричним струмом, опіку, травмуванні працівника або розгерметизації системи оператор повинен зупинити установку, відключити електроживлення, припинити подачу теплоносія, повідомити керівника робіт і надати першу домедичну допомогу потерпілому. До усунення причини аварії та перевірки справності обладнання відновлювати роботу забороняється.

4.3 Висновки до розділу

У розділі розглянуто основні вимоги охорони праці при доїнні корів та експлуатації пастеризаційно-охолоджувальної установки на фермі великої рогатої худоби. Встановлено, що найбільш характерними небезпечними чинниками є контакт з тваринами, підвищена вологість, дія електричного струму, гарячої води, пари, мийних розчинів, рухомих частин насосів і слизьких поверхонь.

Запропоновані організаційні та технічні заходи передбачають допуск до роботи лише навченого персоналу, перевірку справності доїльного і теплотехнічного обладнання, застосування засобів індивідуального захисту, підтримання чистоти робочих місць, контроль заземлення, герметичності трубопроводів, температурних режимів і стану захисних пристроїв.

Дотримання наведених вимог дає змогу знизити ризик травмування працівників, забезпечити санітарну якість молока, підвищити надійність роботи удосконаленої пастеризаційно-охолоджувальної установки та створити безпечні умови праці в молочному блоці ферми.

5 Техніко-економічна оцінка

5.1 Вихідні дані

Техніко-економічну оцінку виконано для удосконалення технологічного процесу обробки молока на фермі великої рогатої худоби. Об'єктом порівняння є базова пастеризаційно-охолоджувальна лінія та проектний варіант, у якому передбачено використання рекуперації теплоти пастеризованого молока і охолодження циркуляційної води природним льодом.

Економічний ефект формується за рахунок зменшення витрат теплової енергії на підігрівання молока, зниження навантаження на холодильну установку, скорочення витрат води та стабілізації температурного режиму первинної обробки. Вихідні дані подано у таблиці 5.1 без розгортання проміжних розрахунків.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для техніко-економічної оцінки

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Одиниця виміру
Кількість корів на фермі	400	400	гол.
Середньодобовий надій однієї корови	16,8	16,8	кг/добу
Добове надходження молока	6720	6720	кг/добу
Разове надходження молока після одного доїння	3360	3360	кг
Кількість доїнь за добу	2	2	рази
Річний обсяг молока, що проходить первинну обробку	2452,8	2452,8	т/рік
Продуктивність пастеризаційно- охолоджувальної установки	1000	1000	кг/год
Прийнята тривалість роботи установки за добу	6,7	6,7	год/добу
Температура пастеризації молока	76	76	°C
Температура охолодженого молока	4	4	°C

Режим використання теплоти пастеризованого молока	без ефективної рекуперації	регенеративний теплообмін у пластинчастій секції	—
Орієнтовний коефіцієнт рекуперації теплоти	0,00...0,10	0,65	частка од.
Джерело холоду для остаточного охолодження	холодильна установка та проточна вода	циркуляційний контур води, охолодженої природним льодом	—
Капітальні вкладення у вузли удосконалення	—	345,0	тис. грн
Економічна база порівняння	фактичні експлуатаційні витрати діючої схеми	зменшення витрат теплоти, електроенергії та води	—

Прийняті показники відповідають виробничим умовам ферми на 400 корів зі шлейфом та технологічним параметрам удосконаленої пастеризаційно-охолоджувальної установки. У разі зміни фактичної ціни енергоносіїв або добового надходження молока економічні показники можуть уточнюватися, однак напрям впливу удосконалення залишається незмінним.

5.2 Результати економічної оцінки

Результати оцінки наведено у вигляді порівняльної таблиці. Такий спосіб подання дає змогу показати відмінність базового і проектного процесів без наведення формул та проміжних арифметичних операцій.

Таблиця 5.2 – Результати техніко-економічної оцінки удосконалення

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант
Зовнішня теплова потужність для нагрівання молока	близько 76 кВт	близько 27 кВт
Рекуперована теплова потужність	не використовується повною мірою	близько 49 кВт
Річне зменшення витрат теплової енергії	—	121,0 тис. кВт·год/рік
Економія витрат на теплову енергію	—	145,0 тис. грн/рік
Зменшення електроспоживання на охолодження	високе навантаження на холодильну машину	13,5 тис. кВт·год/рік
Економія витрат на електроенергію	—	87,8 тис. грн/рік
Зменшення витрат води і допоміжних ресурсів	проточне або частково циркуляційне охолодження	0,9 тис. м³/рік
Економія води та допоміжних витрат	—	17,6 тис. грн/рік
Додаткові експлуатаційні витрати на обслуговування удосконалення	—	31,0 тис. грн/рік
Загальний річний економічний ефект	—	219,4 тис. грн/рік
Капітальні вкладення	—	345,0 тис. грн
Орієнтовний строк окупності	—	1,57 року

Найбільшу частку економічного ефекту забезпечує повернення теплоти пастеризованого молока у регенеративній секції. Додатковий ефект створює використання крижаної води для остаточного охолодження, оскільки зменшується тривалість роботи холодильної машини та пікове електричне навантаження у молочному блоці.

Крім прямого зменшення витрат, проектний варіант має технологічні переваги: більш стабільне підтримання температури охолодженого молока, менше

перебування продукту у теплому стані, зменшення залежності процесу від температури води у літній період і покращення умов роботи обладнання.

5.3 Висновки до розділу

У розділі виконано техніко-економічну оцінку удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки для ферми великої рогатої худоби на 400 корів зі шлейфом. Вихідні дані та результати подано у двох таблицях без розкриття проміжних розрахунків.

Проектне рішення передбачає використання рекуперації теплоти та охолодження води природним льодом. Це зменшує потребу в зовнішньому теплопідведенні, скорочує електроспоживання холодильної установки і знижує витрати води.

За прийнятими умовами річний економічний ефект становить 219,4 тис. грн, а орієнтовний строк окупності капітальних вкладень - 1,57 року. Отже, удосконалення є економічно доцільним і може бути рекомендоване до впровадження у складі технологічної лінії первинної обробки молока.

Загальні висновки

У дипломному проєкті розглянуто питання удосконалення технологічного процесу обробки молока на фермі великої рогатої худоби. Встановлено, що якість молока значною мірою залежить від правильного виконання операцій доїння, фільтрації, охолодження, пастеризації та зберігання, а також від санітарного стану обладнання.

Проведений аналіз технологій доїння і первинної обробки молока показав доцільність застосування потокової технологічної лінії для ферми на 400 корів зі шлейфом. Така схема забезпечує зменшення ручної праці, скорочення часу обробки молока та стабільніше дотримання зоотехнічних і санітарних вимог.

У технологічному розділі обґрунтовано склад обладнання для безприв'язного утримання корів із первинною обробкою молока. Використання доїльної установки, молокопроводу, фільтра, охолоджувача, пастеризаційно-охолоджувальної установки та резервуара для зберігання молока дозволяє організувати безперервний і раціональний процес отримання якісної продукції.

У конструктивному розділі запропоновано удосконалення пастеризаційно-охолоджувальної установки з використанням охолодження води природним льодом. Таке рішення спрямоване на зменшення витрат електроенергії, підвищення ефективності охолодження та використання ресурсозберігаючих принципів у процесі теплової обробки молока.

Розроблені заходи з охорони праці враховують небезпечні та шкідливі фактори під час доїння корів і роботи з пастеризаційно-охолоджувальним обладнанням. Дотримання вимог електробезпеки, санітарії, герметичності трубопроводів, справності насосів, теплообмінників і захисних пристроїв забезпечує безпечні умови праці оператора.

Техніко-економічна оцінка показала, що запропоноване удосконалення є доцільним для впровадження на фермі. Очікуваний ефект досягається за рахунок зниження енергетичних витрат, зменшення втрат якості молока, підвищення надійності процесу обробки та поліпшення умов експлуатації обладнання. Таким чином, мета дипломного проєкту досягнута, а запропоновані рішення можуть бути використані у виробничих умовах молочнотоварної ферми.

Бібліографія

1. Міністерство аграрної політики та продовольства України. (2019). Про затвердження Вимог до безпечності та якості молока і молочних продуктів: Наказ № 118 від 12.03.2019. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0593-19>

2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, & International Dairy Federation. (2011). Guide to good dairy farming practice. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 8. <https://www.fao.org/4/ba0027e/ba0027e00.htm>

3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Milking, milk production hygiene and udder health. <https://www.fao.org/4/t0218e/T0218E00.htm>

4. International Organization for Standardization. (2007). ISO 5707:2007: Milking machine installations - Construction and performance. <https://www.iso.org/standard/37190.html>

5. Codex Alimentarius Commission. (2004). Code of hygienic practice for milk and milk products (CXC 57-2004). https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXP_057e.pdf

6. Tetra Pak. (n.d.). Heat exchangers. In Dairy Processing Handbook. <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/heat-exchangers>

7. Верховна Рада України. (1992). Про охорону праці: Закон України № 2694-XII від 14.10.1992. <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, & International Dairy Federation. (2011). Guide to good dairy farming practice (FAO Animal Production and Health Guidelines No. 8). FAO. <https://www.fao.org/4/ba0027e/ba0027e00.htm>

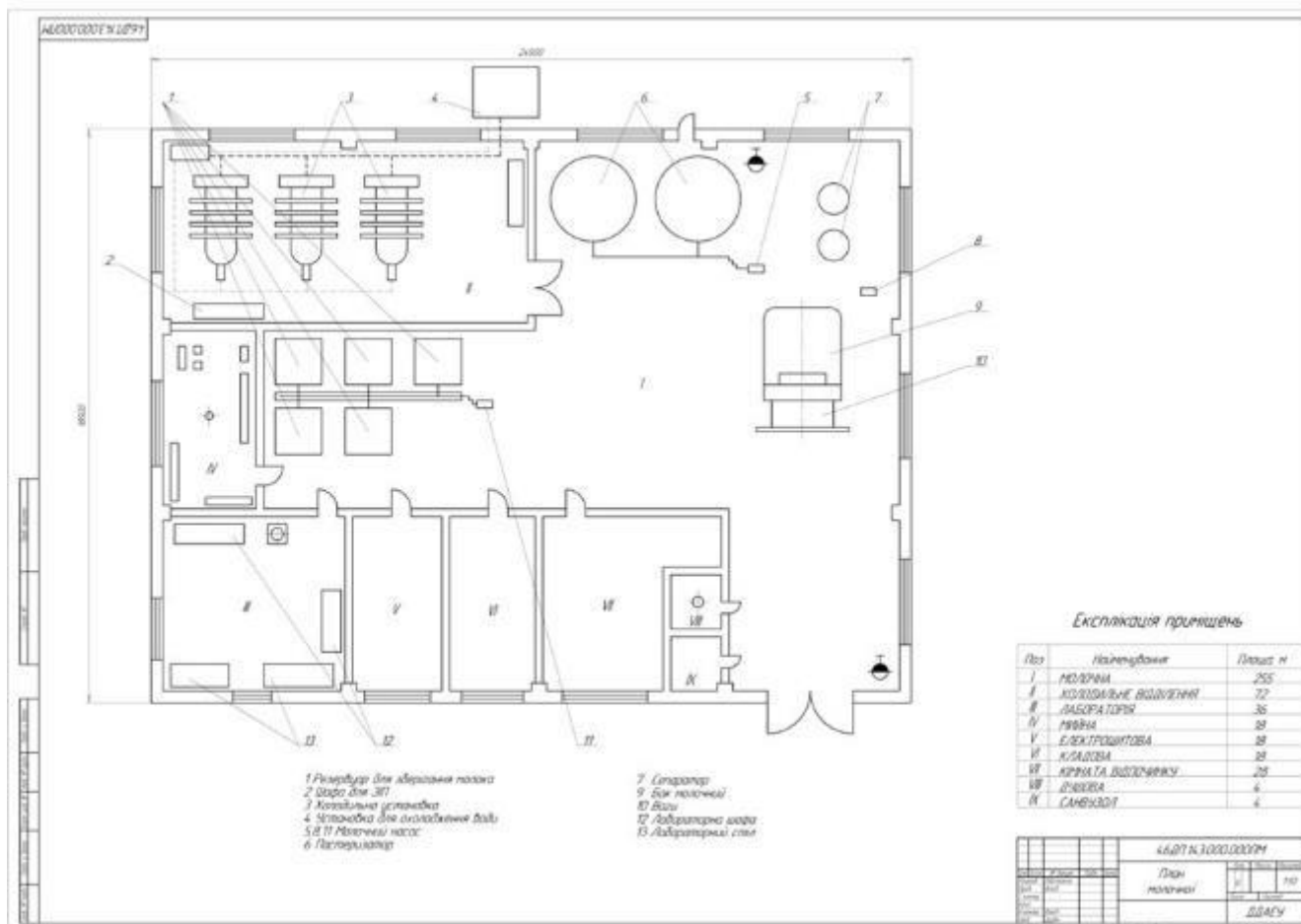
2. Codex Alimentarius Commission. (2004). Code of hygienic practice for milk and milk products (CXC 57-2004). FAO/WHO. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>

3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Milk and dairy products in human nutrition. FAO. <https://www.fao.org/4/i3396e/i3396e.pdf>

4. Міністерство аграрної політики та продовольства України. (2019). Про затвердження Вимог до безпечності та якості молока і молочних продуктів: Наказ № 118 від 12.03.2019. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0593-19>

5. International Organization for Standardization. (2007). ISO 5707:2007: Milking machine installations - Construction and performance. ISO.
<https://www.iso.org/standard/37190.html>
6. Tetra Pak. (n.d.). Dairy Processing Handbook: Pasteurized and ESL dairy products. Retrieved June 19, 2026, from
<https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/pasteurized-and-esl-dairy-products>
7. Tetra Pak. (n.d.). Dairy Processing Handbook: Heat exchangers. Retrieved June 19, 2026, from <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/heat-exchangers>
8. Tetra Pak. (n.d.). Dairy Processing Handbook: Sustainability in dairy processing. Retrieved June 19, 2026, from
<https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/sustainability-dairy-processing>
9. Tetra Pak. (n.d.). Dairy Processing Handbook: Designing a process line. Retrieved June 19, 2026, from
<https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/designing-process-line>
10. GEA Group. (n.d.). GEA pasteurizer systems for dairy applications. Retrieved June 19, 2026, from <https://www.gea.com/en/products/liquid-processing/pasteurizers/gea-pasteurizer-systems-for-dairy-applications/>
11. Indumathy, M., Sobana, S., Panda, B., & Panda, R. C. (2022). Modelling and control of plate heat exchanger with continuous high-temperature short time milk pasteurization process: A review. *Chemical Engineering Journal Advances*, 11, 100305.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100305>
12. Lalande, M., Tissier, J.-P., & Corrieu, G. (2009). Fouling of a plate heat exchanger used in ultra-high-temperature sterilization of milk. *Journal of Dairy Research*. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-dairy-research>

Додатки



0678-9006/97 \$05.00

Показник контролю	Періодичність	Нормальний стан	Відповідальний
Справність заземлення і захисного відключення	Перед початком зміни	Відсутні пошкодження, контрольна індикація справна	Оператор, електромонтер
Герметичність трубопроводів молока, води і мийних розчинів	Щозміни	Підтікання не допускається	Оператор
Стан теплоізоляції гарячих поверхонь	Щотижня	Ізоляція ціла, відкритих гарячих ділянок немає	Механік
Робота манометрів, термометрів і датчиків температури	Щозміни	Покази стабільні, прилади не мають механічних пошкоджень	Оператор
Наявність огорожень, кришок і запобіжних пристроїв	Перед запуском	Усі огороження встановлені на штатних місцях	Оператор
Стан підлоги, трапів і проходів	Протягом зміни	Підлога неслизька, проходи вільні, рідина відведена	Оператор
Маркування ємностей з мийними засобами	Під час приготування розчинів	Ємності підписані, реагенти не змішуються довільно	Оператор

		458114.3.000.000007	
		Скоростна праца	
		ДДАБУ	

[illegible]