

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ПОГОДЖЕНО
Директор ІНІ енергетики
автоматики і енергозбереження

проф., д.т.н. Віктор КАПЛУН
(підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
інженерія енергосистем

доц., к.т.н. Євген АНТИПОВ
(підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ ПТАШНИКІВ
НА ОСНОВІ ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ**

Спеціальність 144 – «Теплоенергетика»

Освітня програма Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Валерій ГОРОБЕЦЬ
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Віктор ТРОХАНЯК
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Володимир ЗАДНІПРЯНЕЦЬ
(ПІБ)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інженерія енергосистем

к.т.н., доцент

Є.О. АНТИПОВ

(підпис)

« _____ »

2024 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ

Задніпряню Володимиру Руслановичу

Спеціальність 144 – Теплоенергетика

Освітня програма Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Вдосконалення системи мікроклімату пташників на основі теплообмінного обладнання»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 18.11.2024 № 2060”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 11. 11. 2025

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Технічна документація електрообладнання, нормативно – правова література.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Дослідити сучасні технології мікроклімату пташників.
2. Оцінити наявні системи теплопостачання та їх недоліки.
3. Розробити оновлену систему теплового забезпечення з ТН і рекуперацією.
4. Виконати теплотехнічні розрахунки та визначити параметри роботи системи.
5. Порівняти ефективність нової системи з традиційними та обґрунтувати її переваги.

Дата видачі завдання «20» 11. 2024 р.

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Троханяк В. І.

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Задніпрянець В.Р.

(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота: пояснювальна записка – 60 сторінок, 7 таблиць, 8 рисунків, 24 джерел.

У магістерській кваліфікаційній роботі представлено комплексне дослідження теплотехнічних процесів, що визначають формування мікроклімату у пташниках, та обґрунтовано ефективні методи їх удосконалення. У першому розділі проаналізовано значення мікроклімату в інтенсивному птахівництві, визначено фактори, що впливають на температуру, вологість, газовий склад і тепловий стан приміщення, досліджено недоліки традиційних систем опалення й вентиляції, розглянуто сучасні напрями вдосконалення, включаючи автоматизацію, рекуперацію та застосування теплових насосів.

Другий розділ присвячено теоретичним основам теплового розрахунку пташника для холодного та теплого періодів року. Виконано повний тепловий баланс будівлі, розраховано втрати тепла через огорожувальні конструкції, підлогу, інфільтрацію, вентиляцію та випаровування вологи. Визначено сумарні теплові навантаження, необхідні для підтримання нормативного мікроклімату. Проведено детальні розрахунки повітрообміну, необхідного для підтримання допустимих концентрацій CO₂, водяної пари та інших шкідливих газів.

У третьому розділі наведено комплекс технічних рішень щодо удосконалення системи тепlopостачання та мікроклімату пташника. Розглянуто доцільність застосування теплових насосів повітряного типу, систем рекуперації теплоти вентиляційного повітря, модернізації вентиляційних каналів та впровадження інтелектуальних систем керування на базі мікроконтролерів. Обґрунтовано вибір обладнання для підтримання оптимальної температури та вологості протягом усіх сезонів.

Четвертий розділ містить техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень. Виконано порівняння енергоспоживання традиційної системи опалення (газові теплові гармати Kroll P-43 та P-80) та модернізованої системи з тепловими насосами і рекуперацією. Доведено, що впровадження

нової системи дозволяє суттєво знизити енергетичні витрати, підвищити теплову стабільність приміщення та зменшити собівартість продукції. Визначено економічний ефект та термін окупності запропонованих заходів.

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та техніки безпеки під час експлуатації систем теплопостачання й вентиляції пташника. Висвітлено вимоги до електробезпеки, пожежної безпеки, санітарно-гігієнічного стану, поводження з газовим і електричним обладнанням, а також екологічні аспекти роботи сучасних систем мікроклімату.

У висновках узагальнено результати дослідження та підтверджено, що модернізована система теплопостачання на основі теплових насосів і рекуперації здатна забезпечити стабільний мікроклімат з істотним зниженням енергоспоживання та підвищенням рентабельності виробництва.

Ключові слова: мікроклімат пташника, тепловий розрахунок, тепловий насос, рекуперація теплоти, вентиляція, енергоефективність, автоматизація, теплові втрати

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА НАПРЯМІВ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ В ПТАШНИКАХ	7
1.1. Значення мікроклімату в птахівництві	7
1.2. Основні фактори, що впливають на мікроклімат	9
1.4. Сучасні напрями вдосконалення систем мікроклімату	16
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛОВОГО РОЗРАХУНКУ ПТАШНИКА	19
2.1. Тепловий баланс тваринницького приміщення для холодно періоду року	19
2.3. Визначення необхідного повітрообміну для теплового періоду року	31
РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА МІКРОКЛІМАТУ ПТАШНИКА	36
3.1. Загальні підходи до модернізації системи тепlopостачання пташника	36
3.3. Використання рекупераційних систем	42
3.4. Удосконалення системи вентиляції пташника	43
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	45
4.1. Загальні положення.....	45
4.3. Енергоспоживання традиційної системи.....	47
4.4. Енергоспоживання модернізованої системи з тепловими насосами	50

4.5. Економічна ефективність впровадження	51
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	54

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ТН – тепловий насос;

СОР – коефіцієнт перетворення теплового насоса;

СМК – система мікроклімату;

РС – рекупераційна система (система рекуперації теплоти);

ПВУ – припливно-витяжна установка;

ГГ – газова теплова гармата;

ОК – огороджувальні конструкції;

ЕЕ – енергоефективність;

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

АСК – автоматизована система керування.

ВСТУП

Актуальність. Сучасний розвиток аграрного сектору України вимагає підвищення ефективності всіх технологічних процесів, зокрема у сфері птахівництва, яке є однією з найбільш інтенсивних і технологічно розвинутих галузей тваринництва. Виробництво продукції птахівництва потребує значних енергетичних витрат, основна частка яких припадає на підтримання оптимальних параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях. Температурний режим, вологість, концентрація газів та рівень освітлення безпосередньо впливають на життєдіяльність, приріст маси та загальний стан птиці. Порушення мікроклімату може призвести до зниження продуктивності, підвищення захворюваності та навіть втрат поголів'я.

Традиційні системи теплопостачання пташників, що базуються на використанні газових або дизельних гармат, мають низку суттєвих недоліків. До них належать високе споживання енергоносіїв, значні експлуатаційні витрати, підвищений рівень викидів CO₂ та інших шкідливих речовин, а також нерівномірність розподілу температури у приміщенні. В умовах енергетичної кризи, зростання вартості природного газу та підвищення вимог до екологічності виробництва ці системи стають економічно неефективними і морально застарілими.

На сучасному етапі розвитку науки і техніки дедалі більшої актуальності набуває впровадження енергоощадних технологій, що дозволяють забезпечити стабільний мікроклімат за мінімальних енергозатрат. Одним із найбільш перспективних напрямів є застосування теплових насосів, які використовують енергію навколишнього середовища (повітря, ґрунту або води) для обігріву приміщень. Використання таких установок у пташниках дає можливість суттєво знизити споживання традиційних енергоресурсів і, відповідно, зменшити собівартість продукції.

Не менш важливим напрямом удосконалення є рекуперація тепла вентиляційного повітря, за допомогою якої відбувається повернення частини

теплової енергії, що втрачається при обміні повітря. Завдяки цьому можна досягти економії енергії до 30–40 % у холодний період року. Важливу роль у забезпеченні ефективної роботи системи відіграє автоматизоване керування мікрокліматом із використанням цифрових технологій (IoT). Такі системи дозволяють безперервно контролювати температуру, вологість, швидкість руху повітря, рівень вуглекислого газу, аміаку та інших параметрів, забезпечуючи оптимальні умови для птиці при мінімальних енергозатратах.

Крім енергетичної складової, актуальність дослідження обумовлена також екологічними аспектами. Зменшення споживання викопного палива безпосередньо впливає на скорочення викидів парникових газів та токсичних сполук, що покращує екологічний стан довкілля і відповідає сучасним принципам сталого розвитку. Використання електроенергії з відновлюваних джерел у поєднанні з тепловими насосами та рекуператорами робить систему теплопостачання пташника екологічно безпечною і ресурсоефективною.

Таким чином, впровадження комплексних енергоефективних рішень у системах мікроклімату пташників є одним із ключових напрямів розвитку сучасного агропромислового виробництва. Це не лише забезпечує стабільність технологічного процесу, а й сприяє зниженню собівартості продукції, підвищенню конкурентоспроможності господарств і відповідності європейським вимогам до енергоефективності та екологічної безпеки.

Отже, тема магістерської роботи «Вдосконалення системи теплового розрахунку пташника з використанням новітніх енергоефективних технологій» є надзвичайно актуальною як у науковому, так і в практичному аспектах. Вона спрямована на підвищення ефективності виробничих процесів, зниження енергоспоживання та впровадження сучасних екологічно чистих технологій у птахівничу галузь України.

Мета роботи — підвищення енергоефективності системи теплопостачання пташника шляхом удосконалення методики теплового розрахунку, застосування сучасних технологій опалення, рекуперації та автоматизованого керування мікрокліматом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **основні завдання**:

1. Провести аналітичний огляд сучасних наукових підходів і технологій забезпечення мікроклімату в пташниках.
2. Проаналізувати існуючі схеми теплопостачання та виявити їх недоліки з точки зору енергоспоживання і стабільності температурного режиму.
3. Розробити вдосконалену систему теплового забезпечення пташника з використанням теплового насоса, рекуператора та системи автоматизованого керування.
4. Виконати тепловий розрахунок і визначити основні параметри системи в різних кліматичних умовах.
5. Провести порівняльний аналіз енергетичної ефективності традиційних і сучасних технологій.
6. Розробити економічне обґрунтування впровадження модернізованої системи та оцінити її окупність.
7. Оцінити вплив запропонованих рішень на поліпшення мікроклімату, продуктивність птиці та екологічні показники підприємства.

Об'єкт дослідження — технологічний процес формування та підтримання оптимального мікроклімату у пташнику.

Предмет дослідження — методи та технічні засоби теплового забезпечення пташника, зокрема системи опалення, вентиляції, рекуперації та автоматизованого керування мікрокліматом, спрямовані на підвищення енергоефективності та стабільності температурних режимів.

Практична значущість

Результати дослідження мають практичне значення для підприємств птахівничої галузі, фермерських господарств та проектних організацій, що займаються модернізацією енергетичних систем.

Впровадження запропонованої системи дозволить:

- знизити витрати енергії на обігрів до 40–50 % у порівнянні з традиційними технологіями;

- забезпечити стабільність температури та вологості протягом усього циклу вирощування;
- скоротити обсяги шкідливих викидів та покращити екологічну ситуацію в зоні розташування господарства;
- підвищити продуктивність птиці за рахунок покращення мікроклімату.

Отримані результати можуть бути використані у навчальному процесі під час підготовки фахівців з електроенергетики, енергоефективності та автоматизації технологічних процесів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА НАПРЯМІВ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ В ПТАШНИКАХ

1.1. Значення мікроклімату в птахівництві

Мікроклімат у пташниках є ключовим фактором ефективності птахівництва, оскільки умови повітряного середовища визначають обмін речовин, імунітет, поведінку та продуктивність птиці. До мікроклімату належать температура, вологість, швидкість руху повітря, газовий склад, освітленість і запиленість, що впливають на тепловий баланс організму.

Птиця підтримує сталу температуру тіла 41–42 °С, витрачаючи на це енергію корму. Низька температура приміщення підсилює теплопродукцію, але знижує приріст та несучість, оскільки поживні речовини витрачаються на терморегуляцію. Перегрів викликає тепловий стрес, зниження апетиту та активності, а у критичних умовах — загибель птиці. Тому стабільність мікроклімату є основою продуктивного вирощування.

У промислових умовах із високою щільністю посадки параметри повітря мають підтримуватися точно: температура 16–20 °С для дорослої птиці, 30–32 °С для добового молодняка, вологість 60–70 %, швидкість повітря до 0,3 м/с взимку та до 1 м/с влітку. Вологість понад 80 % спричиняє конденсат, розвиток грибків, псування підстилки й респіраторні захворювання.

Надлишок CO₂ понад 0,25 % та аміаку понад 20 мг/м³ пригнічує імунітет, погіршує дихання та збільшує падіж, тому система мікроклімату має забезпечувати контроль температури і газового складу (рис. 1.1).

Рівномірність тепла є критичною. Якщо окремі зони погано прогриваються, молодняк скупчується біля джерел тепла, що спричиняє перезволоження підстилки, тисняву та затримку розвитку. У результаті середня жива маса може знижуватися на 5–10 %.



Рис. 1.1. Схема функціонування системи створення мікроклімату

У більшості господарств мікроклімат регулюється вручну або простими термостатами, що не враховують теплову інерційність, нерівномірність температури чи зміни вологості, що спричиняє нестабільні умови. Тому все більш актуальним є впровадження автоматизованих систем керування з адаптивними алгоритмами.

Сучасні системи в реальному часі контролюють температуру, вологість, CO₂, NH₃ та швидкість повітря, автоматично регулюючи роботу обігріву, вентиляції й зволоження. Це забезпечує стабільний мікроклімат і скорочує енергоспоживання, оскільки обладнання працює лише за потреби.

Формування оптимального мікроклімату поєднує біологічні, енергетичні та технологічні аспекти. Правильно підібрані системи обігріву й вентиляції покращують здоров'я та продуктивність птиці, зменшують витрати корму, скорочують період вирощування та підвищують рентабельність виробництва (див. рис. 1.2).

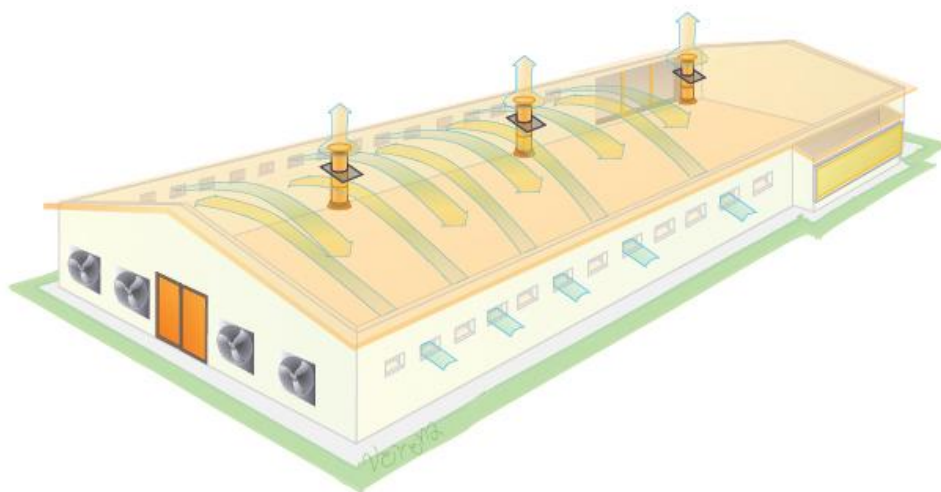


Рис. 1.2. Система вентиляції пташника

Таким чином, проблема створення ефективної системи мікроклімату є актуальною складовою розвитку сучасного птахівництва. Вона вимагає наукового підходу, точних теплотехнічних розрахунків і впровадження енергоефективних технологій, що поєднують теплові насоси, рекуперацію, автоматизацію та системи моніторингу. Саме це забезпечить раціональне використання енергоресурсів, високу продуктивність і екологічну безпеку виробництва.

1.2. Основні фактори, що впливають на мікроклімат

Параметри мікроклімату в пташниках формуються під впливом природних і технологічних чинників, які визначають тепловий баланс, якість повітря та продуктивність птиці. Для забезпечення оптимальних умов необхідно враховувати температуру, вологість, газовий склад, освітлення, шум та процеси тепло- і масообміну між птицею та середовищем.

Мікроклімат формується трьома групами факторів:

1. внутрішні — теплопродукція птиці, виділення вологи й газів, підстилка, щільність посадки, особливості обладнання;

2. зовнішні — температура та умови зовнішнього середовища, теплоізоляція будівлі, інфільтрація;
3. організаційно-технічні — режими опалення, вентиляції, зволоження, рекуперації та робота автоматизованих систем.

Основним джерелом тепла є сама птиця: її теплопродукція залежить від виду, віку та маси й становить у середньому 7–15 Вт/гол. Курчата продукують 2–3 Вт/гол., дорослі кури — 10–12 Вт/гол.

Сумарна кількість тепла, що виділяється поголів'ям, визначається за формулою:

$$Q_{\text{пт}} = N \cdot q_{\text{пт}}. \quad (1.1)$$

Де $Q_{\text{пт}}$ — загальне тепловиділення від поголів'я, Вт;

N — кількість птахів, гол.;

$q_{\text{пт}}$ — середня теплопродукція однієї голови, Вт/гол.

Ця тепла величина є важливою складовою позитивного теплового балансу пташника й у різні сезони може покривати 30–60 % потреби в теплі. При надмірній щільності посадки температура й вологість різко зростають, виникають зони застою та перегріву, тому система вентиляції повинна рівномірно видаляти надлишкове тепло й вологу без утворення протягів.

Будівельні конструкції — стіни, дах, підлога, вікна та ворота — є основними шляхами тепловтрат узимку. Їх величина залежить від різниці температур, площі поверхонь і коефіцієнта теплопередачі матеріалів. Для кожного елемента втрати визначають за формулою:

$$Q_{\text{ог}} = U \cdot A \cdot (T_{\text{в}} - T_{\text{з}}). \quad (1.2)$$

де $Q_{\text{ог}}$ — теплові втрати через конструкцію, Вт;

U — коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

A — площа поверхні, м²;

$T_{в}, T_{з}$ — температура внутрішнього та зовнішнього повітря, °С.

Чим нижчий коефіцієнт U , тим кращі теплоізоляційні властивості матеріалу. Для сучасних пташників рекомендовано значення U не вище 0,5–0,6 Вт/(м²·К). Недостатня теплоізоляція призводить не лише до перевитрат енергії, а й до утворення конденсату, зволоження підстилки та розвитку грибкової мікрофлори.

Вентиляція є важливою складовою мікроклімату, оскільки забезпечує видалення тепла, вологи, шкідливих газів та подачу свіжого повітря. Розрізняють природну, механічну та комбіновану вентиляцію. У пташниках найчастіше застосовують механічні системи з витяжними та припливними вентиляторами.

Необхідну кількість повітря для нормального складу атмосфери визначають за формулою:

$$V_{\text{вент}} = \frac{Q_{\text{над}}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T} \quad (1.3)$$

де $V_{\text{вент}}$ — об'єм повітрообміну, м³/с;

$Q_{\text{над}}$ — надлишкове тепло, що потрібно видалити, Вт;

ρ — густина повітря, кг/м³;

c_p — питома теплоємність повітря (1,0 кДж/(кг·К));

ΔT — допустима різниця температур між повітрям, що подається і видаляється, °С.

Надмірна вентиляція спричиняє тепловтрати та перевитрати енергії, тоді як недостатня — підвищує вологість і концентрацію шкідливих газів. Тому сучасні системи оснащують датчиками CO₂, NH₃, температури та вологості, що дозволяють автоматично регулювати роботу вентиляторів.

Ефективність вентиляції визначається конфігурацією повітропроводів, розташуванням дефлекторів і швидкістю подачі повітря. Надто висока швидкість (>1 м/с) створює протяги, а низька (<0,2 м/с) викликає застій. Оптимально — рівномірне регульоване розсіювання потоку по всьому приміщенню.

Вологість є критичним параметром мікроклімату. Показники понад 80 % сприяють розвитку мікроорганізмів, конденсату та тепловому стресу, тоді як менше 50 % — викликають пересихання слизових, запиленість і респіраторні ризики. Основні джерела вологи — дихання та випаровування птиці, підстилка, система зволоження, водопої та послід. Баланс вологи описується рівнянням:

$$W_{\text{вид}} = W_{\text{вил}} + W_{\text{нак}} \quad (1.4)$$

де $W_{\text{вид}}$ — кількість вологи, що виділяється в повітря, г/год;

$W_{\text{вил}}$ — кількість вологи, що видаляється вентиляцією, г/год;

$W_{\text{нак}}$ — волога, що накопичується в приміщенні (підстилка, стіни, стеля).

Для підтримання стабільної вологості $W_{\text{вид}}$ і $W_{\text{вил}}$ мають бути врівноважені. Це забезпечується регулюванням вентиляції та застосуванням осушувачів або зволожувачів залежно від сезону. На мікроклімат і поведінку птиці також впливає світловий режим, оскільки тривалість освітлення визначає обмін речовин і гормональну активність.

У промислових пташниках використовують програмовані LED-системи, що дозволяють змінювати інтенсивність та спектр світла. Оптимальна освітленість становить 10–20 лк для молодняка та 5–10 лк для дорослої птиці. Шум і вібрації від обладнання можуть викликати стрес, тому їх рівень має бути не вищим за 60–70 дБ.

1.3. Традиційні системи мікроклімату та їхні недоліки

До традиційних систем забезпечення мікроклімату в пташниках відносять опалювальні установки на основі спалювання викопного палива — природного газу, дизельного пального або зрідженого пропану. Такі системи використовуються в Україні десятиліттями завдяки простоті конструкції, відносно низькій вартості та швидкому запуску в роботу.

Найпоширенішим типом обладнання є газові або дизельні теплові гармати (теплогенератори) прямого або непрямого нагріву, які забезпечують подачу теплого повітря безпосередньо у приміщення пташника.

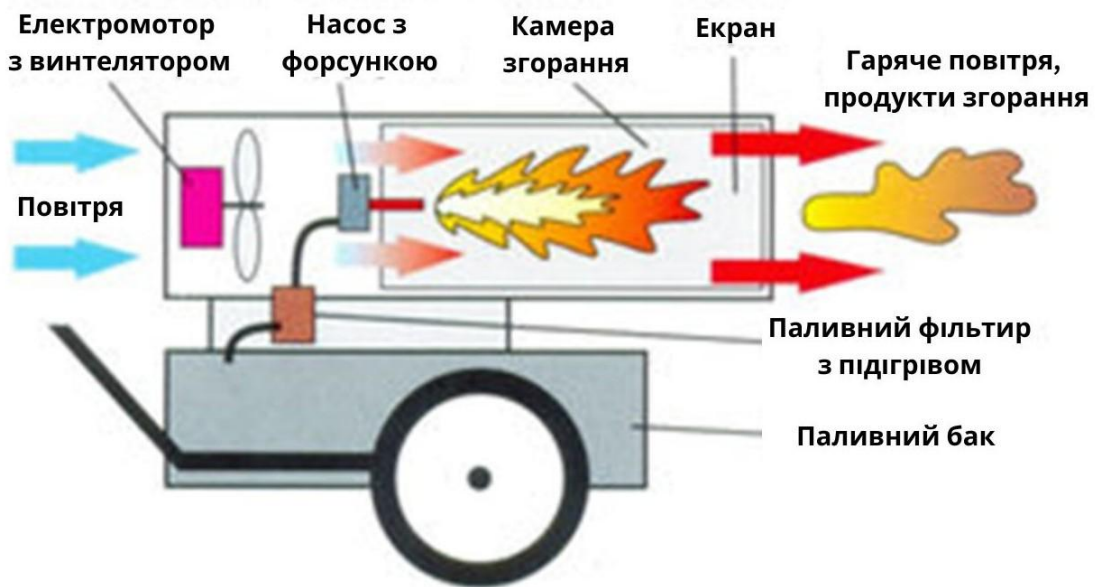


Рис. 1.3. Принцип роботи газової теплової пушки

Принцип дії теплової гармати (рис.1.3) базується на згорянні палива в камері згорання та передачі теплоти потоку повітря, який нагнітається вентилятором.

У системах прямого нагріву продукти згорання частково потрапляють у повітря, що подається в пташник, а у системах непрямого нагріву — вони відводяться димохідним каналом, і нагрів здійснюється через теплообмінник.

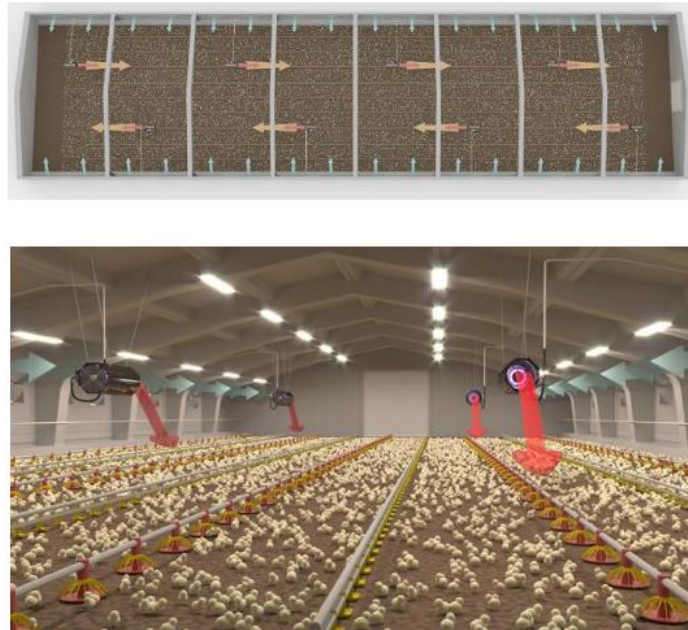


Рис. 1.4. - Циркуляція повітря з використанням газової гармати

Розрахункова теплова потужність теплогенератора визначається виразом:

$$Q_{\text{ТГ}} = B \cdot H_u \cdot \eta. \quad (1.5)$$

де $Q_{\text{ТГ}}$ — теплова потужність установки, Вт;

B — витрата палива, кг/год;

H_u — нижча теплота згоряння палива, кДж/кг;

η — коефіцієнт корисної дії теплогенератора.

Для пропану

$$H_u = 46,4 \text{ МДж/кг}. \quad (1.6)$$

Для дизельного пального

$$H_u = 42,5 \text{ МДж/кг}. \quad (1.7)$$

ККД сучасних установок становить 0,85–0,95.

Для аналізу розглянемо дві типові моделі теплогенераторів, що часто застосовуються у пташниках середньої площі — *Kroll P-43* і *Kroll P-80* (тбл.1.1)

Таблиця 1.1

Характеристики теплових гармат

Параметр	Kroll P-43	Kroll P-80
Теплова потужність, кВт	26,6–43	42,5–82,3
Тип палива	дизель / газ	дизель / газ
Витрата палива, кг/год	2,8–4,0	3,8–6,7
Повітряна продуктивність, м ³ /год	2 100–3 400	4 000–6 000
ККД, %	90–95	90–95
Електрична потужність вентилятора, кВт	0,35	0,45
Маса, кг	50	78

Теплові гармати Kroll P-43 і P-80 мобільні та швидко прогривають приміщення, тому їх застосовують як основні або резервні джерела тепла в пташниках площею 400–800 м². Проте їх експлуатація має суттєві недоліки: температура повітря на виході 60–80 °С різко падає до 20–25 °С у дальніх зонах, що спричиняє стратифікацію. Продукти згоряння містять водяну пару, яка підвищує вологість підстилки, а при ККД 95 % утворюється близько 2,3 кг CO₂ на 1 м³ палива. Взимку витрати дизпалива можуть сягати 30–40 л/добу на один пташник, що значно підвищує собівартість тепла.

Аналіз традиційних систем показує їх ключові обмеження: високу енергоємність, нестабільну температуру, тепловтрати через відсутність рекуперації, значні викиди CO₂ та NO_x, складність автоматизації й підвищені пожежні ризики через відкрите полум'я.

Зростання цін на енергоносії та екологічні вимоги роблять перехід до енергоощадних технологій необхідним. Використання теплових насосів, рекуператорів і автоматизованого керування дозволяє зменшити

енергоспоживання у 2–3 рази. Такі системи працюють від електроенергії, не мають відкритого полум'я, забезпечують рівномірне тепло й легко інтегруються в систему мікроклімату, підвищуючи ефективність теплопостачання пташників.

1.4. Сучасні напрями вдосконалення систем мікроклімату

Сучасне птахівництво орієнтоване на підвищення енергоефективності, автоматизацію та екологічну безпеку. Однією з ключових тенденцій є впровадження інтелектуальних систем керування мікрокліматом, які підтримують оптимальні параметри повітряного середовища з мінімальними енерговитратами.

Ефективність таких систем забезпечується поєднанням раціонального теплопостачання, ефективної вентиляції з рекуперацією та автоматизованого керування на базі IoT-технологій.

Перспективним напрямом є використання теплових насосів типів «повітря–повітря», «повітря–вода» та «ґрунт–вода». Їх робота ґрунтується на використанні низькопотенційного тепла довкілля, яке через компресійний цикл перетворюється на корисну теплоту для обігріву приміщення.

Основне рівняння енергетичного балансу теплового насоса має вигляд:

$$Q_{\text{кор}} = Q_{\text{зовн}} + W_{\text{ел}}. \quad (1.8)$$

де $Q_{\text{кор}}$ — кількість тепла, поданого у пташник, кВт;

$Q_{\text{зовн}}$ — теплова енергія, відібрана з довкілля;

$W_{\text{ел}}$ — електрична енергія, витрачена на компресор.

Коефіцієнт перетворення (COP) визначає ефективність ТН і розраховується як:

$$COP = \frac{Q_{\text{кор}}}{W_{\text{ел}}}. \quad (1.9)$$

Для сучасних систем COP = 3,0–4,5, тобто на кожен 1 кВт спожитої електроенергії отримується 3–4,5 кВт тепла.

У пташниках, де температура повітря підтримується в межах 16–20 °С, доцільно використовувати повітряні теплові насоси типу “повітря–повітря”, які одночасно можуть працювати в режимі охолодження влітку.

Використання ТН забезпечує:

- зменшення витрат енергії на 50–60 % порівняно з традиційними теплогенераторами;
- відсутність продуктів згоряння та шкідливих викидів;
- можливість повної автоматизації процесу керування температурою;
- стабільність параметрів мікроклімату протягом доби.

У пташниках з інтенсивною вентиляцією спостерігаються значні втрати тепла разом із витяжним повітрям. Для їх зменшення застосовують системи рекуперації теплоти, які дозволяють передавати частину теплової енергії від теплого повітря, що виходить, до холодного припливного потоку.

Ефективність рекуператора визначається коефіцієнтом рекуперації:

$$\eta_p = \frac{t_{\text{вих}} - t_{\text{зовн}}}{t_{\text{внутр}} - t_{\text{зовн}}} \cdot 100\%. \quad (1.10)$$

Сучасні пластинчасті й роторні рекуператори повертають 60–85 % тепла витяжного повітря, суттєво зменшуючи тепловтрати взимку. Поєднання теплових насосів із рекуперацією забезпечує 30–40 % економії тепла при температурах нижче –10 °С. Ентальпійні рекуператори додатково утримують частину вологи, що важливо для стабільності мікроклімату.

Автоматизація контролю температури, вологості та газів (CO₂, NH₃) є ключовою складовою сучасного птахівництва. Завдяки датчикам, контролерам та IoT-технологіям система оцінює параметри в реальному часі й керує обладнанням. Типова структура включає сенсори, контролер, виконавчі механізми (вентилятори, зволожувачі, обігрівачі) та модуль дистанційного

керування. Алгоритм працює за принципом зворотного зв'язку; у складніших системах застосовують PID- або нейромережеве керування. Це дає змогу знизити енергоспоживання на 20–30 %, стабілізувати мікроклімат, зберігати дані та здійснювати віддалене керування.

Перспективним напрямом є використання ВДЕ: сонячних панелей, біогазових установок і теплових колекторів. Комбінація теплового насоса з фотоелектричною станцією потужністю 15 кВт може покривати добове споживання середнього пташника (90–110 кВт·год при COP = 4,0). Біогазові системи на основі посліду генерують додаткову енергію.

Енергоефективність також залежить від якісної теплоізоляції. Використання сендвіч-панелей, енергозберігаючих вікон і профілів, що виключають термомости, знижує теплопередачу у 1,5–2 рази та зменшує навантаження на систему опалення.

Найбільш ефективною є інтегрована система, що поєднує:

- тепловий насос для опалення та охолодження;
- рекуператор для повернення тепла;
- IoT-систему з прогнозуючим регулюванням;
- сонячну електростанцію для живлення обладнання.

Такий комплекс дає змогу скоротити споживання енергії до 60 %, забезпечити стабільний мікроклімат без шкідливих викидів і з мінімальним втручанням персоналу.

Впровадження енергоефективних технологій у птахівництві — це стратегічний напрям розвитку аграрного сектору України. Використання теплових насосів, рекуператорів та IoT-рішень не тільки покращує мікроклімат, а й знижує витрати енергії, роблячи виробництво більш рентабельним і екологічним.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛООВОГО РОЗРАХУНКУ ПТАШНИКА

2.1. Тепловий баланс тваринницького приміщення для холодно періоду року

Енергію тепла, що виділяється птахами $Q_{пт}$ та нагрівальними пристроями $Q_{ел}$, умовно приймемо як теплову енергію від внутрішніх джерел $Q_{внутр}$, Вт.

$$Q_{внутр} = Q_{пт} + Q_{ел}. \quad (2.1)$$

У такому разі сума теплоти, що надходить від внутрішніх джерел $Q_{внутр}$ разом із енергією тепла, яку подає система опалення Q_o , повинна повністю компенсувати всі втрати теплової енергії, а саме:

- через огороджувальні конструкції пташника $Q_{огор}$;
- крізь неутеплену підлогу Q_n ;
- на підігрів вентиляційної повітряної маси Q_v ;
- на процес випаровування вологи $Q_{вип}$.

Підсумовуючи, обсяг необхідної теплової енергії, який має забезпечити система опалення Q_o , Вт, визначається за таким виразом:

$$Q_o = Q_{огор} + Q_n + Q_v + Q_{вип} - Q_{внутр}. \quad (2.2)$$

Теплові втрати через огороджувальні конструкції пташника визначаємо з урахуванням таких технічних параметрів будівлі:

- внутрішній об'єм приміщення для утримання птиці становить 5600 м³;
- площа стін, що виконують функцію огороджувальних конструкцій (разом із вікнами та дверима), дорівнює 360 м²;

– зовнішні несучі стіни – тришарові бетонні: внутрішня штукатурка завтовшки 2,5 см з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 0,930 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; бетонний шар завтовшки 25 см з $\lambda = 0,25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; зовнішня штукатурка завтовшки 2 см з $\lambda = 0,930 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

– перекриття пташника виконано у вигляді залізобетонної плити завтовшки $\delta_i = 0,035 \text{ м}$ з $\lambda = 1,630 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

– покрівля включає настил з дощок $\delta_i = 0,025 \text{ м}$ з $\lambda = 0,170 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, шар пароізоляції з рубероїду $\delta_i = 0,0015 \text{ м}$ з $\lambda = 0,170 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, а також теплоізоляційний шар з мінеральної вати $\delta_i = 0,140 \text{ м}$ з $\lambda = 0,070 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

– підлога виконана з керамзитобетону завтовшки 0,150 м;

– встановлено двоє дерев'яних дверей загальною площею 6 м² кожні;

– віконні блоки з подвійним склінням у спарених дерев'яних рамах, площа одного блоку 1,5 м², загальна кількість – 60 штук.

Втрати теплової енергії $Q_{огор}$ крізь окремі огорожувальні елементи будівлі визначаємо за таким розрахунковим виразом:

$$Q_{огор} = \frac{F_i}{R_i} \cdot (t_e - t_z) \cdot (1 + \beta) \cdot n \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (2.3.)$$

де: F_i – площа поверхні огорожуючої конструкції, м²;

R_i – термічний опір конструкції, (м² · К)/Вт (Л.2, додаток 1.5);

n – коефіцієнт, який залежить від положення зовнішньої поверхні огорожуючої конструкції по відношенню до зовнішнього повітря (Л.2, додаток 1.3);

β - додаткові теплові втрати (для одно- та двоповерхових будівель $\beta = 0,2$, а для вищих поверхів – $\beta = 0,1$).

Термічний опір огорожувальної конструкції R_i для кожного окремого елемента споруди обчислюємо за таким виразом:

$$R_i = R_g + \sum R_\lambda + R_{n.n.} + R_z, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}, \quad (2.4.)$$

де: R_B та R_3 – термічні опори тепловіддачі від зовнішньої та до внутрішньої поверхонь конструкції, $(m^2 \cdot K)/Вт$ (див. вище);

ΣR_λ – сума термічних опорів окремих шарів огороження, які визначаються з довідників (Л.2, додаток 1.5);

$R_{п.п.}$ – термічний опір замкненого повітряного прошарку (Л.2, додаток 1.4);

n – поправочний коефіцієнт на розрахункову різницю температур (визначається довідника Л.2, додаток 1.3).

Термічний опір будівельних елементів R_i , через які відбуваються втрати теплової енергії, визначається окремо для кожної конструкції:

Бетонної стіни:

$$R_c = 0.25 / 0.035 = 7.14 \left(\frac{m^2 \cdot K}{Вт} \right); \quad (2.5)$$

Вікон:

$$R_B = 0.052 \left(\frac{m^2 \cdot K}{Вт} \right); \quad (2.6)$$

Дверей та воріт:

$$R_d = 0.34 \left(\frac{m^2 \cdot K}{Вт} \right). \quad (2.7)$$

Отже, проектні втрати теплової енергії крізь окремі огороджувальні елементи будівлі в холодний період року дорівнюватимуть: через зовнішні несучі стіни:

$$Q_{огор1} = (1/7,14) * 228 * (16 - (-22)) = 1,213(\kappa Bm); \quad (2.8)$$

▶ через віконні блоки:

$$Q_{огор2} = (1/0.052) * 60 * (16 - (-22)) = 43.8(\kappa Bm); \quad (2.9)$$

▶ через двері :

$$Q_{огор3} = (1/0.34) * 12 * (16 - (-22)) = 1,341(\kappa Bm). \quad (2.10)$$

▶ через стелю :

$$Q_{огор4} = (1/2.16) * 1400 * (16 - (-22)) = 24.6(\kappa Bm). \quad (2.11)$$

Загальні втрати теплоти дорівнюватимуть:

$$\Sigma Q_{огор} = Q_{огор1} + Q_{огор2} + Q_{огор3} + Q_{огор4} = 1,213 + 43.8 + 1,341 + 24,6 = 70,954(\kappa Bm). \quad (2.12.)$$

Відповідно, обчислені втрати теплової енергії через окремі огороджувальні конструкції в зимовий період експлуатації матимуть такі значення: через зовнішні несучі стіни:

$$Q_{огор1} = (1/10) * 228 * (28 - 24) = 0,091(\kappa Bm); \quad (2.13)$$

▶ через віконні блоки:

$$Q_{огор2} = (1/0.052) * 60 * (28 - 24) = 4,6(\kappa Bm); \quad (2.14)$$

▶ через двері :

$$Q_{огор3} = (1/0.34) * 12 * (28 - 24) = 0,14(\kappa Bm). \quad (2.15)$$

▶ через стелю :

$$Q_{огор4} = (1/2.16) * 1400 * (28 - 24) = 2,6(\kappa Bm). \quad (2.16)$$

Сумарні втрати теплоти дорівнюватимуть:

$$\Sigma Q_{огор} = Q_{огор1} + Q_{огор2} + Q_{огор3} + Q_{огор4} = 0,091 + 4,6 + 0,14 + 2,6 = 7,43(\kappa Bm). \quad (2.17)$$

Втрати теплової енергії через неутеплену підлогу визначаються по зонах завширшки 2м, розташованих паралельно до зовнішніх стін. Загальний обсяг теплових втрат через підлогу Q_n обчислюємо за таким виразом:

$$Q_n = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_i} (t_g - t_s) \cdot 10^{-3}, \kappa Bm, \quad (2.18.)$$

де: F_i – площа однієї зони, m^2 ;

R_i – опір теплопередачі відповідних зон, $(m^2 \cdot K)/Bt$ (Л.2, с. 8):

для першої зони $R = 2,15 (m^2 \cdot K)/Bt$;

для другої – $R = 4,3 (m^2 \cdot K)/Bt$;

для третьої – $R = 8,6 (m^2 \cdot K)/Bt$;

для решти підлоги – $R = 14,2 (m^2 \cdot K)/Bt$;

n – кількість зон, шт.

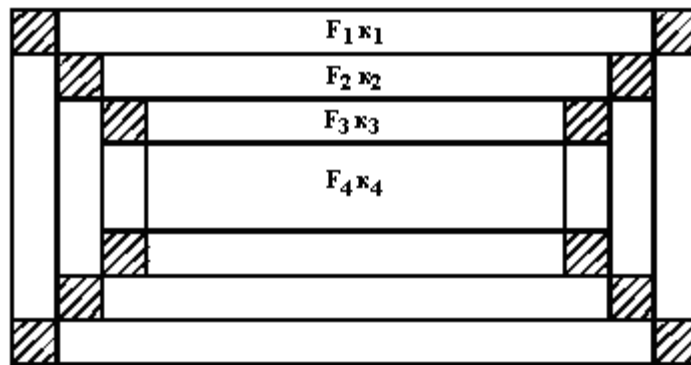


Рис. 2.1. Розподіл площі приміщення на зони.

Отже, для одноповерхової будівлі тваринницького комплексу в зимовий період експлуатації отримуємо такі результати:

$$Q_{\text{п}} = \sum \left(\frac{632}{2,4} + \frac{312}{4,6} + \frac{280}{8,9} + \frac{176}{14,5} \right) (16 - (-22)) \cdot 10^{-3} = 14,2 (\text{кВт}). \quad (2.19.)$$

Підсумовуючи, для одноповерхового тваринницького приміщення в холодний сезон розрахункові показники мають такий вигляд:

$$Q_{\text{п}} = \sum \left(\frac{632}{2,4} + \frac{312}{4,6} + \frac{280}{8,9} + \frac{176}{14,5} \right) (28 - 24) \cdot 10^{-3} = 1,5 (\text{кВт}). \quad (2.20)$$

У зимовий період повітряну масу, що подається системою вентиляції, потрібно попередньо нагріти до температури всередині приміщення. Обсяг теплової енергії, необхідний для цього підігріву, обчислюється за таким виразом:

$$Q_{\text{в}} = 0,278 \cdot L_{\text{в.макс}} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot 10^{-3}, \text{кВт}, \quad (2.21.)$$

де: $L_{\text{в.макс}}$ – максимальні витрати вентиляційного повітря, $\text{м}^3/\text{год.}$;

C_p – питома теплоємність повітря, $C_p = 1,0 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

Максимальні витрати вентиляційного повітря визначаємо за формулою:

$$L_{в.мах} = n_n \cdot L_в, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (2.22.)$$

де: n_n – поправочний коефіцієнт на підсмоктування повітря в повітропровід,

$$n_n = 1,15;$$

$L_в$ – розрахунковий повітрообмін для холодного періоду, $L_в = 5600 \cdot 10 \text{ м}^3 / \text{год}$. (взято з попередніх розрахунків, як найбільше з отриманих).

$$L_{в.мах} = 1,15 \cdot 87665 = 100815 (\text{м}^3 / \text{год}). \quad (2.23.)$$

Підставивши отримане значення у вираз (2.5.6), одержуємо наступний результат:

$$Q_в = 0,278 \cdot 100815 \cdot 1,177 \cdot 1,0 \cdot (16 - (-22)) \cdot 10^{-3} = 1253,5 (\text{кВт}). \quad (2.24.)$$

Тепловий потік на випаровування вологи з відкритих та змочених поверхонь визначаємо за формулою:

$$Q_{вип} = 0,69 \cdot W \cdot 10^{-3} = 0,69 \cdot 877042 \cdot 10^{-3} = 605,2 (\text{кВт}), \quad (2.25.)$$

де W – сумарні виділення вологи всередині приміщення, $W = 877042 \text{ г/год}$.

Втрати теплової енергії будівлі, пов'язані з підігрівом інфільтрованого повітря $Q_{інф}$, згідно з нормами проектування тваринницьких приміщень, доцільно приймати на рівні 25% від загальних втрат теплоти через огорожувальні конструкції, тобто:

$$Q_{інф} = 0,25 \cdot Q_{огор} = 0,25 \cdot 70,954 = 14,74 (\text{кВт}). \quad (2.26.)$$

Для подальших інженерних розрахунків доцільно прийняти більше з отриманих значень Q_B та $Q_{\text{інф}}$.

Оскільки Q_B є максимальним, у подальших обчисленнях використовуємо $Q_B = 1253,5 \text{ кВт}$. Теплові надходження від птиці $Q_{\text{пт}}$, в холодний період року обумовлені вільними тепловиділеннями і визначаємо за формулою:

$$Q_{nm} = q_i \cdot n \cdot m \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (2.27.)$$

де: q_i – виділення теплоти 1 кг живої ваги птиці, $q_i = 5,98 \text{ Вт}$;

n - кількість птиці, гол;

m – жива вага птиці, кг.

$$Q_{\text{пт}} = 5,98 \cdot 48000 \cdot 2,2 \cdot 10^{-3} = 631,5 (\text{кВт}). \quad (2.28.)$$

Тепловий приплив, що утворюється внаслідок роботи електричного освітлення $Q_{\text{осв}}$, обчислюємо за таким виразом:

$$Q_{\text{осв}} = J \cdot F \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 1400 \cdot 10^{-3} = 7 (\text{кВт}), \quad (2.29.)$$

де: J - розрахункова питома потужність, $J = 5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

F - площа пташника, м^2 .

Підставивши отримані розрахункові дані у відповідний вираз, обчислюємо необхідну теплову потужність опалювальної та вентиляційної системи:

$$Q_{\text{ов}} = 7,9 + 14,2 + 1253,5 + 605,2 - 631,5 - 7 = 1242,3 (\text{кВт}). \quad (2.30.)$$

Для забезпечення необхідного рівня обігріву приміщення приймаємо до використання шістнадцять газових теплових гармат типу Kroll P-80, основні технічні параметри яких наведені в таблиці 1.

Запропонована схема підтримання оптимального мікроклімату в птахівничих приміщеннях із застосуванням теплообмінників та використанням води зі свердловини як холодоагента у зимовий період дає змогу частково підігрівати припливне повітря. Теплообмінні апарати модернізованої конструкції забезпечують нагрівання припливного повітря з -20 до $+7$ °С.

У такому разі кількість теплоти, витраченої на додатковий підігрів припливного повітря, становить:

$$Q_{\text{в}} = 0,278 \cdot 100815 \cdot 1,177 \cdot 1,0 \cdot (16 - 7) \cdot 10^{-3} = 296,8(\text{кВт}). \quad (2.31.)$$

Визначаємо необхідну теплову потужність опалювальної системи з урахуванням використання теплообмінних апаратів:

$$Q_{\text{ов}} = 7,9 + 14,2 + 296,8 + 605,2 - 631,5 - 7 = 285,6(\text{кВт}). \quad (2.32.)$$

Отже, для забезпечення догріву повітря до заданої сталої температури приймаємо до встановлення сім газових теплових гармат типу Kroll P43.(рис.2.2)



Рис. 2.2. А – схема роботи теплової гармати Kroll P-43; Б – зовнішній вигляд теплової гармати Kroll P-43

Таблиця 2.1

Технічні характеристики теплових пушок Kroll P-43 та P-80

Тип	Теплова потужність, кВт	Розхід газу Пропан, кг/год	Діаметр вхідної газової труби	Продуктивність м ³ /год	Контроль за розходом газу	Електрична потужність, кВт	Тиск газу, бар	Маса, кг	ККД, %
P-43	26.6-43	2.1 -3.43	Rp3/4"	860	Мікросхема	0,09	0,3-2,0	13	100
P-80	42,5-82,3	3,95 - 6,48	Rp3/4"	2450	Мікросхема	1,156	0,5-1,5	24	100

2.2. Визначення необхідного повітрообміну для холодного періоду року

Обсяг припливної повітряної маси визначається на основі розрахунку розведення вуглекислого газу до допустимого рівня концентрації та досягнення гранично допустимого вмісту водяної пари.

За таких умов забезпечується також часткове поглинання інших шкідливих речовин — аміаку, сірководню, пилу, які виділяються у приміщенні в значно менших кількостях.[3]

Кількість припливного повітря L_{CO_2} , необхідного для зниження концентрації вуглекислоти, визначаємо за наступним виразом:

$$L_{CO_2} = \frac{K_{CO_2} \cdot C_1 \cdot n \cdot p}{C_1 - C_2}, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (2.33.)$$

де: K_{CO_2} – температурний коефіцієнт виділень CO_2 (визначається з довідника Л.2, додатку 4.4), $K_{CO_2} = 1$;

C_1 – кількість вуглекислоти, що виділяється однією птицею даного виду (Л.2, додаток 4.3), $C_1 = 1,23$ л/год.;

n – кількість птиці даного виду в приміщенні, гол;

p – жива маса однієї птиці (Л.2, додаток 4.3), $p = 2.2$ кг;

C_1 - гранично допустима концентрація CO₂ в повітрі приміщення (Л.2, додаток 4.3), $C_1 = 2,5$ л/м³;

C_2 - концентрація CO₂ в зовнішньому повітрі, приймається в межах 0,3...0,4 л/м³.

$$L_{CO_2} = \frac{1,1,23 \cdot 48000 \cdot 2.2}{2,5 - 0,3} = 59040 (\text{м}^3 / \text{год}). \quad (2.34.)$$

Обсяг припливного повітря L_w , необхідний для розведення та видалення надлишкової водяної пари, обчислюємо за таким виразом:

$$L_w = \frac{W}{(d_{вн} - d_{зн}) \cdot \rho}, \text{м}^3 / \text{год}, \quad (2.35.)$$

де: W – сумарні вологовиділення в приміщенні, г/год.;

$d_{вн}$ – вологовміст внутрішнього повітря, г/кг;

$d_{зн}$ – вологовміст зовнішнього повітря, г/кг;

ρ – густина повітря при температурі приміщення. кг/м³.

$$\rho = \frac{346}{273 + 17} \cdot \frac{98}{99.3} = 1.177 \quad (2.36.)$$

Загальну кількість вологи, що виділяється в пташнику, визначаємо за таким розрахунковим виразом:

$$W = W_{пт} + W_{м.п.} + W_{нос}, \text{г} / \text{год}, \quad (2.37.)$$

де: $W_{пт}$ – вологовиділення птахами, г/год.;

$W_{м.п.}$ – вологовиділення всередині приміщення з відкритих та змочених поверхонь, г/год.;

$W_{\text{пос}}$ - волога, що випаровується в пташнику з посліду, г/год.

Вологовиділення птахами визначаємо за формулою:

$$W_{nm} = K_w \cdot W_i \cdot n_i \cdot p, \text{ г/год}, \quad (2.38.)$$

де: K_w – температурний коефіцієнт виділення вологи (Л.2, додаток 4.3),

$K_w = 1$;

W_i – виділення вологи однією птицею (Л.2, додаток 4.3), $W_i = 4,5$ г/год.

$W_{\text{пт}} = 1 \cdot 4,5 \cdot 48000 \cdot 2,2 = 475200$ (г/год).

Виділення вологи всередині приміщення з відкритих або зволжених поверхонь обчислюємо за таким виразом:

$$W_{\text{м.п.}} = 0,1 \cdot W_{nm} = 0,1 \cdot 475200 = 47520 \text{ (г/год)}. \quad (2.39.)$$

Кількість вологи, яка випаровується з посліду в межах пташника, визначаємо за таким розрахунковим виразом:

$$W_{\text{пос}} = \frac{0,7 \cdot P_{\text{пос}} \cdot n_i}{24}, \text{ г/год}, \quad (2.40.)$$

де: $0,7$ – коефіцієнт усушки посліду;

$P_{\text{пос}}$ – середньодобовий вихід посліду від однієї птиці (Л.2, додаток 4.3), г/доб; $P_{\text{пос}} = 175$ г/доб.

$$W_{\text{пос}} = \frac{0,7 \cdot 175 \cdot 48000}{24} = 245000 \text{ (г/год)}. \quad (2.41.)$$

У такому разі загальний обсяг волого виділень у пташнику дорівнюватиме:

$$W = 475200 + 47520 + 245000 = 767720 \text{ (г/год)}. \quad (2.42.)$$

Підставивши отримане розрахункове значення у вираз, одержуємо наступний результат:

$$L_w = \frac{767720}{(9-0,5) \cdot 1,177} = 76737,5 (\text{м}^3 / \text{год}). \quad (2.43.)$$

Витрати вентиляційної повітряної маси відповідно до нормативів мінімального повітрообміну обчислюємо за таким виразом:

$$L_B = l \cdot n = 1,1 \cdot 48000 = 52800 (\text{м}^3 / \text{год}), \quad (2.44.)$$

де: l – норми мінімального повітрообміну на одну птицю для холодного періоду, $l = 1,1$ м³/год;

Із трьох отриманих розрахункових значень витрат вентиляційної повітряної маси до подальших обчислень приймаємо найбільше:

$$L_B = 76737,5 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (2.45.)$$

2.3. Визначення необхідного повітрообміну для теплового періоду року

Обсяг припливного повітря визначається на основі розрахунку зниження концентрації вуглекислого газу до допустимого рівня та досягнення гранично припустимого вмісту водяної пари.

За таких умов одночасно забезпечується часткове поглинання інших шкідливих речовин — аміаку, сірководню та пилу, які утворюються у приміщенні у значно менших кількостях.

Кількість припливного повітря L_{CO_2} , необхідного для зменшення концентрації вуглекислоти, обчислюємо за наступним виразом:

$$L_{CO_2} = \frac{K_{CO_2} \cdot C_1 \cdot n \cdot p}{C_1 - C_2}, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (2.46.)$$

де: K_{CO_2} – температурний коефіцієнт виділень CO_2 (визначається з довідника Л.2, додатку 4.4), $K_{CO_2} = 1,2$;

C_1 – кількість вуглекислоти, що виділяється однією птицею даного виду (Л.2, додаток 4.3), $C_1 = 1,23$ л/год.;

n_i – кількість птиці даного виду в приміщенні, гол;

p – жива маса однієї птиці (Л.2, додаток 4.3), $p = 2$ кг;

C_1 - гранично допустима концентрація CO_2 в повітрі приміщення (Л.2, додаток 4.3), $C_1 = 2,5$ л/м³;

C_2 - концентрація CO_2 в зовнішньому повітрі, приймається в межах 0,3...0,4 л/м³.

$$L_{CO_2} = \frac{1,2 \cdot 1,23 \cdot 48000 \cdot 2,2}{2,5 - 0,3} = 70848 (\text{м}^3 / \text{год}). \quad (2.47)$$

Обсяг припливного повітря L_w , потрібний для розведення та видалення надлишкової водяної пари, визначаємо за таким розрахунковим виразом:

$$L_w = \frac{W}{(d_{вн} - d_{зн}) \cdot \rho}, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (2.48.)$$

де: W – сумарні вологовиділення в приміщенні, г/год.;

$d_{вн}$ – вологовміст внутрішнього повітря, г/кг;

$d_{зн}$ – вологовміст зовнішнього повітря, г/кг;

ρ – густина повітря при температурі приміщення. кг/м³.

$$\rho = \frac{346}{273 + 17} \cdot \frac{98}{99,3} = 1,177 \quad (2.49.)$$

Загальне виділення води в пташнику обчислюємо за таким розрахунковим виразом:

$$W = W_{nm} + W_{m.п.} + W_{noc}, \text{ г/год}, \quad (2.50.)$$

де: $W_{пт}$ – вологовиділення птахами, г/год.;

$W_{m.п.}$ – вологовиділення всередині приміщення з відкритих та змочених поверхонь, г/год.;

W_{noc} - волога, що випаровується в пташнику з посліду, г/год.

Кількість вологи, що виділяється птахами, визначаємо за таким виразом:

$$W_{nm} = K_w \cdot W_i \cdot n_i \cdot p, \text{ г/год}, \quad (2.51.)$$

де: K_w – температурний коефіцієнт виділення вологи (Л.2, додаток 4.3),

$K_w = 1$;

W_i – виділення вологи однією птицею (Л.2, додаток 4.3), $W_i = 4,5$ г/год.

$$W_{пт} = 1 \cdot 4,5 \cdot 48000 \cdot 2,2 = 324000 \text{ (г/год)}. \quad (2.52.)$$

Виділення вологи з відкритих або зволжених поверхонь усередині приміщення обчислюємо за таким виразом:

$$W_{m.п.} = 0,1 \cdot W_{nm} = 0,1 \cdot 324000 = 32400 \text{ (г/год)}. \quad (2.53.)$$

Кількість вологи, що випаровується з посліду в межах пташника, визначається за таким розрахунковим виразом:

$$W_{noc} = \frac{0,7 \cdot P_{noc} \cdot n_i}{24}, \text{ г/год}, \quad (2.54.)$$

де: 0,7 – коефіцієнт усушки посліду;

P_{noc} – середньодобовий вихід посліду від однієї птиці г/доб; $P_{noc} = 175$ г/доб.

$$W_{\text{пос}} = \frac{0,7 \cdot 175 \cdot 48000}{24} = 245000 (\text{г} / \text{год}). \quad (2.55.)$$

Таким чином, загальний обсяг виділеної вологи в межах пташника становитиме:

$$W = 324000 + 32400 + 245000 = 601400 (\text{г} / \text{год}). \quad (2.56.)$$

Підставивши отримане розрахункове значення у вираз одержуємо такий результат:

$$L_w = \frac{601400}{(9,5 - 1) \cdot 1,177} = 60113 (\text{м}^3 / \text{год}). \quad (2.57.)$$

Годинний обсяг витяжного повітря, потрібний для відведення надлишкової теплової енергії, обчислюють за таким розрахунковим виразом:

$$L_T = \frac{(Q_{\text{ТВ}} - Q_{\text{ОГ}}) \cdot (1 + \alpha \cdot t_{\text{В}})}{C_p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{З}})} \quad (2.58.)$$

де $Q_{\text{ТВ}}$ - тепловий потік вільної теплоти з тварин,

$Q_{\text{ОГ}}$ - втрати теплоти через зовнішні огорожі,

$t_{\text{В}}$ - внутрішня температура приміщення,

$t_{\text{З}}$ - зовнішня температура ,

α - температурний коефіцієнт розширення повітря,

$C_p = 1,005$ кДж/кгК (теплоємність повітря).

$$L_T = \frac{(631500 - 7430) \cdot (1 + 0,003 \cdot 28)}{1,005 \cdot (28 - 24)} = 168282 (\text{м}^3 / \text{год}) \quad (2.59.)$$

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія для газоподібного середовища визначаємо за таким виразом:

$$\alpha = \frac{1}{273+t_B} \quad (2.60.)$$

$$\alpha = \frac{1}{273+28} = 0,003 \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)} \quad (2.61.)$$

Необхідний повітрообмін L у теплий період року приймаємо рівним L_T :

$$L_T = 168282 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.62.)$$

Обчислюємо необхідну подачу вентиляторів:

$$L_\phi = 1,1 \cdot 168282 = 185110 \text{ (м}^3/\text{год)} \quad (2.63.)$$

Кількість вентиляторів визначають із умови, що продуктивність одного вентиляційного агрегата становить

$$L_{\text{вент}} = 40000 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2.64.)$$

$$n_{\text{vent}} = \frac{L_{\text{sum}}}{L_{\text{vent}}} = \frac{185110}{40000} = 4,6 \text{ (шт)} \quad (2.65.)$$

Приймаємо кількість вентиляторів 5 шт.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА МІКРОКЛІМАТУ ПТАШНИКА

3.1. Загальні підходи до модернізації системи теплопостачання пташника

Модернізація систем теплопостачання пташника є комплексним інженерним процесом, спрямованим на оптимізацію опалення відповідно до вимог енергоефективності, екологічності та стабільного мікроклімату. У промисловому птахівництві параметри внутрішнього середовища визначають продуктивність, конверсію корму та біобезпеку, тому традиційні системи опалення потребують оновлення.

Зміни умов утримання, збільшення щільності посадки та нові кроси вимагають точного контролю температури, вологості та концентрацій CO_2 і NH_3 [4]. Без сучасної автоматики виникають тепловтрати, нерівномірність температури та перевантаження джерел тепла.

Ключовим напрямом модернізації є інтеграція опалення, вентиляції, рекуперації та осушення в єдину систему. Перспективним є використання теплових насосів повітря–повітря та повітря–вода, що знижують енергоспоживання у 2–3 рази порівняно з дизельними чи газовими установками. Рекуператори повертають до 60–80 % тепла витяжного повітря.

Оптимізація вентиляції запобігає накопиченню газів і надмірним тепловтратам. Інтелектуальні системи адаптують повітрообмін до реальних умов, зберігаючи баланс між енерговитратами та мікрокліматом.

Модернізована система має працювати під керуванням контролера, що аналізує температуру, вологість, CO_2 , NH_3 і регулює роботу теплових насосів, вентиляторів і рекуператорів. Використання обладнання з високим COP дає змогу скоротити викиди продуктів згоряння та споживання палива, відповідаючи європейським вимогам.

Модернізація забезпечує підвищення продуктивності птиці, зменшення падежу, покращення конверсії корму та зниження витрат. Суть змін — перехід від простого покриття тепловтрат до керованого розподілу тепла за реальними потребами птиці й умовами зовнішнього середовища.

Інтеграція опалення й вентиляції дозволяє розглядати пташник як єдину термодинамічну систему. Рекуператори, змішувальні камери та автоматичний розподіл повітря значно зменшують тепловтрати. Теплові насоси як основне джерело тепла знижують споживання енергії та CO₂-викиди [5].

Сучасні системи автоматично коригують параметри залежно від віку птиці, пори року й вентиляції. Контроль вологості критично важливий, адже її підвищення взимку збільшує тепловтрати та сприяє хворобам. Автоматизація забезпечує стабільний мікроклімат у режимі реального часу, що раніше виконувалося вручну.

Ще одним важливим напрямом є зменшення тепловтрат через огороджувальні конструкції. До 30–40 % тепла втрачається через неутеплені стіни, покрівлю та нещільності, тому модернізація передбачає утеплення, герметизацію та мінімізацію неконтрольованої інфільтрації.

Основні принципи модернізації систем теплопостачання включають:

- оптимізацію теплового балансу з урахуванням реальних тепловиділень;
- використання низькопотенційних джерел енергії;
- рекуперацію тепла вентиляційних потоків;
- підвищення енергоефективності огороджувальних конструкцій;
- інтелектуальне регулювання мікроклімату;
- автоматизацію підтримання температури, вологості й газового складу;
- скорочення залежності від традиційних палив і тарифів.

Упровадження цих заходів формує адаптивну, економічно доцільну та технологічно ефективну систему теплопостачання, яка забезпечує стабільний мікроклімат і підвищує продуктивність та життєздатність птиці протягом усього циклу вирощування.

3.2. Впровадження теплових насосів у систему теплопостачання

Сучасне птахівництво вимагає енергоефективних і екологічно безпечних технологій опалення. Одним із ключових рішень є теплові насоси, ефективність яких значно перевищує газові та дизельні системи. Використовуючи низькопотенційне тепло повітря, ґрунту або води, вони передають його споживачу з мінімальними витратами електроенергії, що робить їх основою модернізації теплопостачання пташників.

Принцип роботи теплового насоса ґрунтується на циркуляції холодоагенту, який відбирає тепло з навколишнього середовища та переносить його в приміщення. На 1 кВт електроенергії система може забезпечити 3–4 кВт тепла, що істотно знижує витрати на опалення. Теплові насоси підтримують рівномірний температурний режим незалежно від погоди [6].

Вони легко поєднуються з вентиляцією та рекуператорами, які повертають до 60–70 % тепла витяжного повітря, зменшуючи навантаження на систему.

Важливою перевагою є універсальність: взимку тепловий насос обігриває, а влітку — охолоджує приміщення, замінюючи окремі системи кондиціонування. Оскільки теплові насоси не утворюють CO_2 і NO_x , вони покращують якість повітря та зменшують екологічний вплив, відповідаючи вимогам переходу на ВДЕ.

Висока автоматизація дозволяє керувати системою за даними датчиків температури, вологості, CO_2 , NH_3 , забезпечуючи стабільний мікроклімат і мінімізацію теплових втрат. Це підвищує надійність системи та зменшує вплив людського фактору.

Отже, впровадження теплових насосів у пташниках дозволяє значно підвищити енергоефективність, стабільність мікроклімату та знизити витрати на опалення. У поєднанні з рекуперацією та автоматизованим керуванням це формує інтегровану систему теплопостачання, що відповідає вимогам сучасного птахівництва.

Тепловий насос переносить енергію з низькопотенційних джерел (повітря, ґрунт, вода), працюючи за циклом Карно: холодоагент випаровується при низькому тиску, потім стискається компресором і конденсується, віддаючи тепло. Це дозволяє отримати 3–5 одиниць тепла з 1 одиниці електроенергії, забезпечуючи високий коефіцієнт перетворення й економічну ефективність.

Ефективність роботи теплового насоса оцінюється коефіцієнтом перетворення (COP):

$$\text{COP} = Q_{\text{тепло}} / W_{\text{ел}} \quad (3.1)$$

де $Q_{\text{тепло}}$ — теплова енергія, що подається у пташник;

$W_{\text{ел}}$ — споживана електрична потужність.

Для сучасних теплових насосів $\text{COP} = 3,0\text{--}4,5$ за температури зовнішнього повітря $+2\dots+7$ °С. Це означає, що на кожен 1 кВт електроенергії генерується 3–4,5 кВт тепла — показник, недосяжний для будь-якого іншого виду теплогенераторів.

Умови роботи теплових насосів у пташниках є специфічними, оскільки характеризуються коливаннями вологості, значними внутрішніми тепловиділеннями, високою тепловою інерційністю будівлі та потребою стабільного теплопостачання при інтенсивній вентиляції. Тому вибір типу теплового насоса має враховувати клімат, доступність джерел тепла та економічну доцільність. На рішення впливають температура зовнішнього середовища, характеристики будівлі та фінансова ефективність [7].

Різні види теплових насосів мають свої переваги й обмеження. Найпоширенішими є системи «повітря–повітря», що використовують зовнішнє повітря як джерело тепла. Вони прості в монтажі й швидко реагують на зміну навантаження, але втрачають ефективність за низьких температур, хоча інверторні моделі можуть працювати до $-15\dots-20$ °С.

Теплові насоси «повітря–вода» нагрівають теплоносії і сумісні з водяними калориферами, фанкойлами чи буферними ємностями. Вони менш чутливі до вологості, але також знижують ефективність під час морозів.

Найефективнішими є системи «грунт–вода», що використовують стабільну температуру ґрунту або геотермальних свердловин. Вони забезпечують високий COP протягом року, але потребують значних капітальних вкладень [8], тому доцільні переважно для великих ферм.

Системи «вода–вода» мають найвищу ефективність, проте вимагають наявності водних ресурсів і екологічних погоджень. Усі типи насосів забезпечують у 3–4 рази більше тепла, ніж споживають електроенергії, і не створюють продуктів згоряння. Для умов України найкращим варіантом є інверторний тепловий насос «повітря–вода», який стабільно працює при низьких температурах, має плавне регулювання потужності та легко інтегрується з автоматизацією й рекуперацією.

Відповідною моделлю є Daikin Altherma 3 H HT (рис. 3.1).

Це високопродуктивний інверторний агрегат номінальною потужністю 16 кВт з можливістю каскадного під'єднання до 64–80 кВт і більше, що забезпечує тепловий баланс пташника середнього та великого розміру.

Тепловий насос зберігає стабільний коефіцієнт перетворення при низьких температурах, демонструючи $COP \approx 3,3$ при $+7\text{ }^\circ\text{C} / 35\text{ }^\circ\text{C}$ та $COP \approx 2,4$ при $-7\text{ }^\circ\text{C} / 35\text{ }^\circ\text{C}$, що є високими показниками для повітряних систем. Робота агрегату можлива навіть за температури зовнішнього повітря до $-25\text{ }^\circ\text{C}$, що дозволяє забезпечувати безперервне опалення протягом усього зимового періоду.

Daikin Altherma 3HNTF функціонує на холодильному агенті R32, який забезпечує ефективніший теплообмін і менший вплив на довкілля. Діапазон температур подачі теплоносія сягає $65\text{ }^\circ\text{C}$, що дає змогу використовувати систему в поєднанні як з водяними калориферами, так і з високотемпературними системами нагріву. Інверторний компресор дозволяє точно регулювати продуктивність, зменшуючи споживання електроенергії та забезпечуючи плавність роботи без різких коливань температури повітря в пташнику.



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд Daikin Altherma ЗННТФ

Використання теплового насоса **Daikin Altherma ЗННТФ** забезпечує стабільну роботу системи тепlopостачання навіть при високій вентиляції та значно підвищує енергоефективність завдяки рекуперації. Система гарантує рівномірний обігрів, безпечну експлуатацію, низькі витрати та повну автоматизацію мікроклімату.

Daikin Altherma ЗННТФ є оптимальним рішенням для пташників завдяки високій продуктивності, ефективності при низьких температурах, надійності та сумісності з автоматичними системами керування. Його використання знижує витрати на обігрів і підвищує ефективність птахівництва. Технічні характеристики наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Технічні характеристики Daikin Altherma 3ННТF

Параметр	Значення
Тип	Altherma 3 Н НТ F (air-to-water, високотемпературний)
Робочий діапазон зовнішньої температури	до -28 °С
Максимальна температура вихідної води	до 70 °С
Енергоефективність	клас до А+++ (при 35 °С вихідної води)
Холодоагент	R-32
Рівень звуку зовнішнього блока	≈ 43 dB(A) – 48 dB(A) (залежно від моделі)
Розміри внутрішнього блока (моноблок із баком 180 л)	1650 × 595 × 625 мм
Об'єм бака гарячої води	180 л або 230 л (в залежності від конфігурації)

3.3. Використання рекупераційних систем

Одним із ключових напрямів підвищення енергоефективності теплопостачання пташника є впровадження рекупераційних систем, що дозволяють використовувати тепло витяжного повітря. У традиційній вентиляції тепле повітря викидається назовні, що призводить до значних тепловтрат, особливо взимку. В умовах зростання вартості енергоносіїв рекуператори стають стратегічно важливими для сучасних птахокомплексів.

Рекупераційні установки передають тепло від витяжного повітря припливному без змішування потоків, що дозволяє підігрівати свіже повітря майже без додаткових енерговитрат. Це знижує навантаження на тепловий насос

чи інші джерела тепла. ККД рекуперації залежно від типу теплообмінника сягає 50–85 %. У великих пташниках, де повітря містить тепло, вологу та гази (CO₂, аміак), рекуператор не лише передає тепло, а й відводить зайву вологу, знижуючи ризик переохолодження птиці.

Рекуператори бувають пластинчасті та роторні. Перші прості, надійні, без рухомих частин, другі — передають і тепло, і вологу, але потребують ретельнішого обслуговування. Для пташника на 48 000 голів рекуперація може знизити навантаження на тепловий насос на 20–30 % і скоротити споживання електроенергії на 25–35 %.

Через пил та органічні частинки теплообмінники потребують регулярного очищення — забруднення зменшує ефективність на 10–15 %. Тому обов'язковими є фільтри та планове техобслуговування.

Рекуперація також стабілізує мікроклімат у перехідні сезони, працюючи як тепловий буфер та знижуючи стрес у птиці, що позитивно впливає на продуктивність і конверсію корму.

Таким чином, рекупераційні системи — важливий елемент модернізації теплозабезпечення пташника, що зменшує енергетичні втрати, підвищує ефективність теплового насоса і забезпечує стабільний мікроклімат. Разом із автоматизованим керуванням вони формують сучасну, енергоефективну й екологічно безпечну систему теплообміну.

3.4. Удосконалення системи вентиляції пташника

Ефективність птахівництва значною мірою залежить від правильно організованої вентиляції, яка забезпечує стабільний мікроклімат, видалення вологи, надлишкового тепла та шкідливих газів. Оскільки вентиляція є одним із найбільших споживачів енергії, її модернізація спрямована на зменшення тепловтрат, енергоспоживання та покращення умов для птиці.

Одним із ключових шляхів підвищення енергоефективності теплопостачання пташника є використання рекупераційних систем, що

повертають тепло витяжного повітря. У традиційній вентиляції тепле повітря безповоротно втрачається, що призводить до значних тепловтрат взимку. З огляду на зростання вартості енергії рекуператори стають важливою складовою сучасних птахокомплексів.

Рекуператори передають тепло від витяжного до припливного повітря без змішування потоків, підігріваячи свіже повітря з мінімальними витратами. Це зменшує навантаження на теплові насоси чи інші джерела тепла. Ефективність рекуперації залежно від типу теплообмінника сягає 50–85 %. У великих пташниках рекуператор одночасно відводить частину вологи, що знижує ризик переохолодження птиці.

Використовують пластинчасті та роторні рекуператори: перші — прості й надійні, другі — забезпечують передавання тепла та вологи, але потребують ретельного догляду. Для пташника на 48 000 голів рекуперація може зменшити навантаження на тепловий насос на 20–30 % і скоротити електроспоживання на 25–35 %.

Через наявність пилу та органічних частинок теплообмінники потребують регулярного очищення, оскільки забруднення знижує ККД на 10–15 %. Тому обов'язковими є фільтрація та планове обслуговування.

Рекуперація також стабілізує мікроклімат у перехідні сезони, виступаючи тепловим буфером та зменшуючи стрес птиці, що позитивно впливає на продуктивність.

Отже, рекупераційні системи є важливим елементом модернізації тепlopостачання пташника: вони зменшують тепловтрати, підвищують ефективність теплових насосів і забезпечують стабільний мікроклімат. У поєднанні з автоматизованим керуванням такі комплекси формують сучасну, енергоефективну та екологічно безпечну систему теплообміну.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

4.1. Загальні положення

Ефективність систем теплопостачання у птахівництві визначається не лише технічною надійністю, а й економічною доцільністю. Оскільки вартість енергоносіїв постійно зростає, енергетичні витрати безпосередньо впливають на собівартість продукції та конкурентоспроможність господарств. Багато пташників і надалі використовують дизельні та газові теплогенератори з високими витратами й значними викидами CO₂, які погано реагують на зміну мікрокліматичних умов і споживають надлишок палива.

Сучасні енергоощадні рішення — теплові насоси, рекуперація, автоматизоване керування та енергомоніторинг — дають змогу стабілізувати температуру та ефективно використовувати вторинне тепло, знижуючи експлуатаційні витрати [10]. ТЕО модернізованої системи базується на порівнянні традиційної дизельної установки з комплексом, що поєднує теплові насоси та рекуперацію.

Оцінюються капітальні витрати, експлуатаційні витрати, річне енергоспоживання, зниження викидів CO₂ та термін окупності. Методика ТЕО включає аналіз прямих ефектів (економія енергії) і непрямих — покращення мікроклімату, продуктивності та зниження аварійності. Порівняння систем дозволяє визначити економію ресурсів і ступінь екологічного ефекту.

Головним критерієм є період окупності інвестицій, що визначає ефективність упровадження сучасних технологій.

Таблиця 4.1

Вихідні дані для розрахунку сформовані на основі теплотехнічних показників та актуальних тарифів

№	Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення	Примітка
1	Кількість птахів у пташнику	N	голів	48 000	Визначає масштаб об'єкта
2	Необхідна теплова потужність у зимовий період	$Q_{оп}$	кВт	380	Розраховано за балансом теплових втрат
3	Середній коефіцієнт використання потужності	k	–	0,85	Ураховує нерівномірність навантаження
4	Тривалість опалювального періоду	$t_{оп}$	год/рік	4 000	Для кліматичних умов Київської області
5	ККД дизельної системи	η_d	–	0,88	Типове значення для теплогенераторів
6	Коефіцієнт перетворення теплового насоса	COP	–	4,2	Для сучасних повітряних теплових насосів
7	Теплотворна здатність дизельного палива	$q_{палива}$	кВт·год/л	10	Середнє значення для палива ДП-Л
8	Тариф на електроенергію	C_e	грн/кВт·год	5,0	За чинними тарифами для юридичних осіб
9	Вартість дизельного палива	C_d	грн/л	55	Середньоринкова ціна у 2025 році
10	Орієнтовний строк служби теплового насоса	$T_{сл}$	років	10	Визначає тривалість економічного ефекту

4.3. Енергоспоживання традиційної системи

Традиційні системи опалення пташників зазвичай працюють на рідкому паливі (дизельному) або природному газі, використовуючи теплогенератори повітряного типу.

Основна їх перевага — простота конструкції та автономність, проте головним недоліком є високе енергоспоживання та низька економічна ефективність.

В умовах інтенсивного вирощування бройлерів такі системи потребують значної кількості палива для підтримання стабільної температури в холодний період. Загальна кількість теплової енергії, необхідної для підтримання температури в пташнику протягом усього опалювального сезону, визначається за формулою:

$$Q_{\text{річн}} = Q_{\text{оп}} \cdot k \cdot t_{\text{оп}} \quad (4.1)$$

де $Q_{\text{оп}} = 380$ кВт— розрахункова потужність системи опалення,

$k = 0.85$ — коефіцієнт використання потужності (для урахування часткових навантажень),

$t_{\text{оп}} = 4000$ год/рік— тривалість опалювального періоду.

$$Q_{\text{річн}} = 380 \cdot 0.85 \cdot 4000 = 1.292 \times 10^6 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Отже, річна потреба у тепловій енергії становить приблизно 1,29 ГВт·год.

Кількість палива, необхідного для забезпечення цієї теплової енергії, залежить від ККД системи і теплотворної здатності палива. Розрахунок проводиться за формулою:

$$E_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{річн}}}{\eta_{\text{д}} \cdot q_{\text{палива}}} \quad (4.2)$$

де: $\eta_d = 0.88$ — ККД теплогенераторів,

$q_{\text{палива}} = 10 \text{ кВт} \cdot \text{год/л}$ — теплота згоряння дизельного палива.

$$E_d = \frac{1.292 \times 10^6}{0.88 \cdot 10} = 146,800 \text{ л/рік.} \quad (4.3)$$

Отже, для забезпечення нормального функціонування пташника протягом опалювального сезону необхідно близько 146,8 тисяч літрів дизельного палива.

Річна вартість спожитого палива визначається за формулою:

$$C_{\text{диз}} = E_d \cdot C_d. \quad (4.4)$$

де: $C_d = 55 \text{ грн/л}$ — середня вартість дизельного палива.

$$C_{\text{диз}} = 146,800 \cdot 55 = 8.07 \times 10^6 \text{ грн.} \quad (4.5)$$

Таким чином, річні витрати на опалення становлять приблизно 8,07 млн грн.

Таблиця 4.2

Структура експлуатаційних витрат традиційної системи

Стаття витрат	Частка, %	Орієнтовна сума, тис. грн/рік
Паливо (дизельне)	85	6859
Технічне обслуговування, ремонт	10	807
Зарплата персоналу	3	242
Інші витрати (заміна фільтрів, мастил, транспортування палива)	2	162
Разом	100	8070

Як видно з (таблиці 4.2), понад 85 % усіх витрат припадає на паливо, що є ключовим фактором енергетичної неефективності такої системи.

З урахуванням споживання 146,8 тис. літрів дизельного палива, обсяг викидів CO₂ можна визначити за формулою:

$$M_{\text{CO}_2} = E_{\text{д}} \cdot k_{\text{CO}_2}. \quad (4.6)$$

де: $k_{\text{CO}_2} = 2.68$ кг/л— кількість CO₂, що утворюється при спалюванні 1 літра дизеля.

$$M_{\text{CO}_2} = 146,800 \cdot 2.68 = 393,424 \text{ кг} = 393.4 \text{ т/рік}. \quad (4.7.)$$

Отже, при роботі традиційної системи пташник викидає в атмосферу понад 390 тонн вуглекислого газу щороку, що суттєво погіршує екологічні показники виробництва.[11]

Крім того, тепла енергія використовується неефективно — через втрати при неповному згорянні, нерівномірний розподіл повітря та відсутність рекуперації.

Це знижує фактичний ККД системи до рівня 70–75 % у реальних умовах експлуатації.

Для оцінки рівня енергоефективності введемо показник питомих витрат енергії на 1 кг живої маси птиці:

$$E_{\text{пт}} = \frac{Q_{\text{річн}}}{M_{\text{птиці}}}. \quad (4.8)$$

де: $M_{\text{птиці}} = 48\,000 \cdot 2.2 = 105,600$ кг.

$$E_{\text{пт}} = \frac{1.292 \times 10^6}{105,600} = 12.23 \text{ кВт.год/кг}. \quad (4.9)$$

Тобто, для вирощування одного кілограма продукції необхідно витратити понад 12 кВт·год теплової енергії, що є економічно нераціональним.

4.4. Енергоспоживання модернізованої системи з тепловими насосами

Модернізована система тепlopостачання передбачає використання повітряних теплових насосів, які перетворюють низькопотенційне тепло зовнішнього середовища у корисну теплову енергію для обігріву пташника. Енергетична ефективність таких установок характеризується коефіцієнтом перетворення (COP), що визначає співвідношення між отриманим теплом і спожитою електричною енергією.[13]

Річна потреба у тепловій енергії залишається сталою ($1,292 \times 10^6$ кВт·год), однак для її виробництва тепловим насосом потрібно значно менше електроенергії:

$$E_{\text{ел}} = \frac{Q_{\text{річн}}}{\text{COP}} = \frac{1,292 \cdot 10^6}{4,2} = 307,600 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \quad (4.10)$$

Таким чином, електроспоживання системи становить лише близько 24 % від енергетичного еквівалента дизельної установки.

Річні витрати на електроенергію визначаються за тарифом $C_e = 5.0$ грн/кВт\год:

$$C_{\text{ел}} = E_{\text{ел}} \cdot C_e = 307,600 \cdot 5 = 1.54 \text{ млн грн.} \quad (4.11)$$

Порівняно з 8,07 млн грн на дизельному паливі, економія становить понад 6,5 млн грн щороку.

Сумарна економія енергії:

$$\Delta E = Q_{\text{річн}} - E_{\text{ел}} = 1.292 \cdot 10^6 - 307,600 = 984,400 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік} \quad (4.12)$$

Таким чином, модернізована система забезпечує зниження енергоспоживання на 76–78 %, а також усуває викиди CO₂, оскільки електроенергія може надходити з відновлюваних джерел.

Питомі витрати на 1 кг живої маси птиці:

$$E_{\text{пт}} = \frac{E_{\text{ел}}}{M_{\text{птиці}}} = \frac{307,600}{105,600} = 2.91 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг}. \quad (4.13)$$

Порівняно з 12,23 кВт·год/кг для дизельної системи, це у 4,2 рази менше, що підтверджує високу ефективність теплового насоса.

4.5. Економічна ефективність впровадження

Метою техніко-економічного аналізу є визначення рівня фінансової доцільності переходу від традиційної дизельної системи опалення до модернізованої енергоощадної системи з тепловими насосами.

Оцінювання проводиться шляхом порівняння річних витрат, інвестиційних вкладень та терміну окупності модернізації.

Згідно з розрахунками:

$$E_{\text{ек}} = C_{\text{диз}} - C_{\text{ел}} = 8.07 - 1.54 = 6.53 \text{ млн грн/рік}. \quad (4.14)$$

Річна економія становить понад 6,5 млн грн, що підтверджує високу енергоефективність нової системи (таблиця 4.3). Для впровадження системи необхідні такі капітальні вкладення:

Таблиця 4.3

Інвестиції

Елемент	Вартість, тис. грн
Теплові насоси (2×200 кВт)	3 600
Рекупераційна вентиляція	1 200
Система автоматизації	600
Монтаж і пусконаладження	400
Разом інвестиції	5 800

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі обґрунтовано модернізацію системи теплопостачання пташника шляхом переходу від дизельних теплогенераторів до енергоощадної системи на основі теплових насосів, рекуперації та автоматизованого керування мікрокліматом. Аналіз показав високу енергоємність традиційного опалення: річні витрати на дизель становлять близько 8,07 млн грн, а споживання палива сягає 146,8 тис. л, що формує значну собівартість тепла.

Запропонована система включає:

- 2 теплові насоси Daikin Altherma ЗННТФ (2 × 200 кВт) — 3,6 млн грн;
- рекупераційну вентиляцію — 1,2 млн грн;
- систему автоматизації (CO₂, NH₃, вологість, контролери) — 600 тис. грн;
- монтаж і пусконаладження — 400 тис. грн.

Загальна вартість модернізації — 5,8 млн грн.

Теплові насоси забезпечують COP 3–4, що знижує питомі енерговитрати у 4,2 рази, а рекуперація повертає до 85 % тепла витяжного повітря. Автоматизоване керування мінімізує втрати енергії та стабілізує мікроклімат. Економічний аналіз показав річну економію понад 6,5 млн грн, що забезпечує повну окупність системи менш ніж за один сезон. Модернізована система підвищує енергоефективність будівлі, зменшує викиди CO₂ та NO_x, забезпечує рівномірний розподіл тепла та покращує санітарні умови.

Отже, впровадження теплових насосів, рекуперації та автоматизованого мікроклімату є технічно й економічно доцільним рішенням, яке значно знижує витрати, підвищує рентабельність та сприяє сталому розвитку птахівничого господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрощук Л. М. Мікроклімат тваринницьких приміщень : навч. посіб. — Київ : НУБіП України, 2020. — 256 с.
2. Бессараб О. М. Системи вентиляції та опалення тваринницьких комплексів : монографія. — Харків : ХНАУ, 2019. — 311 с.
3. Глухов В. В. Теплотехніка тваринницьких будівель. — Київ : Аграрна освіта, 2018. — 276 с.
4. Дудар І. О., Савчук М. В. Мікроклімат виробничих приміщень у тваринництві : навч. посіб. — Київ : Освіта України, 2021. — 238 с.
5. Ковальчук І. М., Барчук О. П. Енергоефективні технології в АПК : посібник. — Львів : Новий Світ–2000, 2019. — 204 с.
6. Мельник О.О. Теплотехнічні розрахунки енергетичних систем: навч. посібник. – Львів: ЛНУ, 2020.
7. Кириченко В. В., Мацюк Ю. О. Теплотехнічні системи в птахівництві. — Львів : Спектр, 2017. — 348 с.
8. Снитюк А. І. Теплотехніка та теплообмін тваринницьких будівель. — Київ : НУБіП України, 2018. — 287 с.
9. Назаренко В. І. Теплові насоси в сільському господарстві : монографія. — Харків : Еспада, 2021. — 282 с.
10. Марченко С. А. Вентиляційні системи для птахоферм // Вісник аграрної науки. — 2019. — № 7. — С. 34–39.
11. Тарасенко, В.В., Енергетичний менеджмент та енергоаудит у сільському господарстві. — Харків: ХНАУ, 2019.
12. Троханяк В. І. Аналіз енерговитрат на птахофермах // Енергетика АПК. — 2022. — № 3. — С. 45–52.
13. Шпак О. М. Мікроклімат у пташнику та його вплив на продуктивність // Науковий вісник НУБіП України. — 2020. — № 8. — С. 30–36.
14. Феценко М. Г. Системи рекуперації тепла у тваринництві // Техніка і енергетика. — 2021. — № 2. — С. 12–19.

- 15.Пасічник О. П. Автоматизація мікроклімату пташників // Сучасні агротехнології. — 2021. — № 4. — С. 55–61.
- 16.ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря. — Київ : Мінрегіон, 2013.
- 17.ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. — Київ : Мінрегіон, 2016.
- 18.ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. — Київ : УкрНДНЦ, 2016.
- 19.Мінпаливенерго України. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — Київ : Мінпаливенерго, 2010. — 736 с.
- 20.Методичні рекомендації з проектування систем вентиляції та опалення тваринницьких приміщень / НУБіП України, кафедра енергетики. — Київ, 2020.
- 21.ДСНС України. Правила пожежної безпеки в Україні. — Київ : ДСНС, 2017. — 132 с.
- 22.Gates R. S. Heat and moisture production in poultry buildings. — Kentucky : University Press, 2019. — 62 p.
- 23.European Commission. “Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Energy Efficiency.” – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022.
- 24.Fiala, M., & Bacenetti, J. “Energy and Environmental Performance of Energy Conversion Systems for Livestock Farms.” Journal of Cleaner Production, Vol. 112, 2016, p.
- 25.Samer, M. “Towards the Integration of Renewable Energy in Livestock Buildings.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 45, 2015, p.
- 26.PoultryHub Global. Environmental management in poultry houses <https://www.poultryhub.org>
- 27.International Energy Agency (IEA). Renewable heating technologies for agriculture. — Paris : IEA Publications, 2020. <https://www.iea.org>
- 28.Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. Requirements for poultry housing <https://minagro.gov.ua>

- 29.State Statistics Service of Ukraine. Energy consumption in the agro-industrial sector — Statistical review. 2022 <https://ukrstat.gov.ua>
- 30.GreenTech Energy Ltd. Heat pump efficiency in agricultural complexes. — 2020. <https://greentech-energy.com>