

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
інженерії енергосистем
(назва кафедри)

Є.О.Антипов

_____ (підпис)

„_____” _____ 2025р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Система теплопостачання фермерського господарства із застосуванням
геліоколекторів»

Спеціальність 144 - «Теплоенергетика»

02.03 – КР. 2024 «С» 2024.11.12 004 ПЗ

Гарант освітньої програми

канд. техн. наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

О.В.Шеліманова

_____ (ПІБ)

Керівник

канд. техн. наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

А.В. Міщенко

_____ (ПІБ)

Виконав

_____ (Підпис)

В.Ю. Кіприк

_____ (ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інженерії енергосистем
(назва кафедри)

Є.О.Антипов

_____ (підпис)

„_____” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи
студенту

Кіприку Владиславу Юрійовичу

Спеціальність (напрямок підготовки): 144 "Теплоенергетика"

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Система теплопостачання фермерського господарства із застосуванням геліоколекторів
затверджена наказом ректора НУБіП України від "12" 11. 2024 р.
№2024«С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру "01" червня 2025 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

Нормативні документи в галузі теплоенергетики

Перелік питань, які потрібно вирішити:

1. Загальна характеристика об'єкта проектування
2. Основні особливості сонячних колекторів та систем сонячного ГВП
3. Розрахунок теплової потужності телятника на 150 голів.
4. Розрахунок та вибір обладнання геліоводонагрівної установки
5. Експлуатація геліоводонагрівної установи

Перелік додаткових матеріалів: презентація,

Дата видачі завдання: _____

Керівник

канд. техн. наук, доцент _____
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

А.В. Міщенко _____
(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____

_____ (Підпис)

В.Ю. Кіприк _____
(ПІБ студента)

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ...	5
РОЗДІЛ 2. Основні особливості сонячних колекторів та систем	10
сонячного ГВП.....	10
2.1. Типи колекторів сонячної енергії.....	10
2.2. Плоскі колектори сонячної енергії.....	11
2.2.1. Особливості конструкції.....	11
2.2.2. Основні теплотехнічні та оптичні характеристики.	12
2.3. Скляні трубчасті вакуумовані колектори сонячної енергії.	14
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ ТЕЛЯТНИКА	16
НА 150 ГОЛІВ.	16
3.1. Загальні дані	16
3.2.Тепловий баланс телятника для холодного періоду року.....	19
3.4.Теплові втрати будівлі телятника.....	22
3.4.1 Теплові втрати на підігрів вентиляційного повітря	22
3.4.2. Теплові втрати на випаровування вологи з відкритих та змочених поверхонь	26
3.4.3. Теплові втрати через огорожувальні конструкції будівлі.....	27
3.4.4.Теплові втрати будівлі на підігрів інфільтрованого повітря	31
3.6.Розрахунок теплової потужності технологічних споруд фермерського господарства	36
3.6.1.Розрахунок теплової потужності систем опалення та вентиляції (для інших споруд)	36
3.6.2. Розрахунок теплової потужності системи гарячого водопостачання...	40
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ГЕЛІОВОДОНАГРІВНОЇ УСТАНОВКИ.....	44
4.1. Розрахунок активної системи СГВ.....	44
4.2.Вибір обладнання геліоводонагрівної установки	50
РОЗДІЛ 5. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ГЕЛІОВОДОНАГРІВНОЇ УСТАНОВИ.....	53
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

В сучасних умовах проблеми збереження паливно-енергетичних ресурсів та охорони навколишнього середовища стають все більш актуальними, а підвищення енергоефективності систем опалення стають дуже важливим завданням. Особливу вагу набувають альтернативні джерела енергій - сонячна енергія є одним з перспективних напрямків розвитку цього процесу. Використання геліоколекторів в опалювальних системах є одним із способів втілення цього потенціалу.

Сонячні колектори дозволяють використовувати енергію сонця для нагрівання рідини-теплоносія. Це допомагають значно знизити витрати на традиційні джерела енергій. Крім того, такі системи є екологічно чистими завдяки відсутності процесу згорання. Це особливо важливо для фермерських господарств з урахуванням сталого розвитку та максимального збереження довкілля.

Незважаючи на загальне поширення сонячних колекторів у багатьох країнах ах світу, в Україні і впровадження таких технологій все ще залишаються обмеженими і знаходяться переважно на етапі окремих досліджень. Це пов'язується як з економічними факторами, так і з відсутністю повноцінно ї методичної бази для проектування ефективних геліосистем .

З цим виникають потреби у науково обґрунтованих підходах до розробки систем опалення та гарячого водопостачання на основі раціонального використання сонячною енергію. Особливу актуальність мають дослідження економічно доцільного використання сонячних колекторів у фермерських господарствах разом з іншими джерелами тепла (а не лише в поодиноких експериментальних чи маркетинго-рекламних енергетичних системах).

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

Об'єктом проектування моєї дипломної роботи є розробка та аналіз системи теплопостачання фермерського господарства, яке розташоване на околиці с. Гребінки Кагарлицького району Київської області із застосуванням геліоколекторів. Для проведення детальних розрахунків та обґрунтування запропонованих рішень як основний об'єкт розглядається телятник на 150 голів, що є частиною цього фермерського господарства. Метою є підвищення енергоефективності та використання екологічно чистих джерел енергії для потреб господарства.

До складу господарства входить комплекс тваринницьких, технологічних та допоміжних будівель, призначених для забезпечення повного циклу виробництва та життєдіяльності ферми.

Зокрема, на території ферми розташовані:

- Два корівники на 200 голів кожен, з'єднані галереями з доїльно - молочним блоком “Ялинка 2 x 8”.
- Родильне відділення з профілакторієм на 80 голів.
- Телятник на 150 голів, який є основним об'єктом для детального проектування системи теплопостачання з використанням геліоколекторів в рамках даної роботи.
- Типове коренеплодосховище.
- Кормовий цех.
- Ремонтна майстерня.
- Гараж.
- Адміністративне приміщення.

Технологічний процес утримання та відгодовування тварин на фермі потребує значного споживання теплової енергії та води. Більшість технологічних

процесів, таких як опалення та вентиляція приміщень, прибирання гною, приготування та роздавання кормів, освітлення, водопостачання, електрифіковані.

На даний момент теплопостачання будівель фермерського господарства забезпечується від власної автономної котельні. Котельня працює на природному газі та оснащена двома водогрійними котлами типу «НИИСТУ-0,5» загальною тепловою потужністю 1 МВт. Розрахунковий температурний графік теплової мережі котельні становить 95/70 °С.

За надійністю електропостачання будівлі фермерського господарства відносяться до II категорії електроприймачів. Це означає, що перерва в їх електропостачанні допускається на час, необхідний для вмикання резервного живлення черговим персоналом чи виїзною оперативною бригадою, але не більше 3,5 годин. Допускається живлення по одній лінії електропередач, включаючи кабельну вставку, за умови, що аварійний ремонт може бути виконаний не більше ніж за одну добу. Потреби господарства у холодній воді для питно-господарських та протипожежних цілей забезпечуються за рахунок місцевої системи водопостачання. Ця система являє собою комплекс взаємопов'язаних гідротехнічних та інженерних споруд, призначених для забору, очищення, зберігання та подачі води до місць споживання.

Існуюча система теплопостачання фермерського господарства, що базується на спалюванні природного газу, пов'язана зі значними експлуатаційними витратами та залежністю від традиційних енергоносіїв.

Впровадження геліоколекторів для потреб теплопостачання, зокрема для гарячого водопостачання та підтримки системи опалення телятника, є перспективним напрямком підвищення енергоефективності господарства. Це дозволить значно знизити споживання природного газу, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити екологічність виробництва. У наступних розділах даної дипломної роботи буде проведено детальний аналіз сонячних систем, розрахунок теплових навантажень телятника та інших споруд, вибір

обладнання геліоводонагрівної установки та оцінка техніко-економічної доцільності її застосування.

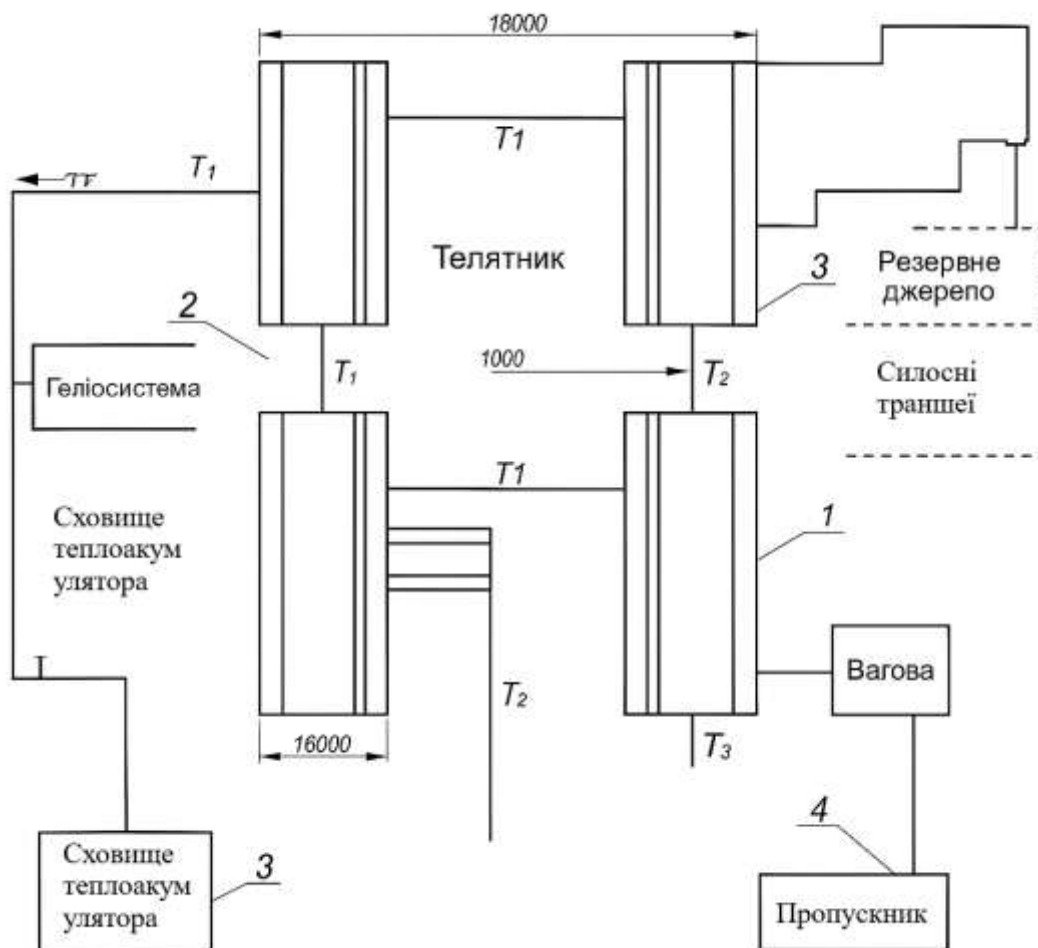


Рис. 1.1. План трубопроводів теплової мережі котельні

Після загального переліку будівель (Таблиця 1.1), важливо розглянути деякі технічні та технологічні особливості функціонування фермерського господарства, які безпосередньо впливають на його енергетичні потреби. Внутрішнє планування корівників передбачає розміщення трьох рядів боксів для відпочинку тварин у прольотах шириною 12 метрів, тоді як у 6-метрових прольотах організовано кормовий стіл. Процес роздачі кормів механізовано за допомогою роздавальника - змішувача.

Таблиця 1.1. Експлікація будівель фермерського господарства

№ п/п	Найменування будівель	Об'єм, м ³	Кількість
1	Адміністративне приміщення	400	1
2	Телятник на 150 голів	2520	1
3	Корівник на 200 голів	4914	2
4	Ремонтна майстерня	450	1
5	Кормовий цех	2646	1
6	Доїльно-молочний блок "Ялинка 2 x 8	3150	1
7	Гараж	785	1
8	Родильне відділення з профілакторієм (80 голів)	4910	1
9	Котельня		1
10	Вигульні ділянки	-	4

Система видалення гною включає скреперні установки та комплект шнекових конвеєрів (КНШ-300 і ЗНШ-350), які забезпечують збір, накопичення та подальше вивантаження гною. Особливу увагу в технологічному процесі приділено системі напування тварин. Для корів встановлено групові перекидні напувалки, розташовані у скотопрогонах між

зонами годування та відпочинку. Важливим технічним рішенням, спрямованим на підвищення продуктивності тварин, є організація циркуляції підігрітої води в системі автонапування. Цей аспект безпосередньо вказує на постійну потребу господарства в гарячій воді, для забезпечення якої може бути ефективно використана геліоенергетична установка.

Для доїння корів на фермі використовується доїльна установка типу «Ялинка 2x8», що дозволяє здійснити разове доїння всього поголів'я приблизно за 4,5 години. Утримання різних вікових груп тварин, зокрема молодняку, відбувається у спеціалізованих приміщеннях. Наприклад, телята віком від 2 до 4 місяців розміщуються у тій же будівлі, що використовується для пологового відділення та утримання сухостійних корів і нетелів. Телята профілакторного та молочного періодів утримуються у прибудованому доїльно-молочному блоці. Такі умови висувають підвищені вимоги до підтримання оптимального мікроклімату та санітарно-гігієнічних норм, що, в свою чергу, обумовлює значне споживання теплової енергії для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.

Таким чином, технічне оснащення та технологічні процеси на фермі характеризуються значним рівнем механізації та певними енергоємними операціями. Необхідність забезпечення підігрітою водою системи напування, а також підтримання належних умов утримання для різних груп тварин, особливо молодняку, обґрунтовує доцільність пошуку та впровадження енергоефективних рішень, одним з яких є використання геліоколекторів для потреб теплопостачання.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ТА СИСТЕМ СОНЯЧНОГО ГВП

Впровадження геліоенергетичних систем є одним з перспективних напрямків підвищення енергоефективності та зменшення залежності від традиційних джерел енергії. Сонячні колектори та системи гарячого водопостачання (ГВП) на їх основі відіграють ключову роль у використанні сонячної радіації для теплових потреб. Розуміння їх типів, конструктивних особливостей та принципів роботи є необхідною умовою для проектування ефективних систем теплопостачання.

2.1. Типи колекторів сонячної енергії

Сонячний колектор (геліоколектор) є основним елементом будь-якої геліоустановки, де відбувається перетворення сонячного випромінювання на теплову енергію. Кожен сонячний колектор має поверхневий або об'ємний поглинач тепла. Залежно від цього, колектори поділяються на проточні (тепло відводиться з колектора) та колектори з тепловим акумулятором (тепло накопичується в ньому).

За видом теплоносія колектори класифікують на рідинні (сонячні водонагрівачі) та повітряні. Залежно від температури, якої може досягти теплоносій, розрізняють низькотемпературні (до 100°C), середньотемпературні (до 200°C) та високотемпературні (до 350°C) колектори.

Також колектори поділяються на плоскі, де не відбувається зміна щільності потоку сонячної енергії, та фокусуючі, які концентрують сонячну енергію за допомогою оптичних систем (наприклад, параболо-циліндричні концентратори, фокліни). Для систем опалення та гарячого водопостачання найбільш поширеними є плоскі колектори, що дозволяють нагрівати теплоносій до $60\text{-}80^{\circ}\text{C}$. При потребі у вищих температурах (понад 80°C)

доцільно застосовувати фокуруючі або скляні трубчасті вакуумовані колектори.

2.2. Плоскі колектори сонячної енергії

2.2.1. Особливості конструкції. Більшість плоских сонячних колекторів мають схожу конструкцію і складаються з чотирьох основних елементів. До них належать:

- Поглинаюча панель (абсорбер) з каналами для циркуляції теплоносія. На поверхню панелі наноситься спеціальне покриття, що забезпечує високий коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання (зазвичай не менше 90%).
- Прозора ізоляція, найчастіше виконана з одного або двох шарів спеціального скла з низьким вмістом заліза для кращого пропускання сонячних променів.
- Теплова ізоляція, що розміщується на дні та бічних стінках колектора для мінімізації теплових втрат у навколишнє середовище.
- Корпус, який об'єднує всі вищезазначені елементи та захищає їх від зовнішніх впливів.

Таблиця 2.1. Характеристика основних типів сонячних колекторів

Тип сонячних колекторів	Робоча температура, °С	ККД колектора, %	Відносна потрібна площа, %	Слідкування за Сонцем
1	2	3	4	5
Плоский КСЕ (Колектор Сонячної Енергії)	30-100	30-50	100	Не потребує
Параболо-циліндричний концентратор	До 500	50-70	30-50	Обертання навколо однієї осі

Продовження таблиці 2.1				
1	2	3	4	5
Вакуумований скляний трубчастий колектор	90-300	40-60	50-75	Не потребує
Центральний приймач із полем геліостатів	До 1000	60-75	20-40	Обертання навколо двох осей

Принцип роботи плоского колектора полягає у перетворенні сонячного випромінювання, що проходить через прозоре покриття, на теплову енергію на поверхні поглинаючої панелі. Ця теплота потім передається теплоносію (вода, антифриз), який циркулює по каналах абсорбера. Прозоре покриття виконує також функцію "парникового ефекту", пропускаючи короткохвильове сонячне випромінювання та затримуючи довгохвильове теплове випромінювання від нагрітої поглинаючої панелі, що підвищує ефективність колектора.

2.2.2. Основні теплотехнічні та оптичні характеристики. Ефективність плоского сонячного колектора визначається його здатністю поглинати сонячне випромінювання та мінімізувати теплові втрати. Ключовими характеристиками є:

- Оптичний коефіцієнт корисної дії (ККД): Показує, яка частка сонячного випромінювання, що падає на колектор, поглинається абсорбером і перетворюється на тепло. Він залежить від пропускну здатності прозорого покриття та поглинальної здатності абсорбера.
- Коефіцієнт теплових втрат: Характеризує кількість тепла, що втрачається колектором у навколишнє середовище через конвекцію,

тепловіддачу та випромінювання. Цей коефіцієнт залежить від якості теплоізоляції, конструкції корпусу, кількості шарів прозорого покриття та різниці температур між абсорбером і навколишнім середовищем.

- Теплопродуктивність колектора: Визначається як різниця між поглинутою сонячною енергією та тепловими втратами.

Рівняння теплового балансу для стаціонарних умов визначає теплопродуктивність колектора q (на одиницю площі) як:

$$q = \eta_0 \cdot E - k \cdot (T_m - T_0) \quad (2.1)$$

де:

- E – поверхнева щільність потоку сумарної сонячної радіації в площині колектора, Вт/м²;
- η_0 – оптичний ККД колектора (коефіцієнт ефективності, що враховує добуток пропускної здатності прозорої ізоляції та поглинальної здатності панелі);
- k – загальний коефіцієнт теплопередачі (тепловтрат) від колектора в навколишнє середовище, Вт/(м²·К);
- T_m – середня температура теплоносія в колекторі, °С;
- T_0 – температура зовнішнього повітря, °С.

Таблиця 2.2. Теплотехнічна якість теплоприймача, %

Матеріал пластини	Товщина, мм	Відстань між каналами, мм
Мідь	0,25	94,5
	0,35	95
	0,45	95,5
	0,55	96
	0,7	96
Алюміній	0,5	94,5
	0,75	95,5
	1	95,5
Сталь	0,5	89
	0,75	92
	1	93
	1,5	95

2.3. Скляні трубчасті вакуумовані колектори сонячної енергії.

Для досягнення вищих температур та підвищення ефективності, особливо в умовах низьких температур навколишнього середовища, застосовуються скляні трубчасті вакуумовані колектори (СТВК). Основною конструктивною особливістю таких колекторів є створення вакууму між поглинаючою поверхнею та зовнішньою скляною трубкою. Вакуум значно зменшує конвективні та кондуктивні теплові втрати.

СТВК зазвичай складаються з ряду паралельно з'єднаних скляних трубок. Кожна трубка може мати коаксіальну конструкцію (труба в трубі), де на зовнішню поверхню внутрішньої трубки нанесене селективне поглинаюче покриття, а простір між трубками вакуумований. Теплоносій протікає або

всередині внутрішньої трубки, або через спеціальні теплові трубки (heat pipes), що передають тепло до загального колектора. СТВК здатні нагрівати теплоносії до температур 90 - 300 °С і показують вищу ефективність порівняно з плоскими колекторами в холодну пору року.

2.4. Класифікація сонячних систем гарячого водопостачання

Сонячні системи гарячого водопостачання (ССГВ) можна класифікувати за рядом ознак:

- За призначенням: системи ГВП, опалення, комбіновані системи (опалення та ГВП).
- За часом роботи протягом року: сезонні (літні або зимові) та цілорічні.
- За характером руху теплоносія: з природною циркуляцією (термосифонні) або з примусовою циркуляцією (насосні).
- За кількістю контурів: одно -, дво - та багатоконтурні. Одноконтурні системи простіші, але вимагають використання корозійно - стійких колекторів і не можуть використовувати антифриз. Двоконтурні системи дозволяють використовувати антифриз у первинному контурі (колекторному), що захищає систему від замерзання та корозії, а тепло передається воді для ГВП через теплообмінник.
- За наявністю дублюючого джерела енергії: автономні (без дублера) або з дублюючим джерелом (наприклад, електричний ТЕН, газовий котел) для забезпечення гарячою водою при недостатній сонячній активності.

Вибір конкретного типу ССГВ залежить від кліматичних умов, потреб у гарячій воді, доступної площі для розміщення колекторів та економічних міркувань. Для умов України та цілорічного використання найбільш доцільними часто є двоконтурні системи з примусовою циркуляцією та дублюючим джерелом тепла.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ ТЕЛЯТНИКА НА 150 ГОЛІВ.

Для обґрунтованого проектування системи тепlopостачання телятника на 150 голів, що є частиною фермерського господарства, необхідно першочергово визначити його теплове навантаження. Цей розрахунок включає визначення кліматичних умов, параметрів мікроклімату приміщення, тепловиділень від тварин та обладнання, а також усіх видів тепловтрат. Дані розрахунки проводяться для найхолоднішого періоду року, щоб забезпечити належні умови утримання тварин.

3.1. Загальні дані

Для проведення розрахунку теплової потужності системи опалення та вентиляції телятника на 150 голів необхідно визначити вихідні кліматичні параметри регіону, параметри внутрішнього мікроклімату приміщення та характеристики тварин. Фермерське господарство розташоване в Київській області.

Розрахункові параметри зовнішнього повітря для Київської області, що використовуються для проектування систем опалення та вентиляції будівель, прийняті згідно з чинними нормативними документами України, а саме ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [1]. Ці параметри наведено у Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Розрахункові параметри зовнішнього повітря при проектуванні систем опалення та вентиляції будівель для Київської області [1]

Найменування параметру	Період року	
	Теплий	Холодний
Географічна широта, град. п. ш.	51	
Зона клімату	нормальна	
Барометричний тиск, ГПа	990	
Тривалість опалювального періоду, діб	187	
Середня температура, °С	-1,1	
Параметр А:		
– температура, °С	23,7	-10
– теплоємність (ентальпія), кДж/кг	53,6	-6,7
– швидкість вітру, м/с	1	5,3
Параметр Б:		
– температура, °С	28,7	-22
– теплоємність (ентальпія), кДж/кг	56,1	-20,7
– швидкість вітру, м/с	1	4,2

Таблиця 3.2. Розрахункові параметри внутрішнього повітря в телятнику на 150 голів (середня маса теляти 100 кг)

Група тварин	Спосіб утримання	Найменування параметру	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Телята (середня маса 100 кг, вік 6-12 місяців)	В боксах, групових клітинах	Температура внутрішнього повітря[2]	$t_{в}$	°С	10
		Відносна вологість внутрішнього повітря[2]	$\varphi_{в}$	%	60
		Рухливість повітря в зоні тварин[2]	$v_{в}$	м/с	0,2

Тепло-, волого- та газовиділення від тварин приймаю згідно з нормами технологічного проектування[2], або за довідниковими даними [3].

Таблиця 3.3. Виділення теплоти, вологи та вуглекислого газу деякими групами корів (Вихідні базові значення та температурні коефіцієнти для $t_b = +10\text{ }^\circ\text{C}$ прийняті згідно з довідковими даними [2, 3])

Група тварин	Маса, кг	Тепловий потік тепловиділень, Вт		Вологовиділення, г/год
		Повні	Вільні	
Корови при рівні лактації:				
5 л/добу	400	614	442	253
	500	709	511	292
	600	797	574	326
10 л/добу	400	643	463	265
	500	736	530	303
	600	822	592	338
15 л/добу	400	716	515	296
	500	816	587	336
	600	905	651	373

Для розрахунку теплового балансу телятника на 150 голів (середня маса теляти 100 кг) при температурі внутрішнього повітря $t_b = +10\text{ }^\circ\text{C}$, приймаються наступні показники виділень від однієї тварини

- Вільні (явні) тепловиділення ($q_{ТВ}$): 166 Вт/гол (прийнято $k_t \approx 1,0$).
- Вологовиділення (W): Базове значення $W_{баз} = 94,7\text{ г}/(\text{год} \cdot \text{гол})$; температурний коефіцієнт для $t_b = +10\text{ }^\circ\text{C}$ $k_W = 0,65$. Розрахункове значення: $W = k_W \cdot W_{баз} = 0,65 \cdot 94,7 = 61,555 \approx 61,56\text{ г}/(\text{год} \cdot \text{гол})$.

- Виділення вуглекислого газу (V_{CO_2}): Базове значення $V_{CO_2, баз} = 38$ л/(год · гол); температурний коефіцієнт для $t_B = +10$ °С $k_{CO_2} = 0,77$.
Розрахункове значення: $V_{CO_2} = k_{CO_2} \cdot V_{CO_2, баз} = 0,77 \cdot 38 = 29,26$ л/(год · гол).

3.2. Тепловий баланс телятника для холодного періоду року

Для розрахунку теплової потужності систем опалення та вентиляції телятника необхідно визначити вихідні дані, що включають кліматичні параметри регіону, параметри внутрішнього мікроклімату приміщення та характеристики тварин.

- Місцезнаходження: Київська область.
- Тип тваринницької ферми: Телятник на 150 голів.
- Маса однієї тварини (теляти): 100 кг.
- Тип системи опалення: повітряна, сумісна з примусовою припливною вентиляцією в холодний період року.
- Технічні параметри будівлі телятника:
 - Робочий об'єм ферми: 2806 м³.
 - Площа поверхні: 935 м².
 - Висота стелі: 3,0 м.
- Розрахункові параметри зовнішнього повітря (для Київської області прийняті згідно з ДСТУ - Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія"):
 - Для проектування системи опалення розрахункова температура зовнішнього повітря (температура найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0,92) приймається $t_0 = -22$ °С.
 - Відносна вологість (для $t_0 = -22$ °С): $\varphi_0 = 70\%$
- Розрахункові параметри внутрішнього повітря в телятнику (згідно з нормами технологічного проектування):

- Температура внутрішнього повітря: $t_b = +10^\circ\text{C}$
- Відносна вологість повітря $\varphi_b = 60\%$

Для визначення необхідної потужності системи опалення ($Q_{\text{сист}}$) складається рівняння теплового балансу приміщення. Це рівняння відображає співвідношення між загальними тепловитратами будівлі та внутрішніми теплонадходженнями для найхолодніших умов експлуатації. Розрахункова потужність системи опалення визначається як різниця між сумарними тепловтратами та сумарними теплонадходженнями:

$$Q_{\text{сист}} = (Q_{\text{т.втр}} + Q_b + Q_{\text{вип}} + Q_{\text{інф}}) - (Q_{\text{тв}} + Q_{\text{осв}}) \quad (3.1)$$

де:

- $Q_{\text{т.втр}}$ - сумарні теплові втрати через огорожувальні конструкції будівлі (стіни, вікна, двері, покриття, підлога), кВт;
- Q_b - кількість теплоти, що витрачається на нагрівання припливного вентиляційного повітря від температури зовнішнього повітря до температури внутрішнього повітря, кВт;
- $Q_{\text{вип}}$ - витрати теплоти на випаровування вологи з підлоги, годівниць, напувалок та інших змочених поверхонь у приміщенні, кВт;
- $Q_{\text{інф}}$ - теплові втрати, зумовлені інфільтрацією холодного зовнішнього повітря через нещільності в огорожувальних конструкціях, кВт;
- $Q_{\text{тв}}$ - сумарні вільні (явні) тепловиділення від тварин, що знаходяться у приміщенні, кВт;
- $Q_{\text{осв}}$ - теплонадходження від працюючих систем електричного освітлення, кВт.

3.3. Теплові надходження до будівлі телятника

Внутрішні теплонадходження в телятнику складаються переважно з теплоти, що виділяється тваринами, та теплоти від систем освітлення.

Теплонадходження від тварин ($Q_{\text{ТВ}}$):

Явні тепловиділення від тварин розраховуються за формулою, що враховує кількість тварин, їхні базові тепловиділення та температурний коефіцієнт, що залежить від температури внутрішнього повітря:

$$Q_{\text{ТВ}} = K_t \cdot q_{\text{ТВ.баз}} \cdot n \cdot 10^{-3}, \text{кВт} \quad (3.2)$$

де:

K_t - температурний коефіцієнт вільних тепловиділень; $q_{\text{ТВ.баз}}$ - тепловий потік вільних тепловиділень однією твариною; згідно даних таблиці 3.3

приймаємо: $K_t = 1,0$; $q_{\text{ТВ.баз}} = 166 \text{ Вт/гол}$ та $n = 150 \text{ гол}$.

$$Q_{\text{ТВ}} = 1,0 \cdot 166 \text{ Вт/гол} \cdot 150 \text{ гол} \cdot 10^{-3} = 24,9 \text{ кВт}$$

Теплонадходження від електроосвітлення ($Q_{\text{осв}}$):

Ці теплові надходження приймаємо на основі розрахункової потужності встановленої системи електроосвітлення приміщення телятника:

$$Q_{\text{осв}} = 4,7 \text{ кВт}$$

Загальні теплонадходження:

$$Q_{\text{надх}} = Q_{\text{ТВ}} + Q_{\text{осв}} = 24,9 + 4,7 = 29,6 \text{ кВт}$$

3.4. Теплові втрати будівлі телятника

3.4.1 Теплові втрати на підігрів вентиляційного повітря. Теплова потужність системи опалення на підігрів вентиляційного повітря Q_B , Вт, визначається за формулою:

$$Q_B = \frac{c_p \cdot \rho_B \cdot L_B \cdot (t_B - t_o)}{3600} \quad (3.3)$$

де:

- c_p - питома ізобарна теплоємність повітря[6]; $c_p = 1,0$ кДж/(кг · К);
- ρ_B - густина внутрішнього повітря; $\rho_B = 1,2$ кг/м³ (при $t_B = +10$ °С);
- L_B - витрати вентиляційного повітря, м³/год;
- t_B - розрахункова температура внутрішнього (припливного, підігрітого) повітря; $t_B = +10$ °С;
- t_o - розрахункова температура зовнішнього повітря; $t_o = -22$ °С;
- 3600 – коефіцієнт для переведення кДж/год у кВт (кДж/с).

Визначимо кількість вентиляційного повітря (за нормативами [2]) L_B , яка потрібна для видалення шкідливих речовин, що надходять в приміщення телятника від тварин.

Вологовиділення тваринами $W_{ТВ}$, г/год, розраховується за формулою[4]:

$$W_{ТВ} = K_W \cdot W_{баз} \cdot n \quad (3.4)$$

де:

- K_W - температурний коефіцієнт вологовиділень; при $t_B = 10$ °С, $K_W = 0,65$ [2, 3];
- $W_{баз}$ - вологовиділення однією твариною; $W_{баз} = 94,7$ г/(год · гол) [2, 3] (з Таблиці 3.3);
- n - кількість тварин; $n = 150$ гол.

Для проектованої будівлі маємо:

$$W_{\text{ТВ}} = 0,65 \cdot 94,7 \cdot 150 = 9233,25 \text{ г/год.}$$

Вологовиділення з відкритих та змочених поверхонь ($W_{\text{м.п.}}$) приймаються на рівні 10% від сумарних вологовиділень тваринами:

$$W_{\text{м.п.}} = 0,1 \cdot W_{\text{ТВ}} = 0,1 \cdot 9233,25 \text{ г/год} = 923,325 \text{ г/год.}$$

Сумарні вологовиділення в приміщенні $W_{\text{сумарні}}$, Г/ГОД, визначаються за формулою:

$$W_{\text{сумарні}} = W_{\text{ТВ}} + W_{\text{м.п.}}$$

$$W_{\text{сумарні}} = 9233,25 + 923,325 = 10156,575 \text{ г/год.}$$

Витрати вентиляційного повітря $L_{\text{В}}^W$, визначаємо за умови видалення з приміщення водяної пари за формулою[4]:

$$L_{\text{В}}^W = \frac{W_{\text{сумарні}}}{\rho_{\text{В}} \cdot (d_{\text{В}} - d_{\text{О}})} \quad (3.5)$$

де:

- $W_{\text{сумарні}} = 10156,575 \text{ г/год}$ - сумарні вологовиділення всередині приміщення;
- $\rho_{\text{В}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ - густина внутрішнього повітря;
- $d_{\text{В}} = 5,0 \text{ г/кг с. п.}$ - вологовміст внутрішнього повітря (визначено за h - d діаграмою [5]) (при $t_{\text{В}} = +10 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_{\text{В}} = 60\%$);
- $d_{\text{О}} = 0,5 \text{ г/кг с. п.}$ - вологовміст зовнішнього повітря (при $t_{\text{О}} = -22^\circ\text{C}$, $\varphi_{\text{О}} = 70\%$).

Витрати вентиляційного повітря, які потрібні для видалення з приміщення водяної пари, дорівнюють:

$$L_B^W = \frac{10156,575}{1,2 \cdot (5,0 - 0,5)} = \frac{10156,575}{5,4} \approx 1880,85 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Кількість вуглекислого газу $V_{CO_2}^{TB}$, л/год, яке виділяється тваринами, визначається таким чином:

$$V_{CO_2}^{TB} = K_{CO_2} \cdot V_{CO_2.баз} \cdot n \quad (3.6)$$

де:

- K_{CO_2} - температурний коефіцієнт виділень вуглекислого газу; при $t_B = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $K_{CO_2} = 0,77$;
- $V_{CO_2.баз}$ - кількість вуглекислого газу, яке виділяється однією твариною; $V_{CO_2.баз} = 38 \text{ л}/(\text{год} \cdot \text{гол})$ (з Таблиці 3.3);
- $n = 150 \text{ гол.}$

Для вихідних даних маємо:

$$V_{CO_2}^{TB} = 0,77 \cdot 38 \cdot 150 = 4389 \text{ л/год.}$$

Витрати вентиляційного повітря $L_B^{(CO_2)}$, м³/год, визначаємо за умови видалення з приміщення вуглекислого газу за формулою:

$$L_B^{(CO_2)} = \frac{V_{CO_2}^{TB}}{C_{гр} - C_0} \quad (3.7)$$

де:

- $V_{CO_2}^{TB} = 4389 \text{ л/год}$ - сумарне виділення CO_2 від тварин;

- $C_{гр}$ - гранично допустима концентрація вуглекислого газу всередині приміщення; $C_{гр} = 2,0 \text{ л/м}^3$;
- C_o - концентрація вуглекислого газу в зовнішньому (припливному) повітрі; $C_o = 0,3 \text{ л/м}^3$.

$$L_B^{(CO_2)} = \frac{4389}{2,0 - 0,3} = \frac{4389}{1,7} \approx 2581,76 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Витрати вентиляційного повітря згідно норми мінімального повітрообміну розраховуються за формулою:

$$L_B^{(норм)} = l_{норм} \cdot m_{заг} \quad (3.8)$$

де:

- $l_{норм}$ - норми мінімального повітрообміну на 1 ц маси тварин; для холодного періоду в комплексах ВРХ; $l_{норм} = 20 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{ц})$;
- $m_{заг}$ - маса тварин; $m_{заг} = 150 \text{ ц}$.

Згідно норми мінімального повітрообміну необхідні витрати вентиляційного повітря дорівнюють:

$$L_B^{(норм)} = 20 \cdot 150 = 3000 \text{ м}^3/\text{год.}$$

З трьох розрахованих величин витрати вентиляційного повітря приймаємо найбільшу:

$$L_B = 3000 \text{ м}^3/\text{год.}$$

За формулою 3.3 визначимо теплову потужність системи на підігрів вентиляційного повітря:

$$Q_B = \frac{1,0 \cdot 1,2 \cdot 3000 \cdot (10 - (-22))}{3600} = 32,0 \text{ кВт.}$$

3.4.2. Теплові втрати на випаровування вологи з відкритих та змочених поверхонь. У тваринницьких приміщеннях, таких як телятники, частина теплоти витрачається на випаровування вологи з різних відкритих та змочених поверхонь. До таких поверхонь належать підлога, елементи обладнання (напувалки, годівниці), а також, частково, самі тварини, якщо їх шкірний покрив вологий. Ці теплові втрати необхідно враховувати при складанні теплового балансу приміщення.

Теплові втрати системи опалення на випаровування вологи з відкритих та змочених поверхонь в робочому приміщенні $Q_{\text{вип}}$, кВт, визначаються за формулою:

$$Q_{\text{вип}} = \frac{W_{\text{м.п.}} \cdot r_{\omega}}{3600 \cdot 1000} \quad (3.9)$$

де:

- $W_{\text{м.п.}}$ - вологовиділення всередині приміщення з відкритих та змочених поверхонь, г/год. Як розраховував раніше в підрозділі 3.4.1, при визначенні сумарних вологовиділень для розрахунку повітрообміну L_B^W , прийняв, що $W_{\text{м.п.}}$ становить 10% від сумарних вологовиділень тваринами ($W_{\text{тв}}$).
- r_{ω} - питома теплота пароутворення води, кДж/кг. Для розрахунків приймається $r_{\omega} \approx 2400$ кДж/кг.
- 3600 - коефіцієнт переведення годин (з $W_{\text{м.п.}}$) у секунди.
- 1000 - коефіцієнт переведення грамів (з $W_{\text{м.п.}}$) у кілограми (для узгодження з одиницями r_{ω}).

Підставляючи наші розраховані значення:

$$Q_{\text{вип}} = \frac{923,325 \text{ г/год} \cdot 2400 \text{ кДж/кг}}{3600 \text{ с/год} \cdot 1000 \text{ г/кг}}$$

$$Q_{\text{вип}} = \frac{2215980}{3600000} \approx 0,61555 \text{ кВт.}$$

Для подальших розрахунків приймаємо $Q_{\text{вип}} \approx 0,62 \text{ кВт.}$

3.4.3. Теплові втрати через огорожувальні конструкції будівлі. Теплові втрати через огорожувальні конструкції будівлі ($Q_{\text{т.втр}}$) є однією з основних складових загального теплового балансу приміщення і визначаються перенесенням теплоти від теплішого внутрішнього повітря до холоднішого зовнішнього середовища через стіни, вікна, двері, покриття (стелю) та підлогу. Величина цих тепловтрат залежить від різниці температур між внутрішнім та зовнішнім повітрям, площі кожної огорожувальної конструкції та її теплотехнічних характеристик, зокрема термічного опору теплопередачі.

Теплові втрати через огорожувальні конструкції розраховуємо за таких технічних характеристик будівлі телятника:

- площа технологічного приміщення будівлі (за зовнішніми замірами): 935 м²;
- об'єм приміщень для утримання тварин: 2806 м³;
- зовнішні несучі огорожувальні конструкції (стіни): кладка у 1,5 звичайної цеглини з внутрішньою та зовнішньою штукатуркою та утеплювачем з пінополістиролу товщиною 100 мм;
- перекриття: дерев'яне по залізобетонному каркасу (збірні ребристі залізобетонні плити) з пароізоляцією (один прошарок руберойду) та утеплювачем (мінеральна вата);

- покрівля: азбестоцементні листи на дерев'яному настилі та дерев'яних стропилах;
- підлога: керамзитобетон товщиною 0,15 м;
- віконні блоки: з подвійним склінням, площа блоку – 1,5 м², кількість блоків – 40 штук.

Теплові втрати Q_i , кВт, розраховуються для кожної огороджувальної конструкції приміщення за формулою:

$$Q_i = \frac{1}{R_{0,i}} \cdot A_i \cdot (t_{\text{в}} - t_o) \cdot n_i \cdot (1 + \Sigma\beta) \cdot 10^{-3} \quad (3.10)$$

- A_i - площа поверхні i - ї огороджувальної конструкції, м²;
- $R_{0,i}$ - термічний опір i - ї огороджувальної конструкції, (м²·К)/Вт;
- $t_{\text{в}}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря, $t_{\text{в}} = +10$ °С;
- t_o - розрахункова температура зовнішнього повітря, $t_o = -22$ °С;
- n_i - коефіцієнт, який залежить від положення зовнішньої поверхні i - ї огороджувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря (визначається за даними ДБН);
- $\Sigma\beta$ - сумарні додаткові тепловтрати (у частках від основних тепловтрат), які враховуються для зовнішніх вертикальних та похилих поверхонь (на орієнтацію по сторонах світу, на вітер тощо, згідно з ДБН).

Термічний опір огороження $R_{0,i}$, (м²·К)/Вт, визначається для кожної конструкції як сума термічних опорів окремих шарів та опорів тепловіддачі на поверхнях:

$$R_{0,i} = R_{\text{вн}} + \Sigma_{j=1}^m \frac{\delta_j}{\lambda_j} + R_{\text{зн}} \quad (3.11)$$

де:

- $R_{вн}$ - термічний опір тепловіддачі від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ (приймається згідно з ДБН В.2.6 - 31);
- $R_{зн}$ - термічний опір тепловіддачі від зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції до зовнішнього повітря, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ (приймається згідно з ДБН В.2.6 - 31);
- δ_j - товщина j - го шару конструкції, м;
- λ_j - розрахунковий коефіцієнт теплопровідності матеріалу j - го шару конструкції, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- m - кількість шарів у будівельній конструкції.

Втрати теплоти через неутеплену підлогу (або підлогу на ґрунті) визначаються за окремими зонами – смугами шириною 2 м, паралельними зовнішнім стінам, згідно з методикою, наведеною в ДБН В.2.6 - 31. Сумарні втрати через підлогу $Q_{п}$, кВт, розраховуються за формулою:

$$Q_{п} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_{п,k}} \cdot F_k \cdot (t_{в} - t_{о}) \cdot 10^{-3} \quad (3.12)$$

де:

- F_k - площа k - ої зони підлоги, м^2 ;
- $R_{п,k}$ - опір теплопередачі k - ої зони підлоги, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ (наприклад, для першої зони $R_1 = 2,1$; для другої – $R_1 = 4,3$; для третьої – $R_3 = 8,6$; для решти площі підлоги – $R_1 = 14,2$ $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$, згідно з ДБН);
- n - кількість зон.

Вихідні дані для розрахунку теплових втрат будівлі телятника (тип та складові огорожувальних поверхонь, їх геометричні розміри, орієнтація конструкцій по відношенню до сторін світу) та розрахунок термічного опору для типових конструкцій наведені в Таблицях 3.4 (для зовнішніх стін) та 3.5 (для горющого перекриття)

Розрахунки за вищевказаними формулами (3.11) - (3.12) та на основі деталізації всіх огорожувальних конструкцій (площі, склад шарів, їх теплотехнічні характеристики) дають такі результати тепловтрат по окремих елементах будівлі телятника:

- стіни – 9,4 кВт;
- вікна – 7,2 кВт;
- підлога – 16,7 кВт;
- стеля – 23,4 кВт.

Загальні теплові втрати огорожувальними конструкціями будівлі після утеплення зовнішніх стін складають величину:

$$Q_{\text{т.втр}} = 56,7 \text{ кВт}$$

Таблиця 3.4. Теплотехнічні характеристики зовнішніх стін

Символ	d_i , мм	Опис матеріалу	λ_i , Вт / (м · К)	ρ_i , кг / м ³	R_i , (м ² · К) / Вт
Стіна зовнішня					
Тип огороження, стіна зовнішня, вологісний режим нормальний					
Штукатурка - Ц	0,015	Штукатурка цементно - вапняна	0,820	1850	0,018
Цегла дирчаста	0,120	Кладка із цегли дирчастої	0,620	1400	0,194
Пінополістирол	0,100	Пінополістирол	0,040	30	2,500
Цегла дирчаста	0,240	Кладка із цегли дирчастої	0,620	1400	0,387
Штукатурка - Ц	0,015	Штукатурка цементно - вапняна	0,820	1850	0,018
Опір теплообміну внутр. $R_{\text{вн}}$:					0,130
Опір теплообміну зовн. $R_{\text{зн}}$:					0,040
Опір теплопередачі R_0 :					3,287
Коефіцієнт теплопередачі k , (Вт/м ² ·К):					0,304

Таблиця 3.5. Теплотехнічні характеристики горищного перекриття

Символ	d_i , мм	Опис матеріалу	λ_i , Вт /(м · К)	ρ_i , кг /м ³	R_i , (м ² · К)/Вт
Горищне перекриття					
Тип огороження: Горищне перекриття вентилязоване, вологісний режим нормальний					
Руберойд	0,005	Руберойд	0,180	1000	0,028
Сосна	0,025	Деревина сосни поперек волокон	0,160	550	0,156
Опір повітряного прошарку горищного перекриття середньої товщини 150 мм					0,160
Скоректована сума опорів повітряного прошарку і скату криші					0,387
Мінвата	0,050	Мінвата, вкладена щільно	0,052	30	0,962
ПЕР - ЗБ - 22	0,220	Перекриття залізобетонне ЖБРАЦ 22	0,180		0,180
Штукатурка - Ц	0,015	Штукатурка цементно - вапняна	0,820	1850	0,018
Опір теплообміну внутр. $R_{вн}$:					0,100
Опір теплообміну зовн. $R_{зн}$:					0,040
Опір теплопередачі R_0 :					1,472
Коефіцієнт теплопередачі k , (Вт/м ² ·К):					0,679

3.4.4. Теплові втрати будівлі на підігрів інфільтрованого повітря ($Q_{інф}$).
 Інфільтрація – це неконтрольований рух зовнішнього повітря всередину приміщення через нещільності в огорожувальних конструкціях (віконні та дверні притвори, стики будівельних елементів тощо) під дією вітрового та теплового тиску. Це інфільтраційне повітря, маючи нижчу температуру, потребує додаткового підігріву, що призводить до тепловтрат.

У нормах проектування тваринницьких комплексів (або згідно з ДБН В.2.5 - 67 "Опалення, вентиляція та кондиціонування") тепловтрати на підігрів інфільтрованого повітря ($Q_{\text{інф}}$) для будівель без надлишкового тиску, або для попередніх розрахунків, часто рекомендується приймати як частку від основних теплових втрат через огорожувальні конструкції ($Q_{\text{т.втр}}$).

Тепловтрати на підігрів інфільтрованого повітря для телятника приймаються на рівні 30% від теплових втрат через огорожувальні конструкції:

$$Q_{\text{інф}} = 0,30 \cdot Q_{\text{т.втр}} = 7,0 \text{ кВт}$$

З рівняння теплового балансу будівлі телятника (наведеного в пункті 3.2) для холодного періоду року при розрахункових параметрах внутрішнього та зовнішнього повітря визначаємо максимальну теплову потужність системи повітряного опалення, суміщеної з системою вентиляції $Q_{\text{ОВС}}$, кВт:

$$Q_{\text{ОВС}} = (Q_{\text{т.втр}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{вип}} + Q_{\text{інф}}) - (Q_{\text{тв}} + Q_{\text{осв}}) \quad (3.13)$$

Підставляючи розраховані раніше значення:

- Сумарні теплові втрати: $Q_{\text{втрати}} = Q_{\text{т.втр}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{вип}} + Q_{\text{інф}} = 56,7 \text{ кВт} + 32,0 \text{ кВт} + 0,62 \text{ кВт} + 7,0 \text{ кВт} = 96,32 \text{ кВт}.$
- Сумарні теплові надходження: $Q_{\text{надх}} = Q_{\text{тв}} + Q_{\text{осв}} = 24,9 \text{ кВт} + 4,7 \text{ кВт} = 29,6 \text{ кВт}.$

Тоді:

$$Q_{\text{ОВС}} = 96,32 \text{ кВт} - 29,6 \text{ кВт} = 66,72 \text{ кВт}.$$

Для подальших розрахунків приймаємо: $Q_{\text{ОВС}} = 66,72 \text{ кВт}.$

3.5. Теплотехнічні параметри телятника фермерського господарства

На основі розрахованої максимальної теплової потужності системи опалення та вентиляції $Q_{OBC} = 66,72$ кВт та прийнятих кліматичних ($t_o = -22^\circ\text{C}$) і внутрішніх ($t_b = +10^\circ\text{C}$) параметрів, визначаються наступні теплотехнічні показники опалювального сезону для телятника.

Гранична температура зовнішнього повітря ($t_{o,гр.}$):

Це температура зовнішнього повітря, при якій теплонадходження від тварин та освітлення ($Q_{надх} = 29,6$ кВт) повністю компенсують тепловтрати будівлі через огорожувальні конструкції ($Q_{т.втр.гр.}$), на випаровування вологи ($Q_{вип} = 0,62$ кВт) та на інфільтрацію ($Q_{інф} = 7,0$ кВт). Рівняння теплового балансу для цього випадку: $Q_{т.втр.гр.} + Q_{вип} + Q_{інф} = Q_{тв} + Q_{осв}$.

Тепловтрати через огорожувальні конструкції при граничній температурі:

$$Q_{т.втр.гр.} = (Q_{тв} + Q_{осв}) - Q_{вип} - Q_{інф}$$

$$Q_{т.втр.гр.} = (24,9 \text{ кВт} + 4,7 \text{ кВт}) - 0,62 \text{ кВт} - 7,0 \text{ кВт} = 29,6 - 7,62 = 21,98 \text{ кВт.}$$

Тепловтрати через огорожувальні конструкції $Q_{т.втр}$ пропорційні різниці температур ($t_b - t_o$).

При розрахункових умовах ($t_b = +10^\circ\text{C}$, $t_o = -22^\circ\text{C}$, $\Delta T = 32^\circ\text{C}$) маємо $Q_{т.втр} = 56,7$ кВт.

Тоді співвідношення різниць температур:

$$\frac{t_b - t_{o,гр.}}{t_b - t_o} = \frac{Q_{т.втр.гр.}}{Q_{т.втр}}$$

$$t_b - t_{o,гр.} = (t_b - t_o) \cdot \frac{Q_{т.втр.гр.}}{Q_{т.втр}}$$

$$t_B - t_{o,гр.} = (10 - (-22))^\circ\text{C} \cdot \frac{21,98 \text{ кВт}}{56,7 \text{ кВт}} = 32 \cdot 0,3876 \approx 12,40^\circ\text{C}.$$

$$t_{o,гр.} = t_B - 12,40 = 10 - 12,40 = -2,4^\circ\text{C}.$$

Тривалість опалювального періоду для телятника ($z_{оп.тел.}$):

Визначається за кліматичними даними для Київської області (ДСТУ - Н Б В.1.1 - 27:2010) як кількість діб із середньодобовою температурою зовнішнього повітря нижче або рівною розрахованій $t_{o,гр.} = -2,4^\circ$.

Для подальших розрахунків, враховую, що загальна тривалість опалювального періоду для регіону при $t_{сер,добов} \leq 8^\circ\text{C}$ становить 176 діб, для $t_{o,гр.} = -2,4^\circ\text{C}$ приймаю $z_{оп.тел.} = 162$ доби.

Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період для телятника ($t_{сер,добов}$):

Визначається за кліматичними даними (ДСТУ - Н Б В.1.1-27:2010) для розрахованого опалювального періоду $z_{оп.тел.} = 162$ доби . (при $t_{o,гр.} = -2,4^\circ\text{C}$). Враховуючи, що для $t_{сер,добов} \leq 8^\circ\text{C}$ середня температура становила $-0,1^\circ\text{C}$, на основі цього приймаю розрахункове оціночне значення $t_{o,сер.тел.} = -4,3^\circ\text{C}$.

Середня за опалювальний сезон теплова потужність опалювально-вентиляційної системи ($Q_{ОВС,сер}$):

Розраховується за формулою:

$$Q_{ОВС,сер} = Q_{ОВС} \frac{t_B - t_{o,сер.тел.}}{t_B - t_o}$$

Підставляючи попередні значення:

$$Q_{ОВС,сер} = 66,7 \text{ кВт} \cdot \frac{10^\circ\text{C} - (-4,3^\circ\text{C})}{10^\circ\text{C} - (-22^\circ\text{C})} = 66,7 \cdot \frac{14}{32} \approx 29,81 \text{ кВт}.$$

Річні потреби теплової енергії на опалювально-вентиляційні системи телятника $Q_{ОВС,рік}^{ТВ}$:

Розраховуються за стандартною формулою:

$$Q_{\text{річні.ОВС}} = Q_{\text{ОВС,сер}} \cdot z_{\text{оп.тел.}} \cdot 24 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{\text{річні.ОВС}} = 29,81 \text{ кВт} \cdot 162 \text{ доби} \cdot 24 \text{ год/добу} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{ГДж}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$$

$$= 417,0 \text{ ГДж.}$$

$$Q_{\text{річні.ОВС}} = 417,0 \text{ ГДж.}$$

Таблиця 3.6. Показники системи теплоспоживання телятника на 150 голів (за результатами розрахунків)

Вихідні дані	
Місце розташування:	Київська обл.
Тип тварини:	Телята на відгодівлі (середня маса 100 кг)
Кількість голів:	150
РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ	
ПОКАЗНИК, ПАРАМЕТР	Значення параметра
Параметри опалювального сезону:	
– тривалість, доба	162
– середня температура повітря, °С	-4,3
– гранична температура повітря, °С	-2,4
Границі температурних періодів:	
– холодний період, °С	-22 °С ... -2,4 °С
– перехідний період, °С	-2,4 °С ... +10 °С
– теплий період, °С	> +10 °С
Опалювально-вентиляційні системи (ОВС):	
– розрахункова теплова потужність, кВт	66,7
– середня теплова потужність, кВт	29,81
Річні потреби теплової енергії: на:	
– опалювально-вентиляційні системи, ГДж	417,0

3.6. Розрахунок теплової потужності технологічних споруд фермерського господарства

Розрахункові теплові потужності для цих споживачів теплоти визначаються на основі їх функціонального призначення, об'ємно-планувальних рішень та нормативних вимог до параметрів мікроклімату. За відсутності детальних проектних матеріалів для кожної з цих споруд, розрахунок теплової потужності систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання здійснюється за укрупненими показниками та питомими нормами витрат теплоти згідно з довідковою та нормативною літературою (наприклад, ДБН В.2.5-67 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», ДБН В.2.2-XX «Громадські будинки та споруди», ДБН В.2.2-XX «Будівлі і споруди. Підприємства харчування (Заклади ресторанного господарства)» або відповідні довідники з тепlopостачання сільськогосподарських об'єктів. Отримані значення будуть використані для оцінки загальної потреби фермерського господарства в тепловій енергії.

3.6.1. Розрахунок теплової потужності систем опалення та вентиляції (для інших споруд). Витрати теплоти на опалення (Q_o) та вентиляцію (Q_v) для виробничих, допоміжних та адміністративних будівель фермерського господарства (окрім телятника) розраховуються за укрупненими питомими тепловими характеристиками.

Витрати теплоти на опалення (Q_o). Визначаються за формулою:

$$Q_o = q_o \cdot V \cdot (t_v - t_o) \cdot 10^{-3}, \text{кВт} \quad (3.14)$$

де:

- q_o - питома опалювальна характеристика будівлі, Вт/(м³·К).
Приймається згідно з довідковими даними залежно від типу, об'єму та призначення приміщення.
- V - об'єм будівлі за зовнішніми замірами, м³ (з Таблиці 1.1).
- t_b - розрахункова температура внутрішнього повітря в приміщенні, °С (приймається згідно з нормативними вимогами для даного типу приміщень).
- t_o - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення, $t_o = -22^\circ\text{C}$ (з Таблиці 3.1).

Теплова потужність систем вентиляції (Q_v). Для приміщень, де передбачена механічна вентиляція з підігрівом припливного повітря, розраховується за формулою:

$$Q_v = q_v \cdot V \cdot (t_b - t_{o.\text{вент}}) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

де:

- q_v - питома вентиляційна характеристика будівлі, Вт/(м³·К).
Приймається згідно з довідковими даними.
- V - об'єм будівлі за зовнішніми замірами, м³ (з Таблиці 1.1).
- t_b - розрахункова температура внутрішнього повітря в приміщенні, °С.
- $t_{o.\text{вент}}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування вентиляції в холодний період (може прийматися як t_o або інше значення згідно з Параметром А чи Б з Таблиці 3.1)

Теплова потужність опалювально-вентиляційних систем для тваринницьких будівель (корівники, доїльний блок, родильне відділення) ($Q_{OBC.\text{інші}}$)

Для інших тваринницьких будівель (окрім детально розрахованого телятника) потужність опалювально-вентиляційних систем може бути визначена за укрупненими показниками або за питомою опалювально-вентиляційною характеристикою:

$$Q_{ОВС.інші} = q_{ОВС} \cdot V \cdot (t_{в} - t_{о}) \cdot 10^{-3}, \text{кВт} \quad (3.15)$$

де:

- $q_{ОВС}$ - питома опалювально-вентиляційна характеристика будівлі, Вт/(м³·К). Це значення залежить від типу та призначення тваринницького приміщення, його конструкції та кратності повітрообміну. Приймається згідно з довідковими даними або нормами для типових проектів.
- V - об'єм будівлі за зовнішніми замірами, м³ (з Таблиці 1.1).
- $t_{в}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря в приміщенні, °С (приймається згідно з нормативними вимогами для відповідної групи тварин, див. Таблицю 3.2).
- $t_{о}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення, $t_{о} = -22^{\circ}\text{C}$ (з Таблиці 3.1).

Результати розрахунків теплової потужності будівель ферми ВРХ наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. Теплові потужності систем опалення та вентиляції технологічних споруд фермерського господарства (за укрупненими показниками)

№ п/п (з Табл. 1.1)	Найменування приміщення	$V, \text{м}^3$	$t_{\text{в}}, \text{°C}$	$q_{\text{овс}}$ (для тварин)/ $q_{\text{о}}$ (для інших), Вт /($\text{м}^3 \cdot \text{К}$)	$Q_{\text{овс}}$ (для тварин)/ $Q_{\text{о}}$ (для інших), кВт	$q_{\text{в}}$ (для інших), Вт /($\text{м}^3 \cdot \text{К}$)	$Q_{\text{в}}$ (для інших, при $t_{\text{о.вент}} = -10\text{°C}$), кВт	Загальна $Q_{\text{о+в}}$ для будівлі, кВт
1	Корівник на 200 голів (1)	4914	+10	0,70	110,07	-	-	110,07
1	Корівник на 200 голів (2)	4914	+10	0,70	110,07	-	-	110,07
2	Доїльно - молочний блок	3150	+12	0,70	74,97	-	-	74,97
3	Родильне відділення (80 голів)	4910	+15	0,72	130,52	-	-	130,52
5	Кормовий цех	2646	+5	0,57	40,57	0,11	4,37	44,94
7	Ремонтна майстерня	450	+16	0,71	12,10	0,23	2,69	14,79
8	Гараж	785	+5	0,60	12,71	0,15	2,94	15,65
9	Адміністративне приміщення	400	+18	0,57	9,12	0,11	1,23	10,35
РАЗОМ (інші споруди, без телятника):								511,36

Сумарна теплова потужність на опалення та вентиляцію для інших споруд фермерського господарства (окрім телятника) становить 511,36 кВт.

3.6.2. Розрахунок теплової потужності системи гарячого водопостачання. Розрахунок теплової потужності системи гарячого водопостачання (ГВП) виконується згідно з нормами споживання води та вимогами до її температури.

Середньодобові норми споживання води для різних груп тварин та технологічних потреб наведені в довідковій літературі (наприклад, Таблиці 3.8 та 3.9).

Таблиця 3.8. Норми споживання води для ферм і комплексів по виробництву молока (з розрахунку на одну корову на технологічні потреби)

№ п/п	Призначення води	Кількість води, л/добу	Температура води, °С
1	Напування корів в стійлах (автонапувалки)	50 – 60	8 – 12
2	Те ж саме, при груповому напуванні	75 – 80	8 – 12
3	Миття підлоги в корівниках	25 – 30	Холодна
4	Приготування кормів	30 – 40	40 – 65
5	Підмивання вимені (при доїнні у відра)	5	40 – 65
6	Те ж саме (при доїнні в молокопровід)	15	40 – 45
7	Обмивання стійл	30	Холодна
8	Миття молокопроводів, доїльного обладнання та молочних резервуарів	25	55 - 65
9	Охолодження молока до температури 4 – 8 °С (в залежності від типу охолоджувача)	60 - 150	8 - 12
10	Миття та дезинфекція молочного посуду та обладнання в молочній	10	55 - 65

Таблиця 3.9. Середньодобові нормативи споживання води для іншого поголів'я великої рогатої худоби

№ п/п	Вік тварини	Кількість води, л/добу	Температура води, °С
1	Телята від народження до 20 днів	5 – 6	35 – 37
2	Телята від 20 днів до 2 місяців	10 – 12	15 – 18
3	Телята від 2 до 4 місяців	15 – 18	8 – 12
4	Телята від 4 до 6 місяців	18 – 20	8 – 12
5	Молодняк великої рогатої худоби:		8 – 12
	– у віці 6 – 9 місяців	20 – 25	8 – 12
	– у віці 9 – 12 місяців	25 – 30	8 – 12
	– у віці 12 – 15 місяців	30 – 35	8 – 12
	– у віці 15 – 18 місяців	35 – 40	8 – 12
	– старші 18 місяців	40 – 50	8 – 12
6	Худоба на відгодівлі	35 – 50	8 – 12
7	Бики - плідники	50 – 60	8 – 12

Температура гарячої води для виробничих потреб приймається в діапазоні 40 - 65 °С залежно від процесу; для санітарно-побутових потреб – 55 - 60 °С. Для розрахунків приймається усереднена температура гарячої води $t_{\text{Г}} = +55$ °С. Температура холодної води в опалювальний період приймається $t_{\text{х.в.}} = +5$ °С.

Для телятника на 150 голів, згідно з нормами, добова витрата гарячої води на технологічні потреби становить $b_{\text{тел.}} = 2$ л/гол . Загальна середньодобова витрата гарячої води для телятника: $M_{\text{ГВП.тел.доба}} = 150 \text{ гол} \cdot 2 \text{ л}/(\text{гол} \cdot \text{добу}) = 300 \text{ л}/\text{добу} = 300 \text{ кг}/\text{добу}$.

Середня теплова потужність системи ГВП для телятника ($Q_{\text{ГВП.тел.доба}}$) визначається за формулою:

$$Q_{\text{ГВП.тел.сер}} = \frac{M_{\text{ГВП.тел.доба}} \cdot c_{\omega} \cdot (t_{\Gamma} - t_{\text{х.в}})}{24 \cdot 3600}, \text{ кВт} \quad (3.16)$$

де:

- $M_{\text{ГВП.тел.доба}}$ - 300 кг/добу – середньодобова витрата гарячої води телятником;
- c_{ω} - 4,187 кДж/(кг·К) – питома теплоємність води;
- t_{Γ} - +55 °С – температура гарячої води;
- $t_{\text{х.в}}$ - +5 °С – температура холодної води в опалювальний сезон.

$$Q_{\text{ГВП.тел.сер}} = \frac{300 \text{ кг/добу} \cdot 4,187 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)} \cdot (55 - 5)}{24 \cdot 3600} = 0,7269 \text{ кВт.}$$

Приймаємо $Q_{\text{ГВП.тел.сер}} = 0,73 \text{ кВт.}$

Середня теплова потужність системи гарячого водопостачання для основних тваринницьких будівель ферми в опалювальний сезон ($Q_{\text{ГВП.тел.сер}}$), визначається за формулою:

$$Q_{\text{ГВП.тел.сер}} = \frac{N \cdot c_p}{24 \cdot 3600} \cdot (b_i \cdot (t_{\Gamma 1} - t_{\text{х.в}}) + b_2 \cdot (t_{\Gamma 2} - t_{\text{х.в}})) \quad (3.17)$$

де:

- N - кількість корів, $N = 400$ гол;
- c_p - питома теплоємність води, $c_p = 4,19$ кДж/(кг·К);
- b_i - узагальнена середньодобова норма споживання води, що нагрівається до температури $t_{\Gamma 1}$, прийнята $b_i = 6$ л/(гол·добу);
- $t_{\Gamma 1}$ - температура першої групи гарячої води, $t_{\Gamma 1} = +45$ °С;
- b_2 - узагальнена середньодобова норма споживання води, що нагрівається до температури $t_{\Gamma 2}$, прийнята $b_2 = 9$ л/(гол·добу);
- $t_{\Gamma 2}$ - температура другої групи гарячої води, $t_{\Gamma 2} = +65$ °С;
- $t_{\text{х.в}}$ - температура холодної води, $t_{\text{х.в}} = +5$ °С.

Підставляючи значення:

$$Q_{\text{ГВП.кор.сер}} = \frac{400 \cdot 4,19}{24 \cdot 3600} \cdot (6 \cdot (45 - 5) + 9 \cdot (65 - 5)) = 15,2 \text{ кВт.}$$

Максимальна теплова потужність системи ГВП для цих споруд ($Q_{\text{ГВП.кор.макс}}$) розраховується за формулою:

$$Q_{\text{ГВП.кор.макс}} = k_{\text{нер}} \cdot Q_{\text{ГВП.кор.сер}} \quad (3.18)$$

$$Q_{\text{ГВП.кор.макс}} = 2,5 \cdot 15,2 \text{ кВт} = 38,0 \text{ кВт.}$$

Максимальна теплова потужність системи ГВП для телятника ($Q_{\text{ГВП.тел.макс}}$):

$$Q_{\text{ГВП.тел.макс}} = k_{\text{нер}} \cdot Q_{\text{ГВП.тел.сер}} \quad (3.19)$$

$$Q_{\text{ГВП.тел.макс}} = 2,5 \cdot 0,73 \text{ кВт} = 1,82 \text{ кВт.}$$

Загальна середня теплова потужність системи ГВП для фермерського господарства:

$$Q_{\text{ГВП.заг.сер}} = Q_{\text{ГВП.кор.сер}} + Q_{\text{ГВП.тел.сер}} \quad (3.20)$$

$$Q_{\text{ГВП.заг.сер}} = 15,2 \text{ кВт} + 0,73 \text{ кВт} = 15,9 \text{ кВт.}$$

Загальна максимальна теплова потужність системи ГВП для фермерського господарства:

$$Q_{\text{ГВП.заг.макс}} = Q_{\text{ГВП.кор.макс}} + Q_{\text{ГВП.тел.макс}}$$

$$Q_{\text{ГВП.заг.макс}} = 38,0 \text{ кВт} + 1,82 \text{ кВт} = 39,82 \text{ кВт.}$$

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ГЕЛІОВОДОНАГРІВНОЇ УСТАНОВКИ

4.1. Розрахунок активної системи СГВ

Вихідні дані для розрахунку геліоводонагрівної установки (ГВУ) телятника:

- Споживач гарячої води: Телятник на 150 голів;
- Кількість голів N : 150 гол;
- Географічна широта, град. пн.ш., φ : 50°С (приймаю для Київської області);
- Температура холодної води в періоди року t_x , °С:
 - жовтень – березень: $t_{x.v.зим} = +5$ °С [7].
 - квітень – вересень: $t_{x.v.літ} = +15$ °С [7].
- Температура гарячої води в точках розбору t_r , °С: $t_r = +55$ °С;
- Теплова схема активної ССГВ: двоконтурна;
- Тип теплообмінника: ємнісний бойлер;
- Вид колектору сонячної енергії: плоский рідинний;
- Тип колектору сонячної енергії: VITOSOL 100 s/w 1,7 (VIESSMANN) [8];
- Місце розміщення колектору сонячної енергії: на даху будівлі.
- Кут нахилу колектору до горизонту, $\beta_{кол}$ град: 45°;
- Орієнтація колектора по сторонах світу: південна;
- Тривалість роботи ССГВ протягом року: цілорічна;
- Вид теплоносія: антифриз;
- Циркуляція теплоносія в гріючому контурі ССГВ: примусова;
- Резервне джерело теплової енергії: електричний нагрів у баці-акумуляторі.

Теплотехнічні характеристики плоских сонячних колекторів типу VITOSOL 100 s/w 1,7/2,5 (VIESSMANN) приведені в табл. 4.1, а конструктивні особливості на рис.4.1.

Рис. 4.1. Конструкція плоского сонячного колектору типу VITOSOL 100 s/w 1,7/2,5 (VIESSMANN): [14]

1 - профільне ущільнення; 2 - кришка з гіліоскла (4 мм); 3 -меандроподібна мідна трубка; 4 – мідний поглинач; 5 - пінопласт; 6 - мінеральне волокно; 7 - рамні профілі з алюмінію; 8 - основа з алюмінієво-цинкового сплаву.

Головний компонент колектору VITOSOL 100 мідний поглинач 4 з геліотитановим покриттям. Він забезпечує високий рівень поглинання сонячної енергії незначний рівень випромінювання теплової енергії. На поглинач встановлена зігнута у вигляді меандру мідна трубка 3, через яку протікає теплоносій. Теплоносій через стінки трубки 3 відбирає теплову енергію від поглинача. Поглинач з такою траєкторією руху теплоносія забезпечує для колекторних панелей досить рівномірний розподіл теплової енергії для кожного окремого колектору. Поглинач захищений корпусом колектора (з підсиленою тепловою ізоляцією), завдяки чому забезпечується мінімізація теплових втрат колектором. Високоякісна тепла ізоляція 6 виконана з мінерального волокна і є температуростійкою.

Таблиця 4.1. Теплотехнічні характеристики плоского сонячного колектору VITOSOL 100 s/w 1,7 (VIESSMANN) (За даними виробника [14])

Параметр	Одиниця вимірювання	Тип колектору s/w 1,7
Площа поглинача	м ²	1,7 [8]
Довжина	м	2,385
Ширина	м	0,753
Коефіцієнт теплових втрат k_1	Вт/(м ² ·К)	3,78
Коефіцієнт теплових втрат k_2	Вт/(м ² ·К)	0,013
Оптичний ККД θ	% (або частки)	81,1 (0,811)
Об'єм теплоносія	л	1,38

Середньомісячна добова сумарна кількість сонячної енергії, яка надходить до похилої поверхні сонячного колектору, $E_{\text{пох.доба}}^{\text{міс}}$, МДж/(м²·добу), розраховується за формулою:

$$E_{\text{пох.доба}}^{\text{міс}} = R^{\text{міс}} \cdot E^{\text{міс}} \quad (4.1)$$

де:

- $E^{\text{міс}}$ - середньомісячна добова сумарна кількість сонячної енергії, яка надходить до горизонтальної поверхні, МДж/(м²·добу).
- $R^{\text{міс}}$ - відношення середньомісячних добових кількостей сонячної енергії, які надходять до похилої та горизонтальної поверхонь.

Ці дані приймаються згідно з [1]

Для похилої поверхні з південною орієнтацією та кутом нахилу $\beta_{\text{кол}} = 45^\circ$ для широти φ : 50° С цей коефіцієнт розраховується за формулою [9]:

$$R^{\text{міс}} = \left(1 - \frac{E_{\text{д}}^{\text{міс}}}{E^{\text{міс}}}\right) \cdot R_{\text{п}}^{\text{міс}} + \frac{1 + \cos \beta_{\text{кол}}}{2} \cdot \frac{E_{\text{д}}^{\text{міс}}}{E^{\text{міс}}} + \rho^{\text{міс}} \cdot \frac{1 - \cos \beta_{\text{кол}}}{2} \quad (4.2)$$

де:

- $E_d^{\text{міс}}$ - середньомісячна добова кількість дифузійної сонячної енергії на горизонтальну поверхню ;
- $R_{\text{п}}^{\text{міс}}$ - коефіцієнт перерахунку прямого випромінювання;
- $\rho^{\text{міс}}$ - коефіцієнт відбивання для поверхні Землі ($\rho = 0,2$ влітку і $\rho = 0,7$ взимку) [9].

Для цього проекту, я з метою спрощення та використання актуальних узагальнених даних, записав результати розрахунків середньомісячної добової сумарної кількості сонячної енергії, яка надходить на похилу поверхню ($E_{\text{пох.доба}}^{\text{міс}}$), та середньогодинної інтенсивності ($q_i^{\text{міс}}$) які наведені в Таблиці 4.2. Значення $E_{\text{пох.доба}}^{\text{міс}}$ у кВт·год/(м²·добу) взяті з PVGIS для Києва (нахил 45°, південна орієнтація).

Таблиця 4.2. Результати розрахунків середньомісячної добової сумарної кількості сонячної енергії, яка надходить до похилої поверхні сонячного колектора ($\beta_{\text{кол}} = 45^\circ$, південь)

Параметр	Од. вим.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$E_{\text{пох.доба}}^{\text{міс}}$	кВт·год/(м ² ·добу)	1,42	2,42	3,66	4,65	5,25	5,49	5,43	4,93	3,97	2,44	1,29	0,98
$q_i^{\text{міс}}$	Вт/м ²	355	484	610	664	656	686	679	616	567	407	258	245

Теплова потужність системи гарячого водопостачання ($Q_{\text{гт}}$). Згідно формули 3.6.2 (+5 °С для жовтня-березня, +15 °С для квітня-вересня):

- Для опалювального періоду: $Q_{\text{гт.зим}} \approx 0,73$ кВт.
- Для неопалювального періоду: $Q_{\text{гт.літ}} \approx 0,58$ кВт.

Розрахунок площі поглинальної поверхні сонячного колектора ($A_{\text{кол}}$)

Площа поглинальної поверхні сонячного колектора $A_{\text{кол}}$, м², для заданої середньодобової теплової потреби $Q_{\text{ГВП.тел.доба}}^{\text{міс}}$ (кВт·год/добу) при наявності резервного джерела теплоти розраховується за формулою:

$$A_{\text{кол}} = \frac{Q_{\text{ГВП.тел.доба}}^{\text{міс}} \cdot f}{E_{\text{пох.доба}}^{\text{міс}} \cdot \eta_{\text{уст}}^{\text{міс}}} \quad (4.3)$$

де:

- f - бажаний коефіцієнт покриття потреби сонячною енергією для розрахункового місяця;
- $\eta_{\text{уст}}^{\text{міс}}$ - ККД геліоустановки для розрахункового місяця.

ККД установки ($\eta_{\text{уст}}^{\text{міс}}$) визначаємо за формулою:

$$\eta_{\text{уст}}^{\text{міс}} = \theta - [k_1 \cdot \frac{(0,5 \cdot (t_1 + t_2) - t_3^{\text{міс}})}{q_i^{\text{міс}}}] \quad (4.4)$$

(детальний розрахунок $\eta_{\text{уст}}^{\text{міс}}$ для кожного місяця наведено в Таблиці 4.3)

На основі даних (Таблиці 4.3) та з урахуванням терміну роботи ССГВ протягом року, обираю розрахунковий місяць для визначення площі. Приймаю березень як розрахунковий місяць. $Q_{\text{ГВП.тел.доба.зим}} \approx 17,45$ кВт · год/добу. $E_{\text{пох.доба}}(\text{березень}) = 3,66$ кВт · год/м². $\eta_{\text{уст}}^{\text{міс}}(\text{березень}) \approx 0,60$. та бажаний коефіцієнт покриття $f = 0,6$:

$$A_{\text{кол}} = \frac{17,45 \cdot 0,6}{3,66 \cdot 0,60} \approx 4,77 \text{ м}^2.$$

Для проектованої сонячної системи гарячого водопостачання приймаємо три колектори типу VITOSOL 100 s/w 1,7 (VISSMANN) загальною площею поглинальної поверхні $A_{\text{кол}} = 5,1 \text{ м}^2$.

Місячна доля сонячної енергії в покритті теплового навантаження на гаряче водопостачання (ступінь заміщення палива) $f^{\text{міс}}$:

$$f^{\text{міс}} = \frac{Q_{\text{СК}}^{\text{міс}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{міс}}}$$

де:

- $Q_{\text{СК}}^{\text{міс}}$, $Q_{\text{Н}}^{\text{міс}}$ МДж/міс – місячні величини теплового навантаження, теплоти, яка забезпечується сонячною і додатковою енергією.

Таблиця 4.3. Результати розрахунків місячної долі сонячної енергії

$$(A_{\text{кол}} = 5,1 \text{ м}^2)$$

Місяць	$t_3^{\text{міс}}(^{\circ}\text{C})$ [1]	t_1 ($^{\circ}\text{C}$)	$\Delta t_{\text{сер}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$q_i^{\text{міс}}$ (Вт/м ²)	$\eta_{\text{уст}}^{\text{міс}}$	$E_{\text{пох, доба}}^{\text{міс}}$ (кВт·г од/м ²)	$Q_{\text{СК, доба}}^{\text{міс}}$ (кВт·год/ добу)	$Q_{\text{ГВП, тел, доба}}^{\text{міс}}$ (кВт·год /добу)	$f^{\text{міс}}$	$N_{\text{днів}}^{\text{міс}}$	$Q_{\text{СК, корисна}}^{\text{міс}}$ (кВт·год /міс)
I	-4,7	10	39,7	355	0,388	1,42	2,81	17,45	0,161	31	87,1
II	-3,6	10	38,6	484	0,510	2,42	6,30	17,45	0,361	28	176,3
III	1,0	10	34,0	610	0,600	3,66	11,20	17,45	0,642	31	347,2
IV	9,0	20	31,0	664	0,635	4,65	15,06	13,96	1,000 *	30	418,8
V	15,2	20	24,8	656	0,668	5,25	17,90	13,96	1,000 *	31	432,8
VI	18,3	20	21,7	686	0,691	5,49	19,34	13,96	1,000 *	30	418,8
VII	19,8	20	20,2	679	0,698	5,43	19,32	13,96	1,000 *	31	432,8
VIII	19,0	20	21,0	616	0,682	4,93	17,15	13,96	1,000 *	31	432,8
IX	13,9	20	26,1	567	0,637	3,97	12,91	13,96	0,925	30	387,4
X	8,1	10	26,9	407	0,561	2,44	6,99	17,45	0,401	31	216,7
XI	1,9	10	33,1	258	0,326	1,29	2,14	17,45	0,123	30	64,3
XII	-2,5	10	37,5	245	0,231	0,98	1,15	17,45	0,066	31	35,8
Разом/ Середнь орічна:									0,704	36 5	3432,8

Об'єм бака-акумулятора визначається з розрахунку $0,06 \text{ м}^3$ на 1 м^2 площі колекторів: $V_{\text{бак}} = 0,06 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot 5,1 \text{ м}^2 = 0,306 \text{ м}^3 = 306 \text{ літрів}$. Приймаємо стандартний об'єм бака-акумулятора $V_{\text{бак}} = 300 \text{ літрів}$.

Середньорічний ступінь заміщення палива

$$f_{\text{рік}} = \frac{\sum Q_{\text{СК, корисна}}^{\text{міс}}}{\sum Q_{\text{ГВП, тел, доба}}^{\text{міс}} \cdot N_{\text{днів}}^{\text{міс}}} = \frac{3432,8}{4877,93} \approx 0,704.$$

Кількість теплоти $Q_{уст}$, вироблена геліоустановкою за рік, становить 3432,8 кВт·год/рік, або $\approx 12,36$ ГДж/рік.

Кількість зекономленого за рік умовного палива (B) Визначається за формулою:

$$B = \frac{0,0342 \cdot Q_{уст}}{\eta_{зам}}$$

Де: $Q_{уст} \approx 12,36$ ГДж/рік; $\eta_{зам} = 0,92$ (ККД заміщуваного джерела).

$$B = \frac{0,0342 \cdot 12,36 \text{ ГДж/рік}}{0,92} \approx 0,46 \text{ т. у. п.}$$

Таким чином, впровадження проектованої геліоводонагрівної установки для телятника на 150 голів дозволить зекономити близько 0,46 тонн палива на рік.

4.2. Вибір обладнання геліоводонагрівної установки

1. Сонячні колектори:

- Радіаційна панель геліосистеми складається з трьох плоских сонячних колекторів типу VITOSOL 100 s/w 1,7 (виробник – фірма VIESSMANN, Німеччина) загальною площею поглинальної поверхні 5,1 м², з'єднаних за паралельною схемою.
- Колекторна панель монтується на даху будівлі; орієнтація по сторонах світу – південна, кут нахилу колекторної панелі до горизонту – 45 град.

2. Насосна група геліоконтур:

- Циркуляція теплоносія в замкненому контурі геліосистеми здійснюється за допомоги відцентрового насосу. Для даної системи може бути обраний насос типу UPS 10-60 (виробник – фірма GRUNDFOS, Німеччина) або аналогічний, що входить до складу комплектного геліонасосного вузла типу SOLAR-DIVISION PS (виробник – фірма VIESSMANN).

- До складу насосного вузла входять також допоміжні пристрої для керування та обслуговування насосу: шарові крани, зворотний та запобіжний клапани, теплова ізоляція подавального та зворотного трубопроводів геліосистеми, станція дистанційного керування насосом. Також включається витратомір та група безпеки.

3. Наповнення контуру:

- Наповнення контуру геліосистеми теплоносієм (антифризом) здійснюється за допомоги ручного геліонасосу або спеціальної заправної станції.

4. Бак-акумулятор (ємнісний бойлер):

- Приготування гарячої води здійснюється в ємнісному бойлері типу VITOCELL-B 300 (виробник – фірма VISSMANN), загальний об'єм (запас води) – 300 літрів (0,3 м³).
- Бойлер оснащений:
 - водяним трубчастим теплообмінником (змійовиком) для передачі теплоти від теплоносія геліосистеми до води ГВП.
 - трубчастим електронагрівачем (в нижній частині бойлеру) для резервного догріву води.
- Догрів води в разі необхідності (недостатня сонячна активність) відбувається за допомогою вбудованого електричного нагрівача.

5. Система автоматики (контролер):

- Функції контролю та керування сонячною системою приготування гарячої води виконує мікропроцесорний контролер-регулятор, наприклад, типу SOLARTROL-M (виробник – фірма VISSMANN, Німеччина) або сучасний аналог (Vitosolic). Контролер забезпечує оптимальну роботу насоса геліоконтуру, керує резервним догрівом та виконує захисні функції.

6. Розширювальний бак та інша арматура:

- Для компенсації температурного розширення теплоносія в геліоконтурі встановлюється мембранний розширювальний бак відповідного об'єму.

- Також система комплектується необхідною запірною та регулюючою арматурою, пристроями для видалення повітря.

7. Трубопроводи та теплоізоляція:

- Трубопроводи геліоконтур виконуються з матеріалів, стійких до високих температур та антифризу (мідь, нержавіюча сталь).
- Усі трубопроводи геліоконтур та гарячого водопостачання ретельно теплоізолюються високотемпературною теплоізоляцією (наприклад, зі спіненого каучуку або мінеральної вати).

РОЗДІЛ 5

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ГЕЛІОВОДООНАГРІВНОЇ УСТАНОВИ

Спроектована система є активною двоконтурною геліоустановкою з примусовою циркуляцією та резервним електродогрівом. Сонячні колектори VITOSOL 100 s/w 1,7 поглинають сонячну енергію, передаючи тепло антифризу в первинному контурі. При досягненні достатньої різниці температур між колекторами та баком-акумулятором VITOCeLL-B 300, контролер (типу SOLARTROL-M) активує насосну групу (типу SOLAR-DIVISION PS), і нагрітий теплоносієм передає тепло воді для ГВП через вбудований теплообмінник бойлера. Накопичена гаряча вода використовується для потреб телятника. У періоди недостатньої сонячної активності вода в баці догрівається вбудованим електричним ТЕНОм до заданої температури +55°C. Система автоматики також виконує захисні функції.

Основні правила експлуатації та технічного обслуговування

Для забезпечення надійної роботи геліосистеми необхідно дотримуватися наступних правил:

- Регулярний моніторинг: Періодично контролювати показання системи автоматики (температури, тиск), стан колекторів (чистота поверхні) та роботу насоса.
- Перевірка тиску та теплоносія: Слідкувати за тиском у геліоконтурі. Раз на кілька років перевіряти стан антифризу (концентрацію, рН) та за необхідності проводити його заміну або корекцію.
- Очищення колекторів: Забезпечувати чистоту поглинальної поверхні колекторів від пилу, бруду, снігу для підтримки їх ефективності.
- Перевірка резервного нагрівача: Періодично перевіряти працездатність електричного ТЕНа.

- Дотримання інструкцій: Суворо дотримуватися інструкцій з експлуатації від виробників обладнання.

Щорічне технічне обслуговування (бажано проводити кваліфікованими фахівцями) включає:

- Перевірку герметичності всіх з'єднань системи.
- Перевірку та регулювання тиску в розширювальному баці.
- Детальну перевірку стану теплоносія.
- Огляд та очищення сонячних колекторів.
- Перевірку роботи насосної групи та системи автоматики, включаючи датчики.
- Перевірку запобіжних клапанів.
- Огляд стану теплоізоляції трубопроводів та обладнання. Своєчасне та кваліфіковане обслуговування є запорукою максимальної ефективності та тривалого терміну служби геліоводонагрівної установки.

ВИСНОВКИ

У цій бакалаврській кваліфікаційній роботі було розглянуто питання енергопостачання фермерського господарства з акцентом на розробку системи гарячого водопостачання для телятника на 150 голів із застосуванням сонячних колекторів. Метою роботи було покращення енергоефективності теплопостачання та оцінка доцільності впровадження геліосистем в умовах України.

В результаті проведеної роботи були отримані наступні основні результати:

1. Проаналізовано загальну характеристику об'єкта проектування – фермерського господарства в Київській області, визначено його основні технологічні споруди та існуючу систему енергопостачання. Це дозволило окреслити загальні потреби господарства в тепловій енергії.

2. Проведено огляд основних типів сонячних колекторів (плоских та вакуумованих) та класифікації систем сонячного гарячого водопостачання, що дозволило обрати оптимальний тип системи для умов проектування – активну двоконтурну систему з плоскими сонячними колекторами та примусовою циркуляцією теплоносія.

3. Виконано детальний розрахунок теплового балансу телятника на 150 голів. Визначено основні теплонадходження (від тварин $Q_{\text{ТВ}} = 24,9$ кВт та освітлення $Q_{\text{осв}} = 4,7$ кВт) та тепловтрати (на підігрів вентиляційного повітря $Q_{\text{в}} = 32,0$ кВт , на випаровування води $Q_{\text{вип}} \approx 0,62$ кВт , через огорожувальні конструкції $Q_{\text{т.втр}} = 56,7$ кВт , на інфільтрацію $Q_{\text{інф}} = 7,0$ кВт). Розрахункова теплова потужність системи опалення та вентиляції телятника склала $Q_{\text{ОВС}} = 66,7$ кВт.

4. Визначено теплотехнічні параметри опалювального сезону для телятника: гранична температура зовнішнього повітря $t_{\text{о.гр.}} = -2,4$ °C ; тривалість опалювального періоду $z_{\text{оп.тел.}} = 162$ доби; середня температура за

опалювальний період $t_{o, \text{сер.тел.}} = -4,3 \text{ }^\circ\text{C}$; середня потужність ОВС $Q_{\text{ОВС, сер}} \approx 29,81 \text{ кВт}$; річні потреби теплової енергії на ОВС $Q_{\text{річні.ОВС}} = 417,0 \text{ ГДж.}$

5. Розраховано теплові потреби на ГВП для телятника ($Q_{\text{ГВП.тел.сер}} = 0,73 \text{ кВт}$) та інших споруд фермерського господарства. Загальна середня теплова потужність системи ГВП для всього господарства оцінена на рівні $Q_{\text{ГВП.заг.сер}} \approx 15,9 \text{ кВт}$.

6. Проведено розрахунок та вибір обладнання для геліоводонагрівної установки (ГВУ) телятника. На основі аналізу кліматичних даних (ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010) та потреби в ГВП, обрано три плоских сонячних колектори типу VITOSOL 100 s/w 1,7 загальною площею $A_{\text{кол}} = 5,1 \text{ м}^2$ та бак-акумулятор об'ємом $V_{\text{бак}} = 300 \text{ літрів}$.

7. Оцінено ефективність проектованої геліосистеми. Кількість теплоти, вироблена геліоустановкою за рік, становить $Q_{\text{уст}} \approx 12,36 \text{ ГДж/рік}$. Середньорічний ступінь заміщення традиційних джерел енергії для потреб ГВП телятника складає $f_{\text{рік}} \approx 0,704$ (70,4%). Кількість зекономленого за рік умовного палива завдяки використанню сонячної радіації оцінюється в $B \approx 0,46 \text{ т у. п./рік}$.

8. Розглянуто основні аспекти експлуатації та технічного обслуговування геліоводонагрівної установки, що є важливим для забезпечення її надійної та ефективної роботи.

Таким чином, в ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено систему сонячного гарячого водопостачання для телятника, що дозволяє значно підвищити енергоефективність тепlopостачання фермерського господарства за рахунок використання відновлюваного джерела енергії. Проведені розрахунки демонструють технічну можливість та доцільність впровадження подібних систем в умовах України, що сприятиме зменшенню споживання традиційних енергоносіїв та покращенню екологічної ситуації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б В.1.1 - 27:2010 Будівельна кліматологія. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. : https://www.google.com/search?client=firefox-b&sca_esv=7f913f0ee5b6aad4&q=%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3-%D0%9D+%D0%91+%D0%92.1.1+-+27%3A2010+&oq=%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3-%D0%9D+%D0%91+%D0%92.1.1+-+27%3A2010+&aqs=heirloom-srp..
2. Закон України «Про альтернативні види палива», Ст.1
<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>
3. Розвиток децентралізованого енергопостачання на основі нетрадиційних місцевих енергоресурсів / [за ред. Долинського АА] АВ Щурчков, ГМ Забарний, АМ Разаков – К.: ІТТФ НАН України. 2001, – 131 с.
4. ДБН В.2.5 - 67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря. – Київ: Мінрегіон України, 2013. : https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152
5. ДБН В.2.6 - 31:2016 Теплова ізоляція будівель. – Київ: Мінрегіон України, 2016. (Або новіша редакція ДБН В.2.6 - 31:2021).
6. ДБН В.2.2-1-95 "Будівлі і споруди для тваринництва":
<https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/51.1.-DBN-V.2.2-1-95.-Budinki-i-sporudi.-Budivli-i-sporu.pdf>
7. Методичні вказівки до проектування систем тепlopостачання, що використовують відновлювальні джерела енергії, для студентів енергетичних, механічних і технологічних спеціальностей денної та заочної форми навчання / Б.Х. Драганов, О.Ф. Буляндра. – К.: КДХУТ, 1994. – 84 с.
8. Мхитарян Н.М. Гелио-энергетика. Системы. Технологии. Применение. – К.: Наукова думка, 2002. – 317 с.

9. Ткаченко С. Й. Розрахунок теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання. Навчальний посібник/ Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. - Вінниця: ВНТУ. 2006. - 105 с.
10. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання: навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула , К. В. Анохіна / – Вінниця: ВНТУ, 2010. –170 с
11. Теплотехнічний довідник: У 2-х т. Т. 2 / Під заг. ред. В. М. Юр'єва, А. В. Арабаджи. – К.: Техніка, 2001. – 640 с.
12. Посібник з розрахунку та проектування сонячних систем теплопостачання : https://www.viessmann.ua/content/dam/public-brands/ua/pdf/products/5799061VPA00020_1.pdf/_jcr_content/renditions/original./5799061VPA00020_1.pdf
13. Сучасні кліматичні рішення VISSMANN: <https://www.viessmann.ua/>
14. Сонячний колектор VISSMANN VITOSOL 100-FM тип SV1F: <https://termozona.com.ua/ploskyi-soniachnyi-kolektor-viessmann-vitosol-100-fm-tyп-sv1f-115-m2/>
15. Сонячні теплові системи : <https://www.vaillant.ua/dlia-klientiv/korisna-informatsia/how-different-technologies-work/solar-thermal-heating/>