

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 631.223.6:628.8:620.92

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

ІВКОВ Юрій Сергійович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ
ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ У ПРИМІЩЕННІ ДЛЯ УТРИМАННЯ
СВИНЕЙ З РОЗРОБЛЕННЯМ ЕНЕРГООЩАДНОЇ СИСТЕМИ ОБІГРІВУ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., доцент О. В. Медведський

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Івков Ю. С. Удосконалення технології забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату у приміщенні для утримання свиней з розробленням енергоощадної системи обігріву. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота подається на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026 р.

Кваліфікаційна робота вирішує проблему пошуку енергетично ефективної системи опалення тваринницького приміщення шляхом використання теплового насоса. Виконана ґрунтівна оцінка типів теплових насосів, виділені їх позитивні ознаки та придатність у системі опалення.

У кваліфікаційній роботі розроблена система обігріву тваринницького приміщення яка працює за бівалентно-паралельним режимом. Така система дозволяє обігрівати приміщення в холодний період року та охолоджувати приміщення в занадто жаркий період року. виконано економічне обґрунтування доцільності використання теплового насоса порівняно із традиційною системою обігріву.

Ключові слова: конденсатор, випарник, теплообмінник, компресор

ANNOTATION

Y. S. Ivkov. Improvement of technology for ensuring optimal microclimate parameters in pig housing facilities, including the development of an energy-efficient heating system. – Qualification work in the form of a manuscript.

The qualification work is submitted for the first degree of bachelor in specialty 208 – agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This qualification work solves the problem of finding an energy-efficient heating system for livestock facilities through the use of a heat pump. A thorough assessment of heat pump types was conducted, highlighting their advantages and suitability for heating systems.

The thesis presents a heating system for livestock facilities that operates in a bivalent-parallel mode. Such a system allows for heating the facility during the cold season and cooling it during the excessively hot season. An economic justification of the feasibility of using a heat pump compared to a traditional heating system has been provided.

Key words: condenser, evaporator, heat exchanger, compressor

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ У ПРИМІЩЕННІ ..	7
1.1. Значення оптимальних параметрів мікроклімату при утриманні тварин	7
1.2. Оцінка конструкційно-технологічних схем використання теплових насосів у системі обігріву	10
Висновки до розділу	15
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОБІГРІВУ ТВАРИННИЦЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ	16
2.1. Обґрунтування вибору типу теплового насоса для обігріву тваринницького приміщення	16
2.2. Синтез теплового насоса у систему обігріву приміщення	20
Висновки до розділу	22
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОБІГРІВУ ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ	23
3.1. Встановлення температурних режимів роботи теплового насоса ...	23
3.2. Розрахунок конструкційних параметрів системи теплообміну	30
Висновки до розділу	31
ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	34
ДОДАТКИ	37

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення тваринницького приміщення оптимальними параметрами мікроклімату стоїть досить гостро оскільки потребує значних капіталовкладень. Так, підтримання необхідного температурного режиму, вологості у приміщення та інтенсивність переміщення повітря мають відповідати зооветеринарним вимогам. Встановлено, що невідповідність температури у приміщенні для утримання свиней призводить до значних втрат продуктивності, виникають випадки захворювання тварин. Всі негативні фактори спонукають до пошуку найбільш прийнятних систем забезпечення заданого температурного режиму у приміщеннях для свиней з точки зору мінімальних витрат та максимальної ефективності.

Використання традиційних систем обігріву тваринницьких приміщень у холодну пору року споживають до 70% всієї річної потреби у електроенергії тваринницького підприємства. Однією із проблем є неможливість традиційних систем опалення тваринницьких приміщень працювати на охолодження приміщення. Така проблема виникає із-за зростання наслідків глобального потепління. Тварини при перевищенні температурного режиму також втрачають продуктивність та виникають захворювання.

Одним із альтернативних варіантів подолання енергетичної кризи є використання теплових насосів у системі опалення тваринницького приміщення. Особливість роботи теплового насоса полягає в тому що він збільшує енергію низько потенціального джерела енергії у 4-5 разів, що робить таку систему найбільш привабливою для використання у системі обігріву тваринницького приміщення. Окрім того різноманітність типів теплових насосів за способом мультиплікації теплової енергії джерела з низьким потенціалом спонукає до розширених можливостей використання. Як найбільш простий та поширений серед побутових споживачів є тепловий насос типу «повітря-повітря». Проте такі системи недостатньо ефективні при значній мінливості температури зовнішнього повітря впродовж року. Вибір теплових

насосів із використанням як джерело низького потенціалу ґрунту або воду сприяє отриманню значно керованішої системи із постійною температурою нижнього джерела.

Таким чином, використання теплового насоса у системі опалення тваринницького приміщення відкриває нові можливості для отримання заданих зооветеринарними вимогами параметрів мікроклімату.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у підвищення енергетичної ефективності системи опалення тваринницького приміщення шляхом використання теплового насоса.

Задачі, які необхідно вирішити у кваліфікаційній роботі:

- оцінити типи теплових насосів за джерелом енергії, встановити їх переваги та недоліки;
- обґрунтувати структурну схему системи опалення тваринницького приміщення із використанням теплового насоса в реверсному режимі;
- розробити конструкцію елементів системи теплообмінника опалювального контуру;
- встановити економічну доцільність використання теплового насоса у системі опалення тваринницького приміщення.

Об'єктом дослідження є опалювальна система із тепловим насосом компресорного типу.

Предмет дослідження – технологічні параметри та режими роботи теплового насоса в системі опалення приміщення.

Методи дослідження. Виконання кваліфікаційної роботи потребувало використання класичних методів теоретичної механіки, відомих підходів термодинаміки та теплотехніки, систем диференційного та інтегрального числення, фізики суцільного середовища. При цьому використовувались доступні програмні продукти, зокрема Word та Excel.

Апробація кваліфікаційної роботи відбувалась на студентських наукових конференціях, результати досліджень викладені у наступних роботах:

1. Івков Ю. С. Оцінка принципів функціонування систем мікроклімату із використанням відновлювальних джерел енергії. *Студентські читання–2025* : матеріали науково-практичної конференції. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 142–145.

2. Івков Ю. С. Розроблення бівалентно-паралельної системи забезпечення мікроклімату тваринницького приміщення. *Наукові читання – 2026* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. Ч. 2. С. 118–120.

Структура кваліфікаційної роботи. До складу кваліфікаційної роботи входить три розділи пояснювальної записки, вступ, загальні висновки та список використаних джерел. Основний зміст викладено на 36 сторінках державною мовою. Текст пояснювальної записки вміщає 2 таблиці та 11 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ У ПРИМІЩЕННІ

1.1. Значення оптимальних параметрів мікроклімату при утриманні тварин

Створення оптимальних параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні для сучасного промислового свиначства спрямоване не тільки на забезпечення комфортних умов для тварин, а й вимагає підвищення економічної ефективності галузі. Основним аргументом є витрати на систему обігріву тварин у холодну пору року. Відомо [1, 2], що свині надзвичайно чутливі до температурних коливань та якості повітря, що безпосередньо впливає на стан їх здоров'я, темпи росту та повноту засвоєння корму. Тому, критично важливо підтримувати у приміщенні регламентовані температурно-вологісні режими, табл. 1.1. [3, 4]

Таблиця 1.1.

Значення температури та вологості повітря у приміщенні для свиней

Вікова група тварин	Оптимальна температура повітря, °C	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Поросята підсисні	30 - 32	60 - 70	0,15-0,20
Поросята відлучені	26 - 28	60 - 70	0,15-0,20
Свині на дорощуванні	20 - 22	60 - 75	0,15-0,20
Заклучна відгодівля свиней	16 - 18	60 - 75	0,15-0,20
Свиноматки холості	16 - 20	65 - 75	0,15-0,20
Свиноматки підсисні	18 - 20	65 - 75	0,15-0,20

Відповідно до наведених у табл. 1.1 даних, оптимальний температурний режим залежить від віку та фізіологічного стану тварин. Особливо важливо підтримувати заданий температурний режим у приміщенні для підсисних поросят.

Свині наділені обмеженими можливостями до терморегулювання, оскільки у них відсутні потові залози. Тому, якщо умови у приміщенні щодо стану оточуючого повітряного середовища не відповідають комфортним параметрам організму за температурою, то тварини змушені витратити енергію кормів не на приріст живої маси, а на підтримання температури тіла.

Встановлено [5, 6], що зниження температури повітря у приміщенні призводить до зростання витрат корму на 10-15%, у тварин спостерігаються випадки діареї, можуть розвинутиися легеневі захворювання. Підвищення температури вище за комфортну може спричинити тепловий стрес, зниження апетиту, погіршення репродуктивних функцій та сповільнення приростів. Відхилення від заданих параметрів вологості та швидкості руху повітря може спричинити неконтрольований розвиток патогенної мікрофлори та надмірну корозію металевих конструкцій та обладнання.

У холодний період року підтримання заданого температурного режиму вимагає значних витрат електричної енергії. Розрахункові витрати теплової енергії в середньому для обігріву одного скотомісця для поросят на дорощуваних можуть становити від 150 до 300 кВт×год енергії за цикл [7], відповідно до умов місцевості та конструкційних та теплоізоляційних властивостей матеріалу будівлі. При цьому, розрахункові витрати на електричну енергію для обігріву залежать як від термічного опору огорожувальних конструкцій так і від різниці температур всередині та зовні приміщення.

Використання традиційних систем обігріву (теплогенераторів, тепловентиляторів) тваринницьких приміщень призводить до значних витрат електричної енергії, приблизно до 70% річного споживання [8]. Тому, питання зниження енерговитрат стоїть дуже гостро, особливо у контексті зниження собівартості продукції тваринництва для підвищення прибутковості галузі та

зменшення техногенного тиску на оточуюче середовище. У зв'язку із цим, виробники тваринницької продукції шукають альтернативні технології забезпечення у приміщенні заданих параметрів мікроклімату.

Значна частина теплоти повітря у приміщенні (40-60%) втрачається через систему вентиляції [5, 9], яка призначена для видалення із приміщення сірководню, вуглекислого газу і зайвої вологи та подачі у приміщення свіжого повітря. Для повернення теплової енергії видаленого повітря до свіжого повітря використовують технології рекуперації тепла. Суть технології полягає у застосуванні теплообмінників у системі вентиляції що дозволяє «забирати» тепло у забрудненого вологого повітря, яке видаляється із приміщення, і «передавати» його до свіжого припливного повітря. За дослідними даними [10, 11] такий підхід дозволяє знизити потребу в додатковому обігріві на 40-50%.

Проте використання рекуперативних теплообмінних апаратів потребує значних витрат матеріальних ресурсів на прокладання систем відведення відпрацьованого повітря та подачі свіжого підігрітого повітря. Окрім цього, теплом відпрацьованого повітря свіже повітря можна нагріти до 8-10°C, що вимагає використання додаткових систем підігріву. Основною проблемою експлуатації таких систем є боротьба із конденсатом та утворенням криги у місцях виходу теплого повітря.

Однією із можливих технологій забезпечення у тваринницькому приміщенні заданого температурного режиму може бути використання теплових насосів. Ефективність застосування теплових насосів визначається коефіцієнтом перетворення (COP), який залежно від типу теплового насоса може бути в межах від 3,5 до 5,0 [12, 13]. Позначення коефіцієнта $COP=5,0$ означає, що якщо на роботу системи витрачається 1 кВт·год електричної енергії, то теплової енергії можна отримати 5 кВт енергії тепла. Для своєї роботи тепловий насос може використовувати будь-яке низькопотенційне джерело тепла, а в холодний період року при значних зниженнях температури оточуючого повітря можна використовувати тепло ґною (+10...+15 °C навіть узимку). Універсальність щодо можливого вибору низькопотенціального

джерела тепла робить вибір теплового насоса для забезпечення оптимального температурного режиму у приміщенні досить привабливим. Окрім цього, використання теплового насоса не впливатиме на зростання вологості у приміщенні та створення надмірних шумових навантажень.

1.2. Оцінка конструкційно-технологічних схем використання теплових насосів у системі обігріву

Тепловий насос – це технічний пристрій, що забезпечує перенесення розсіяної теплової енергії з довкілля (грунту, води або повітря) до системи опалення будівлі, перетворюючи її на високоефективне тепло. [13, 14]

Фактично, за допомогою системи теплообмінників насос «акумулює» тепло з навколишнього середовища та транспортує його всередину приміщення. Крім опалення, такі системи здатні забезпечувати гаряче водопостачання, а за наявності реверсивного режиму - працювати на кондиціювання повітря влітку.

Залежно від фізичних процесів, що лежать в основі роботи, теплові насоси поділяють на:

- компресорні;
- абсорбційні;
- хімічні;
- термоелектричні.

Найбільш розповсюджений тип теплових насосів – є компресорні теплові насоси. Принцип дії компресорного теплового насоса базується на циклічному переміщенні холодоагенту (рис. 1.1) та поділяється на наступні складові [15, 16]:

1. **Випаровування** – у випарнику (2) холодоагент поглинає тепло від джерела енергії низького потенціалу (грунту, води або повітря). Отримуючи енергію, холодоагента нагрівається і переходить у газоподібний стан.

2. **Стиснення** – газоподібний холодоагент потрапляє до компресора (1). Внаслідок різкого стиснення, згідно із законом Клайперона-Менделєєва, його температура значно зростає, досягаючи 80-85°C і вище.

3. **Конденсація** – гарячий газ спрямовується до конденсатора (3), де віддає тепло опалювальному контуру приміщення. Під час охолодження холодоагент конденсується, повертаючись у рідкий стан.

4. **Дроселювання** – проходячи через дросельний вентиль (4), тиск холодоагенту різко падає. Внаслідок ефекту Джоуля-Томсона температура речовини суттєво знижується, що спричиняє її кипіння у випарнику (2) при дуже низьких температурах.

Цей цикл повторюється безперервно. Робота системи автоматизована: термостат вимикає насос при досягненні заданої температури в приміщенні та запускає його знову, коли теплоносій в опалювальному контурі охолоджується нижче встановленого рівня.

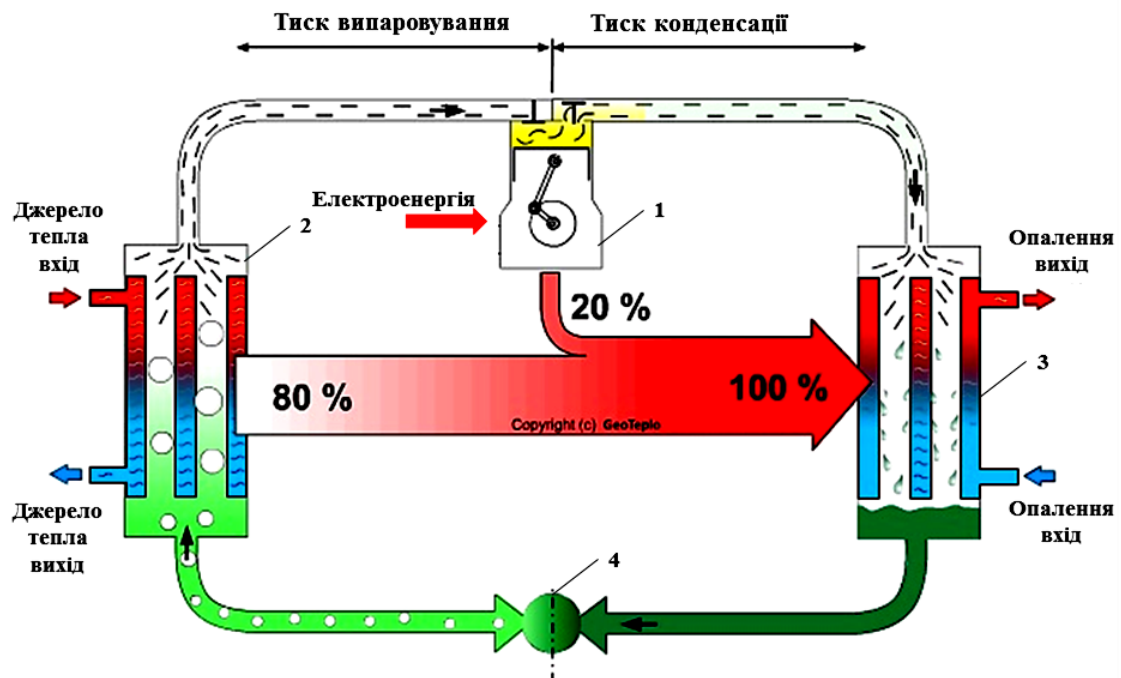


Рис. 1.1. Тепловий насос компресорного типу: 1 – компресор; 2 – випарника; 3 – конденсатора; 4 – дроселюючий вентиль

Для функціонування насоса необхідне постійне джерело низькотемпературного тепла. За цим критерієм виділяють такі групи:

- **Геотермальні:** використовують енергію ґрунту або підземних вод.
- **Повітряні:** витягують тепло безпосередньо з навколишнього повітря.
- **Вторинні:** утилізують надлишкове тепло промислових процесів або стічних вод.

Простота та зрозумілість принципу функціонування та можливість використання різних початкових джерел теплової енергії робить компресорний тепловий насос найбільш поширеним на ринку європейських країн. [17, 18]

Атмосферне повітря є найдоступнішим та найпоширенішим джерелом низькопотенційного тепла. Для його відбору на вулиці монтують зовнішній блок, конструкція якого містить теплообмінник та вентилятор (рис. 1.2). Повітряні маси нагнітаються на випарник, де відбувається відбір теплової енергії, після чого охолоджене повітря повертається назад у навколишнє середовище. [7, 13-15]

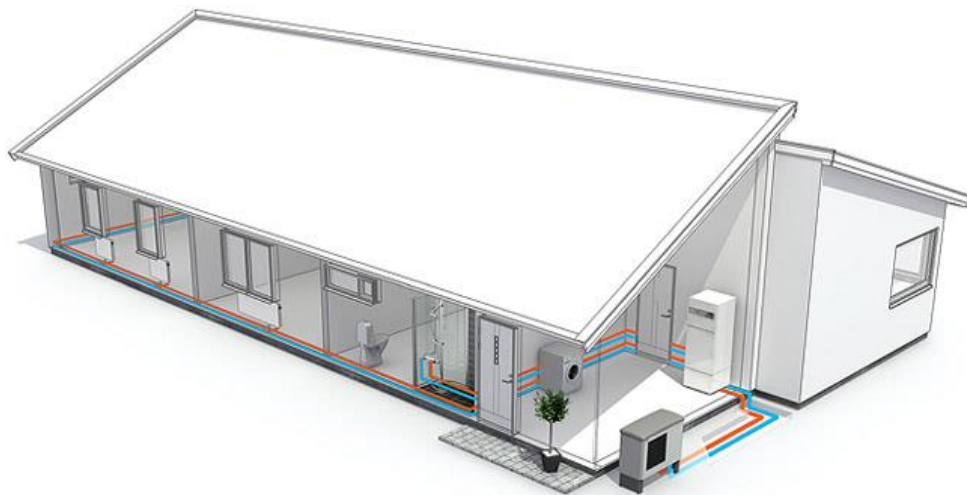


Рис. 1.2. Загальний вигляд «повітряного» теплового насоса

Сучасні технологічні рішення дозволяють ефективно експлуатувати повітряні теплові насоси навіть за зниження температури зовнішнього повітря до -15°C . Для надійної роботи в умовах сильних морозів системи

доукомплектовують допоміжним електричним нагрівачем або інтегрують у комбіновані схеми з додатковим генератором тепла (наприклад, каміном із водяним контуром). У випадку пасивних або високоенергоефективних будинків повітряний тепловий насос здатний повністю та самостійно забезпечити всі потреби будівлі в опаленні. [7]

Ґрунт є найбільш стабільним джерелом розсіяної теплової енергії. Починаючи з глибини 5-7 м, його температура залишається практично незмінною впродовж усього року й становить близько 10-12°C.

Первинний контур геотермального теплового насоса часто реалізують у вигляді горизонтального (рис. 1.3-а 1.3-б) та вертикального (рис. 1.3-в) ґрунтового колектора. [7, 10]



Рис. 1.3. Загальний вигляд «ґрунтового» теплового насоса із різними схемами забору тепла ґрунту.

Ґрунтовий контур теплообміну прокладають на глибині 1,2-1,5 м, в загальному орієнтовно на 0,2 м глибше за місцевий рівень промерзання ґрунту. Таке заглиблення гарантує відносно постійну й стабільну температуру теплоносія протягом року. [7, 10]

Величина тепловіддачі від ґрунтового середовища безпосередньо залежить від фізико-механічних властивостей землі та варіюється в межах 10-35 Вт/м²: [7, 9, 11]

- сухий пісок – 10 Вт/м²;
- суха глина – 20 Вт/м²;
- волога глина – 25 Вт/м²;
- сильно зволожена глина – 35 Вт/м².

Головною особливістю монтажу горизонтального колектора є необхідність виділення значної площі земельної ділянки під його укладання.

Ґрунтові води належать до найефективніших джерел первинної теплової енергії для роботи теплового насоса (рис. 1.4). [7, 10]

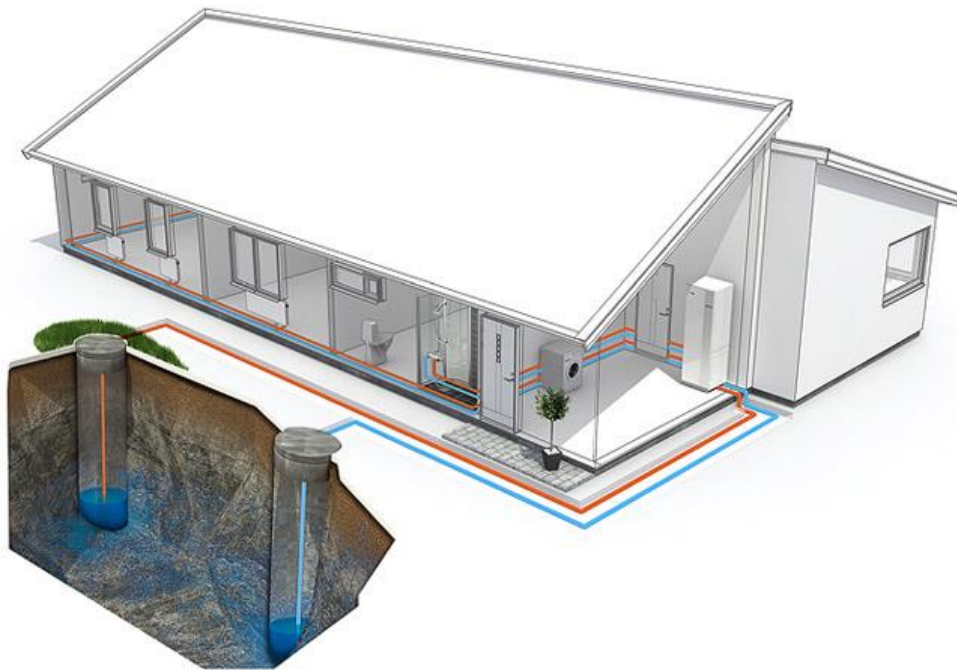


Рис. 1.4. Загальний вигляд «водного» теплового насоса

Температура води у свердловині залишається стабільною протягом року та перебуває в діапазоні від 7 до 12°C. [7, 10]

Типова схема утилізації енергії води (рис. 1.4) передбачає облаштування двох свердловин [7, 10]:

- **«верхня» (для забору)** забезпечує підйом води та її подачу на теплообмінник водо-водяного теплового насоса, де відбувається процес передачі тепла;
- **«нижня» (для зливу)** приймає охолоджену воду після теплообмінника й повертає її у водоносний шар.

Відбір тепла здійснюється за допомогою занурених у воду труб. Для запобігання термічному перемішуванню («короткому замиканню» потоків) відстань між точкою забору та точкою скидання води має становити не менше 10-15 м. Питома тепловіддача ґрунтових вод може досягати 80 Вт на один метр глибини свердловини, що досить прийнятно для ефективної роботи системи. [7]

Дебіт та приймальна здатність обох свердловин повинні повністю відповідати витраті води, яку споживає тепловий насос. Зокрема, для отримання 1 кВт теплової потужності з ґрунтових вод необхідно забезпечити продуктивність системи на рівні не менше 0,25 м³/год. [7, 12, 15]

Висновки до розділу

1. Забезпечення тваринницьких приміщень теплом вимагає значних витрат електричної енергії, приблизно до 70% річного споживання. Тому, питання зниження енерговитрат стоїть дуже гостро, особливо у контексті зниження собівартості продукції тваринництва для підвищення прибутковості галузі та зменшення техногенного тиску на оточуюче середовище.

2. Надійне забезпечення у тваринницькому приміщенні заданого температурного режиму полягає у використанні «водно-водяних» теплових насосів, ефективність та технологічна придатність яких вища порівняно із іншими типами. Ефект від використання теплового насоса полягає в отриманні 5 кВт теплової енергії при витраті 1 кВт×год електричної енергії, що значно вище порівняно із іншими системами обігріву.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОБІГРІВУ ТВАРИННИЦЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ

2.1. Обґрунтування вибору типу теплового насоса для обігріву тваринницького приміщення

Окрім базових робочих вузлів, до складу теплонасосних установок які використовуються для опалення приміщень обов'язково входять внутрішні та зовнішні теплообмінники. Їхня конструкція та конфігурація безпосередньо залежать від типу обраної системи опалення та конфігурації приміщення і потреб тварин у теплі. [7, 8]

Внутрішні теплообмінники призначені для передачі корисної теплової енергії безпосередньо у внутрішній простір приміщення (до системи опалення чи вентиляції), підігріву води для гарячого водопостачання або ж для відбору тепла з приміщення (у режимі кондиціювання).

Зовнішні теплообмінники забезпечують безпосередній відбір низькопотенційного тепла із навколишнього середовища (це може бути зовнішнє повітря, ґрунт, вода) або ж системи відведення теплової енергії у довкілля. Наприклад, при роботі систем для охолодження молока, вторинної теплоти систем вентиляції, скидної теплоти каналізаційних вод або теплоти рідких фракцій гною у збірниках.

В опалювальних системах типу «повітря-повітря» тепла енергія відбирається із зовнішнього повітря (або витяжної вентиляції опалюваного приміщення) і передається безпосередньо до внутрішній об'єм приміщення за допомогою створюваних вентиляторами повітряних потоків. [7, 12]

Сьогодні такі установки набули широкого використання, їх застосовують у таких випадках: [7, 8]

- опалення приміщень нагрітим повітрям;
- кондиціювання та вентиляції;

- підготовки теплої води (у комбінації зі теплоізованими баками-накопичувачами).

У такій схемі «повітря-вода» (рис. 2.1) теплова енергія, отримана з навколишнього повітря або витяжної вентиляційної системи, передається через контур теплового насоса рідинному теплоносію (як правило, воді). [7, 12]

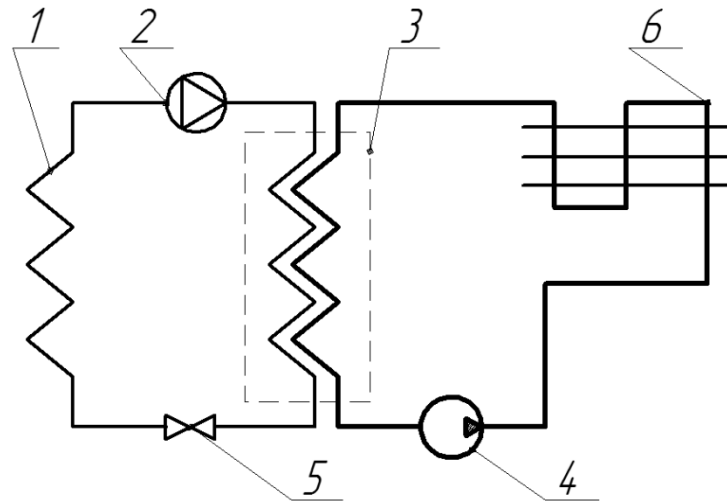


Рис. 2.1. Структурна схема системи для опалення приміщення типу «повітря-вода»: 1 – випарник; 2 – компресорний агрегат; 3 – конденсаторний теплообмінник; 4 – насос теплоносія; 5 – дросель-вентиль; 6 – обігрівальний контур.

Нагріта вода може використовуватися за наступними схемами: [7]

- теплоносій у класичних системах опалення (радіатори, теплі підлоги);
- джерело гарячого водопостачання для побутових потреб;
- гаряча вода для різноманітних технологічних і виробничих процесів.

У системах обігріву із тепловим насосом типу «вода-вода» (рис. 2.2) теплова енергія відбирається від рідкого середовища (водного джерела) і через циркуляційний контур теплового насоса передається іншому рідкому теплоносію. Цей варіант є високоефективним і широко застосовується для комплексного опалення приміщень, а також для швидкого нагріву значних об'ємів води для господарських та побутових потреб тваринницького підприємства.

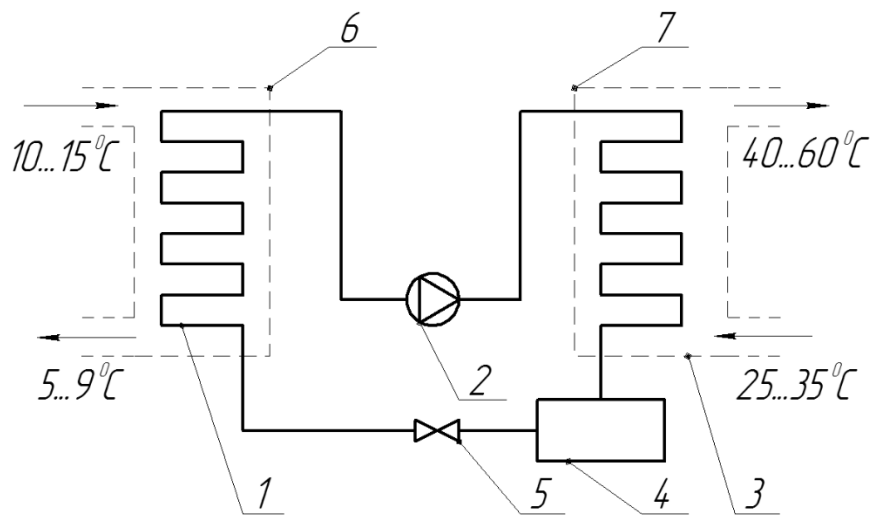


Рис. 2.2. Структурна схема системи для опалення приміщення типу «вода-вода»: 1 – випарник; 2 – компресорний агрегат; 3 – конденсатор-теплообмінник; 4 – накопичувальна місткість; 5 – дросель-вентиль; 6 – місткість для низькопотенційного джерела води; 7 – місткість для гарячої води опалювального контура

Залежно від способу інтеграції теплового насоса у загальну систему теплопостачання та взаємодії з іншими джерелами тепла, виділяють такі режими роботи: [6, 7]

Моновалентний режим передбачає, що тепловий насос є єдиним і самостійним джерелом теплопостачання, яке повністю покриває потреби приміщення у теплі протягом усього року. Таку схему доцільно застосовувати лише за умови використання первинного джерела енергії зі стабільно високою температурою протягом усіх сезонів (наприклад, геотермальних вод чи скидних стоків гноївки чи каналізаційної теплої води із технологічних процесів чи очищення і миття). Це найбільш дешевий і експлуатаційно-придатний варіант в умовах не надто низьких зовнішніх температур взимку.

Бівалентний режим роботи системи передбачає спільну роботу теплового насоса з додатковим традиційним генератором теплової енергії, наприклад електронагрів, або будь-якого типу опалювальне обладнання (рис. 2.3). Тепловий насос самостійно забезпечує приміщення теплом до досягнення певної температури зовнішнього повітря – так званої «межі нагрівання»

(бівалентності) за якої відбувається перехід на допоміжну традиційну систему обігріву. Так, при зниженні температури нижче значення «межі нагрівання» тепловий насос вимикається, а все теплове навантаження повністю перебирає на себе допоміжний традиційний нагрівач. [7]

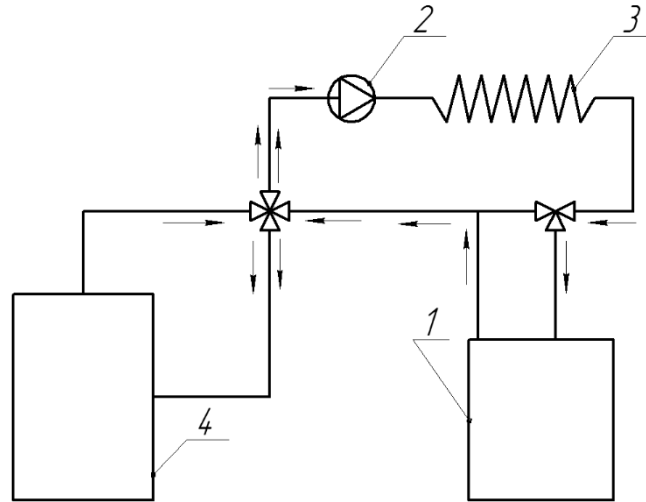


Рис. 2.3. Структурна схема системи для опалення приміщення за бівалентного режиму роботи системи: 1 – об’єм для випарника; 2 – компресорний агрегат; 3 – конденсатор-теплообмінник; 4 – традиційний генератор тепла

Бівалентна схема достатньо поширена, оскільки дозволяє уникнути надмірного здорожчання теплового насоса великої потужності, який буде потрібний лише у пікові зимові низькі температури.

Бівалентно-паралельний режим роботи схожий на розглянутий вище бівалентний, але має принципову відмінність у логіці керування. При зниженні температури повітря нижче точки бівалентності тепловий насос не вимикається, а продовжує працювати на максимальній потужності. При цьому, додатково вмикається допоміжний нагрівальний пристрій (наприклад, електронагрівач чи котел), який лише компенсує дефіцит тепла. Тобто, додатково «підігріває те», що «недогрів» тепловий насос. [6, 7]

Альтернативний (реверсивний) режим передбачає, що тепловий насос, залежно від сезону та поточних потреб приміщення, може працювати як на нагрів, так і на охолодження (рис. 2.4). [6, 7]

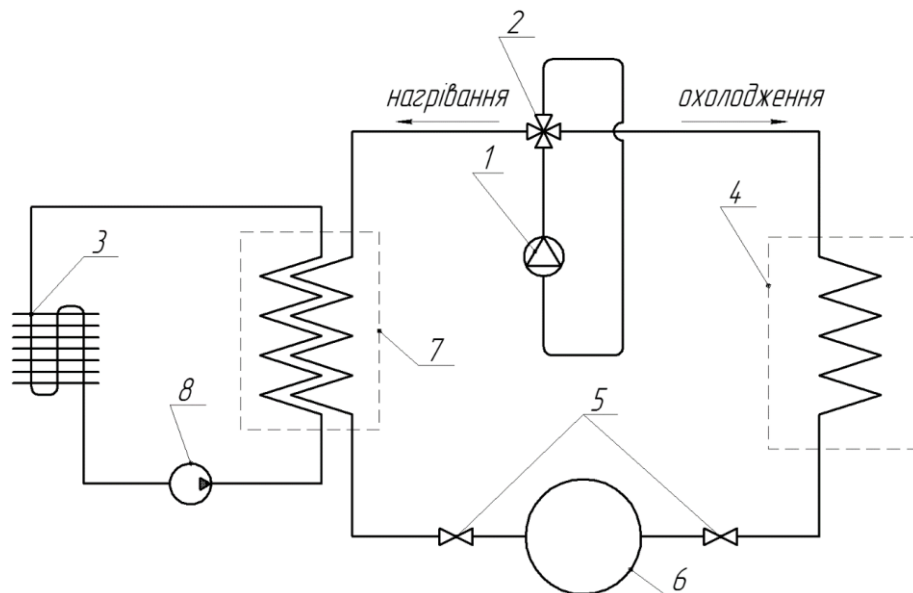


Рис. 2.4. Структурна схема системи для опалення приміщення за альтернативною системою: 1 – компресорний агрегат; 2 – вентиль на три ходи; 3 – нагрівально-охолоджувальний елемент; 4 – конденсатор або випарник; 5 – дросель-вентиль; 6 – додаткова місткість; 7 – конденсатор-теплообмінник; 8 – насос для рідини системи опалення чи охолодження.

Напрямок руху холодоагенту змінюється за допомогою спеціального триходового (реверсивного) клапана, керування яким відбувається за допомогою термостата. При цьому внутрішній і зовнішній теплообмінники періодично змінюють свої ролі (конденсатор стає випарником і навпаки). Завдяки цьому система взимку опалює приміщення, а влітку працює як кондиціонер.

2.2. Синтез теплового насоса у систему обігріву приміщення

В сучасних реаліях зміни клімату, система забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату у тваринницькому приміщенні повинна працювати як на обігрів так і на охолодження. У зв'язку із чим у кваліфікаційній роботі

будемо розробляти схему використання теплового насоса із альтернативним режимом роботи (рис. 2.5).

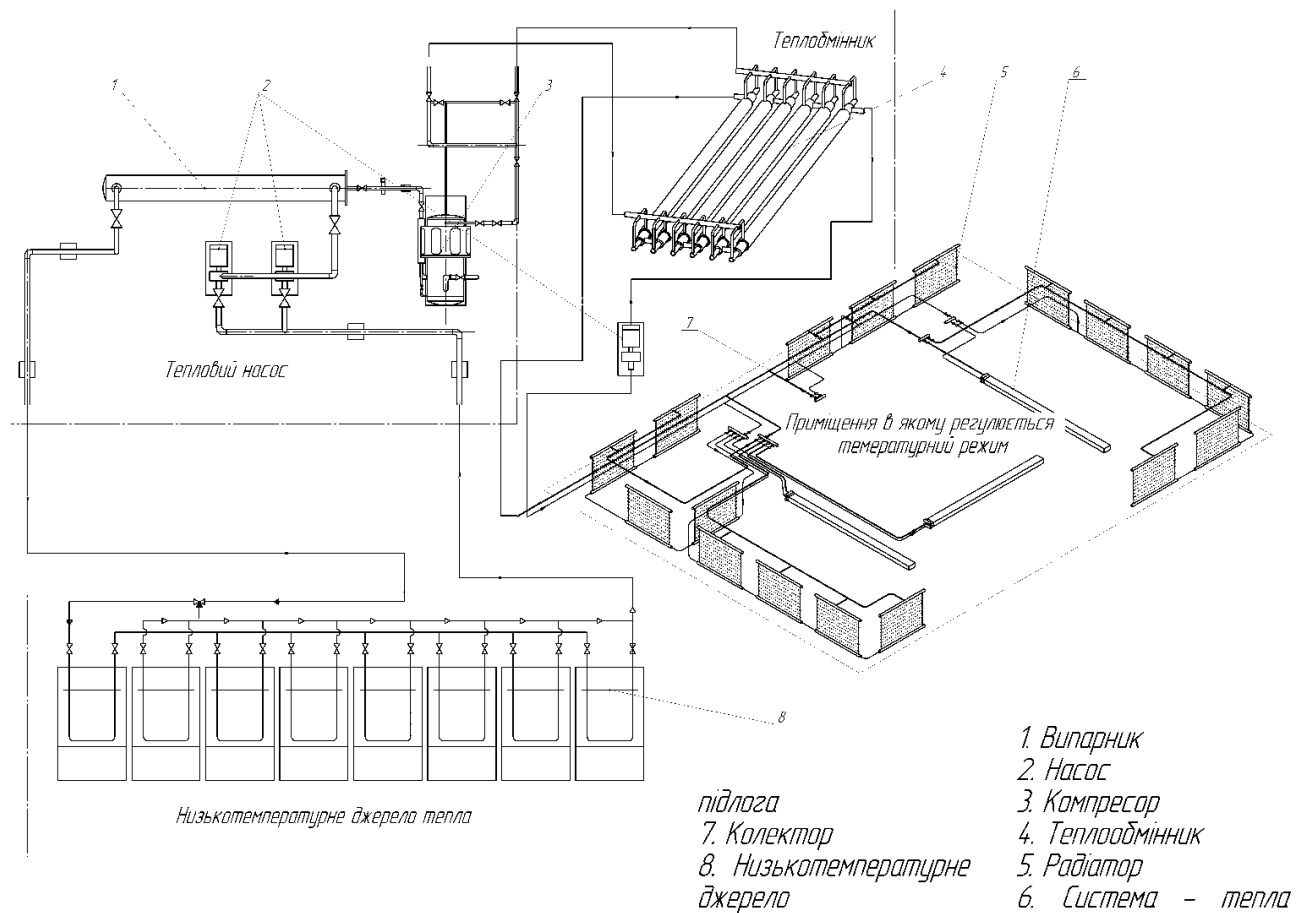


Рис. 2.5. Розроблена структурно-технологічна схема системи опалення у тваринницькому приміщенні за альтернативного режиму роботи [19]

Розроблена система складається із теплового насоса із системою керуючих елементів (2) компресора (3), випарника (1) із зовнішнім об'ємом та підвідними патрубками. Для безпечного передавання теплоти від конденсатора до системи опалення окремо пропонується теплообмінний апарат (4) оригінальної конструкції. В даному теплообміннику має відбуватися або нагрівання (для системи опалення) або охолодження (для системи охолодження) теплоносія (води). Нагріта вода (в режимі опалення) із теплообмінника буде надходити до радіаторів (5) та до системи «тепла підлога»

(6). Замкненість системи створює безпечні умови до експлуатації, додатковим у безпеці є використання холодоагента на базі фреону RC318. [6, 7]

Висновки до розділу

1. Аналіз джерел низькопотенційної енергії показує, що кожне з них має свої техніко-економічні особливості, які визначають межі їх ефективного використання. Повітря саме доступне джерело енергії, проте робота опалювальної системи напряду залежить від температури оточуючого повітря. основним недоліком є неможливість забезпечити належну температуру у приміщенні під час сильних морозів взимку. Використання ґрунтових колекторів дозволяє отримати джерело із постійною температурою впродовж року, але потребують значних земельних площ, що обмежує їх використання у тваринництві. Використання артезіанських вод видається найбільш оптимальним варіантом, оскільки вони мають постійну температуру впродовж року, а теплові насоси за системою «вода-вода» досить поширені.

2. В сучасних реаліях зміни клімату, система забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату у тваринницькому приміщенні повинна працювати як на обігрів так і на охолодження. Розроблена схема використання теплового насоса із альтернативним режимом роботи. Напрямок руху холодоагенту змінюється за допомогою спеціального триходового (реверсивного) клапана, керування яким відбувається за допомогою термостата. При цьому внутрішній і зовнішній теплообмінники періодично змінюють свої ролі (конденсатор стає випарником і навпаки). Завдяки цьому система взимку опалює приміщення, а влітку працює як кондиціонер.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОБІГРІВУ ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

3.1. Встановлення температурних режимів роботи теплового насоса

Для розрахунку параметрів роботи теплового насоса в заданому режимі генерування теплової енергії необхідно встановити вихідні параметри. Так, розрахункова теплопродуктивність системи опалення має становити $Q_{n.p.}=1,0$ МВт (при розрахунковій температурі зовнішнього повітря $t_{з.н.p.}$); температуру джерела низькопотенційного тепла (артезіанська вода) приймаємо на рівні $t=5^{\circ}\text{C}$; параметри теплоносія в тепломережі (при розрахунковій температурі зовнішнього повітря) наступні – температура у подавальному («прямому») трубопроводі $t_{np.p.}=95^{\circ}\text{C}$, температура у зворотному трубопроводі буде становити $t_{zm.p.}=70^{\circ}\text{C}$; розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення приймаємо на рівні $t_{з.н.p.}=-15^{\circ}\text{C}$ при розрахунковій температурі у приміщення $t_{вн.p.}=10^{\circ}\text{C}$.

В якості робочого тіла (холодоагент) теплового насоса використовується октафторциклобутан R318.

Теплотехнічні характеристики теплонасосного обладнання наступні: середній коефіцієнт теплопередачі конденсатора становить $K_k=600$ Вт/м²К; середній коефіцієнт теплопередачі випарника: $K_v=500$ Вт/м²К; коефіцієнт ефективності (ексергетичний ККД) $K_e=1,44$.

Опалювальний сезон починається і закінчується за умови сталої середньодобової температури зовнішнього повітря $t_{з.н.}\leq 10^{\circ}\text{C}$ (або згідно з діючими нормами для кліматичних зон відмінних від прийнятої у розрахунках). Для проведення розрахунків використовуються статистичні дані для IV кліматичної зони, які визначають на основі значення температур зовнішнього повітря відповідну тривалість ($\tau=3000$ годин) опалювального періоду.

На основі вихідних кліматологічних даних будують графіки зміни теплопродуктивності та річної витрати теплоти системою опалення. Поточні витрати тепла на опалення при поточній температурі зовнішнього повітря визначаються за відомою залежністю [20, 21]:

$$Q_{on} = Q_{on.p} \cdot \frac{t_{вн} - t_{зн}}{t_{вн} - t_{з.н.р.}}, \quad (3.1)$$

де Q_{on} – витрата теплоти на обігрів приміщення при поточній температурі зовнішнього повітря;

$Q_{on.p}$ – розрахункова теплопродуктивність системи (максимальні витрати системи обігріву);

$t_{вн}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря в приміщенні;

$t_{зн}$ – поточна температура зовнішнього повітря;

$t_{з.н.р.}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення;

Δt – різниця температур теплоносія початкової та кінцевої.

Інтегральне споживання теплоти за опалювальний сезон визначається за допомогою побудови графіка тривалості теплового навантаження. Вісь абсцис вказує на кількість годин опалювального сезону, протягом яких спостерігається температура зовнішнього повітря, що не перевищує поточне значення. Вісь ординат вказує на годинну витрату теплоти, яка відповідає цій температурі. Розрахунок споживання визначається як площа, обмежена побудованою кривою та осями координат, у відповідному масштабі дорівнює сумарній витраті теплоти системою опалення за весь опалювальний період.

При опаленні приміщень за допомогою водяних систем регулювання відпуску теплоти здійснюється за якісним методом – тобто шляхом зміни температури води опалювального контуру (теплоносія) при постійній витратній характеристиці в системі.

Розрахунок системи якісного регулювання полягає у визначенні поточних температур води у подавальному («прямому») та зворотному трубопроводах

опалювальної мережі залежно від зміни температури зовнішнього повітря. Це дозволяє оперативно коригувати теплову потужність системи та стабільно підтримувати задану внутрішню температуру повітря в приміщеннях.

Графік тепломережі при заданих значеннях температур зовні та всередині приміщення створюється при виконання розрахунків за наступними залежностями [20, 22]:

$$\Delta t_{\text{вн}} = t_{\text{вн}} + (t_{\text{с.р.}} - t_{\text{вн}}) \cdot \left(\frac{Q_{\text{он}}}{Q_{\text{он.р}}} \right)^{0,8} + \frac{\Delta t \cdot Q_{\text{он}}}{2 \cdot Q_{\text{он.р}}}, \quad (3.2)$$

$$\Delta t_{\text{зв}} = t_{\text{зв}} + (t_{\text{с.р.}} - t_{\text{зв}}) \left(\frac{Q_{\text{он}}}{Q_{\text{он.р}}} \right)^{0,8} - \frac{\Delta t \cdot Q_{\text{он}}}{2 Q_{\text{он.р}}}, \quad (3.3)$$

де $t_{\text{с.р.}} = \frac{t_{\text{нв.р.}} + t_{\text{зв.р.}}}{2}$ – розраховане середнє значення температури рідини опалення в системі.

Кількість рідини опалення, що рухається системою визначається як, кг/с [20, 22]:

$$G_{\text{в.о.}} = \frac{Q_{\text{он.р.}}}{\Delta t \cdot c_{\text{в.о.}}} = \frac{1000}{4,187 \cdot (95 - 70)} = 9,55. \quad (3.4)$$

Продуктивність теплового насоса визначається за виразом [20, 22]:

$$Q_{\text{н}} = G_{\text{в.о.}} \cdot c_{\text{в.о.}} \cdot (t_{\text{в.к.}} - t_{\text{в.з.}}), \quad (3.5)$$

де $t_{\text{в.к.}}$ – температура рідини, що виходить від конденсатора теплового насоса;

$t_{\text{в.з.}}$ – температура рідини, що заходить до конденсатора теплового насоса.

Температура рідини системи опалення що виходить від конденсатора визначається як [20]:

$$t_{\text{в.к.}} = t_{\text{к}} - \frac{t_{\text{к}} - t_{\text{з.к.}}}{e^m}, \quad (3.6)$$

де m – швидкість теплопередачі енергії у конденсаторі за умови максимальної продуктивності теплового насоса, Вт/К;

t_k – температура процесу конденсації, визначається як [20, 22]:

$$t_k = \frac{e^m \cdot t_{n.6} - t_{3.6}}{e^m - 1}, \quad (3.7)$$

За умови необхідності використання додаткової системи генерації тепла, її потужність можна встановити наступним чином [20, 22]:

$$Q_k = G_{6.0} \cdot c_{6.0} \cdot (t_{n.6} - t_{3.6}) \quad (3.8)$$

Максимальну холодопродуктивність визначають за умови температури джерела низького потенціалу (5°C) зовнішньої температури повітря та температури конденсації. З цією метою використовується залежність [20, 23]:

$$Q_x = \frac{Q_{on} \cdot q_0}{q}, \quad (3.9)$$

де q_0 і q – продуктивність питома за теплом та холодом при відповідних умовах для заданого типу теплового насоса.

Температура води яка надходить від джерела після проходження через випарник визначається як [22]:

$$\theta_6 = \frac{Q_x}{K_{66} \cdot F_{66}}, \quad (3.10)$$

де K_{66} – теплової передачі коефіцієнта всередині випарника теплового насоса;

F_{66} – площа поверхні передавання теплоти.

або, з врахуванням температурних градієнтів:

$$\theta_6 = \frac{t_g - t_{n6}}{\ln \frac{t_g - t_x}{t_{66} - t_x}} \quad (3.11)$$

Отримані під час розрахунків дані розмістимо у таблиці 3.1., для кращого інформаційного усвідомлення.

Таблиця 3.1.

Отримані під час розрахунку теплового насоса дані

Показник	Значення зовнішньої температури, °C						
	-15	-10	-5	-1,25	0	5	10
Q_{on}, MBm	1	0,848	0,697	0,583	0,545	0,394	0,242
Q_n, MBm	0	0,204	0,439	0,583	0,545	0,394	0,242
$t_{n.6}, ^\circ C$	95	85,2	75	67,2	64,5	53,5	41,8
$t_{3.6}, ^\circ C$	70	63,9	57	52,6	50,9	43,7	35,7
$t_{6.к}, ^\circ C$	-	69	67,9	67,2	64,5	53,5	41,8
$G_{6.0}, кг / с$	9,55						
$t_k, ^\circ C$	-	70	70	70	67,2	55,4	43
$\theta_k, ^\circ C$	-	0,157	0,331	0,439	0,418	0,332	0,213
$K_{66} \cdot F_{66}, Вт/К$	72875						
Q_k, MBm	1	0,644	0,261	-	-	-	-
$F_{66}, м^2$	121,5						
$F_{66}, м^2$	175						
Q_x, MBm	-	0,157	0,331	0,439	0,418	0,332	0,213
$K_{66} \cdot F_{66}, Вт/К$	87750						
$\theta_6, ^\circ C$	-	1,79	3,77	5	4,76	3,79	2,43
$t_{66}, ^\circ C$	-	12,1	8,9	7	7,3	8,9	11,2
$G_{6.0}, кг / с$	13,03						
$t_x, ^\circ C$	-	11,4	7,45	5	5,4	7,37	10,2
λ	-	0,74	0,715	0,695	0,71	0,77	0,82
η_i	-	0,74	0,74	0,735	0,737	0,735	0,71
η_c	-	0,703	0,703	0,698	0,7	0,698	0,675
$G_{66}, кг / с$	-	1,6	3,35	4,41	4,07	2,89	1,67
$G_k, м^3 / с$	-	0,094	0,232	0,34	0,303	0,186	0,092
$N, кВт$	-	46	106	144	127	62	29
$P, кВт$	-	65,4	150,8	206,3	181,4	88,8	43
ε	-	3,1	2,9	2,8	3	4,4	5,6

Продуктивність потоку води через випарник для отримання заданих температурних режимів визначається як [22]:

$$G_{\text{вв}} = \frac{Q_x}{c_{\text{в.о}} \cdot (t_g - t_{\text{вв}})} \quad (3.12)$$

Загальні річні витрати енергії при використанні теплового насоса у системі обігрів-охолодження визначають як, кВт×год [20, 22]:

$$W_n = \sum P_{\text{с.і.}} \cdot \tau_i, \quad (3.13)$$

де $P_{\text{с.і.}}$ – потужність теплового насоса в різні періоди року роботи;

τ_i – тривалість періодів роботи теплового насоса на відповідній потужності.

$$W_n = 65,4 / 2 \cdot 20 + 350(65,4 + 150,8) + 630(150,8 + 206,3) / 2 + \\ + 210(206,3 + 181,4) / 2 + 1400(181,4 + 88,8) / 2 + 390(88,8 + 43) / 2 = 406500.$$

Витрати енергії на опалювальний період року для приводу насосів рідин становлять, кВт×год:

$$W_{\text{н.о}} = \sum P_{\text{н.і.}} \cdot \tau_i, \quad (3.14)$$

$$W_{\text{н.о}} = (6,7 + 12,8 + 2,8) \cdot 3000 = 66900.$$

Відповідно до проведених розрахунків, загальна потреба у теплі для забезпечення ефективної роботи опалювальної системи становить 1597770 кВт×год, або ж 5751972 МДж.

За умови використання у базовому варіанті опалювальної системи на базі котельні, при використанні теплового насоса загальну економію палива можна визначити за залежністю, кг.ум.п/рік [20, 22]:

$$\Delta\Pi = \frac{Q_{\text{ми}}}{c \cdot \eta_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{ми}}} - W_n \cdot b_{\text{к}} \quad (3.15)$$

$$\Delta\Pi = \frac{4803210}{29,3 \cdot 0,8 \cdot 0,95} - (406500 + 66900) \cdot 0,31 = 68946,1.$$

Таким чином, при використанні теплового насоса у системі опалення приміщення для свиней, можна отримати економію у 68,95 т.ум.п/рік, порівняно із використанням класичного обігріву із котельнею. Якщо взяти до уваги що у 1000 м³ природного газу вміщується 1,14 т.ум.п, то за рік економія в грошовому виразі буде становити:

$$E = \frac{\Delta\Pi}{1,14} \cdot C_g, \quad (3.16)$$

де C_g – ціна 1000 м³ газу для промисловості, 25500 грн.

$$E = \frac{68,95}{1,14} \cdot 25500 = 1542302,63.$$

Отже, система опалення на базі теплового насоса забезпечить економію на викопних енергоносіях в сумі 1542302,63 грн на рік.

Термін окупності додаткових капіталовкладень при використанні системи опалення на базі теплового насоса становитиме:

$$T = \frac{B}{E}, \quad (3.17)$$

де B – балансова вартість тепло насосної системи опалення у тваринницькому приміщенні, 3615428,571 грн.

$$T = \frac{3615428,571}{1542302,63} = 2,34 \text{ роки.}$$

Таким чином, додаткові капіталовкладення в облаштування системи опалення із використанням теплового насоса окупляться протягом 2,34 років.

3.2. Розрахунок конструкційних параметрів системи теплообміну

Для забезпечення передачі тепла розроблений теплообмінник (рис. 3.1).

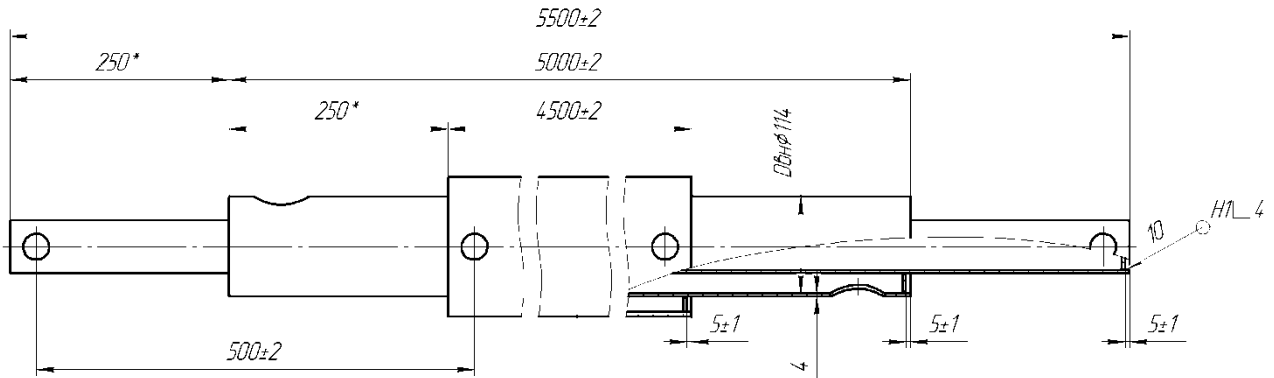


Рис. 3.1. Розроблена конструкція теплообмінника.

Теплообмінник складається із концентрично розташованих циліндричних труб, які з'єднані між собою за допомогою електродугового, або газового зварювання залежно від товщини стінок. В нашому випадку товщина стінок елементів теплообмінника дозволяє виконувати електродугове зварювання.

Для забезпечення конструкційного поєднання використовуємо шайби різного розміру, для прикладу на рис. 3.2 подано схему такого елемента.

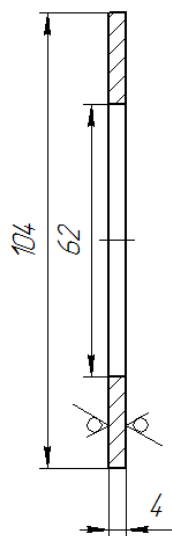


Рис. 3.2. Конструкційні параметри шайби для поєднання із центральною трубою теплообмінника.

Зварювальні вузли необхідно перевірити на міцність. Для цього визначаємо максимальне зусилля, яке буде діяти на зварювальний шов, Н [22]:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot P_{\max}, \quad (3.18)$$

де D – діаметр зовнішнього контуру шайби;

d – діаметр внутрішнього контуру шайби;

$P_{\max}$ – тиск по максимуму в теплообміннику, як правило становить не більше 2,5 атм.

$$F = \frac{3,14}{4} (0,104^2 - 0,062^2) 2,5 \cdot 10^6 = 1368,3.$$

Перевіряємо зварний шов при використанні умови міцності, МПа [22]:

$$\sigma = \frac{F}{d^2} \leq [\sigma], \quad (3.19)$$

де $[\sigma]$ – гранично-допустимі напруження, $[\sigma] = 20$ МПа.

$$\sigma = \frac{1368,2}{0,104^2} = 0,13$$

Умова міцності зварних швів виконується, оскільки напруження які виникають пд. Час функціонування системи опалення значно менші ніж граничнодопустимі для матеріалу з'єднання.

Висновки до розділу

1. Використання у виробничих умовах розробленої системи опалення на основі теплового насоса типу «вода-вода» дозволяє отримати річну економію коштів в сумі 1542302,63 грн порівняно із системою обігрів із використанням викопного палива.

ВИСНОВКИ

1. Забезпечення тваринницьких приміщень теплом вимагає значних витрат електричної енергії, приблизно до 70% річного споживання. Тому, питання зниження енерговитрат стоїть дуже гостро, особливо у контексті зниження собівартості продукції тваринництва для підвищення прибутковості галузі та зменшення техногенного тиску на оточуюче середовище.

2. Надійне забезпечення у тваринницькому приміщенні заданого температурного режиму полягає у використанні «водно-водяних» теплових насосів, ефективність та технологічна придатність яких вища порівняно із іншими типами. Ефект від використання теплового насоса полягає в отриманні 5 кВт теплової енергії при витраті 1 кВт×год електричної енергії, що значно вище порівняно із іншими системами обігріву.

3. Аналіз джерел низькопотенційної енергії показує, що кожне з них має свої техніко-економічні особливості, які визначають межі їх ефективного використання. Повітря саме доступне джерело енергії, проте робота опалювальної системи напряму залежить від температури оточуючого повітря. основним недоліком є неможливість забезпечити належну температуру у приміщенні під час сильних морозів взимку. Використання ґрунтових колекторів дозволяє отримати джерело із постійною температурою впродовж року, але потребують значних земельних площ, що обмежує їх використання у тваринництві. Використання артезіанських вод видається найбільш оптимальним варіантом, оскільки вони мають постійну температуру впродовж року, а теплові насоси за системою «вода-вода» досить поширені.

4. В сучасних реаліях зміни клімату, система забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату у тваринницькому приміщенні повинна працювати як на обігрів так і на охолодження. Розроблена схема використання теплового насоса із альтернативним режимом роботи. Напрямок руху холодоагенту змінюється за допомогою спеціального триходового (реверсивного) клапана, керування яким відбувається за допомогою термостата. При цьому внутрішній і

зовнішній теплообмінники періодично змінюють свої ролі (конденсатор стає випарником і навпаки). Завдяки цьому система взимку опалює приміщення, а влітку працює як кондиціонер.

5. Використання у виробничих умовах розробленої системи опалення на основі теплового насоса типу «вода-вода» дозволяє отримати річну економію коштів в сумі 1542302,63 грн порівняно із системою обігріву при використанні викопного палива. Додаткові капіталовкладення в облаштування системи опалення із використанням теплового насоса окупляться протягом 2,34 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Системи утримання тварин: навч. посіб. / М. О. Захаренко, В. М. Поляковський, Л. В. Шевченко та ін. К. : «Центр учбової літератури», 2016. 424 с.
2. Технологія виробництва продукції тваринництва : підручник / Бусенко О. Т. та ін. К.: Агроосвіта, 2013. 492 с.
3. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва : підручник. К. : Кондор, 2012. 713 с
4. Вознюк С. П. Зооветеринарні вимоги до умов утримання свиней різних вікових груп. *Тваринництво України*. 2015. 3(21). С 8-16.
5. Проектування технологічних процесів та технічних засобів у тваринництві: навч. посіб. / за ред. Сидоренка О. П. Харків: НТУСГ, 2010. 406 с.
6. Корчемний М. В., В. Г. Федорейко, В. М. Щербань. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підруч. і посіб., 2001. 984 с.
7. Відновлювана енергетика в аграрному виробництві : навч. посібник / Скидан О. В., Голуб Г. А., Кухарець С. М., Ярош Я. Д., Чуба В. В., Медведський О. В., Цивенкова Н. М., Соколовський О. Ф., Кухарець В. В.; за ред. О. В. Скидана і Г. А. Голуба. К.: НУБіП України, 2018. 319 с.
8. Технології та обладнання для використання поновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві / за ред. В. І. Кравчука, В. О. Дубровіна. Дослідницьке : УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2010. 184 с.
9. Кудря С. О. Потенціал використання відновлюваних джерел енергії. Досвід розвинутих країн з питань розвитку відновлюваної енергетики. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://www.ive.org.ua/>.
10. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії України / НАН України, Інститут відновлюваної енергетики, Держ. ком. України з енергозбереження. К., 2005. 45 с.
11. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження.

[Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://saee.gov.ua/uk/ae/termo-energy>.

12. Снежкін Ю. Ф. Енергоефективні теплонасосні технології : стан і перспективи впровадження в Україні. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://old.minregion.gov.ua/attachments/content>.

13. Тепловий насос – технологія, що постійно змінюється. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://сахара.ua/ru/informaciya/statti/teplovij-nasos-tehnologija-scho-postijno-rozvivajetsja>.

14. Принцип дії теплового насоса. [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page_id=118.

15. Heat pumps on the rise – time to move to system integration! [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://www.ehpa.org/about/news/article/heat-pumps-on-the-rise-time-to-move-to-system-integration>.

16. Івков Ю. С. Оцінка принципів функціонування систем мікроклімату із використанням відновлювальних джерел енергії. *Студентські читання–2025* : матеріали науково-практичної конференції. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 142–145.

17. Європейський ринок теплових насосів. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://сахара.ua/informaciya/statti/jevropejskij-rinok-teplovih-nasosiv-v-rotsi>.

18. European Heat Pumps Association. Market and statistics report. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://www.ehpa.org/market-data/>

19. Івков Ю. С. Розроблення бівалентно-паралельної системи забезпечення мікроклімату тваринницького приміщення. *Наукові читання – 2026* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. Ч. 2. С. 118–120.

20. Дубровська В. В., Шкляр В. І. Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи теплопостачання : навч. посіб. К.: НТУУ «КПІ», 2011. 116 с.

21. Енергоменеджмент та енергоефективність: навч. посіб. / О. М. Карпаш, В. С. Костишин, Федорів М. Й. та ін. Івано-Франківськ: Факел, 2008. 450 с.

22. Арсеньєв В. М., Мелейчук С. С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2018. 364 с.