

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

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Шляхи підвищення енергоефективності систем
теплопостачання тваринницьких ферм при використанні теплових насосів»

КРБ.14ЕЕбд_31[3].09.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 141ЕЕбд_31[3]
Матущенко В.О.
Керівник: Харак Р.М.
Рецензент: Сусліч О.Г.

Полтава – 2026 року

ВСТУП

Україна належить до числа енергодефіцитних держав, тому питання раціонального використання енергетичних ресурсів є одним із пріоритетних напрямів розвитку національної економіки. Особливої актуальності ця проблема набуває в агропромисловому комплексі, де значна частина енергії витрачається на забезпечення технологічних процесів у тваринництві. Одним із найбільш енергоємних напрямів є теплопостачання тваринницьких ферм, яке забезпечує створення необхідного мікроклімату для утримання тварин, нагрівання води для технологічних потреб та підтримання належних санітарно-гігієнічних умов.

Сучасне тваринництво неможливо уявити без ефективної системи теплопостачання. Теплова енергія використовується для обігріву виробничих приміщень, телятників, родильних відділень, підготовки теплої води для миття технологічного обладнання, санітарної обробки приміщень, а також для забезпечення комфортних умов утримання тварин у холодний період року. Недостатнє теплопостачання призводить до погіршення мікроклімату, зниження продуктивності тварин, збільшення витрат кормів та зростання захворюваності поголів'я.

Традиційно для теплопостачання тваринницьких ферм використовуються електричні, газові або твердопаливні котли. Проте постійне зростання вартості енергоносіїв, необхідність скорочення експлуатаційних витрат та підвищення вимог до екологічної безпеки зумовлюють потребу у впровадженні сучасних енергоощадних технологій. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання теплових насосів, які дозволяють ефективно використовувати низькопотенційну енергію навколишнього середовища для виробництва теплової енергії.

Тепловий насос є енергетичною установкою, що забезпечує перенесення теплової енергії від джерела з нижчою температурою до споживача з вищою температурою. Джерелом низькопотенційного тепла можуть бути ґрунт, вода, атмосферне повітря, стічні води або технологічні теплові викиди. Використання теплових насосів дозволяє отримувати від 3 до 7 кВт теплової енергії на кожен

кіловат спожитої електричної енергії, що забезпечує високий коефіцієнт перетворення енергії та суттєве зниження експлуатаційних витрат.

Особливістю систем теплопостачання тваринницьких ферм є змінний характер теплового навантаження протягом року. Найбільша потреба в тепловій енергії спостерігається у зимовий період, коли необхідно підтримувати нормативні параметри мікроклімату у приміщеннях для утримання тварин. У перехідні періоди року потреба в теплі зменшується, що потребує застосування ефективних систем регулювання та автоматизації теплопостачання.

Використання теплових насосів дозволяє не лише забезпечити потреби ферми у тепловій енергії, а й підвищити рівень автоматизації роботи системи теплопостачання. Сучасні теплонасосні установки можуть працювати в автоматичному режимі, підтримуючи задані параметри температури теплоносія та мікроклімату в приміщеннях. Це сприяє підвищенню надійності роботи обладнання та зменшенню впливу людського фактора.

Важливою перевагою теплових насосів є їх екологічна безпечність. Під час роботи теплонасосних установок відсутні процеси спалювання палива, що дозволяє суттєво знизити викиди вуглекислого газу та інших шкідливих речовин в атмосферу. Це відповідає сучасним вимогам щодо сталого розвитку аграрного виробництва та охорони навколишнього середовища.

Підвищення енергоефективності систем теплопостачання тваринницьких ферм шляхом використання теплових насосів є важливим завданням як з технічної, так і з економічної точки зору. Реалізація таких рішень дозволяє скоротити витрати на енергоресурси, підвищити ефективність виробництва продукції тваринництва та забезпечити стабільне функціонування підприємств аграрного сектору.

Мета роботи – підвищення енергоефективності системи теплопостачання тваринницької ферми шляхом обґрунтування використання теплового насоса та оцінки його технічної й економічної ефективності.

Об'єкт дослідження – система теплопостачання тваринницької ферми.

Предмет дослідження – режими роботи теплонасосної установки, процеси виробництва та використання теплової енергії, показники енергоефективності системи теплопостачання.

Методи дослідження – аналіз науково-технічної літератури та нормативної документації з питань теплопостачання тваринницьких ферм; розрахунок теплових навантажень; визначення параметрів теплонасосної установки; аналіз енергетичних показників системи; оцінка технічної, економічної та екологічної ефективності використання теплових насосів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати особливості систем теплопостачання тваринницьких ферм;

- дослідити сучасні технології використання теплових насосів у сільському господарстві;

- визначити потребу тваринницької ферми у тепловій енергії;

- виконати розрахунок теплового навантаження об'єкта;

- обґрунтувати вибір типу та параметрів теплового насоса;

- визначити енергетичні показники роботи теплонасосної установки;

- провести оцінку ефективності використання теплового насоса порівняно з традиційними джерелами тепла;

- визначити економічну доцільність впровадження теплонасосної технології;

- розробити заходи з охорони праці та екологічної безпеки під час експлуатації теплонасосної установки.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів під час проєктування та модернізації систем теплопостачання тваринницьких ферм. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити енергоефективність системи, знизити споживання традиційних енергоресурсів, скоротити експлуатаційні витрати та підвищити екологічну безпечність виробництва. Використання теплових насосів сприятиме підвищенню конкурентоспроможності тваринницьких підприємств і забезпеченню сталого розвитку аграрного сектору.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

1.1 Значення систем теплопостачання у тваринництві

Тваринництво є однією з найважливіших галузей агропромислового комплексу, ефективність функціонування якої значною мірою залежить від створення оптимальних умов утримання тварин. Одним із основних факторів, що впливають на продуктивність поголів'я, є мікроклімат виробничих приміщень. Для підтримання необхідних параметрів температури, вологості та повітрообміну використовуються системи теплопостачання.

Система теплопостачання тваринницької ферми призначена для забезпечення тепловою енергією приміщень утримання тварин, родильних відділень, телятників, пунктів первинної обробки молока, побутових приміщень персоналу та інших виробничих об'єктів. Крім того, тепла енергія використовується для нагрівання води, яка необхідна для санітарної обробки обладнання, миття приміщень, підготовки кормів та забезпечення технологічних процесів.

Особливо важливим є підтримання оптимального температурного режиму в зимовий період. При зниженні температури повітря нижче нормативних значень збільшуються витрати кормів на підтримання життєдіяльності тварин, знижується їх продуктивність та підвищується ризик виникнення захворювань. Найбільш чутливими до температурних коливань є молодняк великої рогатої худоби та новонароджені телята.

Для молочних ферм особливе значення має забезпечення гарячого водопостачання. Гаряча вода використовується для промивання доїльного обладнання, молокопроводів, охолоджувальних установок та резервуарів для зберігання молока. Недостатня якість санітарної обробки обладнання може негативно впливати на якість молочної продукції та призводити до розвитку патогенної мікрофлори.

Сучасні системи теплопостачання повинні забезпечувати не лише надійне постачання теплової енергії, а й високу енергоефективність. У структурі собівартості продукції тваринництва витрати на енергоресурси займають значну частку, тому зменшення споживання теплової енергії є важливим резервом підвищення економічної ефективності господарства.

Таким чином, система теплопостачання є невід'ємною складовою технологічного процесу виробництва продукції тваринництва та безпосередньо впливає на продуктивність тварин, якість продукції й економічні показники роботи підприємства.

1.2 Основні джерела теплової енергії на тваринницьких фермах

Для забезпечення потреб тваринницьких ферм у тепловій енергії використовуються різні джерела теплопостачання. Вибір конкретного джерела залежить від кліматичних умов, наявності паливно-енергетичних ресурсів, розмірів господарства та економічної доцільності.

Найбільш поширеним способом теплопостачання є використання котельних установок. Як паливо можуть застосовуватися природний газ, тверде паливо, дизельне паливо або електрична енергія. Газові котли характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії та зручністю експлуатації, проте їх застосування залежить від наявності газорозподільних мереж і вартості природного газу.

Твердопаливні котли працюють на дровах, пелетах, брикетах або вугіллі. Їх перевагою є відносно невисока вартість палива та можливість використання місцевих енергетичних ресурсів. Разом з тим такі системи потребують постійного обслуговування, організації складів палива та видалення продуктів згоряння.

Електричні котли відзначаються простотою конструкції, високою надійністю та легкістю автоматизації. Проте через високу вартість електроенергії їх використання як основного джерела тепла часто є економічно не вигідним.

Останніми роками все більшого поширення набувають відновлювані джерела енергії. До них належать сонячні колектори, біогазові установки, системи утилізації тепла вентиляційних викидів та теплові насоси. Використання таких технологій дозволяє скоротити споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Особливу увагу привертають теплові насоси, які здатні використовувати низькопотенційну теплову енергію навколишнього середовища та перетворювати її у корисну теплову енергію для систем опалення і гарячого водопостачання. Завдяки високому коефіцієнту перетворення енергії теплові насоси є одним із найбільш перспективних напрямів підвищення енергоефективності тваринницьких ферм.

1.3 Принцип роботи та класифікація теплових насосів

Тепловий насос являє собою термодинамічну установку, призначену для перенесення теплової енергії від джерела з низькою температурою до споживача з вищою температурою. Принцип його роботи подібний до роботи холодильника, однак корисним ефектом є не охолодження, а отримання теплової енергії.

Основними елементами теплового насоса є випарник, компресор, конденсатор та дросельний клапан. У випарнику холодоагент поглинає тепло від навколишнього середовища та переходить у газоподібний стан. Компресор стискає пари холодоагенту, підвищуючи їх температуру та тиск. У конденсаторі тепла енергія передається теплоносію системи опалення, після чого холодоагент через дросельний клапан повертається до випарника і цикл повторюється.

За типом джерела низькопотенційного тепла теплові насоси поділяються на:

- «повітря – вода»;
- «грунт – вода»;
- «вода – вода»;

- «повітря – повітря»;
- комбіновані системи.

Для умов тваринницьких ферм найбільш перспективними є теплові насоси типу «вода – вода», які використовують тепло підземних вод, та системи «грунт – вода», що отримують енергію від ґрунту через горизонтальні або вертикальні теплообмінники.

Основною характеристикою теплового насоса є коефіцієнт перетворення енергії COP, який визначається як відношення отриманої теплової потужності до спожитої електричної потужності. У сучасних теплонасосних установках значення COP становить від 3 до 7, що забезпечує суттєву економію енергетичних ресурсів порівняно з традиційними системами теплопостачання.

1.4 Напрями підвищення енергоефективності систем теплопостачання

Підвищення енергоефективності систем теплопостачання тваринницьких ферм є одним із головних напрямів зниження експлуатаційних витрат та підвищення конкурентоспроможності аграрних підприємств.

Першим напрямом є зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції будівель. Для цього застосовуються сучасні теплоізоляційні матеріали, енергоефективні вікна та двері, а також заходи щодо усунення неконтрольованої інфільтрації повітря.

Другим напрямом є автоматизація систем теплопостачання. Використання датчиків температури, програмованих контролерів та систем погодозалежного регулювання дозволяє підтримувати оптимальні параметри мікроклімату при мінімальному споживанні енергії.

Третім напрямом є утилізація вторинних енергетичних ресурсів. На тваринницьких фермах значні обсяги тепла можуть надходити від технологічного обладнання, вентиляційних систем та стічних вод. Використання теплообмінних апаратів дозволяє повертати частину цієї енергії до системи теплопостачання.

Четвертим і найбільш перспективним напрямом є впровадження теплових насосів. Використання теплонасосних технологій забезпечує значне скорочення

споживання традиційних енергоносіїв, зменшення експлуатаційних витрат та підвищення екологічної безпеки виробництва.

Комплексне впровадження зазначених заходів дозволяє підвищити енергоефективність систем тепlopостачання на 30–60 %, зменшити витрати на енергоресурси та забезпечити стабільну роботу тваринницьких підприємств.

Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто значення систем теплопостачання у технологічних процесах тваринницьких ферм. Встановлено, що теплова енергія необхідна для обігріву виробничих приміщень, підтримання нормативного мікроклімату, нагрівання води для санітарно-гігієнічних потреб, миття технологічного обладнання та забезпечення стабільних умов утримання тварин.

Проаналізовано основні джерела теплової енергії, які можуть використовуватися на тваринницьких фермах. Встановлено, що традиційні системи теплопостачання часто супроводжуються значними витратами енергоресурсів, потребують постійного обслуговування та можуть мати негативний вплив на навколишнє середовище.

Розглянуто принцип роботи теплового насоса та його основні конструктивні елементи: випарник, компресор, конденсатор і дросельний клапан. Показано, що теплонасосна установка забезпечує перенесення низькопотенційної теплової енергії від навколишнього середовища до системи опалення або гарячого водопостачання.

Визначено, що для тваринницьких ферм перспективними є теплові насоси типу «вода – вода», «грунт – вода» та «повітря – вода». Їх використання дозволяє зменшити залежність господарства від традиційних енергоносіїв, скоротити експлуатаційні витрати та підвищити надійність роботи системи теплопостачання.

Розглянуто основні напрями підвищення енергоефективності систем теплопостачання. Комплексне застосування цих заходів дозволяє підвищити ефективність використання енергії та знизити собівартість продукції тваринництва.

РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ

2.1 Загальна характеристика об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження є система теплопостачання молочної ферми на 200 голів великої рогатої худоби. Ферма призначена для виробництва молока та включає основні виробничі приміщення: корівник, родильне відділення, телятник, молочний блок, допоміжні та побутові приміщення.

Для забезпечення нормального функціонування ферми необхідно підтримувати нормативні параметри мікроклімату, передбачені технологічними вимогами до утримання тварин. Особливого значення набуває теплопостачання в осінньо-зимовий період, коли температура зовнішнього повітря може знижуватися до мінус 20 °С і нижче.

Основними споживачами теплової енергії на фермі є:

- система опалення телятника;
- система опалення родильного відділення;
- гаряче водопостачання;
- побутові приміщення персоналу;
- технологічні потреби молочного блоку.

Для забезпечення потреб у тепловій енергії пропонується використання теплонасосної установки типу «вода–вода», яка використовує тепло підземних вод як джерело низькопотенційної енергії.

Основні характеристики ферми наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики об'єкта дослідження

Показник	Значення
Тип ферми	Молочна
Кількість корів	200 голів
Площа корівника	1800 м ²
Площа телятника	300 м ²
Площа родильного відділення	200 м ²

Площа побутових приміщень	100 м ²
Загальна площа опалюваних приміщень	2400 м ²
Джерело тепла	Тепловий насос
Тип теплового насоса	«вода–вода»

На рисунку 2.1 наведено загальну структуру системи тепlopостачання ферми.

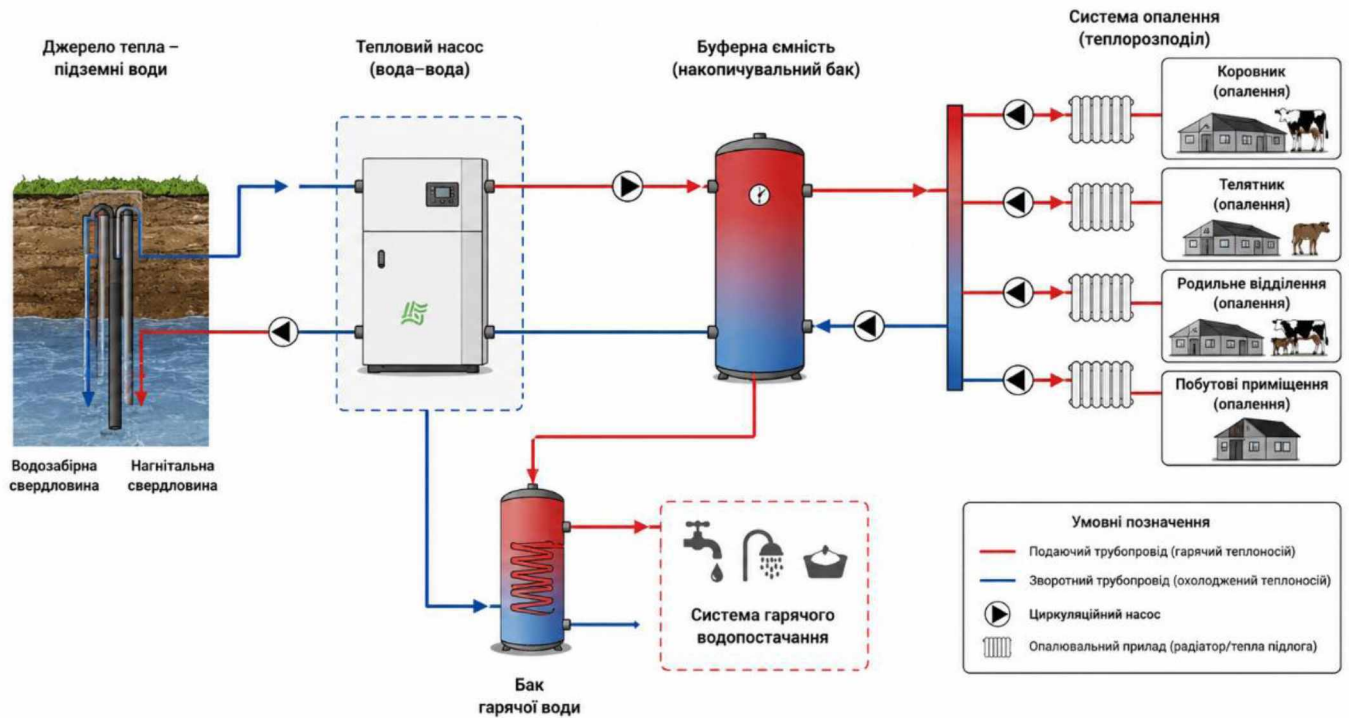


Рисунок 2.1 – Загальна схема системи тепlopостачання тваринницької ферми

2.2 Аналіз теплових навантажень ферми

Теплове навантаження ферми визначається витратами теплоти на опалення приміщень та забезпечення гарячого водопостачання.

Нормативні температури повітря у приміщеннях наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Нормативні температури повітря

Приміщення	Температура, °С
Корівник	+8...+12
Телятник	+16...+20

Родильне відділення	+15...+18
Молочний блок	+12...+16
Побутові приміщення	+18...+20

Найбільше теплове навантаження припадає на телятник та родильне відділення, де необхідно підтримувати підвищену температуру повітря.

Для попередньої оцінки теплового навантаження використовується питомий показник:

$$q = 80 \text{ Вт/м}^2$$

Тоді загальна теплова потужність становитиме:

$$Q = q \cdot F$$

де: q – питоме теплове навантаження, Вт/м^2 ; F – опалювана площа, м^2 .

Підставляючи значення:

$$Q = 80 \cdot 2400 = 192000 \text{ Вт}$$

Отже, максимальна потреба ферми в тепловій потужності становить близько 192 кВт.

2.3 Визначення потреби ферми у тепловій енергії

Річне споживання теплової енергії визначається тривалістю опалювального періоду.

Для умов центральної частини України тривалість опалювального сезону приймається: $\tau = 180$ діб або $\tau = 4320$ год.

Річне споживання теплоти:

$$W = Q \cdot \tau$$

$$W = 192 \cdot 4320 = 829440 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

З урахуванням коефіцієнта використання теплової потужності: $k = 0,55$ одержимо:

$$W_{\text{річ}} = 829440 \cdot 0,55 = 456192 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Таким чином, річна потреба ферми в тепловій енергії становить близько 456 тис. кВт·год.

Структуру споживання теплової енергії наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розподіл теплової енергії між споживачами

Споживач	Частка, %
Корівник	40
Телятник	20
Родильне відділення	15
Гаряче водопостачання	15
Побутові приміщення	10

2.4 Аналіз існуючої системи тепlopостачання

На більшості тваринницьких ферм для тепlopостачання використовуються електричні або газові котли.

Основними недоліками традиційних систем є:

- значне споживання енергоресурсів;
- висока вартість експлуатації;
- залежність від постачання газу або електроенергії;
- наявність шкідливих викидів при спалюванні палива;
- необхідність постійного технічного обслуговування.

При використанні електрокотлів коефіцієнт перетворення електричної енергії в теплову становить близько 1, тоді як для теплового насоса цей показник може досягати 4–5.

2.5 Обґрунтування використання теплового насоса

Для зменшення витрат енергії пропонується використання теплового насоса типу «вода–вода».

Основними перевагами такого рішення є: скорочення споживання електроенергії у 3–5 разів; автоматизація процесу тепlopостачання; відсутність процесу спалювання палива; висока надійність роботи; зниження експлуатаційних витрат; екологічна безпечність.

Структурну схему теплонасосної установки наведено на рисунку 2.2.

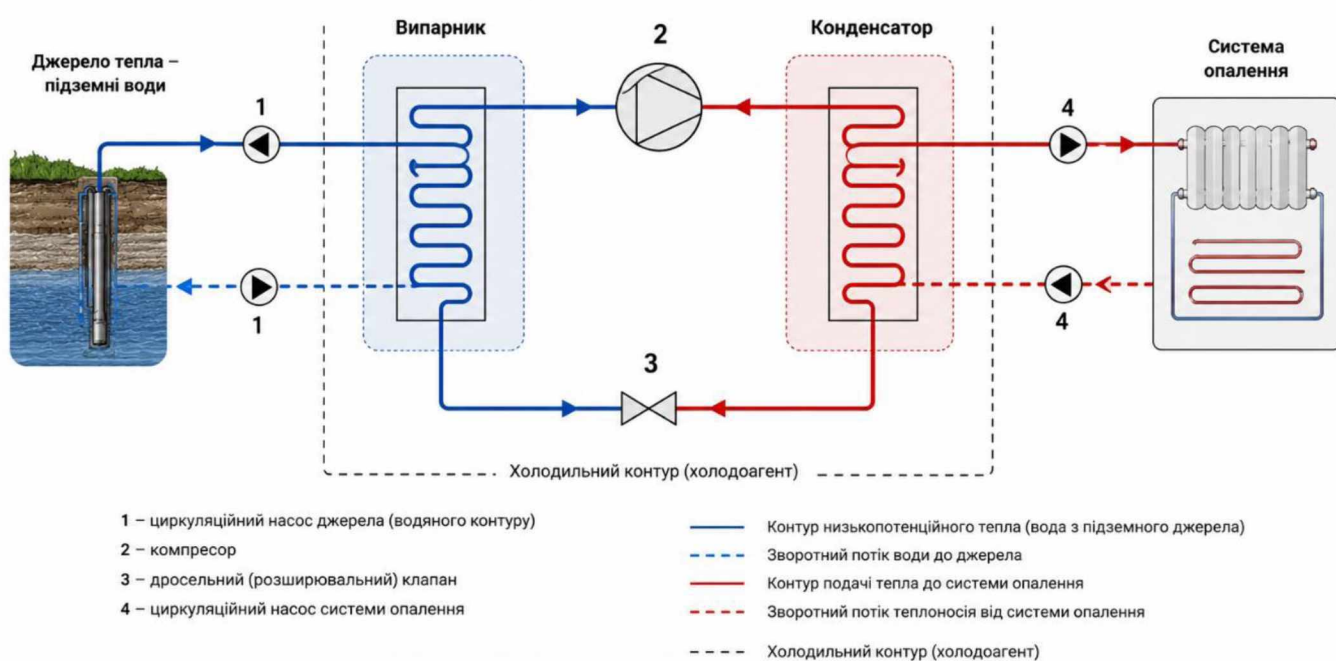


Рисунок 2.2 – Структурна схема теплонасосної установки

Отже, використання теплового насоса є технічно та економічно доцільним рішенням для забезпечення тепlopостачання тваринницької ферми.

Висновки до розділу 2

У другому розділі наведено характеристику системи тепlopостачання тваринницької ферми на 200 голів великої рогатої худоби. Встановлено, що основними споживачами теплової енергії є корівник, телятник, родильне відділення, молочний блок, побутові приміщення та система гарячого водopостачання.

Проаналізовано теплові навантаження ферми. Визначено, що найбільша потреба у тепловій енергії припадає на опалення виробничих приміщень у холодний період року, а також на забезпечення гарячою водою технологічних і санітарно-гігієнічних процесів. Особливо важливим є підтримання підвищеної температури у телятнику та родильному відділенні, оскільки ці приміщення потребують стабільного мікроклімату.

Виконано попередню оцінку теплової потужності системи опалення. За прийнятої загальної опалюваної площі 2400 м² та питомого теплового навантаження 80 Вт/м² максимальна теплова потужність становить близько 192 кВт. З урахуванням тривалості опалювального періоду та коефіцієнта використання теплової потужності річна потреба ферми у тепловій енергії становить приблизно 456 тис. кВт·год.

Розглянуто недоліки традиційних систем тепlopостачання, які базуються на використанні електричних, газових або твердопаливних котлів. Встановлено, що такі системи часто характеризуються значними експлуатаційними витратами, залежністю від вартості енергоносіїв, потребою у постійному обслуговуванні та, у разі спалювання палива, негативним впливом на навколишнє середовище.

Обґрунтовано доцільність використання теплового насоса типу «вода – вода» для забезпечення потреб ферми у тепловій енергії. Така система дозволяє використовувати низькопотенційну теплоту підземних вод, зменшити споживання електричної енергії, автоматизувати процес тепlopостачання та підвищити енергоефективність роботи ферми.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Розрахунок теплового навантаження ферми

Одним із головних етапів проектування системи тепlopостачання є визначення необхідної теплової потужності джерела тепла. Від правильності розрахунку теплового навантаження залежить ефективність роботи всієї системи, надійність тепlopостачання та економічність експлуатації обладнання.

У розділі 2 встановлено, що загальна площа приміщень, які потребують опалення, становить: $F = 2400 \text{ м}^2$. Також встановлено, що максимальна тепла потужність системи тепlopостачання становить 192 кВт.

Під час вибору джерела тепlopостачання необхідно враховувати можливі додаткові тепловтрати через огорожувальні конструкції будівель, втрати теплоти в трубопроводах, коливання температури зовнішнього повітря та нерівномірність теплового навантаження протягом доби. Тому тепла потужність джерела тепла повинна мати певний резерв.

Для тваринницьких ферм особливо важливо забезпечити безперервне підтримання нормативного мікроклімату в телятниках і родильних відділеннях. Навіть короткочасне зниження температури може негативно вплинути на продуктивність тварин та призвести до збільшення захворюваності молодняку.

З урахуванням резерву потужності приймаємо номінальну потужність теплонасосної установки: $Q_{\text{тн}} = 200 \text{ кВт}$

Таким чином, для забезпечення потреб ферми доцільно використовувати тепловий насос тепловою потужністю 200 кВт.

3.2 Вибір типу теплового насоса

Для забезпечення потреб ферми у тепловій енергії можуть застосовуватися теплові насоси різних типів: «повітря – вода», «повітря – повітря», «грунт – вода» та «вода – вода».

Для умов досліджуваної ферми найбільш доцільним є використання теплового насоса типу «вода – вода». Такий вибір обумовлений наявністю

3.3 Розрахунок витрати води через випарник теплового насоса

Для визначення необхідної продуктивності свердловини та насосного обладнання необхідно розрахувати витрату води через випарник теплового насоса.

Розрахунок виконується на основі рівняння теплового балансу:

$$Q_0 = G \cdot c \cdot \Delta t,$$

де: Q_0 – теплова потужність випарника, Вт; G – витрата води, кг/с; $c = 4200$ Дж/(кг·°C) – теплоємність води; $\Delta t = 5$ °C – перепад температур води.

Попередньо визначимо потужність компресора.

Для теплонасосної установки приймаємо коефіцієнт перетворення енергії:
 $COP = 4,5$.

Потужність компресора становить:

$$N = Q_{\text{тн}} / COP$$

$$N = 200 / 4,5 = 44,4 \text{ кВт.}$$

Теплова потужність випарника:

$$Q_0 = Q_{\text{тн}} - N = 200 - 44,4 = 155,6 \text{ кВт.}$$

Витрата води:

$$G = 155600 / (4200 \cdot 5) = 7,41 \text{ кг/с.}$$

Оскільки густина води близька до 1000 кг/м^3 : $G = 26,7 \text{ м}^3/\text{год}$.

Таким чином, для роботи теплонасосної установки необхідна витрата води приблизно $27 \text{ м}^3/\text{год}$.

Отримане значення є основою для вибору свердловинного насоса. При меншій витраті знижується кількість теплоти, яка надходить до випарника, що

негативно впливає на продуктивність теплового насоса. Надмірна витрата також небажана, оскільки збільшує споживання електроенергії насосним обладнанням.

Тому фактична витрата води повинна підтримуватися на рівні розрахункового значення за допомогою автоматичних засобів регулювання.

3.4 Розрахунок електричної потужності компресора

Компресор є основним елементом теплового насоса та головним споживачем електричної енергії.

Потужність компресора визначається залежністю:

$$N = Q_{\text{тн}} / \text{COP}$$

де: $Q_{\text{тн}} = 200$ кВт; $\text{COP} = 4,5$.

Тоді:

$$N = 200 / 4,5 = 44,4 \text{ кВт.}$$

З урахуванням пускових режимів, механічних втрат та запасу потужності приймаємо: $N_{\text{розр}} = 50$ кВт.

Для приводу компресора доцільно використовувати трифазний асинхронний електродвигун напругою 380 В потужністю 50 кВт.

Застосування сучасних систем автоматичного керування дозволяє забезпечити плавний пуск компресора, захист від перевантаження, перегріву та аварійних режимів роботи.

Наявність резерву потужності підвищує надійність роботи теплонасосної установки та забезпечує стабільне теплопостачання ферми навіть при пікових навантаженнях.

3.5 Визначення коефіцієнта перетворення енергії

Основним показником енергоефективності теплового насоса є коефіцієнт перетворення енергії COP.

Він визначається за формулою:

$$\text{COP} = Q_{\text{тн}} / N = 200 / 44,4 = 4,5.$$

Отже, на кожен 1 кВт електричної енергії, спожитої компресором, система виробляє 4,5 кВт теплової енергії.

Для оцінки ефективності теплонасосної установки проведемо порівняння з іншими джерелами тепла.

Таблиця 3.1 – Порівняння енергетичної ефективності джерел тепла

Джерело тепла	ККД (COP)
Електрокотел	1,0
Газовий котел	0,90–0,95
Пелетний котел	0,80–0,88
Тепловий насос	4,5

Як видно з таблиці, теплонасосна установка має найвищий показник енергетичної ефективності.

Традиційні джерела тепла переважно перетворюють один вид енергії в інший із певними втратами. На відміну від них тепловий насос використовує низькопотенційну енергію навколишнього середовища, що дозволяє суттєво збільшити кількість отриманої теплової енергії без відповідного збільшення витрат електроенергії.

Саме тому теплові насоси сьогодні вважаються одним із найперспективніших напрямів підвищення енергоефективності аграрних підприємств.

3.6 Вибір теплонасосної установки

На основі виконаних розрахунків для системи тепlopостачання ферми приймаємо тепловий насос типу «вода – вода» тепловою потужністю 200 кВт.

Основні параметри установки наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні технічні характеристики теплонасосної установки

Показник	Значення
Тип теплового насоса	Вода–вода
Теплова потужність	200 кВт
Потужність компресора	50 кВт
COP	4,5
Температура води джерела	10 °С
Температура теплоносія	55 °С
Витрата води	26,7 м ³ /год
Напруга живлення	380 В

Для забезпечення стабільної роботи системи рекомендується використання буферної ємності, яка накопичує теплову енергію та зменшує кількість пусків компресора. Це дозволяє продовжити термін служби обладнання та підвищити ефективність роботи системи.

Крім того, доцільно передбачити встановлення бака гарячого водопостачання для забезпечення технологічних потреб ферми. Це дозволить використовувати тепловий насос не лише для опалення, а й для підготовки гарячої води, необхідної для миття обладнання та санітарної обробки приміщень.

Автоматизована система керування повинна здійснювати контроль температури теплоносія, витрати води через випарник, тиску в контурах та роботи компресора. Використання сучасних контролерів забезпечує економічний режим роботи установки та своєчасне реагування на можливі аварійні ситуації.

Отримані результати підтверджують технічну можливість та доцільність використання теплонасосної установки для теплопостачання тваринницької ферми. Високе значення коефіцієнта перетворення енергії забезпечує значне зменшення витрат електроенергії порівняно з традиційними системами опалення.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі виконано розрахунок та вибір теплонасосної установки для системи тепlopостачання тваринницької ферми. Визначено, що максимальне теплове навантаження ферми становить 192 кВт, тому з урахуванням резерву потужності прийнято тепловий насос потужністю 200 кВт.

Обґрунтовано доцільність використання теплового насоса типу «вода – вода», який працює з використанням низькопотенційної теплоти підземних вод. Такий тип установки забезпечує стабільну роботу впродовж року, оскільки температура підземної води є відносно сталою і менше залежить від сезонних коливань температури зовнішнього повітря.

Виконано розрахунок витрати води через випарник теплового насоса. Встановлено, що для забезпечення роботи установки необхідна витрата води становить близько 26,7 м³/год. Це значення є основою для вибору свердловинного насоса та проєктування водяного контуру системи.

Розраховано електричну потужність компресора, яка становить 44,4 кВт. З урахуванням запасу потужності, можливих втрат і пускових режимів прийнято електродвигун компресора потужністю 50 кВт.

Визначено коефіцієнт перетворення енергії теплонасосної установки, який становить COP = 4,5. Це означає, що на кожен 1 кВт спожитої електричної енергії установка виробляє 4,5 кВт теплової енергії, що свідчить про її високу енергоефективність порівняно з традиційними джерелами тепlopостачання.

Отже, вибрана теплонасосна установка типу «вода – вода» потужністю 200 кВт є технічно доцільною для забезпечення опалення та гарячого водopостачання тваринницької ферми. Її використання створює передумови для зменшення витрат на енергоресурси, підвищення надійності тепlopостачання та покращення екологічних показників роботи господарства.

РОЗДІЛ 4 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

4.1 Аналіз енергетичної ефективності традиційних систем теплопостачання

У сучасному тваринництві забезпечення необхідного температурного режиму в приміщеннях є однією з основних умов отримання високої продуктивності тварин та якісної продукції. Для підтримання нормативного мікроклімату використовуються різні системи теплопостачання, серед яких найбільш поширеними є електричні, газові та твердопаливні котли.

Електричні котли характеризуються високою надійністю, простотою монтажу та автоматизації. Проте їх використання супроводжується значними витратами електроенергії. Для отримання 1 кВт теплової енергії необхідно витратити приблизно 1 кВт електричної енергії, що робить такі системи економічно не вигідними для великих тваринницьких комплексів.

Газові котли мають відносно високий коефіцієнт корисної дії та забезпечують стабільне теплопостачання. Однак їх використання залежить від наявності газопостачання та супроводжується викидами продуктів згоряння в атмосферу. Твердопаливні котли дозволяють використовувати місцеві паливні ресурси, але потребують постійного обслуговування, завантаження палива та очищення обладнання.

У зв'язку зі зростанням вартості енергоресурсів та необхідністю зниження собівартості продукції тваринництва особливого значення набуває впровадження енергоощадних технологій. Одним із найбільш перспективних рішень є використання теплових насосів, які дозволяють ефективно використовувати низькопотенційну теплоту навколишнього середовища.

4.2 Оцінка енергетичної ефективності теплонасосної установки

У розділі 3 було визначено, що річна потреба ферми у тепловій енергії становить: $W_T = 456192$ кВт·год.

Для оцінки енергетичної ефективності теплонасосної установки виконаємо порівняння її роботи з традиційним електричним котлом.

Розподіл річного теплового навантаження за місяцями опалювального сезону наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розподіл теплової енергії за місяцями опалювального періоду

Місяць	Частка, %	Теплова енергія, кВт·год
Жовтень	8	36495
Листопад	14	63867
Грудень	20	91238
Січень	22	100362
Лютий	18	82115
Березень	12	54743
Квітень	6	27372
Разом	100	456192

Найбільше теплове навантаження припадає на грудень, січень та лютий, коли температура зовнішнього повітря є найнижчою.

Для електричного котла річне споживання електроенергії становитиме:

$$W_{ек} = 456192 \text{ кВт·год.}$$

Для теплонасосної установки з коефіцієнтом перетворення енергії: COP = 4,5

річне споживання електроенергії становить:

$$W_{тн} = W_T / COP = 456192 / 4,5 = 101376 \text{ кВт·год.}$$

Тоді річна економія електроенергії дорівнює:

$$\Delta W = W_{\text{ек}} - W_{\text{тн}} = 456192 - 101376 = 354816 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Відносна економія становить:

$$\eta = (354816 / 456192) \cdot 100 = 77,8 \text{ \%}.$$

Отже, використання теплового насоса дозволяє скоротити споживання електроенергії майже на 78 %.

Результати порівняння наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняння споживання електроенергії

Показник	Електрокотел	Тепловий насос
Вироблена тепла енергія, кВт·год	456192	456192
Споживання електроенергії, кВт·год	456192	101376
Економія електроенергії, кВт·год	–	354816
Економія, %	–	77,8

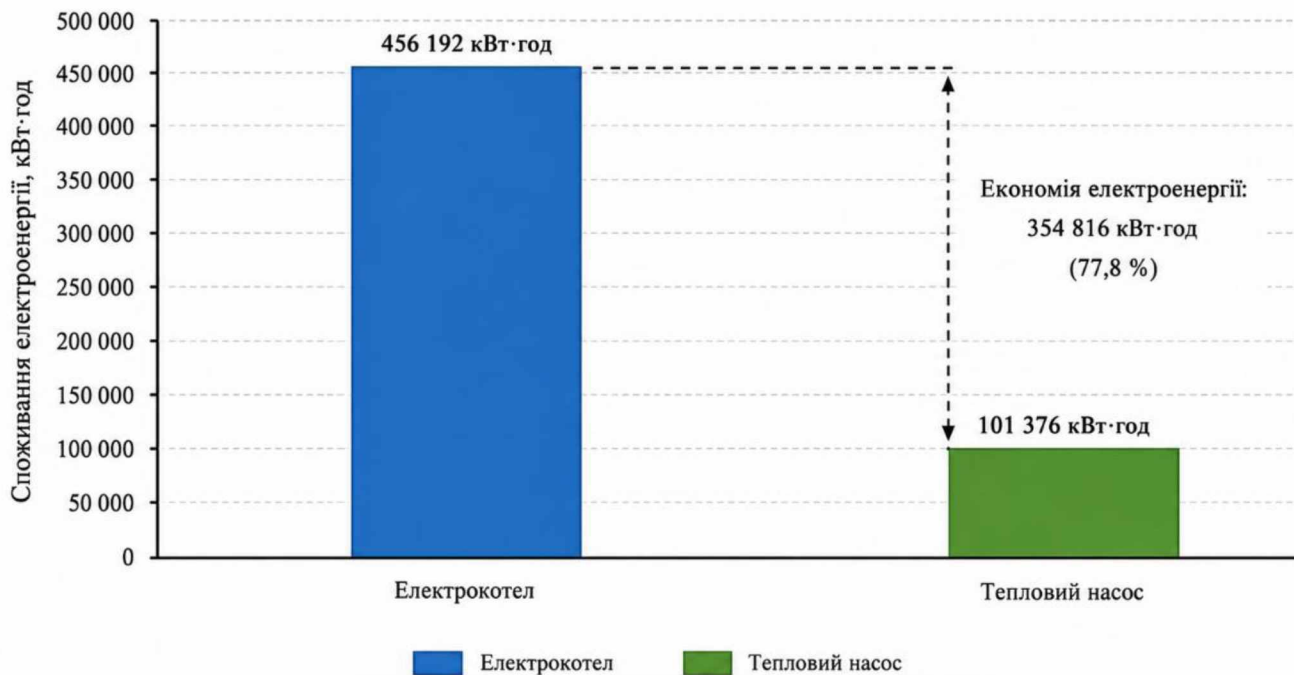


Рисунок 4.1 – Порівняння річного споживання електроенергії електрокотлом і тепловим насосом

4.3 Автоматизація роботи теплонасосної установки

Однією з важливих умов досягнення високої енергоефективності є автоматизація роботи системи тепlopостачання.

Автоматизована система керування забезпечує підтримання необхідної температури теплоносія, контроль роботи компресора, насосного обладнання та системи гарячого водopостачання.

До складу системи автоматизації входять:

- температурні датчики;
- датчики тиску;
- датчики витрати води;
- програмований логічний контролер;
- частотні перетворювачі;
- виконавчі механізми.

Принцип роботи системи полягає у безперервному контролі температури в приміщеннях та автоматичній зміні режимів роботи теплового насоса залежно від поточних умов.

Використання автоматизованого керування дозволяє:

- зменшити витрати електроенергії;
- підтримувати стабільний мікроклімат;
- збільшити термін служби обладнання;
- знизити вплив людського фактора;
- забезпечити дистанційний контроль роботи системи.

Досвід експлуатації аналогічних систем показує, що автоматизація дозволяє додатково зменшити споживання електроенергії на 5–10 %.

На рис. 4.2 наведена структурно-логічна схема автоматизованої системи керування теплонасосною установкою.

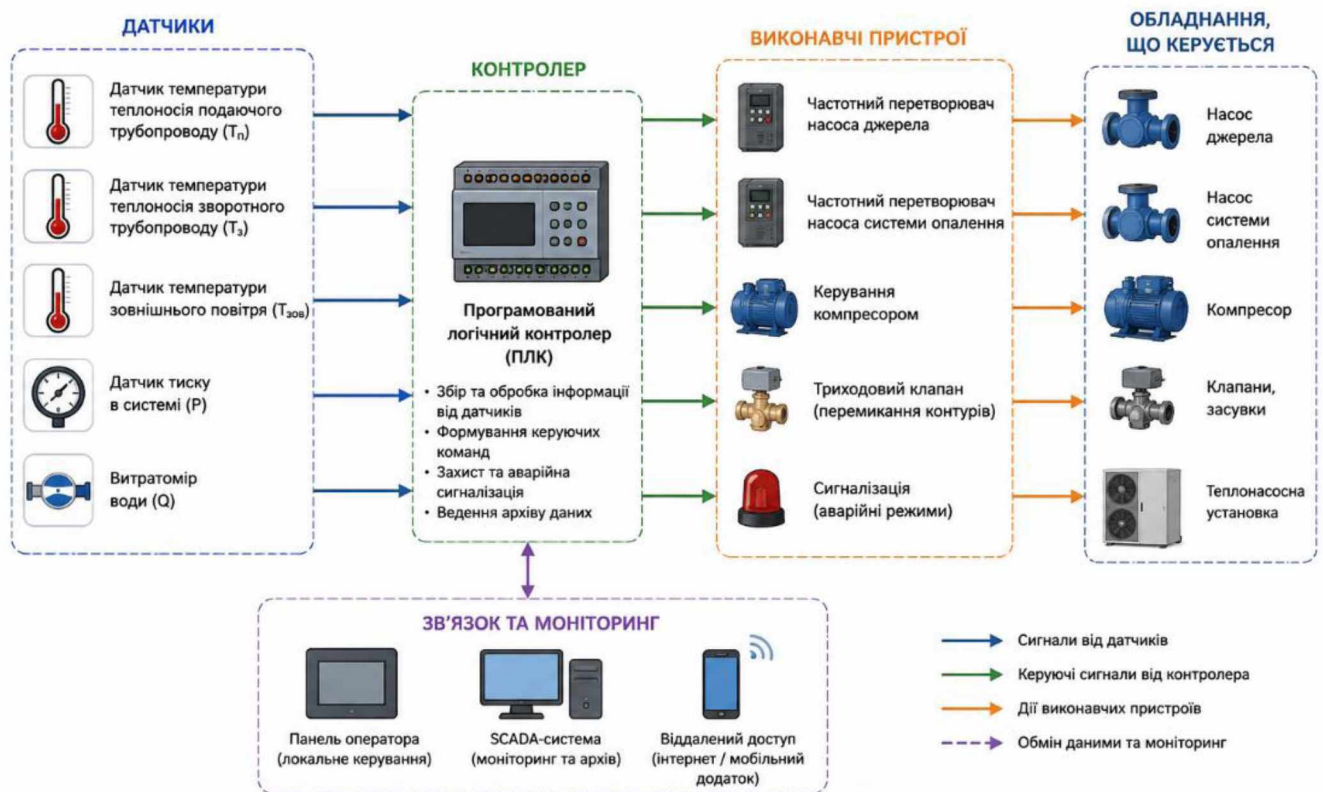


Рисунок 4.2 – Структурна схема автоматизованої системи керування теплонасосною установкою

4.4 Економічна ефективність використання теплового насоса

Економічна ефективність є одним із головних критеріїв оцінювання доцільності впровадження теплонасосної установки.

Для розрахунків приймаємо середню вартість електроенергії:

$$C = 8 \text{ грн}/(\text{кВт}\cdot\text{год}).$$

Тоді річні витрати на електроенергію для електроркотла становитимуть:

$$B_{\text{ек}} = 456192 \times 8 = 3649536 \text{ грн.}$$

Для теплонасосної установки:

$$B_{\text{тн}} = 101376 \times 8 = 811008 \text{ грн.}$$

Річна економія коштів:

$$E = B_{\text{ек}} - B_{\text{тн}} = 3649536 - 811008 = 2838528 \text{ грн.}$$

Результати наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняння річних витрат на електроенергію

Показник	Електроркотел	Тепловий насос
Споживання електроенергії, кВт·год	456192	101376
Вартість електроенергії, грн/рік	3649536	811008
Економія коштів, грн/рік	–	2838528

Для оцінки окупності приймаємо орієнтовну вартість теплонасосної установки разом із монтажем: $K = 5000000$ грн.

Термін окупності:

$$T = K / E = 5000000 / 2838528 = 1,76 \text{ року.}$$

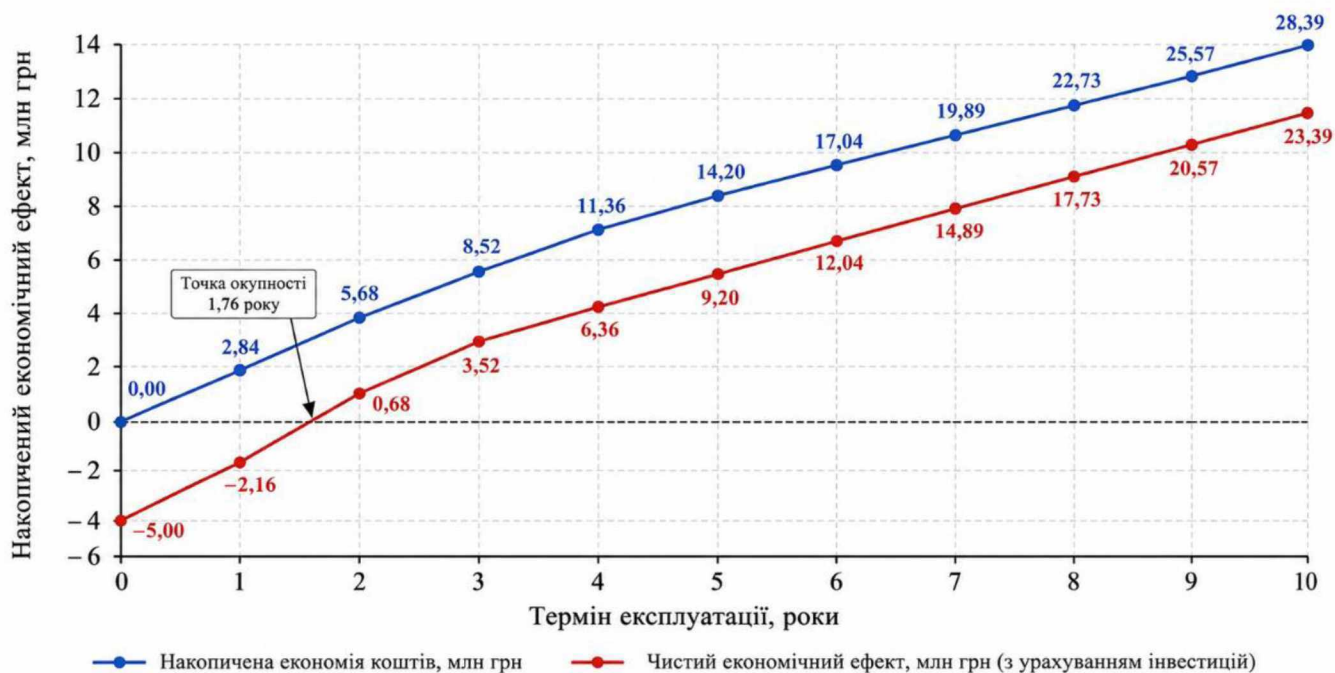
Таким чином, капітальні вкладення в теплонасосну систему можуть окупитися менш ніж за два роки експлуатації.

Основні техніко-економічні показники наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Основні техніко-економічні показники проєкту

Показник	Значення
Теплова потужність теплового насоса	200 кВт
Коефіцієнт перетворення енергії (COP)	4,5
Річне виробництво теплової енергії	456192 кВт·год
Споживання електроенергії	101376 кВт·год
Економія електроенергії	354816 кВт·год
Річна економія коштів	2838528 грн
Орієнтовна вартість системи	5000000 грн
Термін окупності	1,76 року

На рисунку 4.3 представлена залежність економічного ефекту від терміну експлуатації теплонасосної установки.



Рисунком 4.3 – Залежність економічного ефекту від терміну експлуатації теплонасосної установки.

4.5 Екологічна ефективність використання теплового насоса

Використання теплонасосних технологій забезпечує не лише економічний, але й екологічний ефект.

На відміну від газових і твердопаливних котлів, теплові насоси не здійснюють процесів спалювання палива безпосередньо на території ферми. Завдяки цьому відсутні викиди оксидів азоту, оксидів сірки, чадного газу, сажі та інших шкідливих речовин.

Зменшення споживання електроенергії становить:

$$\Delta W = 354816 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік.}$$

Для енергосистеми України середній питомий викид CO_2 становить близько 0,4 кг/кВт·год.

Тоді скорочення викидів вуглекислого газу дорівнює:

$$\Delta \text{CO}_2 = 354816 \times 0,4 = 141926 \text{ кг/рік або } \Delta \text{CO}_2 = 141,9 \text{ т/рік.}$$

Отже, використання теплового насоса дозволяє щорічно скорочувати викиди парникових газів майже на 142 тонни CO_2 , що сприяє підвищенню екологічної безпеки виробництва та відповідає сучасним принципам сталого розвитку аграрного сектору.

На рисунку 4.4 наведена структура енергетичного та екологічного ефекту від впровадження теплового насоса.

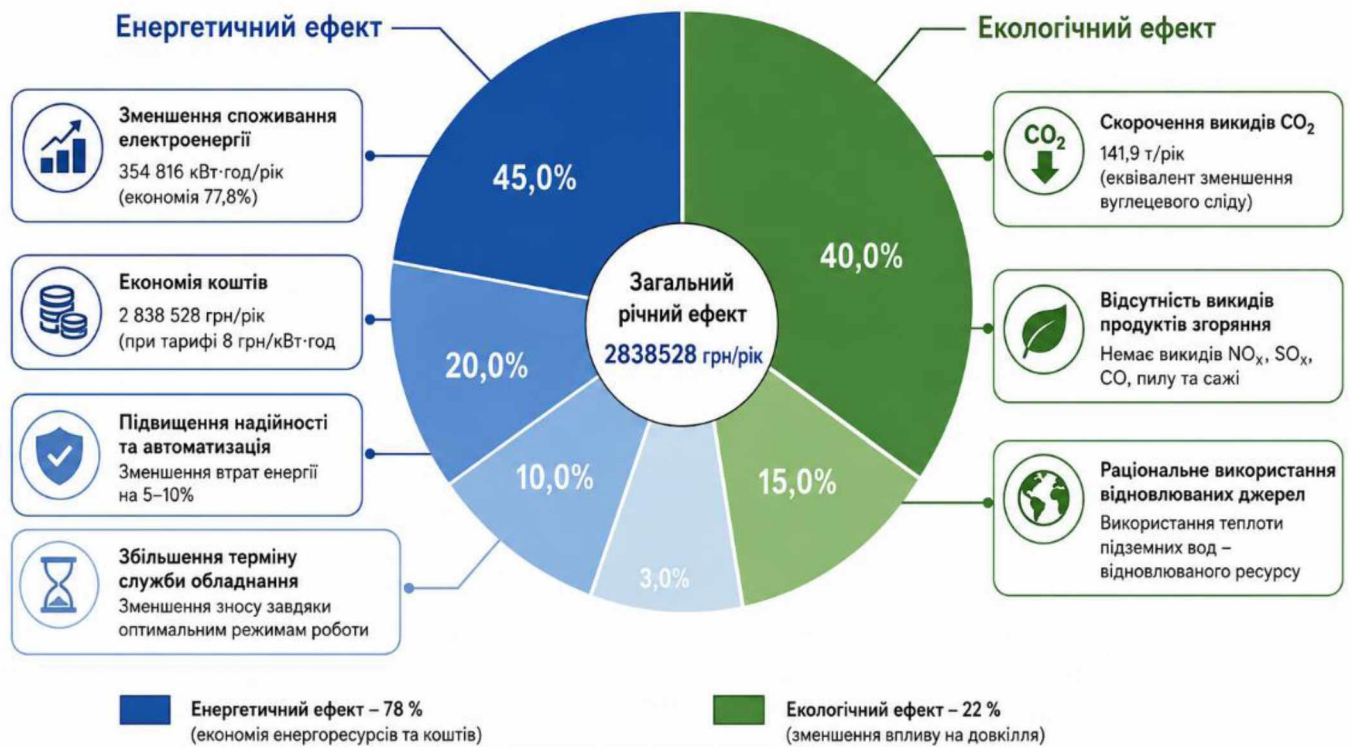


Рисунок 4.4 – Структура енергетичного та екологічного ефекту від впровадження теплового насоса.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі проведено оцінку енергетичної, економічної та екологічної ефективності використання теплового насоса в системі тепlopостачання тваринницької ферми. Встановлено, що традиційні системи тепlopостачання, зокрема електричні котли, характеризуються значним споживанням електроенергії та високими експлуатаційними витратами.

Виконано розрахунок річного споживання електроенергії для електричного котла та теплонасосної установки. За річної потреби ферми у тепловій енергії 456192 кВт·год електричний котел споживає 456192 кВт·год електроенергії, тоді як тепловий насос із COP = 4,5 споживає лише 101376 кВт·год. Річна економія електроенергії становить 354816 кВт·год, або 77,8 %.

Розраховано економічний ефект від впровадження теплонасосної установки. За вартості електроенергії 8 грн/(кВт·год) річні витрати при використанні електричного котла становлять 3649536 грн, а при використанні теплового насоса — 811008 грн. Річна економія коштів становить 2838528 грн.

Визначено орієнтовний термін окупності теплонасосної системи. За вартості обладнання та монтажу 5000000 грн термін окупності становить 1,76 року, що свідчить про високу економічну доцільність впровадження теплового насоса.

Розглянуто значення автоматизації системи тепlopостачання. Використання датчиків, контролера, частотних перетворювачів і засобів моніторингу дозволяє підтримувати стабільні параметри роботи установки, зменшити кількість пусків компресора, підвищити надійність обладнання та додатково знизити енергоспоживання.

Оцінено екологічний ефект від використання теплового насоса. Завдяки зменшенню споживання електроенергії на 354816 кВт·год на рік скорочення непрямих викидів CO₂ становить близько 141,9 т/рік. Крім того, теплонасосна установка не здійснює спалювання палива безпосередньо на території ферми, що зменшує локальне забруднення повітря.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

5.1 Заходи з охорони праці під час експлуатації теплонасосної установки

Під час експлуатації систем теплопостачання на тваринницьких фермах особлива увага приділяється питанням безпеки праці обслуговуючого персоналу. Теплонасосна установка належить до складного електромеханічного обладнання, яке поєднує електричні, гідравлічні та холодильні системи. Тому під час її експлуатації необхідно забезпечити дотримання вимог нормативних документів з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та виробничої санітарії.

До основних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать:

- наявність електричної напруги 380 В;
- рухомі частини компресора та насосів;
- підвищений тиск холодоагенту в холодильному контурі;
- шум та вібрація обладнання;
- можливі витіки холодоагенту;
- підвищена вологість у приміщенні насосної станції;
- небезпека виникнення коротких замикань та пожеж.

Для безпечної роботи теплонасосної установки необхідно забезпечити:

- справність системи заземлення;
- захист від струмів короткого замикання;
- автоматичне вимкнення обладнання при аварійних режимах;
- постійний контроль параметрів роботи;
- проведення періодичних технічних оглядів.

Персонал допускається до роботи лише після проходження вступного та первинного інструктажів з охорони праці, навчання безпечним методам роботи та перевірки знань з електробезпеки.

Приміщення теплового пункту повинно мати достатнє природне та штучне освітлення, вентиляцію, а також вільні проходи для обслуговування обладнання. Мінімальна ширина проходів між обладнанням повинна становити не менше 1 м.

5.2 Розрахунок та забезпечення електробезпеки

Теплонасосна установка оснащується електродвигуном компресора потужністю 50 кВт та допоміжним насосним обладнанням.

Розрахуємо робочий струм електродвигуна компресора:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta}$$

де: $P = 50000$ Вт; $U = 380$ В; $\cos\varphi = 0,85$; $\eta = 0,92$.

Тоді:

$$I = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.85 \cdot 0.92} = 91.8 \text{ А}$$

Для захисту електродвигуна приймається автоматичний вимикач на 100 А.

Одним із основних заходів захисту є захисне заземлення.

Для мережі напругою до 1000 В допустимий опір заземлювального пристрою: $R_z \leq 4$ Ом.

Для контролю стану електрообладнання передбачаються:

- автоматичні вимикачі;
- пристрої захисного вимкнення;
- реле контролю напруги;
- теплові реле;
- система аварійної сигналізації.

Основні засоби індивідуального захисту наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Засоби індивідуального захисту персоналу

Засіб захисту	Призначення
Діелектричні рукавички	Захист від ураження струмом
Діелектричне взуття	Захист від крокової напруги
Захисні окуляри	Захист очей
Робочий одяг	Захист від механічних пошкоджень
Захисна каска	Захист голови
Індикатор напруги	Контроль відсутності напруги

5.3 Пожежна безпека під час експлуатації теплонасосної установки

Причинами виникнення пожеж під час експлуатації електротехнічного обладнання можуть бути:

- короткі замикання;
- перевантаження електричних мереж;
- несправність контактних з'єднань;
- перегрів електродвигунів;
- пошкодження ізоляції кабелів.

Для запобігання пожежам передбачаються такі заходи:

- використання кабелів необхідного перерізу;
- встановлення автоматичних вимикачів;
- регулярний контроль температури обладнання;
- утримання приміщення в чистоті;
- проведення профілактичних оглядів.

Категорія приміщення за пожежною небезпекою – Д.

У приміщенні необхідно встановити:

- порошковий вогнегасник ВП-5;
- пожежний щит;
- план евакуації персоналу.

Схему евакуації доцільно розмістити біля входу до приміщення теплового пункту.

5.4 Екологічна безпека використання теплонасосної установки

Однією з головних переваг теплових насосів є мінімальний вплив на навколишнє середовище.

У традиційних системах тепlopостачання тепла енергія виробляється шляхом спалювання природного газу, вугілля або інших видів палива. Це супроводжується утворенням:

- вуглекислого газу;
- оксидів азоту;
- оксидів сірки;
- чадного газу;
- пилу та сажі.

Тепловий насос використовує відновлювану енергію підземних вод і не має локальних викидів забруднювальних речовин.

У попередньому розділі встановлено, що річна економія електроенергії становить:

$$\Delta W = 354816 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

За питомого коефіцієнта викидів:

$$k = 0,4 \text{ кг CO}_2/(\text{кВт}\cdot\text{год})$$

скорочення викидів вуглекислого газу дорівнює:

$$\Delta \text{CO}_2 = 354816 \cdot 0,4 = 141926 \text{ кг/рік}$$

або 141,9 т/рік.

Таблиця 5.2 – Екологічний ефект від використання теплового насоса

Показник	Значення
Економія електроенергії	354816 кВт·год/рік
Скорочення викидів CO ₂	141,9 т/рік
Зменшення споживання енергоресурсів	77,8 %
Локальні викиди шкідливих речовин	Відсутні

Отримані результати підтверджують екологічну доцільність впровадження теплонасосних технологій у тваринництві.

5.5 Техніко-економічна ефективність впровадження теплонасосної установки

Економічна оцінка є завершальним етапом обґрунтування доцільності використання теплового насоса.

Річна потреба ферми у тепловій енергії:

$$W_T = 456192 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Річне споживання електроенергії теплонасосною установкою:

$$W_{TH} = 101376 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Річна економія електроенергії:

$$\Delta W = 354816 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

За тарифу: $C = 8 \text{ грн (кВт}\cdot\text{год)}$

річний економічний ефект становить:

$$E = 354816 \cdot 8 = 2838528 \text{ грн.}$$

Для оцінки ефективності визначимо коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_n = \frac{E}{K}$$

де: $K = 5000000$ грн – вартість теплонасосної системи.

Тоді:

$$E_n = 2838528 / 5000000 = 0,57.$$

Оскільки нормативне значення коефіцієнта економічної ефективності для енергетичних проєктів становить близько 0,15–0,20, отримане значення свідчить про високу інвестиційну привабливість проєкту.

Термін окупності:

$$T = K/E$$

$$T = 5000000 / 2838528 = 1,76 \text{ року.}$$

Основні техніко-економічні показники проєкту наведено в таблиці 5.3.

Результати техніко-економічного аналізу підтверджують високу ефективність використання теплонасосної установки для теплопостачання тваринницької ферми. Впровадження запропонованої системи дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати, скоротити споживання енергоресурсів та забезпечити стабільне теплопостачання виробничих приміщень.

Таблиця 5.3 – Основні техніко-економічні показники проекту

Показник	Значення
Потужність теплового насоса	200 кВт
COP	4,5
Річна потреба в теплі	456192 кВт·год
Річна економія електроенергії	354816 кВт·год
Річна економія коштів	2838528 грн
Вартість проекту	5000000 грн
Коефіцієнт економічної ефективності	0,57
Термін окупності	1,76 року

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки, екологічної безпеки та техніко-економічної ефективності використання теплонасосної установки в системі тепlopостачання тваринницької ферми.

Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час експлуатації теплового насоса: електрична напруга 380 В, рухомі частини компресора і насосів, підвищений тиск у холодильному контурі, шум, вібрація та можливі аварійні режими. Запропоновано заходи безпечної експлуатації обладнання, зокрема захисне заземлення, автоматичне вимкнення, використання засобів індивідуального захисту та проведення інструктажів персоналу.

Розраховано робочий струм електродвигуна компресора потужністю 50 кВт, який становить 91,8 А. Для захисту електродвигуна прийнято автоматичний вимикач номінальним струмом 100 А. Також передбачено захисне заземлення з опором не більше 4 Ом.

Розглянуто заходи пожежної безпеки під час експлуатації теплонасосної установки. Встановлено, що основними причинами пожеж можуть бути короткі замикання, перевантаження електричних мереж, перегрів електродвигунів та пошкодження ізоляції кабелів.

Оцінено екологічний ефект від впровадження теплового насоса. Завдяки економії електроенергії 354816 кВт·год/рік скорочення викидів CO₂ становить близько 141,9 т/рік. Крім того, теплонасосна установка не має локальних викидів продуктів згоряння, що підвищує екологічну безпеку тваринницької ферми.

Виконано техніко-економічну оцінку проєкту. Річний економічний ефект від використання теплового насоса становить 2838528 грн, коефіцієнт економічної ефективності — 0,57, а термін окупності — 1,76 року. Це підтверджує високу економічну доцільність впровадження теплонасосної установки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто шляхи підвищення енергоефективності систем тепlopостачання тваринницьких ферм при використанні теплових насосів. Встановлено, що тепlopостачання є важливою складовою технологічного процесу у тваринництві, оскільки забезпечує підтримання нормативного мікроклімату, гаряче водопостачання, санітарну обробку обладнання та стабільні умови утримання тварин.

Проаналізовано сучасні джерела теплової енергії, які використовуються на тваринницьких фермах. Визначено, що традиційні системи тепlopостачання на основі електричних, газових або твердопаливних котлів мають низку недоліків: значні експлуатаційні витрати, залежність від вартості енергоносіїв, потребу в постійному обслуговуванні та негативний вплив на навколишнє середовище.

Обґрунтовано доцільність використання теплових насосів як перспективного напрямку підвищення енергоефективності систем тепlopостачання. Показано, що теплонасосна установка дозволяє використовувати низькопотенційну теплову енергію підземних вод і перетворювати її у корисну теплову енергію для опалення та гарячого водопостачання.

Для досліджуваної тваринницької ферми на 200 голів великої рогатої худоби виконано оцінку теплового навантаження. Встановлено, що максимальна теплова потужність системи становить 192 кВт. З урахуванням резерву потужності для забезпечення потреб ферми обрано тепловий насос типу «вода – вода» тепловою потужністю 200 кВт.

Виконано розрахунок основних параметрів теплонасосної установки. Визначено, що для її роботи необхідна витрата підземної води через випарник близько 26,7 м³/год. Електрична потужність компресора становить 44,4 кВт, а з урахуванням резерву прийнято електродвигун потужністю 50 кВт.

Встановлено, що коефіцієнт перетворення енергії теплонасосної установки становить COP = 4,5. Це означає, що на кожен 1 кВт спожитої електричної енергії система виробляє 4,5 кВт теплової енергії. Такий показник свідчить про високу

енергоефективність теплового насоса порівняно з традиційними джерелами тепlopостачання.

Проведено порівняння річного споживання електроенергії електрокотлом і тепловим насосом. За річної потреби ферми у тепловій енергії 456192 кВт·год електрокотел споживає 456192 кВт·год електроенергії, тоді як тепловий насос — 101376 кВт·год. Річна економія електроенергії становить 354816 кВт·год, або 77,8 %.

Розраховано економічну ефективність впровадження теплового насоса. За вартості електроенергії 8 грн/(кВт·год) річний економічний ефект становить 2838528 грн. При орієнтовній вартості обладнання та монтажу 5000000 грн термін окупності теплонасосної установки становить 1,76 року, що підтверджує економічну доцільність запропонованого рішення.

Оцінено екологічну ефективність використання теплового насоса. Завдяки зменшенню споживання електроенергії скорочення непрямих викидів CO₂ становить близько 141,9 т/рік. Крім того, теплонасосна установка не здійснює спалювання палива безпосередньо на території ферми, що зменшує локальне забруднення повітря.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки експлуатації теплонасосної установки. Визначено основні небезпечні фактори, зокрема електричну напругу 380 В, рухомі частини обладнання, підвищений тиск у холодильному контурі, шум і вібрацію. Запропоновано заходи електробезпеки, пожежної безпеки та використання засобів індивідуального захисту персоналу.