

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Удосконалення процесу доїння корів з розробкою
рекуператора теплоти**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІС-2-23
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Марков Валентин Миколайович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

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**

Марков Валентин Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Удосконалення процесу доїння корів з розробкою рекуператора теплоти

керівник проєкту Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., 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: Аналіз стану питання процесів та обладнання для доїння корів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристика тваринництва. 2. Проєкт удосконалення лінії доїння та первинної обробки молока. 3. Розробка системи рекуперації теплоти. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографія

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема процесу обробки молока. 2. Технологічна схема процесу рекуперації. 3. Теплообмінник. 4. Пластина. 5. Штуцер. 6. Корпус. 7. Плита. 8. Техніко-економічні показники.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Дудін В.Ю., 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)

Марков В.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

п/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Номер аркуша	Примітка
			<u>Текстові документи</u>			
1	A4	46ДП.134.000.000П	Пояснювальна записка	75		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2	A1	46ДП.134.002.000Т Х	Технологічна схема процесу обробки	1	2	
3		46ДП.134.001.000Т Х	Технологічна схема процесу рекуперації	1	3	
4	A1	46ДП.134.001.00ВЗ	Теплообмінник	1	4	
5	A1	46ДП.134.000.004	Пластина	1	5	
6	A3	46ДП.134.001.005	Штуцер	1	5	
7	A3	46ДП.134.001.106	Корпус	1	5	
8	A3	46ДП.134.001.007	Плита	1	5	
1	A1	46ДП.134.000.000Е	Техніко-економічні	1	7	
				46ДП134.000.000ПЗ		
3	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат	Відомість дипломного проекту	
Розроби	Марков					
Перевір	Дудін					
Т. контр						
Н.	Івлєв					
Затв.	Дудін				ДДАЕУ, АІС-2- 23	

АНОТАЦІЯ

Марков В.М. Удосконалення процесу доїння корів з розробкою рекуператора теплоти / Дипломний проєкт на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У дипломному проєкті розглянуто питання удосконалення процесу доїння корів та первинної обробки молока з розробкою системи рекуперації теплоти під час його охолодження. Проведено характеристику молочнотоварної ферми, проаналізовано існуючу технологію утримання, доїння, охолодження та зберігання молока. Обґрунтовано необхідність зменшення енергетичних витрат на роботу холодильного обладнання і нагрівання води для санітарної промивки доїльної установки та молочного обладнання.

У роботі розроблено проєкт удосконаленої лінії доїння і первинної обробки молока, виконано розрахунки основних машин та обладнання, визначено параметри доїльної установки, фільтра, пластинчастого охолодника, танків-охолодників, потребу у воді та електроенергії. Запропоновано впровадження пластинчастого рекуператора теплоти, який забезпечує попереднє охолодження молока та одночасне підігрівання технологічної води.

Проведено тепловий і гідравлічний розрахунки системи рекуперації, визначено основні параметри теплообмінника, допоміжного насоса та резервуара-термоса. Розглянуто питання охорони праці під час обслуговування доїльної установки, молочного обладнання і вузла рекуперації теплоти. Виконано економічну оцінку запропонованого удосконалення, яка підтвердила доцільність його впровадження завдяки зменшенню витрат електроенергії та підвищенню енергоефективності молочного блоку.

Ключові слова: доїння корів, первинна обробка молока, охолодження молока, рекуперація теплоти, пластинчастий теплообмінник, молочнотоварна ферма, енергозбереження, охорона праці, економічна ефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 Характеристика тваринництва	11
1.1 Загальні відомості про сільськогосподарське підприємство	11
1.2 Характеристика скотарства	12
1.2.1 Технологія утримання тварин	12
1.2.2 Механізація виробничих процесів на фермі	15
1.3 Перспективи розвитку скотарства ПрАТ «Агро-Союз»	22
1.4 Вибір та обґрунтування теми проєкту	22
1.5 Висновки	23
2 Проєкт удосконалення лінії доїння та первинної обробки молока	24
2.1 Актуальність питання	24
2.2 Вихідні дані до проєктування, зоотехнічні вимоги	24
2.3 Стан справи в господарстві, існуючі рішення та їх аналіз	26
2.4 Постановка завдання на проєктування	27
2.5 Розробка варіанту реалізації технологічного процесу	27
2.5.1 Операції доїння корів	27
2.5.2 Операції з первинної обробки	28
2.6 Розрахунок і вибір машин та обладнання	29
2.6.1 Розрахунок виробничої програми	29
2.6.2 Розрахунок продуктивності доїльної установки	29
2.6.3 Вибір молокопроводу, насосів і фільтрів	31
2.6.4 Розрахунок обладнання для охолодження молока	31
2.6.5 Розрахунок місткості танків-охолодників	33
2.7 Визначення потреби у воді та електроенергії	33
2.8 Висновки	36
3 Розробка системи рекуперації теплоти	38
3.1 Обґрунтування важливості питання	38

	7
3.2 Розробка технологічної схеми	39
3.3 Вибір типу теплообмінника	41
3.4 Розрахунок пластинчастого теплообмінника	42
3.4.1 Вихідні дані до розрахунку	42
3.4.2 Розрахунок теплового потенціалу	43
3.4.3 Розрахунок водяного контуру та резервуара-термоса	44
3.4.4 Розрахунок площі теплопередачі	46
3.4.5 Гідравлічний розрахунок	47
3.4.6 Розрахунок теплових втрат резервуара та очікуваного ефекту	49
3.4.7 Підбір основних елементів системи	50
3.5 Висновки	51
4 Охорона праці	53
4.1 Аналіз стану охорони праці на підприємстві	53
4.2 Вимоги безпеки праці при обслуговуванні доїльної установки	58
4.3 Висновки	61
5 Економічна оцінка	62
5.1 Вихідні дані	62
5.2 Результати економічної оцінки	64
5.3 Висновки	67
Загальні висновки	68
Бібліографія	70
ДОДАТКИ	72

ВСТУП

Молочне скотарство є однією з важливих галузей аграрного виробництва, оскільки забезпечує населення цінною харчовою продукцією та формує сировинну базу для молокопереробної промисловості. Ефективність роботи молочнотоварних ферм значною мірою залежить від рівня механізації та автоматизації основних технологічних процесів, серед яких особливе місце займають доїння корів, первинна обробка, охолодження та зберігання молока. Саме на цих етапах формується якість продукції, забезпечується її безпечність і створюються умови для подальшого транспортування та переробки.

Сучасні молочні ферми характеризуються високою концентрацією поголів'я, значними обсягами щоденного виробництва молока та підвищеними вимогами до стабільності технологічного процесу. При цьому доїння корів повинно виконуватися у встановлені строки, з мінімальним стресом для тварин, дотриманням санітарно-гігієнічних вимог і забезпеченням повного видоювання. Після доїння молоко необхідно швидко очистити та охолодити до температури зберігання, оскільки затримка охолодження або порушення температурного режиму негативно впливає на його якісні показники.

Однією з актуальних проблем молочного виробництва є висока енергоємність процесів первинної обробки молока. Значна кількість електроенергії витрачається на роботу холодильного обладнання, а також на нагрівання води, необхідної для промивання доїльних апаратів, молокопроводів, фільтрів, пластинчастих охолодників, танків-охолодників та іншого обладнання молочного блоку. У традиційних технологічних схемах теплота свіжовидоєного молока, яке має температуру близьку до температури тіла тварини, фактично втрачається під час охолодження. Водночас цю теплоту можна частково використати для попереднього підігрівання води, що надалі застосовується у системі санітарної промивки.

Перспективним напрямом підвищення енергоефективності молочнотоварних ферм є впровадження систем рекуперації теплоти. Суть такого рішення полягає у використанні теплоти молока, що відводиться під час його охолодження, для нагрівання технологічної води. Це дозволяє одночасно зменшити навантаження на холодильне обладнання та скоротити витрати енергії на підготовку гарячої води. Особливо доцільним таке удосконалення є для великих ферм, де добові обсяги молока значні, а процеси доїння, охолодження і промивання обладнання повторюються кілька разів на добу.

Метою дипломного проєкту є удосконалення процесу доїння корів і первинної обробки молока шляхом розробки системи рекуперації теплоти під час охолодження молока.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати виробничу діяльність молочнотоварної ферми та існуючу технологію доїння і первинної обробки молока; обґрунтувати вихідні дані до проєктування удосконаленої лінії; виконати розрахунок основних машин і обладнання для доїння, очищення, охолодження та зберігання молока; розробити технологічну схему рекуперації теплоти; провести тепловий і гідравлічний розрахунки пластинчастого теплообмінника; визначити вимоги охорони праці під час експлуатації доїльної установки та обладнання молочної; оцінити економічну доцільність впровадження запропонованого удосконалення.

Об'єктом проєктування є технологічний процес доїння корів і первинної обробки молока на молочнотоварній фермі.

Предметом проєктування є технічні засоби доїння, охолодження молока та система рекуперації теплоти, що забезпечує використання частини теплової енергії молока для підігрівання технологічної води.

Практичне значення роботи полягає у розробці техніко-технологічного рішення, яке дозволяє підвищити енергоефективність молочного блоку, зменшити

експлуатаційні витрати, раціональніше використовувати теплову енергію та забезпечити стабільні умови первинної обробки молока. Запропонована система рекуперації може бути використана під час модернізації існуючих молочнотоварних ферм або при проєктуванні нових ліній доїння та первинної обробки молока.

Таким чином, тема дипломного проєкту є актуальною, оскільки поєднує завдання підвищення продуктивності, якості молока, енергозбереження та економічної ефективності виробництва.

1 Характеристика тваринництва

1.1 Загальні відомості про сільськогосподарське підприємство

ПрАТ «Агро-Союз» розташоване у Дніпропетровській області, Синельниківському районі, с. Майське, вул. Радгоспна, 5. Відстань від центральної садиби до обласного центру становить близько 68 км. Сполучення з м. Дніпро забезпечується автомобільними дорогами з твердим покриттям, стан яких дає змогу організовувати стабільне перевезення продукції, кормів і матеріалів.

Підприємство має змішану спеціалізацію: вирощування зернових і кормових культур поєднується з розвинутим тваринництвом, зокрема утриманням великої рогатої худоби, свиней та страусів. Така виробнича структура забезпечує власну кормову базу й знижує залежність молочного комплексу від зовнішніх постачальників.

Виробничий напрям господарства можна визначити як молочно-м'ясо-рослинницький. Територія розміщена у степовій зоні, де переважають чорноземи звичайні малогумусні, а також їх змиті й намиті різновиди. За водно-фізичними та агрохімічними властивостями ці ґрунти придатні для інтенсивного землеробства, однак потребують раціонального використання вологи.

Господарство працює в умовах ризикованого землеробства, тому головним обмежувальним чинником є кількість опадів. За багаторічними спостереженнями річна сума опадів коливається біля 525 мм. Клімат помірно континентальний і посушливий: середньорічна температура повітря становить близько +8,8 °С, а середньорічна кількість опадів - 512,5 мм. У найсприятливіші роки дефіцит вологи зменшується, тоді як у посушливі періоди його тривалість може досягати 59,4-79,5 % вегетаційного сезону.

Середньорічне випаровування з водної поверхні змінюється в межах 578-998 мм, а з поверхні ґрунту становить близько 420 мм. Річна кількість опадів за останні

роки змінювалася приблизно від 372 до 783 мм. Коефіцієнт зволоження дорівнює 0,65-0,70, у теплий період знижується до 0,39-0,42, а в найсухіші місяці - до 0,27-0,37. Вегетаційний період триває близько 224 діб.

Перші осінні заморозки зазвичай спостерігаються у першій декаді жовтня, останні весняні - у третій декаді квітня. За таких умов важливим технологічним завданням є накопичення та збереження вологи у ґрунті. Саме тому в господарстві поступово надають перевагу ґрунтозахисним і ресурсощадним способам обробітку, що краще відповідають посушливим умовам регіону.

1.2 Характеристика скотарства

1.2.1 Технологія утримання тварин

Молочне виробництво ПрАТ «Агро-Союз» об'єднує три ферми - № 2, № 4 та № 6. Основні процеси одержання молока і вирощування новонароджених телят зосереджені на фермі № 6, а ферми № 2 і № 4 виконують допоміжні функції. Поголів'я фуражних корів становить близько 2100 голів. Щорічно отримують орієнтовно 1365 телят, з яких 525 голів переводять на вирощування нетелей, а близько 840 - на відгодівлю.

Ферма № 6 (рис. 1.1) включає чотири виробничі приміщення: корівники 3, 4, 6 та приміщення 5, де розміщені два доїльні зали, станок для обробки копит, склад піску й адміністративно-побутові кімнати. Корівники поділені на секції за фізіологічним станом і продуктивністю тварин. У приміщенні 3 утримують низько- та середньопродуктивних корів, сухостійних і проблемних тварин; у приміщенні 4 - високопродуктивних, сухостійних і новотільних; у приміщенні 6 - корів у період роздоювання. Усі будівлі з'єднані перехідними галереями.



Рисунок 1.1 - Ферма № 6

Після розселення корова перебуває у родильному відділенні приблизно 15 діб, після чого переводиться до секції ранньої лактації. На 18-24 добу застосовують схему синхронізації, на 60 добу проводять осіменіння, а через 34 доби виконують ультразвукову діагностику тільності. За позитивного результату на 158 добу тварину переводять до секції пізньої лактації, де вона перебуває до завершення продуктивного періоду, орієнтовно до 320 доби. Сухостій поділяють на ранній і пізній етапи, а телят після короткочасного утримання на фермі № 6 сортують і переводять на відповідні ферми.

Таблиця 1.1 - Показники процесу виробництва молока

Корів фуражних, гол.	Середній річний удій, кг/гол.	Жирність, %	Білок, %	Соматичних клітин, тис.
2100	8757	3,83	3,38	294

Таблиця 1.2 - Орієнтовна структура витрат та виходу продукції у скотарстві

Група тварин	Поголів'я,	Витрати кормів		Витрати води		Вихід гною		Витрати підстилки	
		кг/гол	т/рік	л/гол	т/рік	кг/гол	т/рік	кг/гол	т/рік
Корови 1 половина лактації	840	48,66	14207,9	162,8	47523,0	70,4	20542,2	10,5	3066,0
Корови 2 половина лактації	903	54,40	17076,4	162,8	51087,2	70,4	22082,6	10,5	3296,0
Корови ранній сухостій	273	28,10	2666,5	136,5	12953,9	54,6	5181,5	6,3	597,9
Корови пізній сухостій	147	31,96	1633,3	136,5	6975,2	57,8	2951,0	6,3	321,9
Телиці 2-5 міс.	153	16,31	869,0	36,8	1958,4	10,5	559,5	2,1	111,9
Телиці 6-12 міс.	231	17,28	1387,8	52,5	4215,8	15,8	1264,7	2,6	210,8
Нетелі	525	30,44	5555,2	77,7	14180,3	34,7	6323,6	5,3	958,1
Всього			29188,1		91370,6		38363,9		5496,8

Утримання корів організовано за безприв'язно-боксовою технологією із піщаною підстилкою. Корми роздають мобільними змішувачами-кормороздавачами на кормові столи. Гній видаляють комбіновано: у приміщеннях застосовують скреперні установки й мобільні засоби, а подальше транспортування

до лагун здійснюють гідрозмивом. Напування забезпечують групові автонапувалки постійного рівня, а мікроклімат підтримують шторами, вентиляторами та системою зрошення.

1.2.2 Механізація виробничих процесів на фермі

Силос і сінаж заготовляють традиційно - у траншеях та буртах на бетонованих майданчиках. Сінаж із люцерни одержують за 4-5 укосів на рік у фазі бутонізації: масу скошують у валки, пров'ялюють до вологості близько 70 %, підбирають із подрібненням, вносять консервант і завантажують у транспорт. Орієнтовна довжина різки становить 21 мм. Силос готують переважно з кукурудзи та сорго за вологості до 70 %, а тривалість закладання залежить від погоди і становить близько 7-11 діб.

Приготування кормосумішей здійснюють згідно з раціонами за допомогою причіпних міксерів Penta і Jey Lor місткістю близько 25 м³. Перший агрегат обслуговує ферму № 6, другий - ферму вирощування нетелей і відгодівельне поголів'я.

Завантаження міксерів виконують на кормовому майданчику відповідно до заданої рецептури. Тут зберігаються сінаж, сіно, силос, пивна дробина та комбікорми. Для дійного стада і молодняку використовують кілька типів раціонів, які враховують продуктивність, вік і фізіологічний стан тварин.

Кількість корму для кожної секції коригують з урахуванням фактичного поголів'я, що зменшує перевитрати і втрати. Для підгодівлі біля секцій додатково вивантажують сіно, а мінеральне забезпечення організовують через годівниці для солі-лизунця.

Завантаження компонентів у міксер контролюється оператором і ваговою системою агрегату. Це дає змогу витримувати заданий склад раціону та підтримувати однорідність кормосуміші для окремих технологічних груп.



Рисунок 1.2 - Процес завантаження кормового комбайна Penta



Рисунок 1.3 - Роздавання кормів кормовим комбайном Penta

Роздавання кормів узгоджується з графіком доїння: насамперед обслуговують секції, з яких корови перебувають у доїльній залі. Протягом дня на кормові столи додають свіжу суміш, підтримуючи годівлю «вволю» і обмежуючи залишки до рівня близько 5,3 %. Невикористаний корм прибирають засобом Bobcat S630 і передають для годівлі відгодовельного молодняку.

За добу міксер Penta виконує близько 19 циклів приготування та роздавання. Середнє завантаження одного циклу становить приблизно 7,4 т, що забезпечує кормом дві секції сумарною місткістю до 420 голів.

Для підгортання корму в кормових проходах періодично використовують Bobcat S630 зі стрілоподібною бульдозерною навіскою, що поліпшує доступ тварин до кормосуміші.

У приміщеннях 3 і 4 гній із проходів видаляють скреперними установками, установленими по чотири комплекти на приміщення. Скрепери переміщують гній до центральних каналів, звідки через отвори в підлозі він потрапляє в поперечний канал і далі гідрозливом транспортується до лагун. У приміщенні 6, переддоїльних майданчиках і галереях додатково застосовують мобільні засоби та змивання водою.



Рисунок 1.4 - Видалення гною з корівників

Скреперні установки обладнані дельта-скребками з гумовими чистиками. Тяговим органом є трос, а привод барабана здійснюється від електродвигуна через клинопасову передачу і черв'ячний редуктор. Для рівномірного намотування троса передбачено тросоукладач. Установки працюють за ковзним графіком, залежно від інтенсивності накопичення гною.

Суміш гною, води та піску самопливом надходить до системи лагун. У першій лагуні відокремлюється пісок, далі рідка фракція переливається до наступних ємностей. Друга й третя лагуни оснащені плаваючими пропелерними

мішалками-аераторами. Із кінцевої лагуни рідину подають насосною станцією на повторний гідрозмив або, за необхідності, на поля зрошення на відстань до 4,2 км.

Система вентиляції у приміщеннях ферми № 6 базується на використанні підйомних штор. Приміщення 6 має одинарну штору, що відкривається вниз, а приміщення 3, 4 і 5 обладнані подвійними шторами. У приміщеннях 4, 5 та 6 додатково передбачено вентиляційно-світловий дах.

Рух повітря у корівниках створюють низьконапірні осьові вентилятори, розташовані рядами на висоті близько 5,3 м з інтервалом приблизно 10,5 м. Кожен вентилятор має жалюзі з електроприводом для спрямування потоку. Автоматичне вмикання відбувається за температури близько 22 °С. Якщо вентиляції недостатньо, запускається спрей-система охолодження з форсунками над кормовим столом.



Рисунок 1.5 - Вентиляція приміщень ферми

Водопостачання ферми забезпечується водонапірними баштами, до яких вода подається з 4 насосних станцій. У корівниках установлені групові залізобетонні автонапувалки постійного рівня з електропідігрівом місткістю близько 1470 л. В одному приміщенні розміщено до 13 таких напувалок. На післядоїльному майданчику застосовують автонапувалки меншої місткості, по 6-7 одиниць на установку.



Рисунок 1.6 - Автонапувалки

Доїння корів здійснюється у двох доїльних залах типу «паралель» фірми Bou Matic. Великий зал має 46 доїльних місць і забезпечує пропускну здатність близько 231 корови за годину, малий зал - 21 місце та продуктивність до 95 корів за годину.

Великий зал обслуговує основне дійне стадо, від якого надходить товарне молоко. На фермі застосовують триразове доїння, тривалість одного циклу становить близько 6,3 год. Між циклами автоматично виконується циркуляційна промивка доїльних апаратів, лічильників і молокопроводу. Малий зал використовують для корів родильного відділення та тварин, яких тимчасово недоцільно доїти в основному залі.

Для резервного енергозабезпечення у приміщенні № 5 розміщено дизель-генераторну установку, що підтримує роботу доїльних залів, молочної та допоміжного обладнання у разі аварійного вимкнення електроенергії.

Організація доїння у великій залі має таку послідовність.

Згідно з графіком секцію чисельністю 189-231 голова оператори переганяють внутрішніми галереями на переддоїльний майданчик. Після заповнення накопичувача рама скотопідгону переводиться у робоче положення і за командою оператора поступово переміщує корів до входу в доїльну установку.

Місткість накопичувача становить близько 231 голови, тому остання група корів потрапляє на доїння приблизно через 42 хв після надходження на майданчик.

Перед входом у зал розсікач поділяє тварин на два потоки. На кожній гілці антена зчитує транспондер корови, ідентифікує її та прив'язує до конкретного доїльного місця. Поворотні рамки формують індивідуальні місця, після чого задні дверцята групи закриваються.



Рисунок 1.7 - Доїльна зала

Під час доїння оператор обробляє дійки дезінфекційним розчином, витирає їх одноразовою серветкою, здоює перші цівки молока, під'єднує доїльні стакани і запускає процес. Після завершення доїння дійки повторно обробляються захисним розчином. Знімання апарата відбувається автоматично після зниження молоковіддачі до 0,21 л/хв. Тривалість доїння однієї корови в середньому становить 3,2-5,3 хв.

Якість роботи оператора оцінюють за характером молоковіддачі на початку доїння, рівномірністю підготовки вимені та відсутністю затримок під час під'єднання доїльних стаканів.

Доїльне місце оснащено двотактним апаратом попарної дії, блоком керування з автоматичним зніманням, колектором і вузлом підключення до системи циркуляційної промивки. Після завершення процесу передній обмежувач відкривається, і корови виходять на післядоїльні майданчики з груповими

автонапувалками. Далі тварин двома галереями спрямовують у відповідні секції корівника.

Повернення корів до секцій здійснюється через ворота-сепаратор. Система ідентифікує тварину і, за потреби, автоматично перенаправляє її до спеціального загону. Програмне забезпечення DairyComp дає змогу вести облік продуктивності, контролювати молоковіддачу, формувати базу даних по кожній корові та сигналізувати про помилки у переміщенні тварин.

Під операційною зоною доїльної установки розташоване обладнання для збирання, обліку та первинного очищення молока. Молоко з колектора через індивідуальний лічильник надходить у молокопровід, а дані передаються до комп'ютера. Далі продукт проходить повітровідокремлювач, насос і проточний фільтр, після чого надходить у молочний блок для охолодження.

Молокопровід через молокозбірник і вологовідділювач з'єднаний із вакуумною системою доїльної установки.



Рисунок 1.8 - Обладнання молочної

У молочній великої зали молоко накопичується у 4 танках-охолодниках закритого типу місткістю 21000, 18900 та два по 8400 л. Після попереднього

охолодження воно трубопроводом із кранами та фланцевими з'єднаннями подається до одного з танків. Графік роботи організовано так, щоб один резервуар міг заповнюватися під час доїння, а інший - спорожнюватися під час відвантаження. Якщо після попереднього охолодження температура не досягає 5,3 °С, молоко доохолоджується безпосередньо в танку. Разом з тим значна теплота, що відводиться від свіжовидоєного молока, наразі не використовується для підігрівання технологічної води.

Промивання молочної проводять за трьома програмами: спільне промивання фільтрів та охолодника з доїльною залогою; окреме промивання кожного танка після спорожнення; промивання магістрального трубопроводу й обладнання для відвантаження. Саме на потреби санітарної обробки витрачається значна кількість підігрітої води, тому впровадження рекуператора теплоти під час охолодження молока є технічно доцільним.

1.3 Перспективи розвитку скотарства ПрАТ «Агро-Союз»

За перспективними планами підприємства передбачається нарощування поголів'я фуражних корів до 5250 голів. Для цього планується розширення ферми № 6 шляхом будівництва додаткових приміщень сумарною місткістю близько 3150 голів. Збільшення виробництва молока потребуватиме підвищення енергоефективності доїльно-молочного блока, насамперед у процесах охолодження молока та підігрівання води.

1.4 Вибір та обґрунтування теми проєкту

Подальший розвиток ферми передбачає використання наявних технологічних рішень, однак процес доїння та первинної обробки молока

залишається найбільш енергоємним і відповідальним. Основні витрати електроенергії припадають на охолодження молока, тоді як теплота, відібрана від нього холодильним обладнанням, практично втрачається. Одночасно для промивання доїльної установки, молокопроводів і танків потрібна значна кількість гарячої води. Отже, доцільним є удосконалення процесу доїння корів із розробкою рекуператора теплоти, який дасть змогу використати теплоту молока під час його охолодження для попереднього підігрівання води та зменшення енергетичних витрат молочної ферми.

1.5 Висновки

У розділі наведено стислу характеристику ПрАТ «Агро-Союз», умов його функціонування та структури молочного виробництва.

- Розглянуто технологію утримання корів, механізацію основних процесів на фермі та особливості роботи доїльно-молочного блока.
- Встановлено, що перспективне збільшення поголів'я посилює потребу в енергоощадних рішеннях, зокрема у використанні теплоти, яка відводиться під час охолодження молока.

На підставі аналізу прийнято тему дипломного проєкту: «Удосконалення процесу доїння корів з розробкою рекуператора теплоти». У наступному розділі буде обґрунтовано технологічну схему та параметри удосконаленої лінії доїння і первинної обробки молока.

2 Проект удосконалення лінії доїння та первинної обробки молока

2.1 Актуальність питання

На сучасних молочнотоварних фермах процес доїння безпосередньо пов'язаний з первинною обробкою молока, оскільки якість продукції залежить не лише від повноти видоювання корів, а й від швидкості очищення, охолодження та подальшого зберігання молока. Вимоги до безпечності молока-сировини регламентуються ДСТУ 3662:2018, а також санітарними вимогами до виробництва харчових продуктів тваринного походження [1, 4].

Для ферми ПрАТ «Агро-Союз» питання енергоефективності є особливо важливим через збільшення поголів'я, зростання добового надою та тривалу роботу доїльного блока. Найбільші витрати електроенергії у молочній припадають на вакуумну систему, молочні насоси, охолодження молока та підігрівання води для санітарної обробки. При цьому під час охолодження свіжовидоєного молока від нього відводиться значна кількість теплоти, яка у базовій схемі практично не використовується.

Удосконалення лінії доїння доцільно виконувати шляхом поєднання високопродуктивної доїльної установки типу «паралель», поточного очищення молока, пластинчастого охолодження та підготовки до впровадження рекуператора теплоти. Такий підхід дає змогу зменшити навантаження на холодильну установку, скоротити витрати на підігрівання води і підвищити стабільність температурного режиму зберігання молока [3, 5].

2.2 Вихідні дані до проектування, зоотехнічні вимоги

Вихідні дані прийнято на основі характеристики господарства, наведеної у розділі 1, з урахуванням перспективного розширення ферми. Оскільки попередній розділ було адаптовано до збільшених виробничих показників, у розрахунках

приймаємо планове поголів'я дійних корів 3150 голів і річний надій 8757 кг молока на корову.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані до проектування лінії доїння

Показник	Позначення	Значення
Поголів'я дійних корів	N_k	3150 гол.
Плановий річний надій від однієї корови	$U_{річ}$	8757 кг/рік
Тривалість лактації	T_l	305 дів
Кількість доїнь на добу	z	3
Спосіб утримання	-	безприв'язно-боксовий
Тип доїльної установки	-	паралельна, швидкий вихід
Температура молока після доїння	t_{m1}	35 °C
Температура молока після охолодження	t_{m2}	4 °C

До процесу доїння висуваються такі основні зоотехнічні та технологічні вимоги: своєчасне підведення корів до доїльної зали без стресу; підготовка вимені з дотриманням санітарних правил; автоматичне знімання доїльних апаратів після зниження інтенсивності молоковіддачі; недопущення перетримування апаратів на дійках; безперервне транспортування молока закритим молокопроводом; очищення та охолодження молока в найкоротший можливий час. Згідно з практикою енергоощадного молочного виробництва, попереднє охолодження у пластинчастому теплообміннику може суттєво знизити навантаження на холодильні агрегати [5, 6].

Середній добовий надій від однієї корови визначаємо за формулою

$$U_{\text{доб}} = \frac{U_{\text{річ}}}{T_{\text{л}}} = \frac{8757}{305} = 28,71 \text{ кг/добу} \quad 2.1$$

)

де $U_{\text{доб}}$ - середній добовий надій від однієї корови, кг/добу;

$U_{\text{річ}}$ - річний надій від однієї корови, кг/рік;

$T_{\text{л}}$ - тривалість лактації, днів.

2.3 Стан справи в господарстві, існуючі рішення та їх аналіз

На діючій фермі доїння корів виконується у доїльних залах типу «паралель» фірми BouMatic. Молоко після доїння надходить у молокопровід, проходить повітровідокремлювач, насос, проточний фільтр і подається до молочної, де охолоджується та зберігається у танках-охолодниках. Така схема відповідає основним вимогам поточності, але має резерв удосконалення в частині енергозбереження.

Основним недоліком діючої схеми є те, що теплота свіжовидоєного молока відводиться холодильним обладнанням і розсіюється в навколишнє середовище. Одночасно для промивання доїльних апаратів, молокопроводів, фільтрів і танків потрібна гаряча вода. Тому у технологічній лінії виникає типова енергетична невідповідність: один процес потребує охолодження, а другий - нагрівання. Її можна усунути за рахунок рекуперації теплоти молока під час його охолодження.

Паралельні доїльні зали Xcalibur 90LX відносяться до важких промислових доїльних систем і орієнтовані на високий потік корів, швидке завантаження та вихід тварин із доїльних місць [3]. Тому для перспективного погортів'я доцільно прийняти дві однакові установки по 54 доїльні місця, що забезпечить резерв продуктивності та зменшить тривалість одного циклу доїння.

2.4 Постановка завдання на проектування

Метою розділу є обґрунтування удосконаленої лінії доїння та первинної обробки молока для ферми з плановим поголів'ям 3150 дійних корів. У межах розділу необхідно визначити виробничу програму лінії, підібрати доїльне обладнання, молочні насоси, фільтри, охолодник і резервуари для зберігання молока, а також розрахувати потребу у воді та електроенергії.

Проектне рішення повинно забезпечити триразове доїння, охолодження молока до температури зберігання, резерв ємності танків, можливість циркуляційної промивки обладнання та технологічну підготовку до впровадження рекуператора теплоти. Конструктивна розробка рекуператора буде виконана у наступному розділі, а в цьому розділі визначаються потоки молока, води і теплоти, необхідні для його розрахунку.

2.5 Розробка варіанту реалізації технологічного процесу

2.5.1 Операції доїння корів

Технологічний процес доїння починається з перегону групи корів із секції корівника до переддоїльного майданчика. Далі рама скотопідгону рівномірно подає тварин до входу в доїльний зал. Перед входом корови ідентифікуються, розподіляються на дві гілки установки і займають індивідуальні доїльні місця.

Для проекрованої лінії приймаємо дві доїльні установки Xcalibur 90LX Parallel фірми BouMatic по 54 доїльні місця кожна. Обладнання такого типу має паралельне розміщення корів, швидкий вихід, автоматичне знімання апаратів, можливість інтеграції з обліком продуктивності та системою промивки. Сумарна кількість доїльних місць становить 108.

Оператор машинного доїння виконує підготовку вимені, контроль перших цівок молока, під'єднання доїльних стаканів і післядоїльну обробку дійок. Молоко транспортується закритим молокопроводом через індивідуальні лічильники до

молочного блока. Знімання апаратів відбувається автоматично, що зменшує ризик травмування дійок і стабілізує тривалість доїння.

2.5.2 Операції з первинної обробки

Первинна обробка молока у проєктованій лінії включає приймання молока з доїльної установки, повітровідокремлення, насосне перекачування, фільтрування, охолодження у потоці, накопичення в танках-охолодниках і подальше відвантаження. Удосконалення полягає в тому, що перед основним доохолодженням передбачається контур використання теплоти молока для попереднього нагрівання технологічної води.

Очищення молока приймаємо через змінні проточні фільтри з продуктивністю не менше розрахункової витрати молока. Охолодження виконується у пластинчастому теплообміннику, що працює у безперервному потоці. Після охолодження молоко надходить у танки-охолодники закритого типу, де підтримується температура зберігання. Загальну схему технологічного процесу наведено на рис. 2.1.

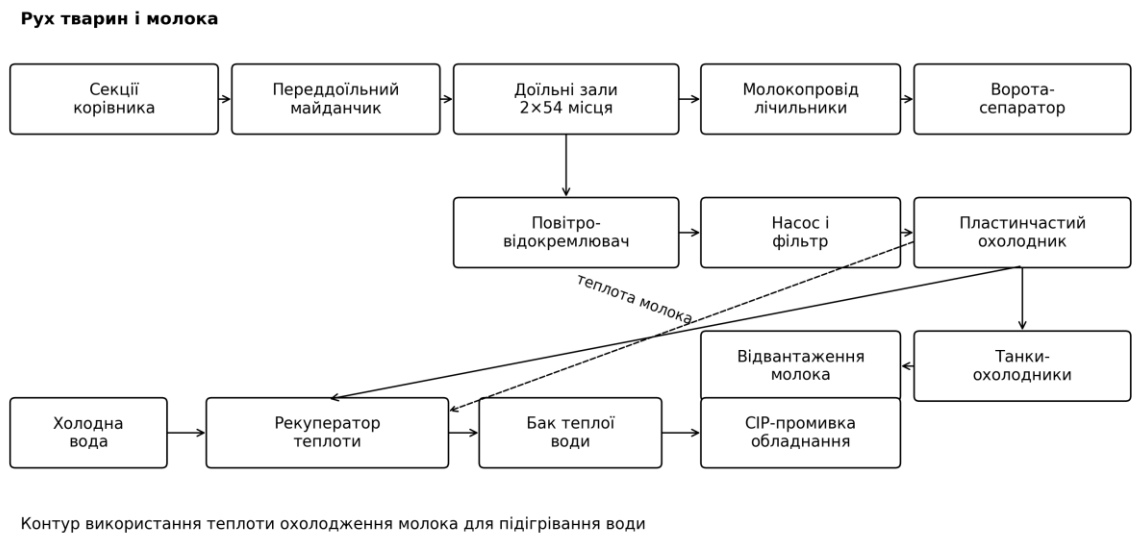


Рис. 2.1. Технологічна схема удосконаленої лінії доїння та первинної обробки молока

2.6 Розрахунок і вибір машин та обладнання

2.6.1 Розрахунок виробничої програми

Добову кількість молока, яку необхідно прийняти, очистити, охолодити і зберегти у молочній, визначаємо за виразом

$$Q_{\text{доб}} = N_{\text{к}} \cdot U_{\text{доб}} = 3150 \cdot 28,71 = 90441 \text{ кг/добу} \quad 2.2$$

)

де $Q_{\text{доб}}$ - добовий вихід молока на фермі, кг/добу;

$N_{\text{к}}$ - кількість дійних корів, гол.;

$U_{\text{доб}}$ - середній добовий надій від однієї корови, кг/добу.

Кількість молока, що надходить до молочної за одне доїння, становить

$$Q_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{доб}}}{z} = \frac{90441}{3} = 30147 \text{ кг} \quad 2.3$$

)

де $Q_{\text{д}}$ - кількість молока за одне доїння, кг;

$Q_{\text{доб}}$ - добовий вихід молока, кг/добу;

z - кількість доїнь на добу.

Отже, проектована лінія повинна надійно обробляти близько 90,4 т молока на добу, а за один цикл доїння - близько 30,1 т.

2.6.2 Розрахунок продуктивності доїльної установки

Розрахункову пропускну здатність одного доїльного залу визначаємо за кількістю доїльних місць, середньою тривалістю обслуговування однієї групи корів та коефіцієнтом використання робочого часу.

$$P_3 = \frac{60 \cdot n_{\text{м}} \cdot \eta}{t_{\text{ц}}} = \frac{60 \cdot 54 \cdot 0,90}{8,5} = 343 \text{ гол./год} \quad 2.4$$

)

де P_3 - пропускна здатність одного доїльного залу, гол./год;

n_m - кількість доїльних місць у залі;

η - коефіцієнт використання часу роботи доїльної установки;

$t_{ц}$ - середня тривалість одного технологічного циклу доїння групи, хв.

Необхідну кількість доїльних залів визначаємо з умови, що одне доїння всього поголів'я повинно завершуватися не довше ніж за 5,5 год, залишаючи час на промивання, підготовку та технологічні перерви.

$$i = \left\lceil \frac{N_k}{P_3 \cdot T_{доп}} \right\rceil = \left\lceil \frac{3150}{343 \cdot 5,5} \right\rceil = 2 \quad 2.5$$

)

де i - кількість доїльних залів;

N_k - кількість дійних корів, гол.;

P_3 - продуктивність одного залу, гол./год;

$T_{доп}$ - допустима тривалість одного циклу доїння всього поголів'я, год.

Фактична тривалість одного циклу доїння за прийнятої кількості залів дорівнює

$$T_{ф} = \frac{N_k}{i \cdot P_3} = \frac{3150}{2 \cdot 343} = 4,59 \text{ год} \quad 2.6$$

)

де $T_{ф}$ - фактична тривалість одного циклу доїння, год;

i - кількість доїльних залів;

P_3 - продуктивність одного залу, гол./год.

Таким чином, прийнята схема з двома доїльними залами по 54 місця забезпечує доїння всього поголів'я за 4,6 год, що відповідає технологічному графіку триразового доїння.

2.6.3 Вибір молокопроводу, насосів і фільтрів

Розрахункову витрату молока визначаємо за масою молока за одне доїння, фактичною тривалістю циклу і коефіцієнтом нерівномірності надходження молока.

$$G_m = k_n \cdot \frac{Q_d}{T_f} = 1,25 \cdot \frac{30147}{4,59} = 8208 \text{ кг/год} \quad 2.7$$

)

де G_m - розрахункова масова витрата молока, кг/год;

k_n - коефіцієнт нерівномірності надходження молока;

Q_d - кількість молока за одне доїння, кг;

T_f - фактична тривалість одного циклу доїння, год.

З урахуванням густини молока 1030 кг/м³ об'ємна витрата становить приблизно 8,0 м³/год. Тому приймаємо два молочні насоси продуктивністю по 5 м³/год для кожного залу та загальний резерв по пропускній здатності лінії не менше 10 м³/год. Фільтрувальний блок приймаємо здвоєного типу, що дає змогу перемикати потік під час заміни фільтруючого елемента без зупинки доїння.

2.6.4 Розрахунок обладнання для охолодження молока

Теплове навантаження пластинчастого охолодника визначаємо за кількістю теплоти, яку потрібно відвести від молока під час охолодження від температури після доїння до температури зберігання.

$$N_x = \frac{G_m \cdot c_m \cdot (t_{m1} - t_{m2})}{3600} = \frac{8208 \cdot 3,9 \cdot (35 - 4)}{3600} = 276 \text{ кВт} \quad 2.8$$

)

де N_x - теплове навантаження охолодника, кВт;

G_m - витрата молока, кг/год;

c_m - питома теплоємність молока, кДж/(кг·°C);

t_{m1} - температура молока після доїння, °C;

$t_{м2}$ - температура молока після охолодження, °C.

Орієнтовну площу теплообмінної поверхні пластинчастого охолодника визначаємо за середньологарифмічною різницею температур. Для охолодження молока крижаною водою приймаємо коефіцієнт теплопередачі 2,5 кВт/(м²·°C), температуру води на вході 1 °C і на виході 6 °C.

$$F = \frac{N_x}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{276}{2,5 \cdot 11,46} = 9,6 \text{ м}^2 \quad 2.9$$

де F - орієнтовна площа теплообмінної поверхні, м²;

N_x - теплове навантаження охолодника, кВт;

K - коефіцієнт теплопередачі, кВт/(м²·°C);

Δt_{cp} - середньологарифмічна різниця температур, °C.

З урахуванням 20 % експлуатаційного запасу приймаємо пластинчастий охолодник продуктивністю 10 т/год з площею теплообмінної поверхні не менше 12 м². У подальшій розробці частина теплообмінної поверхні використовується у складі рекупераційного контуру для підігрівання води теплотою молока.

Витрата води для попереднього охолодження молока від 35 до 18 °C при нагріванні води від 12 до 26 °C становить

$$G_B = \frac{G_M c_M \Delta t_M}{c_B \Delta t_B} = \frac{8208 \cdot 3,9 \cdot 17}{4,19 \cdot 14} = 9277 \quad 2.1$$

де G_B - розрахункова витрата води через перший ступінь охолодження, кг/год;

$t_{м3}$ - температура молока після попереднього охолодження, °C;

c_B - питома теплоємність води, кДж/(кг·°C);

$t_{в1}$ - температура води на вході, °C;

$t_{в2}$ - температура води на виході, °C.

Отримана витрата відповідає приблизно 9,3 м³/год. Її приймаємо як розрахункову для підбору насосів водяного контуру першого ступеня охолодження і для подальшого розрахунку рекуператора теплоти.

2.6.5 Розрахунок місткості танків-охолодників

Необхідний добовий об'єм молока визначаємо з урахуванням густини молока.

$$V_{\text{доб}} = \frac{Q_{\text{доб}}}{\rho_{\text{м}}} = \frac{90441}{1030} = 87,8 \text{ м}^3 \quad 2.1$$

1)

де $V_{\text{доб}}$ - добовий об'єм молока, м³;

$Q_{\text{доб}}$ - добовий вихід молока, кг/добу;

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

Для забезпечення резерву під час відвантаження та можливих коливань надоїв приймаємо запас 15 %.

$$V_{\text{зб}} = 1,15 \cdot V_{\text{доб}} = 1,15 \cdot 87,8 = 101,0 \text{ м}^3 \quad 2.1$$

2)

де $V_{\text{зб}}$ - потрібна сумарна місткість танків-охолодників, м³;

$V_{\text{доб}}$ - добовий об'єм молока, м³.

Приймаємо чотири танки-охолодники закритого типу: два танки місткістю по 30 м³ і два танки місткістю по 22 м³. Сумарна місткість становить 104 м³, що перевищує розрахункову потребу і забезпечує технологічний резерв.

2.7 Визначення потреби у воді та електроенергії

Витрата води у молочному блоці формується за рахунок води для попереднього охолодження молока та води для санітарного промивання доїльного

і молочного обладнання. Вода, що проходить через перший ступінь охолодження, не контактує з молоком, тому після нагрівання може використовуватися як технологічна або спрямовуватися на подальше підігрівання в рекуператорі.

Добову витрату води на СІР-промивку доїльних установок, молокопроводів, фільтрів і танків визначаємо укрупнено за питомою витратою на одне доїльне місце та додатковою витратою на танки й магістралі.

$$V_{\text{пр}} = 15 \cdot 54 \cdot 2 \cdot 3 + 2200 + 800 = 7860 \quad 2.1$$

3)

де $V_{\text{пр}}$ - добова витрата води на промивання, л/добу;

$q_{\text{м}}$ - питома витрата води на одне доїльне місце за цикл, л;

$n_{\text{м}}$ - кількість доїльних місць в одному залі;

i - кількість доїльних залів;

z - кількість доїнь на добу;

$V_{\text{т}}$ - витрата води на промивання танків, л/добу;

$V_{\text{дод}}$ - додаткова витрата води на фільтри, трубопроводи та арматуру, л/добу.

Отже, на промивання потрібно близько 7,9 м³ води за добу. Для нагрівання цієї води від 12 до 60 °С необхідна теплова енергія близько 441 кВт·год/добу. Потенціал теплоти, що відводиться від молока під час попереднього охолодження, визначаємо за формулою

$$E_{\text{рек}} = \frac{90441 \cdot 3,9 \cdot 17}{3600} = 1666 \quad 2.1$$

4)

де $E_{\text{рек}}$ - добовий потенціал теплоти для рекуперації, кВт·год/добу;

$Q_{\text{доб}}$ - добовий вихід молока, кг/добу;

$c_{\text{м}}$ - питома теплоємність молока, кДж/(кг·°С);

t_{m1} - температура молока після доїння, °C;

t_{m3} - температура молока після першого ступеня охолодження, °C.

Розрахунок показує, що навіть за часткового використання теплоти молока рекупераційний контур може покрити значну частину потреби у нагріванні води для промивання. Це підтверджує доцільність подальшої конструктивної розробки рекуператора.

Добову витрату електроенергії на холодильне доохолодження молока після попереднього охолодження визначаємо з урахуванням коефіцієнта холодильного перетворення.

$$E_x = \frac{90441 \cdot 3,9 \cdot (18 - 4)}{3600 \cdot 3} = 457 \quad 2.1$$

5)

де E_x - витрата електроенергії на холодильне доохолодження, кВт·год/добу;

COP - коефіцієнт холодильного перетворення;

t_{m3} - температура молока після попереднього охолодження, °C;

t_{m2} - температура зберігання молока, °C.

Якби все охолодження від 35 до 4 °C виконувалося лише холодильним агрегатом, добова витрата електроенергії становила б приблизно 1012 кВт·год. Попереднє охолодження і рекуперація дають змогу зменшити електроспоживання холодильного обладнання орієнтовно на 555 кВт·год за добу.

Таблиця 2.3 - Орієнтовна добова потреба у воді та електроенергії

Стаття витрат	Розрахункове значення	Коментар
Вода першого ступеня охолодження	9,3 м3/год; близько 128 м3/добу	вода не контактує з молоком і може

		використовуватися повторно
Вода на CIP-промивку	7,9 м ³ /добу	для доїльних залів, фільтрів, молокопроводів і танків
Електроенергія на холодильне доохолодження	457 кВт·год/добу	після попереднього охолодження молока до 18 °С
Електроенергія вакуумної системи	≈197 кВт·год/добу	за роботи двох залів і частотного регулювання
Електроенергія молочних насосів	≈36 кВт·год/добу	з урахуванням неповного завантаження насосів
Промивні насоси, автоматика, допоміжне обладнання	≈52 кВт·год/добу	укрупнений розрахунок
Сумарно без електронагріву води	≈742 кВт·год/добу	основні споживачі молочного блока
Теплова енергія на підігрів води для промивки	≈441 кВт·год/добу	може частково або повністю покриватися рекуператором

2.8 Висновки

Для перспективного поголів'я 3150 дійних корів добовий обсяг молока становить близько 90,4 т, а за одне доїння до молочної надходить близько 30,1 т молока.

Для забезпечення триразового доїння прийнято дві доїльні установки Xcalibur 90LX Parallel по 54 місця. Розрахункова тривалість одного циклу доїння становить 4,6 год, що відповідає технологічному графіку ферми.

Розрахункова витрата молока становить 8,2 т/год, тому для лінії прийнято молочні насоси і фільтри продуктивністю не менше 10 т/год.

Необхідна сумарна місткість танків-охолодників з урахуванням резерву становить 101 м³. Прийнято чотири танки загальною місткістю 104 м³.

Теплове навантаження пластинчастого охолодника становить близько 276 кВт, а потрібна площа теплообміну з урахуванням запасу - не менше 12 м².

Потенціал теплоти, що може бути використаний під час попереднього охолодження молока, становить приблизно 1666 кВт·год/добу, що перевищує потребу у теплоті для підготовки промивної води. Тому у наступному розділі доцільно виконати конструктивну розробку рекуператора теплоти.

3 Розробка системи рекуперації теплоти

3.1 Обґрунтування важливості питання

У процесі доїння молоко надходить у молочну лінію з температурою, близькою до температури тіла корови. Для забезпечення мікробіологічної стабільності його необхідно швидко охолодити до температури зберігання. При цьому від кожної тонни молока відводиться значна кількість теплоти, яка у звичайній схемі віддається холодильній установці та розсіюється в навколишнє середовище. Одночасно на фермі щоденно потрібна підігріта вода для СІР-промивання доїльної установки, молокопроводів, фільтрів, танків-охолодників і допоміжної арматури.

Технологічно ці два процеси є взаємопов'язаними: молоко потрібно охолоджувати, а воду для санітарної обробки - підігрівати. Тому доцільним напрямом удосконалення лінії є введення рекуператора теплоти, який передає частину теплоти від молока до води без змішування середовищ. У молочній промисловості для непрямого нагрівання та охолодження широко використовують пластинчасті теплообмінники, оскільки вони забезпечують велику поверхню теплообміну, компактність і можливість санітарного виконання [7, 8].

Особливістю саме молочної ферми є нерівномірність надходження молока протягом доби. Тому система рекуперації повинна не лише передавати теплоту в потоці, а й накопичувати підігріту воду в теплоізовьованому резервуарі. У подальшому ця вода може спрямовуватися на попереднє живлення водонагрівачів, промивні операції, технологічні потреби або частково на напування тварин. За інформацією виробників молочного холодильного обладнання, використання теплоти, що відводиться від молока, є одним із типових способів зниження витрат на гарячу воду та охолодження [9].

3.2 Розробка технологічної схеми

Для зменшення витрат енергії на охолодження молока і нагрівання води пропонується ввести до лінії первинної обробки молока систему рекуперації теплоти. Базова схема наведена на рис. 3.1. Вона включає пластинчастий теплообмінник-рекуператор, контур подачі холодної води, теплоізований резервуар-термос, краново-регулюючу арматуру та трубопроводи подачі підігрітої води до системи промивання.

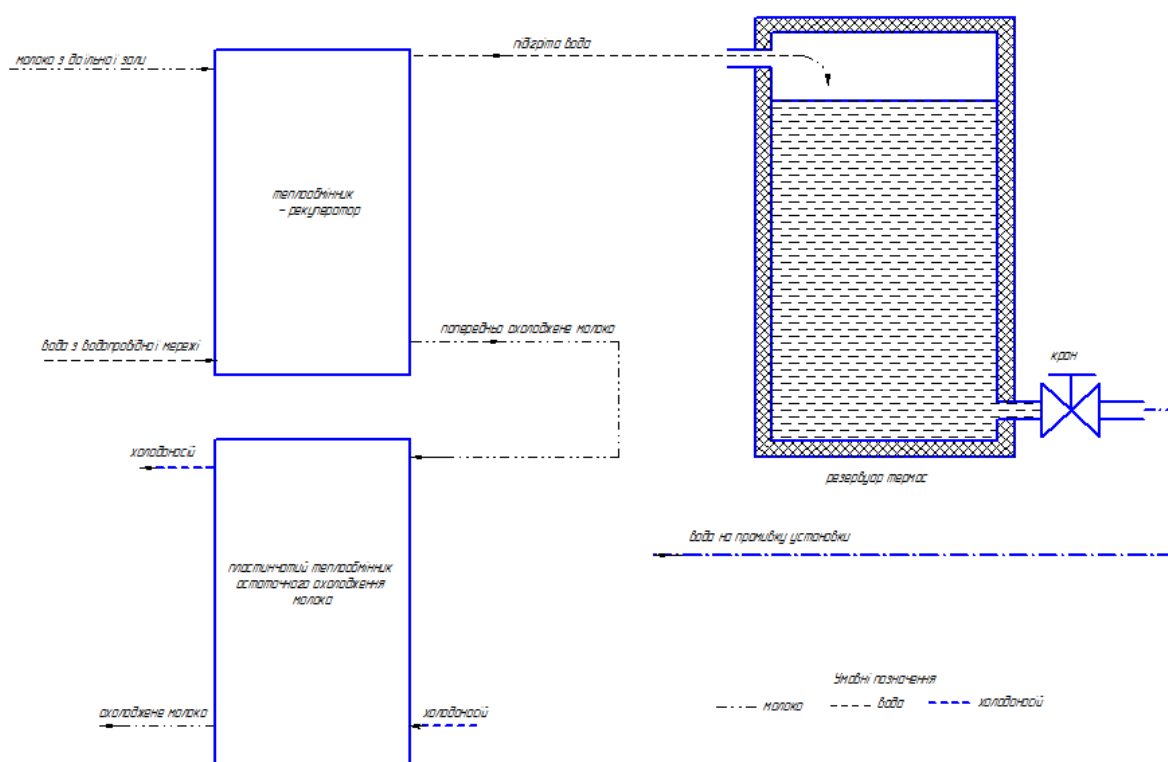


Рисунок 3.1 - Пропонована схема рекуперації теплоти молока

Система працює так. Молоко після доїльної зали надходить у теплообмінник-рекуператор. У другий контур теплообмінника подається холодна вода з водопровідної мережі. Теплота передається через стінку пластини, тому молоко і вода не змішуються. Після рекуператора молоко надходить до наступного ступеня охолодження, а підігріта вода збирається у резервуарі-термосі. З резервуара вода

може подаватися до водонагрівача, де догрівається до температури основної мийної фази.

Необхідно врахувати, що прямий молоко-водяний рекуператор не може нагріти воду до $60...70\text{ }^{\circ}\text{C}$, оскільки температура свіжовидоєного молока становить лише близько $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тому у цій роботі рекуператор розглядається як ступінь попереднього підігрівання води до $28...30\text{ }^{\circ}\text{C}$, після чого вона догрівається у штатному водонагрівачі. Це технічно коректніше, ніж розглядати теплообмінник як повну заміну водонагрівача.

Остаточну схему системи приймаємо з двома пластинчастими теплообмінниками: перший працює як рекуператор теплоти молока, другий - як основний пластинчастий охолодник, який забезпечує доохолодження молока до температури зберігання. Така схема відповідає потоковому характеру процесу та не порушує санітарної ізоляції молочного контуру.

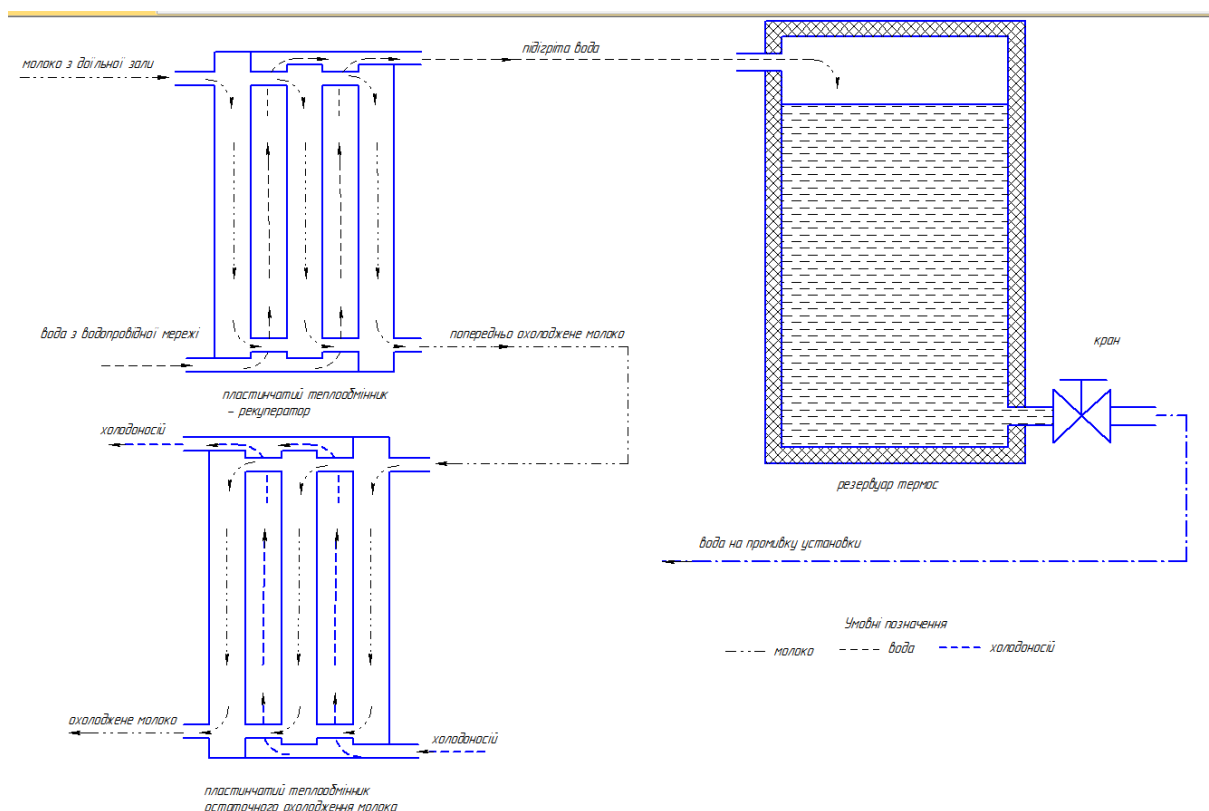


Рисунок 3.2 - Остаточна схема системи рекуперації з пластинчастим теплообмінником

3.3 Вибір типу теплообмінника

Для рекуперації теплоти можуть застосовуватися трубчасті, кожухотрубні, змішувальні та пластинчасті теплообмінники. Для молока найважливішими критеріями є санітарність, мала затримка продукту, можливість СІР-промивання, компактність, швидке розбирання для огляду та достатній коефіцієнт теплопередачі. За цими критеріями найбільш доцільним є пластинчастий теплообмінник у розбірному санітарному виконанні.

Пластинчастий теплообмінник складається з набору тонких гофрованих пластин, між якими формуються черговані канали для молока та води. Гофрування збільшує турбулізацію потоку і площу контакту з поверхнею, що дає змогу отримати високу інтенсивність теплопередачі за малих габаритів. Крім того, розбірна конструкція дозволяє змінювати кількість пластин, тобто коригувати площу теплообміну відповідно до фактичної продуктивності ферми [8, 10].

Таблиця 3.1 - Порівняння варіантів теплообмінників для системи рекуперації

Тип теплообмінника	Переваги	Недоліки	Висновок
Трубчастий	простий, стійкий до забруднень	значні габарити, нижчий коефіцієнт теплопередачі	можливий, але менш компактний
Кожухотрубний	міцний, надійний за високого тиску	складніше санітарне очищення, велика металоємність	для молочної ферми недоцільний

Змійовиковий	простота виготовлення	обмежена площа, складність контролю чистоти поверхонь	не забезпечує потрібну санітарність
Пластинчастий розбірний	компактний, високий коефіцієнт теплопередачі, можливість CIP- промивки	потрібний контроль ущільнень і перепаду тиску	приймається до розробки

Отже, для подальших розрахунків приймаємо розбірний пластинчастий теплообмінник-рекуператор із пластинами з нержавіючої сталі та еластомерними харчовими ущільненнями. Розрахунок виконуємо для мінімальної умови утилізації 10 % теплоти, яка відводиться від молока під час охолодження від 35 до 4 °С.

3.4 Розрахунок пластинчастого теплообмінника

3.4.1 Вихідні дані до розрахунку

Для розрахунку використовуємо результати розділу 2: добовий вихід молока становить 90441 кг/добу, розрахункова витрата молока через лінію - 8208 кг/год, температура молока після доїння - 35 °С, температура зберігання - 4 °С. Питому теплоємність молока приймаємо 3,9 кДж/(кг·°С), що відповідає типовим довідковим даним для молока [11]. Питому теплоємність води приймаємо 4,19 кДж/(кг·°С).

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для теплового розрахунку рекуператора

Показник	Позначення	Значення
Добовий вихід молока	$Q_{\text{доб}}$	90441 кг/добу
Розрахункова витрата молока	G_m	8208 кг/год
Температура молока на вході в рекуператор	t_{m1}	35 °C
Температура зберігання молока	t_{m2}	4 °C
Температура води на вході	t_{b1}	12 °C
Прийнята температура підігрітої води	t_{b2}	28 °C
Питома теплоємність молока	c_m	3,9 кДж/(кг·°C)
Питома теплоємність води	c_b	4,19 кДж/(кг·°C)
Частка утилізації теплоти	ϕ	0,10

3.4.2 Розрахунок теплового потенціалу

Загальний добовий тепловий потенціал молока при його охолодженні від температури після доїння до температури зберігання визначаємо за формулою

$$E_m = \frac{Q_{\text{доб}} c_m (t_{m1} - t_{m2})}{3600} = 3038 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу} \quad (3.1)$$

де E_m - добова кількість теплоти, що відводиться від молока, кВт·год/добу;

$Q_{\text{доб}}$ - добовий вихід молока, кг/добу;

c_m - питома теплоємність молока, кДж/(кг·°C);

t_{m1} - температура молока після доїння, °C;

t_{m2} - температура зберігання молока, °C.

Кількість теплоти, яку планується утилізувати у рекуператорі за умови 10 % використання теплового потенціалу молока, становить

$$E_{\text{рек}} = \varphi E_{\text{м}} = 0,10 \cdot 3038 = 304 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу} \quad (3.2)$$

де $E_{\text{рек}}$ - добова кількість теплоти, що утилізується рекуператором, кВт·год/добу;

φ - прийнята частка використання теплового потенціалу молока;

$E_{\text{м}}$ - загальний добовий тепловий потенціал молока, кВт·год/добу.

Відповідне зниження температури молока у рекуператорі за добовим тепловим балансом визначаємо за формулою

$$\Delta t_{\text{м,р}} = \varphi(t_{\text{м1}} - t_{\text{м2}}) = 3,1 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.3)$$

де $\Delta t_{\text{м,р}}$ - зниження температури молока у рекуператорі, $^{\circ}\text{C}$;

φ - частка рекуперації теплоти;

$t_{\text{м1}}$ - температура молока перед рекуператором, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{м2}}$ - кінцева температура зберігання молока, $^{\circ}\text{C}$.

Отже, у розрахунковому режимі молоко після рекуператора матиме температуру близько $31,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Така температура не є кінцевою для зберігання, тому після рекуператора обов'язково залишається основний ступінь охолодження.

3.4.3 Розрахунок водяного контуру та резервуара-термоса

Оскільки вода у рекуператорі нагрівається лише за рахунок теплоти молока, її кінцева температура повинна бути нижчою за температуру молока на вході. Для проекту приймаємо нагрівання води від 12 до $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Потрібний добовий об'єм води для утилізації 10% теплоти визначаємо з рівняння теплового балансу.

$$V_{\text{в,р}} = \frac{E_{\text{рек}} \cdot 3600}{\rho_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}})} = 16,3 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (3.4)$$

де $V_{\text{в,р}}$ - добовий об'єм води, що проходить через рекуператор, $\text{м}^3/\text{добу}$;

$E_{\text{рек}}$ - добова кількість утилізованої теплоти, кВт·год/добу;

ρ_v - густина води, кг/м³;

c_v - питома теплоємність води, кДж/(кг·°C);

t_{v1} - температура води перед рекуператором, °C;

t_{v2} - температура води після рекуператора, °C.

Добова потреба води на СІР-промивання у розділі 2 прийнята близько 7,9 м³. Тому частина підігрітої води безпосередньо використовується для промивання, а решту доцільно спрямовувати на допоміжні технологічні потреби. Для накопичення підігрітої води приймаємо теплоізований резервуар-термос місткістю 20 м³.

Середня теплова потужність рекуператора під час роботи доїльних залів визначається з урахуванням тривалості трьох доїнь. Для забезпечення запасу приймаємо коефіцієнт 1,25.

$$P_p = 1,25 \cdot \frac{E_{рек}}{\tau_d} = 28 \text{ кВт} \quad (3.5)$$

де P_p - розрахункова теплова потужність рекуператора, кВт;

$E_{рек}$ - добова кількість утилізованої теплоти, кВт·год/добу;

τ_d - сумарна тривалість роботи доїльної лінії за добу, год.

Витрату води через рекуператор у розрахунковому режимі визначаємо за формулою

$$G_v = \frac{P_p \cdot 3600}{c_v(t_{v2} - t_{v1})} = 1504 \text{ кг/год} \quad (3.6)$$

де G_v - масова витрата води через рекуператор, кг/год;

P_p - розрахункова теплова потужність рекуператора, кВт;

c_v - питома теплоємність води, кДж/(кг·°C);

t_{v1} - температура води на вході, °C;

t_{v2} - температура води на виході, °C.

Отже, витрата води становить близько 1,5 м3/год. Така витрата може забезпечуватися малим циркуляційним насосом із регулюванням або електромагнітним клапаном, який відкривається лише під час проходження молока через рекуператор.

3.4.4 Розрахунок площі теплопередачі

Для протитечійної схеми середню логарифмічну різницю температур визначаємо за формулою

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln(\Delta t_2 / \Delta t_1)} = 12,4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.7)$$

де $\Delta t_{\text{ср}}$ - середня логарифмічна різниця температур, $^\circ\text{C}$;

Δt_1 - різниця температур між молоком на вході та водою на виході, $^\circ\text{C}$;

Δt_2 - різниця температур між молоком на виході та водою на вході, $^\circ\text{C}$.

Необхідну площу теплопередачі пластинчастого теплообмінника визначаємо за основним рівнянням теплопередачі.

$$F = \frac{P_p}{k \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{28}{1,8 \cdot 12,4} = 1,25 \text{ м}^2 \quad (3.8)$$

де F - розрахункова площа теплопередачі, м^2 ;

P_p - теплова потужність рекуператора, кВт;

k - прийнятий коефіцієнт теплопередачі для пластинчастого теплообмінника, $\text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

$\Delta t_{\text{ср}}$ - середня логарифмічна різниця температур, $^\circ\text{C}$.

З урахуванням забруднення поверхонь, старіння ущільнень і можливих коливань температур приймаємо запас площі 25 %.

$$F_{\text{пр}} = \psi F = 1,25 \cdot 1,25 = 1,56 \text{ м}^2 \quad (3.9)$$

де $F_{\text{пр}}$ - прийнята з запасом площа теплопередачі, м^2 ;

ψ - коефіцієнт запасу площі;

F - розрахункова площа теплопередачі, м².

Якщо площу однієї робочої пластини прийняти 0,08 м², орієнтовну кількість пластин визначаємо так:

$$n = \frac{F_{\text{пр}}}{f_{\text{п}}} + 2 = \frac{1,56}{0,08} + 2 \approx 22 \text{ пластини} \quad (3.10)$$

де n - орієнтовна кількість пластин у пакеті;

$F_{\text{пр}}$ - прийнята площа теплопередачі, м²;

$f_{\text{п}}$ - площа однієї пластини, м².

Конструктивно приймаємо пластинчастий рекуператор із площею теплообміну не менше 2,0 м² та можливістю нарощування пакета пластин. Такий запас доцільний, оскільки фактична температура води зі свердловини, витрата молока та тривалість доїння можуть змінюватися протягом року.

3.4.5 Гідравлічний розрахунок

Гідравлічний розрахунок виконуємо для перевірки швидкостей у каналах теплообмінника та визначення додаткового опору, який повинні подолати насос молочної лінії і циркуляційний насос водяного контуру. Для пластинчастого каналу гідравлічний діаметр приблизно визначаємо через міжпластинний зазор.

$$d_{\text{г}} = 2b = 2 \cdot 0,003 = 0,006 \text{ м} \quad (3.11)$$

де $d_{\text{г}}$ - гідравлічний діаметр каналу, м;

b - міжпластинний зазор, м.

Швидкість руху середовища у каналах визначаємо за формулою

$$v = \frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot n_{\text{к}} B b} \quad (3.12)$$

де v - середня швидкість руху середовища в каналах, м/с;

G - масова витрата середовища, кг/год;

ρ - густина середовища, кг/м³;

n_k - кількість паралельних каналів;

B - розрахункова ширина каналу, м;

b - міжпластинний зазор, м.

Для молочного контуру при восьми паралельних каналах отримуємо швидкість близько 0,42 м/с, а для водяного контуру при чотирьох паралельних каналах - близько 0,16 м/с. Такі значення достатні для проходження потоку без надмірного гідравлічного опору, а режим водяного контуру за потреби можна інтенсифікувати зменшенням кількості паралельних каналів.

Втрати тиску у пластинчастому каналі орієнтовно визначаємо за формулою

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{L}{d_r} + \zeta \right) \frac{\rho v^2}{2} \quad (3.13)$$

де Δp - втрати тиску в каналі, Па;

λ - коефіцієнт гідравлічного опору гофрованого каналу;

L - довжина каналу, м;

d_r - гідравлічний діаметр каналу, м;

ζ - коефіцієнт місцевих опорів;

ρ - густина середовища, кг/м³;

v - швидкість руху середовища, м/с.

З урахуванням місцевих опорів та запасу отримуємо орієнтовні втрати тиску: для молочного контуру - близько 15,6 кПа, для водяного контуру - близько 2,2 кПа. Для промислового пластинчастого теплообмінника такі втрати є допустимими і не потребують зміни прийнятого типу обладнання.

Потужність насоса водяного контуру визначаємо за формулою

$$N_H = \frac{\rho_B g Q_B H}{1000 \eta_H} = 0,09 \text{ кВт} \quad (3.14)$$

де N_H - потрібна потужність насоса, кВт;

ρ_B - густина води, кг/м³;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

Q_v - об'ємна витрата води, м³/с;

H - прийнятий напір насоса з урахуванням трубопроводів і арматури, м;

η_n - ККД насоса.

За розрахунком достатньо насоса малої потужності. Конструктивно приймаємо циркуляційний насос водяного контуру потужністю 0,37 кВт із подачею не менше 1,5 м³/год і напором 10 м.

3.4.6 Розрахунок теплових втрат резервуара та очікуваного ефекту

Для зберігання підігрітої води прийнято резервуар-термос місткістю 20 м³ із теплоізоляцією товщиною 50 мм. Орієнтовні втрати теплоти через ізольовану поверхню визначаємо за формулою

$$P_{\text{втр}} = \frac{\lambda_{\text{із}} A_p (t_{\text{в2}} - t_{\text{п}})}{\delta_{\text{із}}} = 0,44 \text{ кВт} \quad (3.15)$$

де $P_{\text{втр}}$ - теплові втрати резервуара, кВт;

$\lambda_{\text{із}}$ - коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції, Вт/(м·°С);

A_p - площа зовнішньої поверхні резервуара, м²;

$t_{\text{в2}}$ - температура води у резервуарі, °С;

$t_{\text{п}}$ - температура приміщення, °С;

$\delta_{\text{із}}$ - товщина теплоізоляції, м.

За добу теплові втрати становлять близько 10,5 кВт·год, тобто менше 4 % від добової кількості утилізованої теплоти. Тому прийнята теплоізоляція є достатньою для накопичення підігрітої води між циклами доїння.

Для промивання лінії потрібно близько 7,9 м³ гарячої води за добу. Якщо цю воду попередньо нагрівати у рекуператорі від 12 до 28 °С, то лише на СІР-промиванні економія теплоти становитиме близько 147 кВт·год/добу. Повне використання прийнятих 16,3 м³ підігрітої води дає 304 кВт·год/добу корисної

теплоти, а також зменшує навантаження на холодильну установку приблизно на 101 кВт·год електроенергії за добу за умови $COP = 3$.

$$E_{\text{еф}} = E_{\text{рек}} + \frac{E_{\text{рек}}}{COP} - E_{\text{втр}} = 394,5 \text{ кВт·год/добу} \quad (3.16)$$

де $E_{\text{еф}}$ - добовий енергетичний ефект системи, кВт·год/добу;

$E_{\text{рек}}$ - корисна рекуперована теплота, кВт·год/добу;

COP - коефіцієнт холодильного перетворення;

$E_{\text{втр}}$ - добові втрати теплоти у резервуарі, кВт·год/добу.

Річний енергетичний ефект за безперервної роботи ферми становитиме близько 144 тис. кВт·год. Остаточний економічний результат залежатиме від тарифу на електроенергію, виду основного водонагрівача та фактичного використання всієї підігрітої води.

3.4.7 Підбір основних елементів системи

Для забезпечення надійності систему потрібно обладнати датчиками температури води на вході й виході з рекуператора, датчиком температури молока після рекуператора, запірними кранами, зворотними клапанами, байпасною лінією та дренажем. У разі аварії або промивання рекуператора молоко повинно мати можливість проходити повз теплообмінник без порушення роботи всієї молочної лінії.

З санітарної точки зору всі елементи молочного контуру виконуються з нержавіючої сталі та підключаються до існуючої системи СІР-промивки. Водяний контур не контактує з молоком, тому ризик змішування середовищ відсутній за умови цілісності пластин та ущільнень. При технічному обслуговуванні необхідно перевіряти стан прокладок, герметичність з'єднань і відсутність підтікання між контурами.

Таблиця 3.3 - Основні параметри прийнятої системи рекуперації теплоти

Елемент системи	Розрахунковий параметр	Прийняте рішення
Пластинчастий рекуператор	теплова потужність 28 кВт; потрібна площа з запасом 1,56 м ²	розбірний пластинчастий теплообмінник площею не менше 2,0 м ²
Пакет пластин	орієнтовно 22 пластини по 0,08 м ²	пластини з нержавіючої сталі, харчові ущільнення, можливість нарощування
Водяний контур	витрата 1,5 м ³ /год; нагрівання води 12...28 °С	циркуляційний насос 0,37 кВт, напір 10 м
Молочний контур	витрата молока 8208 кг/год; падіння температури близько 3,1 °С	встановлення рекуператора перед основним охолодником
Резервуар-термос	потрібно 16,3 м ³ води за добу	ізольований резервуар 20 м ³
Арматура та автоматика	потрібне узгодження з подачею молока	електромагнітний клапан, датчики температури, байпас, зворотні клапани
Санітарне очищення	контакт із молоком лише у молочних каналах	підключення до існуючої СІР-промивки

3.5 Висновки

У розділі обґрунтовано доцільність рекуперації теплоти молока під час його охолодження. Встановлено, що добовий тепловий потенціал молока становить близько 3038 кВт·год/добу.

Для проекту прийнято умову утилізації 10 % теплового потенціалу, що відповідає 304 кВт·год/добу корисної теплоти. Це забезпечує попереднє підігрівання води від 12 до 28 °С.

Для реалізації схеми обрано розбірний пластинчастий теплообмінник-рекуператор. Розрахункова тепла потужність становить 28 кВт, потрібна площа теплообміну з урахуванням запасу - 1,56 м², конструктивно прийнято не менше 2,0 м².

Визначено параметри водяного контуру: витрата води 1,5 м³/год, орієнтовний добовий об'єм підігрітої води 16,3 м³, місткість резервуара-термоса 20 м³.

Гідравлічний розрахунок показав, що втрати тиску в молочному та водяному контурах є допустимими. Для водяного контуру прийнято циркуляційний насос потужністю 0,37 кВт.

Очікуваний добовий енергетичний ефект з урахуванням теплових втрат резервуара становить близько 395 кВт·год/добу, що підтверджує доцільність розробленого технічного рішення.

4 Охорона праці

4.1 Аналіз стану охорони праці на підприємстві

Охорона праці на молочнотоварній фермі є складовою загальної системи управління виробництвом, оскільки процес доїння поєднує роботу з тваринами, електрифікованим обладнанням, вакуумною системою, насосами, молокопроводами, гарячою водою, мийними розчинами та обладнанням первинної обробки молока. У попередніх розділах передбачено використання доїльної установки типу «паралель» Xcalibur 90LX Parallel на 54 доїльні місця, проточного фільтра, пластинчастого охолодника, танків-охолодників і системи рекуперації теплоти молока. Тому оцінка умов праці повинна враховувати не лише операції машинного доїння, а й обслуговування молочної, промивання обладнання, перекачування молока та контроль роботи рекуператора.

Нормативну основу організації безпечної роботи становлять Закон України «Про охорону праці», Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, вимоги до безпечності та якості молока і молозива, а також внутрішні інструкції підприємства [1-5]. З урахуванням цього роботодавець має забезпечити справність обладнання, навчання й інструктаж персоналу, проведення медичних оглядів, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, ведення журналів інструктажів та своєчасне усунення небезпечних технічних відхилень.

Аналіз технологічного процесу показує, що основними небезпечними зонами є переддоїльний майданчик, входні та вихідні ворота доїльної установки, робоча траншея оператора, молочна, зона розміщення насосів, теплообмінників і резервуара підігрітої води. Для цих зон характерні вологі підлоги, рух тварин, обмежений простір, можливість удару кінцівками тварини, наявність

електрообладнання у вологому середовищі, а також ризики опіків під час контакту з гарячою водою або мийними розчинами.

У виробничих приміщеннях ферми доцільно підтримувати чітке розділення потоків тварин, персоналу, молока, мийних засобів і технічного обслуговування. Робочі проходи мають бути неслизькими, освітленими, очищеними від залишків кормів, гною та води. Люки, приямки, канали, кабельні траси й місця встановлення насосного обладнання повинні мати огороження або кришки, що виключають падіння працівника та випадкове пошкодження комунікацій.

Санітарна безпека у доїльному залі одночасно є умовою безпечної праці й умовою отримання якісного молока. Особи, які виконують доїння або інші операції з молоком, повинні працювати у чистому спеціальному одязі, дотримуватися правил особистої гігієни, мати можливість мити руки поблизу місця роботи або використовувати одноразові рукавички [4]. Для оператора машинного доїння це особливо важливо, оскільки робота виконується у прямому контакті з вим'ям тварини, доїльними стаканами, фільтрами та поверхнями обладнання.

Система рекуперації теплоти, запропонована у дипломному проєкті, поліпшує енергетичні показники лінії, але вводить додаткові фактори ризику: наявність підігрітої води, теплоізовованого резервуара, циркуляційного насоса, додаткових клапанів, трубопроводів і пластинчастого теплообмінника. Тому для цього вузла необхідно передбачити запірну арматуру, манометри, термометри, зливні крани, захист від випадкового дотику до гарячих поверхонь, маркування напрямків руху молока та води, а також інструкцію з безпечного виведення обладнання з роботи перед обслуговуванням.

Загальну характеристику основних небезпечних та шкідливих чинників при роботі з доїльною установкою і обладнанням молочної наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Аналіз небезпечних та шкідливих чинників при обслуговуванні доїльної установки

Небезпечний або шкідливий чинник	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Заходи запобігання
Травмування тваринами	Рух корів у накопичувачі, воротах, доїльних станках і післядоїльному проході	Удари, затискання, падіння оператора, стрес тварин	Спокійне переганяння, справні ворота й фіксатори, заборона перебування у зоні затискання, достатнє освітлення
Ураження електричним струмом	Вакуумні насоси, молочні насоси, автоматика, приводи воріт, вентиля, електропідігрів води	Електротравма, пожежа, зупинка технологічного процесу	Заземлення, ПЗВ, справні шафи керування, сухі руки під час роботи з пультами, допуск до ремонту лише електротехнічного персоналу
Падіння на слизькій підлозі	Вода, молоко, мийні розчини, гній, конденсат у молочній і доїльній залі	Забої, розтягнення, переломи, пошкодження обладнання	Неслизьке покриття, своєчасне прибирання, ухили до трапів, справна каналізація, взуття з протиковзною підошвою

Небезпечний або шкідливий чинник	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Заходи запобігання
Опіки гарячою водою та парою	Система промивання, резервуар підігрітої води, теплообмінник рекуператора, трубопроводи	Термічні опіки шкіри й очей	Теплоізоляція гарячих ділянок, попереджувальні знаки, контроль температури, рукавиці та захисні окуляри під час обслуговування
Хімічний вплив мийних засобів	Лужні та кислотні розчини для циркуляційної промивки молокопроводу , фільтрів і танків	Подразнення шкіри, очей, органів дихання, хімічні опіки	Дозування згідно інструкції, окреме зберігання реагентів, промаркована тара, рукавички, окуляри, фартух, вентиляція
Механічне травмування	Рухомі ворота, скотопідгін, приводи, насоси, засувки, швидкорознімн і з'єднання	Затискання пальців, удари, порізи, пошкодженн я рук	Огородження рухомих частин, кнопки аварійної зупинки, заборона ремонту під час роботи, блокування перед обслуговуванням

Небезпечний або шкідливий чинник	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Заходи запобігання
Біологічні чинники	Контакт із тваринами, молоком, забрудненими поверхнями, гноєм, одноразовими серветками	Інфекційні ризики, алергічні реакції, забруднення молока	Спецодяг, миття рук, одноразові рукавички за потреби, санітарна обробка обладнання, окремий збір використаних матеріалів

За результатами аналізу можна зробити висновок, що стан охорони праці в лінії доїння значною мірою залежить від справності технічних засобів і дисципліни персоналу. Найбільш імовірні ризики пов'язані з одночасною дією вологи, електрообладнання, рухомих механізмів і тварин. Окремої уваги потребують операції промивання, під час яких до системи подаються гарячі мийні розчини, а працівник контактує з арматурою, фільтрами та трубопроводами.

Для зниження ризиків необхідно передбачити щоденний огляд робочої зони перед початком зміни, контроль справності пультів керування, перевірку наявності заземлення та захисних кожухів, справність трапів і водовідведення, наявність попереджувальних написів біля гарячих поверхонь та місць зберігання хімічних засобів. Усі відхилення, що можуть створити небезпеку для працівника або тварини, повинні усуватися до початку роботи або фіксуватися в журналі з передачею відповідальній особі.

4.2 Вимоги безпеки праці при обслуговуванні доїльної установки

До обслуговування доїльної установки допускаються працівники, які пройшли вступний і первинний інструктажі з охорони праці, навчання безпечним прийомам роботи, перевірку знань, медичний огляд і ознайомлення з інструкцією виробника доїльного обладнання. Працівник повинен знати розташування кнопок аварійної зупинки, електрощитів, запірної арматури молокопроводу, водопроводу і системи рекуперації, а також порядок дій у разі травмування, аварійного вимкнення електроенергії, витоку мийного розчину або опіку.

Перед початком роботи оператор повинен одягнути чистий спецодяг, гумові або полімерні чоботи з протиковзною підошвою, головний убір, за потреби - одноразові рукавички, захисні окуляри та фартух для операцій з мийними розчинами. Не дозволяється приступати до роботи у вологому одязі, пошкодженому взутті, без засобів захисту або за наявності відкритих ушкоджень шкіри рук, якщо вони не захищені водонепроникною пов'язкою і рукавичкою.

До запуску доїльної установки необхідно перевірити чистоту робочого місця, відсутність сторонніх предметів у траншеї оператора, справність освітлення, воріт, скотопідгону, вакуумної системи, доїльних апаратів, молокопроводу, фільтра, молочного насоса, трубопроводів промивання та пульта керування. Підлога не повинна бути слизькою, а проходи мають бути вільними для руху працівників і тварин.

Під час перегання корів до накопичувача оператори повинні діяти спокійно, без крику, ударів і різких рухів. Забороняється стояти між твариною та нерухомими елементами огорожі, заходити у зону руху автоматичних воріт, перебувати за спиною тварини без необхідності, сидати на огорожі або використовувати елементи доїльної установки як опору. Для роботи з агресивними

або хворими тваринами необхідно залучати додаткового працівника та використовувати передбачені фіксувальні пристрої.

У процесі доїння оператор повинен дотримуватися послідовності технологічних операцій: підготовка вимені, здоювання перших цівок, очищення і висушування дійок, під'єднання доїльних стаканів, контроль молоковіддачі, автоматичне або ручне зняття апарата за регламентом, післядоїльна обробка дійок. Порушення цієї послідовності погіршує санітарний стан молока і може збільшувати ризик травмування тварини та оператора.

Не дозволяється торкатися відкритих електричних контактів, самостійно відкривати шафи керування, ремонтувати приводи воріт, насоси, пульсатори або датчики під час роботи установки. У разі появи запаху горілої ізоляції, іскріння, стороннього шуму, вібрації, різкого падіння вакууму або витоку рідини оператор повинен зупинити обладнання, повідомити відповідальну особу й не відновлювати роботу до усунення несправності.

Під час обслуговування молочної особливу увагу слід приділяти безпеці роботи з фільтрами, молочними насосами, танками-охолодниками, пластинчастим охолодником і рекуператором теплоти. Заміна фільтрувального елемента, розбирання з'єднань, огляд пластинчастого теплообмінника або промивання танка допускаються лише після зупинки подачі молока, зниження тиску в лінії, відключення відповідного насоса та перевірки відсутності гарячої води або мийного розчину в ділянці, що обслуговується.

У вузлі рекуперації теплоти молоко та вода рухаються окремими контурами. Працівник повинен контролювати, щоб трубопроводи були промарковані, а з'єднання не мали протікань. Забороняється змінювати положення клапанів без дозволу відповідальної особи, відкривати фланцеві або швидкокорозійні з'єднання під тиском, знімати теплоізоляцію з гарячих ділянок під час роботи та використовувати підігріту технічну воду не за призначенням.

Циркуляційну промивку доїльної установки необхідно виконувати згідно з технологічною програмою. Під час приготування мийних розчинів забороняється змішувати кислотні та лужні препарати без регламенту виробника, переливати їх у непідписану тару, використовувати харчовий посуд або працювати без рукавичок і захисних окулярів. У разі потрапляння розчину на шкіру або в очі уражене місце негайно промивають великою кількістю чистої води та звертаються за медичною допомогою.

Ремонт і технічне обслуговування доїльної установки, молочних насосів, вакуумної системи, теплообмінників і резервуара підігрітої води повинні проводитися за принципом повного виведення обладнання з роботи: вимкнення електроживлення, блокування від випадкового пуску, скидання тиску, охолодження гарячих ділянок, спорожнення трубопроводів і встановлення попереджувальної таблички. Після завершення робіт усі захисні кожухи, кришки, огороження й запобіжні пристрої повинні бути встановлені на штатні місця.

Пожежна безпека у доїльній залі та молочній забезпечується справністю електропроводки, недопущенням перевантаження електромережі, своєчасним очищенням обладнання від забруднень, зберіганням мийних і дезінфекційних засобів у виділеному місці, наявністю вогнегасників, вільним доступом до виходів і електроцитів. Персонал повинен знати порядок виклику аварійних служб, місце розташування аптечки, вогнегасників, головного вимикача та запірної арматури.

У разі аварійної ситуації оператор зобов'язаний припинити роботу, вивести людей із небезпечної зони, за можливості зупинити обладнання штатною або аварійною кнопкою, повідомити керівника зміни та діяти згідно з інструкцією підприємства. При ураженні електричним струмом першочергово вимикають живлення, не торкаючись потерпілого голими руками до знеструмлення. При опіках гарячою водою або мийним розчином уражену ділянку охолоджують водою та забезпечують медичну допомогу.

Дотримання наведених вимог дозволяє зменшити ймовірність виробничого травматизму, стабілізувати санітарний стан молока, підвищити надійність роботи доїльної лінії та забезпечити безпечну експлуатацію додаткового обладнання рекуперації теплоти.

4.3 Висновки

У розділі проаналізовано умови праці під час експлуатації лінії доїння та первинної обробки молока з урахуванням установленої доїльної установки, молочної, системи промивання та запропонованої системи рекуперації теплоти.

Встановлено, що основними небезпечними чинниками є травмування тваринами, ураження електричним струмом у вологому середовищі, падіння на слизькій підлозі, опіки гарячою водою, дія мийних засобів, механічне травмування рухомими елементами та біологічні чинники.

Запропоновано організаційні й технічні заходи безпеки: інструктаж і допуск персоналу, застосування спецодягу та засобів захисту, підтримання неслизьких проходів, справність електрозахисту, маркування трубопроводів, огороження рухомих частин, контроль температури та тиску, безпечне виконання промивання й технічного обслуговування.

Виконання зазначених вимог забезпечує безпечну роботу оператора доїльної установки, знижує ризик аварій у молочній і створює передумови для надійної експлуатації рекуператора теплоти без погіршення санітарного стану молока.

5 Економічна оцінка

5.1 Вихідні дані

Економічну оцінку виконано для удосконаленої лінії доїння та первинної обробки молока, у якій передбачено встановлення системи рекуперації теплоти під час охолодження молока. Базовим варіантом прийнято існуючу схему, за якої теплота свіжовидоєного молока відводиться холодильним обладнанням і не використовується для підігрівання води. Удосконалений варіант передбачає пластинчастий теплообмінник-рекуператор, резервуар-термос для підігрітої води, циркуляційний насос, трубопроводи, запірно-регулюючу арматуру та елементи автоматики.

Основний економічний ефект формується за рахунок двох складових: зменшення витрат на підігрівання води для санітарного промивання та часткового зниження навантаження на холодильну установку. У розрахунку не враховано додатковий можливий ефект від стабілізації температурного режиму молока, зменшення зношування холодильного обладнання та підвищення санітарної надійності процесу, тому отримані результати можна вважати помірно-консервативними.

Розрахункову вартість електроенергії прийнято на рівні 8,50 грн/кВт·год як комплексне проектне значення для непобутового споживача. Воно враховує, що кінцева ціна для підприємства складається з ринкової складової, передачі, розподілу та послуг постачальника. Для Дніпропетровської області чинний з 01.05.2026 тариф на розподіл для АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі» для 2 класу напруги становить 1781,16 грн/МВт·год без ПДВ [1].

До складу капітальних вкладень віднесено придбання основного обладнання, виготовлення або закупівлю теплоізовованого резервуара, трубопровідну обв'язку, автоматику, монтажні роботи та пусконаладження. Вартість обладнання прийнято як орієнтовну проектну, оскільки фактична ціна залежить від

санітарного виконання, матеріалу пластин, типу ущільнень, комплектації арматурою та вимог конкретного постачальника.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для економічної оцінки

Показник	Прийняте значення
Планове поголів'я дійних корів	3150 голів
Добовий вихід молока	90441 кг/добу
Тривалість роботи лінії протягом року	365 діб
Корисна теплота, що рекуперується	304 кВт·год/добу
Зменшення витрат електроенергії на охолодження	101 кВт·год/добу
Добові теплові втрати резервуара	10,5 кВт·год/добу
Сумарний добовий енергетичний ефект	395 кВт·год/добу
Річний енергетичний ефект	144,2 тис, кВт·год/рік
Об'єм підігрітої води	16,3 м ³ /добу
Місткість резервуара-термоса	20 м ³
Потужність циркуляційного насоса	0,37 кВт
Розрахункова ціна електроенергії	8,50 грн/кВт·год

За відкритими ринковими даними пластинчасті теплообмінники можуть істотно відрізнятись за ціною залежно від площі, потужності і конструкції [2, 3].

Таблиця 5.2 - Орієнтовні капітальні вкладення у систему рекуперації

Стаття витрат	Сума, тис. грн
Пластинчастий теплообмінник-рекуператор санітарного виконання	145,0
Теплоізований резервуар-термос місткістю 20 м ³	390,0
Циркуляційний насос, датчики температури, клапани, автоматика	72,0
Трубопроводи з нержавіючої сталі, теплоізоляція, запірні арматури	115,0
Монтажні, електромонтажні та пусконаладжувальні роботи	88,0
Разом	810,0

5.2 Результати економічної оцінки

Порівняння виконано за річними експлуатаційними витратами, пов'язаними з енергоспоживанням лінії охолодження молока та підготовкою гарячої води. У базовому варіанті вся теплота молока втрачається, а вода для промивання нагрівається без попереднього підігрівання. В удосконаленому варіанті частина цієї теплоти повертається в технологічний процес, але з'являються додаткові витрати на роботу циркуляційного насоса, технічне обслуговування, заміну ущільнень і амортизацію встановленого обладнання.

Додаткова оплата праці окремого працівника не передбачається, оскільки контроль температури, стану арматури, роботи насоса і резервуара може виконуватися персоналом молочної під час штатного обслуговування лінії. Основні

додаткові операції зводяться до візуального контролю, періодичного промивання теплообмінника у складі CIP-контуру та профілактичного огляду ущільнень.

Таблиця 5.3 - Порівняння річних експлуатаційних витрат

Стаття витрат	Базовий варіант, тис. грн/рік	Удосконалений варіант, тис. грн/рік	Зміна витрат, тис. грн/рік
Електроенергія, еквівалентна втратам теплоти та додатковому охолодженню	1225,5	0,0	1225,5
Електроенергія на роботу циркуляційного насоса	0,0	12,5	-12,5
Технічне обслуговування та поточний ремонт системи	0,0	40,5	-40,5
Витратні матеріали та сервісні роботи	0,0	15,0	-15,0
Амортизаційні відрахування	0,0	81,0	-81,0
Разом експлуатаційні витрати	1225,5	149,0	1076,5

З таблиці 5.3 видно, що головною статтею економії є зменшення енерговитрат на підігрівання води та охолодження молока. Водночас удосконалена система потребує незначної кількості електроенергії для циркуляційного насоса і щорічних витрат на технічне обслуговування. Навіть з урахуванням амортизаційних відрахувань річне зниження експлуатаційних витрат залишається суттєвим.

Таблиця 5.4 - Узагальнені економічні показники впровадження

Показник	Значення
Капітальні вкладення у впровадження системи	810,0 тис. грн
Річний енергетичний ефект	144,2 тис, кВт·год
Річна економія енерговитрат до врахування додаткових витрат	1225,5 тис, грн
Додаткові грошові експлуатаційні витрати без амортизації	68,0 тис, грн/рік
Чистий річний грошовий ефект	1157,5 тис, грн/рік
Річний економічний результат з урахуванням амортизації	1076,5 тис, грн/рік
Орієнтовний термін окупності	0,70 року, або близько 8,4 міс.

Отримані результати показують, що система рекуперації теплоти має короткий термін окупності. Це пояснюється великим добовим потоком молока і стабільною цілорічною роботою ферми. Чим більший фактичний обсяг використання підігрітої води у мийних та допоміжних технологічних операціях, тим вищим буде реальний економічний результат.

Найбільш чутливими чинниками для економічного результату є ціна електроенергії, фактична тривалість роботи доїльної лінії, ступінь використання підігрітої води, якість теплоізоляції резервуара та стан теплообмінних поверхонь. Тому після впровадження системи доцільно вести простий облік температури води після рекуператора, часу роботи насоса, обсягу промивної води та фактичного споживання електроенергії холодильним обладнанням.

5.3 Висновки

У розділі виконано економічну оцінку впровадження системи рекуперації теплоти під час охолодження молока. Для проектованої ферми річний енергетичний ефект становить близько 144,2 тис. кВт·год, що забезпечує істотне зменшення витрат на підготовку гарячої води та роботу холодильного обладнання.

Орієнтовні капітальні вкладення у систему становлять 810,0 тис. грн. До складу витрат включено пластинчастий теплообмінник, резервуар-термос, насос, автоматику, трубопроводи, арматуру, монтаж і пусконаладження. Додаткові експлуатаційні витрати порівняно невеликі й пов'язані переважно з роботою насоса, технічним обслуговуванням та сервісом теплообмінника.

Чистий річний грошовий ефект оцінено на рівні близько 1157,5 тис. грн. Орієнтовний термін окупності становить 0,70 року, тобто приблизно 8,4 місяця. Отже, запропоноване удосконалення є економічно доцільним і може бути рекомендоване для впровадження у лінії доїння та первинної обробки молока.

Загальні висновки

У дипломному проєкті розглянуто питання удосконалення процесу доїння корів і первинної обробки молока з розробкою системи рекуперації теплоти під час його охолодження. Актуальність теми обумовлена значними витратами електроенергії на охолодження молока та нагрівання води для санітарної промивки доїльного і молочного обладнання.

У першому розділі наведено характеристику молочного скотарства ПрАТ «Агро-Союз», проаналізовано структуру поголів'я, технологію утримання корів, рівень механізації основних виробничих процесів, зокрема годівлі, видалення гною, водопостачання, створення мікроклімату, доїння та первинної обробки молока. Встановлено, що найбільш енергоємними операціями в молочному блоці є охолодження молока та підготовка гарячої води для промивання обладнання.

У другому розділі розроблено проєкт удосконаленої лінії доїння та первинної обробки молока для ферми з плановим поголів'ям 3150 дійних корів. Обґрунтовано застосування доїльної установки типу «паралель», проточного фільтра, пластинчастого охолодника та танків-охолодників. Проведено розрахунки продуктивності лінії, тривалості доїння, потреби в обладнанні, витрат води та електроенергії. Запропонована схема забезпечує своєчасне доїння корів, очищення, охолодження і зберігання молока відповідно до технологічних вимог.

У третьому розділі розроблено систему рекуперації теплоти молока. Запропоновано встановити пластинчастий теплообмінник, у якому теплота свіжовидоєного молока частково передається холодній воді. Це дає змогу попередньо охолодити молоко перед подачею на холодильну установку та одночасно підігріти воду для подальшого використання у системі промивки. Виконано тепловий і гідравлічний розрахунки теплообмінника, визначено основні параметри теплопередачі, площу теплообмінної поверхні, витрати води, гідравлічні втрати та параметри допоміжного обладнання.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці під час експлуатації доїльної установки, молочного обладнання та системи рекуперації теплоти. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі чинники: дія електричного струму, рухомі частини обладнання, слизькі поверхні, гаряча вода, мийно-дезінфекційні засоби, підвищена вологість і ризик контакту з тваринами. Запропоновано вимоги безпечної роботи оператора, порядок підготовки обладнання, дії під час обслуговування та заходи безпеки після завершення роботи.

У п'ятому розділі виконано економічну оцінку запропонованого удосконалення. Встановлено, що впровадження рекуператора теплоти дозволяє зменшити витрати електроенергії на охолодження молока та нагрівання води, знизити експлуатаційні витрати молочного блоку і підвищити енергоефективність технологічної лінії. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження системи рекуперації теплоти у виробничих умовах молочнотоварної ферми.

Таким чином, у дипломному проєкті вирішено поставлене завдання — розроблено техніко-технологічне рішення для удосконалення процесу доїння корів і первинної обробки молока шляхом використання теплоти, що відводиться під час охолодження молока. Запропоноване удосконалення є технічно обґрунтованим, енергоощадним, безпечним в експлуатації та економічно доцільним.

Бібліографія

1. ДСТУ 3662:2018. Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
2. Скляр, О. Г., Скляр, Р. В., & ін. (2021). Механізація доїння і первинної обробки молока. Мелітополь: ТДАТУ.
3. BouMatic. Xcalibur 90LX Parallel Parlor: product information. Офіційні матеріали виробника.
4. Regulation (EC) No 853/2004 of the European Parliament and of the Council laying down specific hygiene rules for food of animal origin.
5. AHDB. Milk pre-cooling: Plate heat exchangers. Knowledge Library.
6. The Dairy Practices Council / Dairy Conservation. Plate cooler: energy efficiency of milk pre-cooling.
7. Tetra Pak. (n.d.). Dairy Processing Handbook: Heat exchangers. Tetra Pak Processing Systems.
8. Alfa Laval. (n.d.). Plate heat exchangers. Офіційні матеріали виробника.
9. GEA. (n.d.). Intelligent cooling systems from GEA: milk cooling and heat recovery systems. GEA Farm Technologies.
10. Kakaç, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2020). Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design (4th ed.). CRC Press.
11. Engineering ToolBox. (n.d.). Food and Foodstuff - Specific Heat. EngineeringToolBox.com.
12. Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2011). Fundamentals of Heat and Mass Transfer (7th ed.). John Wiley & Sons.
13. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України.

14. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві: наказ Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240.

15. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98): наказ Мінпраці України від 09.01.1998 № 4.

16. Про затвердження Вимог до безпечності та якості молока і молозива: наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 12.03.2019 № 118.

17. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів: Закон України від 23.12.1997 № 771/97-ВР.

18. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском: наказ Міністерства соціальної політики України від 05.03.2018 № 333.

19. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.

20. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Тарифи на послуги з розподілу електричної енергії.

21. Raymer. Теплообмінник пластинчастий Raymer B3-050-40 на 2,2 м²: технічна характеристика обладнання.

22. Waterstore. Пластинчасті теплообмінники: конструкція, сфери застосування та орієнтовний діапазон цін.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

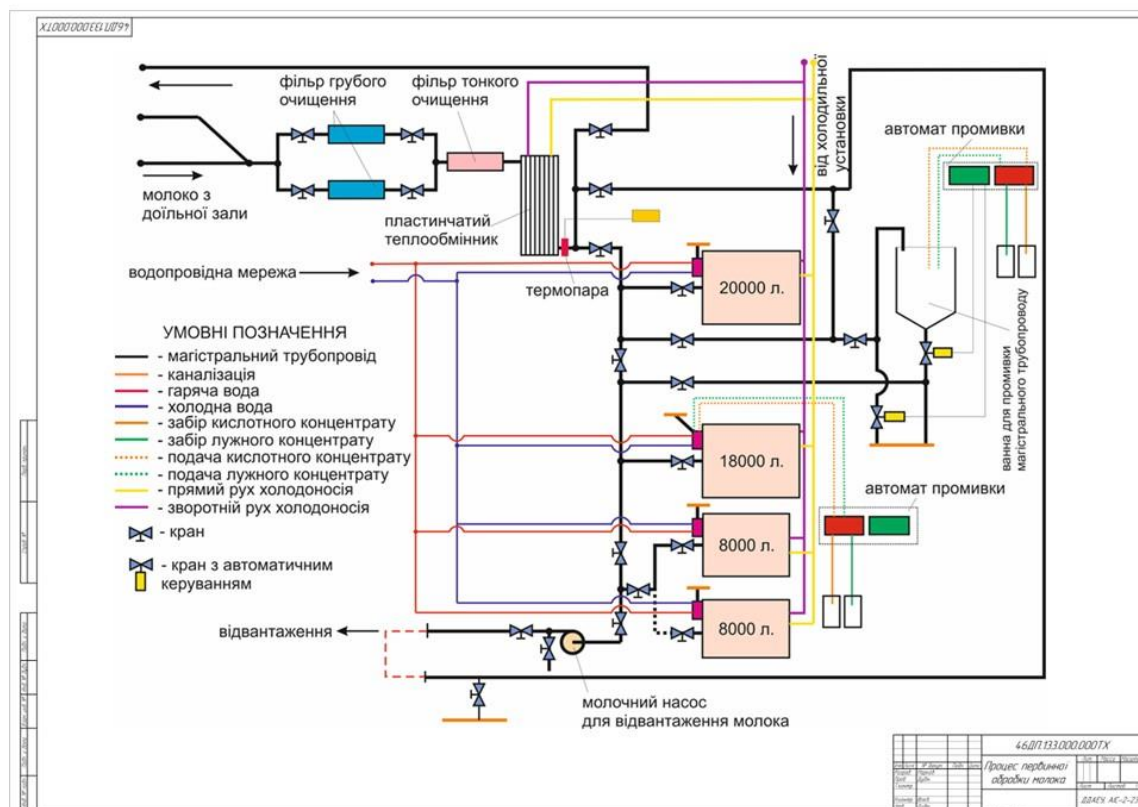
Удосконалення процесу доїння корів з розробкою рекуператора теплоти

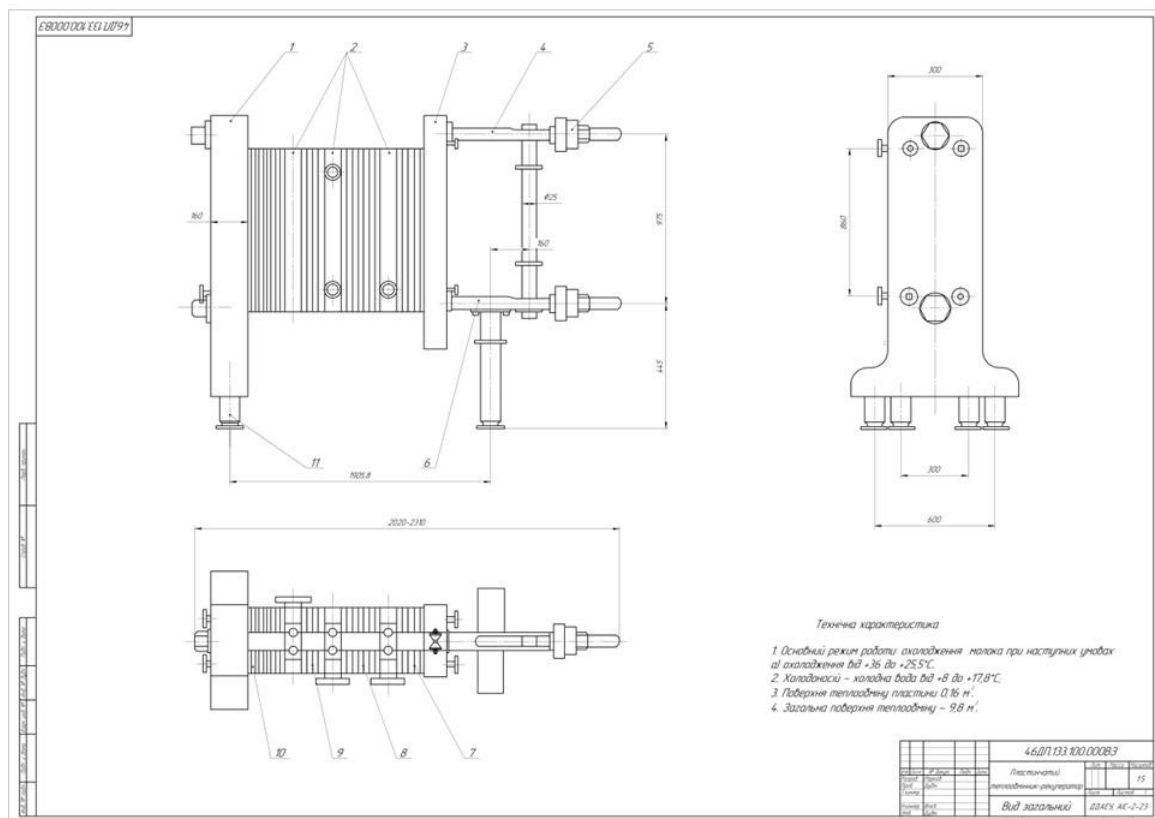
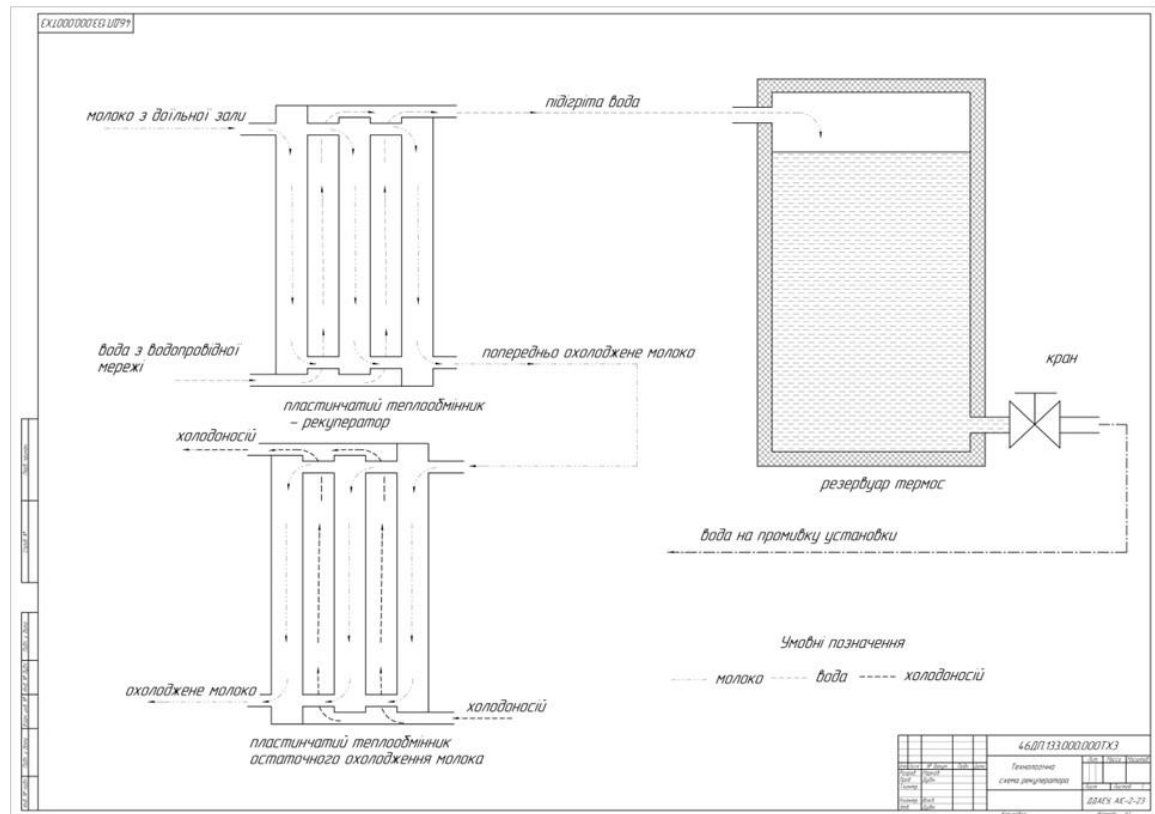
демонстраційний матеріал до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

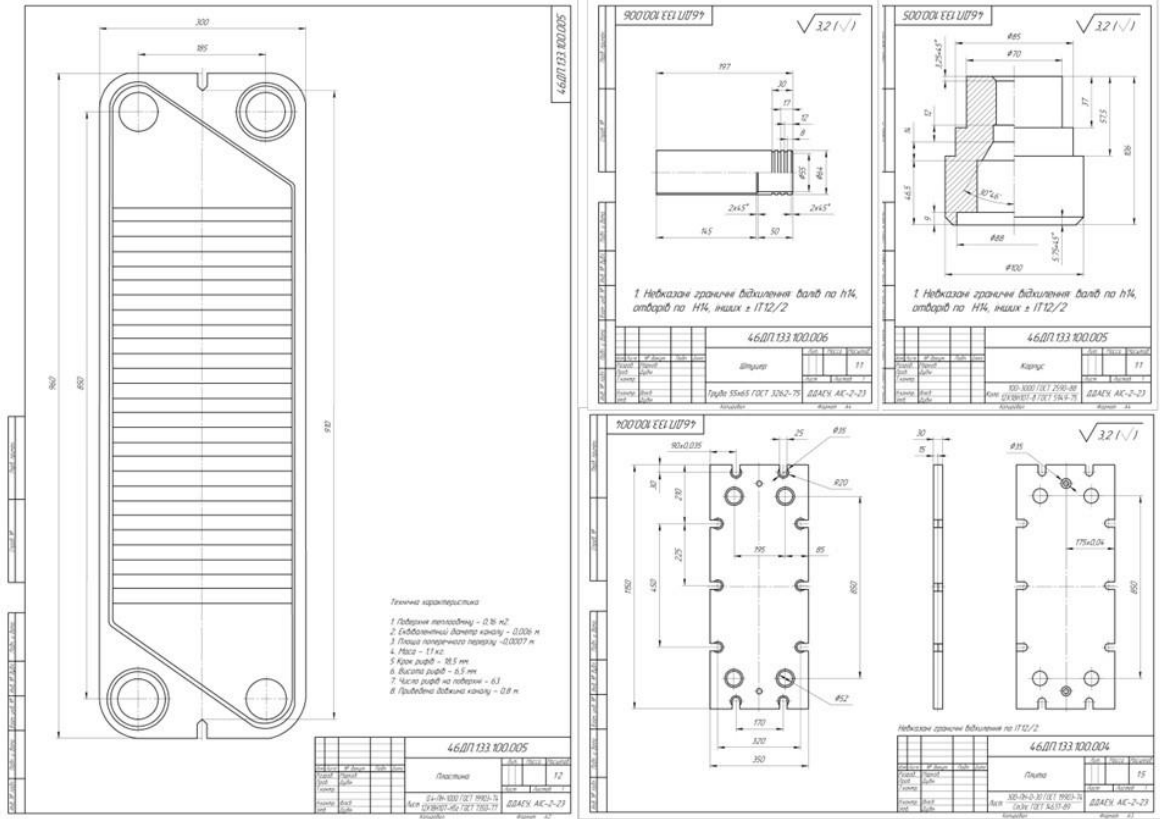
Виконав: студент 3 курсу, групи АІС-2-23
 Марков Валентин Миколайович

Керівник: к.т.н., доцент
 Дудін Володимир Юрійович

Дніпро-2026







Порівняння річних експлуатаційних витрат			
Стаття витрат	Базовий варіант, тис. грн/рік	Удосконалений варіант, тис. грн/рік	Зміна витрат, тис. грн/рік
Електроенергія, еквівалентна втратам теплоти та додатковому охолодженню	1225,5	0,0	1225,5
Електроенергія на роботу циркуляційного насоса	0,0	12,5	-12,5
Технічне обслуговування та поточний ремонт системи	0,0	40,5	-40,5
Витратні матеріали та сервісні роботи	0,0	15,0	-15,0
Амортизаційні відрахування	0,0	81,0	-81,0
Разом експлуатаційні витрати	1225,5	149,0	1076,5

Узагальнені економічні показники впровадження	
Показник	Значення
Капітальні вкладення у впровадження системи	810,0 тис. грн
Річний енергетичний ефект	144,2 тис. кВт-год
Річна економія енерговитрат до врахування додаткових витрат	1225,5 тис. грн
Додаткові грошові експлуатаційні витрати без амортизації	68,0 тис. грн/рік
Чистий річний грошовий ефект	1157,5 тис. грн/рік
Річний економічний результат з урахуванням амортизації	1076,5 тис. грн/рік
Орієнтовний термін окупності	0,70 року