

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

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

**Розробка енергозберігаючої системи створення
мікроклімату на бройлерній птахофермі**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-3-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Тітановський Віталій Костянтинович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Бакалавр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інжинірингу технічних систем
(назва кафедри)
доцент
(вчене звання)
Дудін В.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«05» травня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Тітановський Віталій Костянтинович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Розробка енергозберігаючої системи створення мікроклімату на бройлерній птахофермі

керівник проєкту Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«05» травня 2026 року № 912

2. Строк подання здобувачем проєкту 07.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Аналіз стану питання процесів та обладнання для створення мікроклімату. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристика господарства. 2. Модернізація технологічного процесу забезпечення мікроклімату. 3. Удосконалення вентиляційної установки. 4. Охорона праці. 5. Економічна ефективність впровадження теплоутилізатора. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Схема проектування. 2. Технологічна схема. 3. Схема теплоутилізатора. 4. Технологічна схема (модернізована). 5. Теплоутилізатор. 6. Дистанційна вставка. 7. Труба зовнішня. 8. Раструб. 9. Охорона праці. 10. Економічні показники.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання: 05.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2026 р.	
2	Теоретичний	до 15.04.2026 р.	
3	Експериментальний	до 30.04.2026 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2026 р.	
5	Економічний	до 22.05.2026р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2026 р.	

Здобувач

(підпис)

Тітановський В. К.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Тітановський В. К. Розробка енергозберігаючої системи створення мікроклімату на бройлерній птахофермі / Дипломний проєкт на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У дипломному проєкті розглянуто питання удосконалення технологічного процесу забезпечення мікроклімату в бройлерному пташнику. Обґрунтовано необхідність модернізації вентиляційної установки з метою зниження витрат енергоресурсів на опалення та підтримання нормативних параметрів повітряного середовища. Проаналізовано умови роботи птахоферми, зоотехнічні вимоги до мікроклімату, існуючі системи вентиляції, опалення та теплоутилізації. Запропоновано використання тритрубного теплоутилізатора, який забезпечує попереднє підігрівання припливного повітря теплотою витяжного потоку. Визначено основні параметри системи мікроклімату, розглянуто питання охорони праці та виконано оцінку економічної ефективності впровадження. Встановлено, що запропонована модернізація дозволяє зменшити енерговитрати, покращити умови утримання птиці та забезпечити швидку окупність технічного рішення.

Ключові слова: бройлерний пташник, мікроклімат, вентиляція, опалення, припливне повітря, витяжне повітря, теплоутилізатор, рекуперація теплоти, енергоефективність, енергозбереження, теплогенератор, повітрообмін, газовий склад повітря, охорона праці, економічний ефект.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 Характеристика господарства	10
1.1 Загальна виробнича характеристика підприємства	10
1.2 Виробнича характеристика птахівничого напрямку	13
1.3 Рівень механізації технологічних процесів на птахофермі	14
1.4 Обґрунтування вибору теми дипломного проєкту	16
1.5 Висновки до розділу	16
2 Модернізація технологічного процесу забезпечення мікроклімату	18
2.1 Актуальність питання	18
2.2 Вихідні дані до проєктування, зоотехнічні вимоги	20
2.3 Огляд систем створення мікроклімату	23
2.4 Розробка варіанту реалізації технологічного процесу	30
2.5 Визначення параметрів процесу забезпечення мікроклімату	35
2.5.1 Підтримання газового складу повітря	36
2.5.2 Підтримання температурного режиму	39
2.5.3 Освітлення пташника	42
2.5.4 Допоміжне обладнання	44
2.6 Висновки	45
3 Удосконалення вентиляційної установки	46
3.1 Обґрунтування важливості питання	46
3.2 Аналіз стану питання	47
3.3 Розробка варіанту удосконалення	49
3.3.1 Розробка конструкційно-технологічної схеми	49
3.3.2 Визначення конструкційних параметрів теплоутилізатора	51

	7
3.4 Розрахунок витрат енергоресурсів	56
3.5 Висновки	59
4 Охорона праці	60
4.1 Загальні вимоги при створенні мікроклімату в пташниках	60
4.2 Інструкція з охорони праці при роботі з теплоутилізатором	63
4.3 Висновки	66
5 Економічна ефективність впровадження теплоутилізатора	67
5.1 Вихідні дані	67
5.2 Результати розрахунків	68
5.3 Висновки	70
Загальні висновки	71
БІБЛІОГРАФІЯ	73
ДОДАТКИ	76

ВСТУП

Сучасне птахівництво є однією з найбільш динамічних галузей тваринництва, оскільки забезпечує стабільне виробництво м'яса птиці з відносно коротким виробничим циклом і високою окупністю вкладених ресурсів. Водночас ефективність вирощування бройлерів значною мірою залежить від умов утримання, серед яких особливе місце займає мікроклімат пташника. Температура, вологість, швидкість руху повітря, концентрація шкідливих газів і рівень запиленості безпосередньо впливають на продуктивність птиці, збереженість поголів'я, витрати корму та санітарний стан приміщення.

Однією з найбільш енергоємних складових технологічного процесу вирощування бройлерів є забезпечення нормативного мікроклімату. У холодний період року значна частина енергоресурсів витрачається на підігрів припливного повітря та компенсацію тепловтрат через огорожувальні конструкції, а в теплий період - на інтенсивну вентиляцію й охолодження повітряного середовища. Тому підвищення енергоефективності систем вентиляції та опалення є важливим резервом зниження собівартості продукції птахівництва.

Особливої актуальності набуває використання технічних рішень, які дозволяють зменшити втрати теплоти з витяжним повітрям. Одним із таких рішень є застосування теплоутилізаторів, що забезпечують попереднє підігрівання припливного повітря за рахунок теплоти повітря, яке видаляється з пташника. Це дає змогу знизити навантаження на теплогенератори, скоротити витрати енергоресурсів і водночас підтримувати необхідну якість повітря у приміщенні.

Актуальність теми дипломного проєкту полягає в необхідності удосконалення технологічного процесу створення мікроклімату в бройлерному пташнику шляхом модернізації вентиляційної установки та впровадження теплоутилізаційного пристрою. Таке рішення спрямоване на підвищення енергетичної ефективності виробництва, покращення умов утримання птиці та зменшення експлуатаційних витрат.

Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності процесу забезпечення мікроклімату в бройлерному пташнику шляхом удосконалення вентиляційної установки з використанням тритрубного теплоутилізатора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати виробничі умови господарства та стан механізації процесів у пташництві; обґрунтувати зоотехнічні вимоги до параметрів мікроклімату в пташнику; провести огляд існуючих систем вентиляції, опалення, охолодження та теплоутилізації; визначити параметри системи забезпечення мікроклімату для пташника місткістю 15000 голів; розробити конструкційно-технологічну схему теплоутилізатора; визначити його основні конструкційні параметри; оцінити умови безпечної експлуатації обладнання; визначити економічну ефективність впровадження запропонованого технічного рішення.

Таким чином, дипломний проєкт спрямований на вирішення важливого інженерного завдання - удосконалення системи мікроклімату пташника з урахуванням технологічних, енергетичних, експлуатаційних, економічних та безпечових вимог.

1 Характеристика господарства

1.1 Загальна виробнича характеристика підприємства

СТОВ «Лада» здійснює виробничу діяльність у смт Кринички. Адміністративний центр підприємства розміщений за адресою: вул. Героїв Чорнобильців, 32. Відстань до м. Дніпро становить орієнтовно 60 км, що створює умови для транспортного зв'язку з обласним центром, постачальниками матеріально-технічних ресурсів і потенційними ринками збуту продукції.

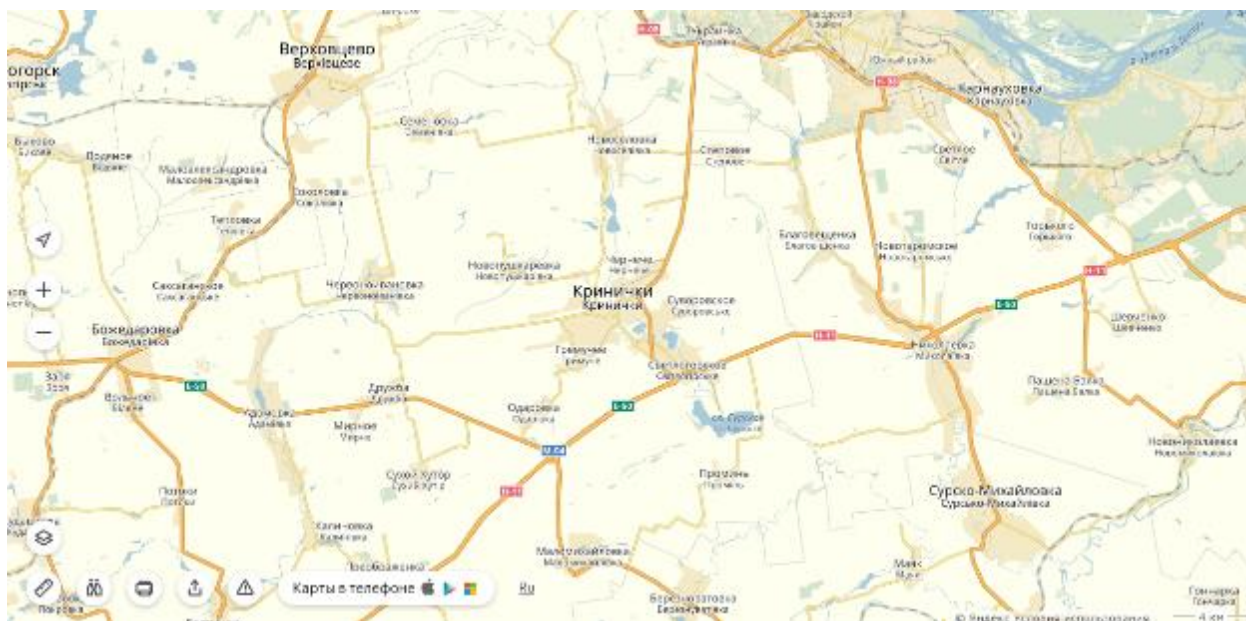


Рисунок 1 – Схема розташування господарства

Природно-кліматичні умови території відповідають зоні помірно континентального клімату. Для регіону характерні відносно холодна зима, спекотний літній період та нерівномірне надходження атмосферних опадів упродовж року. Середньорічна температура повітря становить близько $+9,3^{\circ}\text{C}$. У січні середня температура знижується приблизно до $-7,6^{\circ}\text{C}$, а в липні підвищується до $+25^{\circ}\text{C}$.

За багаторічними метеорологічними даними, річна кількість опадів перебуває в межах 350–400 мм. Найбільша їх частка припадає на літні місяці, зокрема

на червень і серпень. Водночас значна частина року характеризується недостатнім зволоженням, а сніговий покрив у зимовий період є незначним. Поєднання високих температур, посушливих періодів і суховіїв може негативно позначатися на формуванні врожаю сільськогосподарських культур.

Земельний фонд підприємства становить 3250 га. Основу землекористування утворюють сільськогосподарські угіддя площею 3120 га. До їх складу входить рілля площею 3060 га, багаторічні насадження площею 32 га, а також пасовища площею 256 га.

Провідне місце у структурі земельних ресурсів займає рілля. Оскільки резерви для подальшого збільшення її площі практично відсутні, нарощування обсягів виробництва можливе переважно за рахунок інтенсифікації технологічних процесів, підвищення культури землеробства, удосконалення системи удобрення, раціональної сівозміни та ефективнішого використання наявного технічного забезпечення.

Формування структури посівних площ у господарстві підпорядковане потребі поєднання товарного рослинництва з кормовим забезпеченням тваринницьких підрозділів. Тому частина площ відводиться під культури, продукція яких реалізується, а частина - під кормові культури, необхідні для стабільної роботи ферми.

Таблиця 1.1 – Розмір і структура земельних угідь

Показник	2025 рік, га	Частка, %
Загальна земельна площа	3250	100
У тому числі сільськогосподарські угіддя	3120	90,8
З них рілля	3060	78,8
У тому числі зрошувана	400	6,6
Сіножаті	711	9,3
Питома вага кормових культур у загальній посівній площі	—	32

Окрім рослинницького напрямку, у СТОВ «Лада» розвивається тваринництво. У господарстві утримують молочну худобу та птицю. Велика рогата худоба

представлена червоною степовою породою. Рослинництво має важливе значення не лише як джерело товарної продукції, а й як основа власної кормової бази.

Рівень розвитку рослинницької галузі доцільно оцінювати за структурою посівних площ і врожайністю основних культур. Наведені показники дають змогу визначити, наскільки господарство забезпечене сировиною для виробництва кормів і наскільки ефективно використовується рілля.

Таблиця 1.2 – Структура посівних площ і врожайність

сільськогосподарських культур

Показник	Площа, га	Частка, %	Урожайність, ц/га
Зернові культури разом	1350	44,4	38,3
у тому числі ячмінь	400	13,1	38,7
озима пшениця	950	31,0	49,1
просо	80	2,6	4,9
Технічні культури разом	1385	25,5	—
у тому числі цукровий буряк	150	4,9	91,2
соняшник	325	10,6	11,8
Кормові культури разом	1155	30,1	—
у тому числі коренеплоди	20	0,7	85,3
кукурудза на силос	358	11,7	115,9
кукурудза на зелений корм	138	4,5	75,1
багаторічні трави на сіно	465	15,2	22,6
багаторічні трави на зелений корм	145	4,7	67,9
багаторічні трави на насіння	29	0,9	0,5
Усього	3060	100	—

Значна увага в господарстві приділяється виробництву кормів. Зернові культури, зокрема пшениця та ячмінь, використовуються як сировина для приготування концентрованих кормів, у тому числі для потреб птахівництва. Багаторічні трави вирощуються для заготівлі сіна та забезпечення тваринництва білковими і вітамінними кормами.

У теплий період року потреба тварин у зеленій масі забезпечується за рахунок організації зеленого конвеєра. Такий підхід дає можливість рівномірно надходити зеленим кормам у весняний, літній та осінній періоди, що позитивно впливає на повноцінність годівлі.

Молочнотоварна ферма та птахоферма розміщені на центральній садибі підприємства. Виробнича спеціалізація СТОВ «Лада» передбачає вирощування зернових, технічних і кормових культур. При цьому кормові культури переважно використовуються для забезпечення власних потреб тваринницьких підрозділів.

Стабільне функціонування підприємства забезпечується наявністю трудових ресурсів відповідної кваліфікації. На початок 2025 року чисельність працівників господарства становила 116 осіб.

1.2 Виробнича характеристика птахівничого напрямку

Одним із основних напрямів тваринництва у господарстві є птахівництво, зорієнтоване на виробництво м'яса бройлерів. Одночасне поголів'я птиці становить 60 тис. голів. Річна потужність птахоферми дорівнює 312 тис. голів, що відповідає приблизно 780 т м'яса птиці.

Вирощування бройлерів здійснюється у чотирьох пташниках. Місткість кожного приміщення становить 15 тис. голів. Така система розміщення поголів'я дає змогу організувати виробничий процес за технологічними групами, контролювати параметри утримання та своєчасно виконувати основні операції з годівлі, напування, обігріву й вентиляції.

Одним із ключових показників результативності вирощування бройлерів є середньодобовий приріст живої маси. Цей показник відображає ефективність годівлі, мікрокліматичних умов, ветеринарного супроводу та загального рівня організації виробництва.

Таблиця 1.3 – Динаміка продуктивності птиці

Показник	2023	2024	2025
Середньодобовий приріст птиці, г	17,2	17,6	18,1

Наведені дані свідчать про поступове зростання середньодобового приросту птиці протягом аналізованого періоду. Така тенденція може бути пов'язана з

поліпшенням раціонів, удосконаленням умов утримання та більш чітким дотриманням технологічних вимог під час вирощування бройлерів.

Важливим узагальнюючим економічним показником роботи птахоферми є собівартість продукції. Вона характеризує суму витрат, необхідних для виробництва одиниці продукції, і безпосередньо впливає на рентабельність птахівничого напрямку.

Таблиця 1.4 – Собівартість виробництва м'яса птиці

Рік	Витрати, млн грн	Планова собівартість, тис. грн/т	Фактична собівартість, тис. грн/т
2023	15,8	12,2	11,4
2024	16,2	13,5	12,9
2025	16,6	13,0	12,8

Порівняння планових і фактичних значень показує, що фактична собівартість м'яса птиці була нижчою за заплановану. Разом із тим загальна сума виробничих витрат щорічно збільшувалася. Основними причинами такого зростання є подорожчання кормів, енергоресурсів, запасних частин, витратних матеріалів та інших складових виробничого процесу.

1.3 Рівень механізації технологічних процесів на птахофермі

Результативність промислового вирощування бройлерів значною мірою визначається рівнем механізації основних виробничих операцій. На птахофермі СТОВ «Лада» механізоване виконання технологічних процесів забезпечується комплектами обладнання типу ОПБ-2/12 виробництва ВАТ «Завод «Ніжинсільмаш».

Зазначений комплект призначений для приймання, короткочасного зберігання і подавання сухих комбикормів до годівниць, забезпечення птиці водою через систему напування, а також локального обігріву курчат у початковий період вирощування.

До складу технологічного обладнання входять зовнішній бункер із лінією завантаження комбікорму, спіральний роздавач сухих кормів із круглими годівницями, ніпельна система напування, електричні брудери для локального обігріву молодняку та електрообладнання для приводу й керування робочими

Кількість комплектів обладнання відповідає кількості виробничих приміщень птахоферми. Водопостачання організоване із застосуванням заглибного насоса типу ЭЦВ4-1,6-65 та водонапірної башти БР-15У.

Видалення посліду здійснюється механізованим способом. Для цього використовується бульдозерний агрегат на базі трактора Т-150. Подальше транспортування посліду виконується тракторним агрегатом із причепом 2ПТС-4М. Приготування комбікормів для потреб птахоферми забезпечується комбікормовим цехом ОКЦ-15.

Суттєвою складовою собівартості продукції птахівництва є витрати енергетичних ресурсів. Вони формуються під час роботи обладнання для приготування кормів, їх роздавання, напування, видалення посліду, вентиляції, опалення та створення необхідного мікроклімату в пташниках.

Таблиця 1.5 – Структура енерговитрат під час виконання технологічних процесів на птахофермі

Технологічний процес	Частка у структурі енерговитрат, %
Приготування кормів	15,5–20
Роздавання кормів	10–12
Видалення посліду	8–10
Напування	1,5–2
Інші процеси	2–3
Вентиляція	10–12
Опалення	40–45

Із наведених даних видно, що найбільшу частку енергоспоживання займають процеси, пов'язані зі створенням мікроклімату, насамперед опалення. Це пояснюється високою чутливістю бройлерів до температури повітря, вологості, швидкості його руху та газового складу. Особливо значні енергетичні витрати

виникають у холодний період року, коли необхідно підтримувати нормативний температурний режим у пташниках.

1.4 Обґрунтування вибору теми дипломного проєкту

Ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів є одним із пріоритетних завдань сучасного тваринництва та птахівництва. Для бройлерних птахоферм це питання має особливе значення, оскільки значна частка витрат припадає на підтримання параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях.

Результати аналізу показують, що у зимовий період витрати енергії на опалення, вентиляцію та забезпечення нормативного стану повітряного середовища можуть становити близько половини загального енергоспоживання птахоферми. Тому зниження енергомісткості роботи систем мікроклімату є важливим резервом підвищення економічної ефективності виробництва м'яса птиці.

Актуальним напрямом удосконалення є розробка енергозберігаючої системи створення мікроклімату, яка забезпечуватиме необхідні умови утримання бройлерів за менших експлуатаційних витрат. Реалізація такого рішення дасть можливість скоротити споживання енергії, підвищити надійність роботи обладнання та поліпшити техніко-економічні показники птахоферми.

З огляду на виявлену структуру енергоспоживання, для подальшої розробки в дипломному проєкті прийнято тему, пов'язану з удосконаленням енергозберігаючої системи створення мікроклімату на бройлерній птахофермі СТОВ «Лада».

1.5 Висновки до розділу

СТОВ «Лада» є сільськогосподарським підприємством, у якому поєднуються рослинницький і тваринницький напрями виробництва. Рослинництво забезпечує господарство товарною продукцією та створює кормову базу для функціонування молочнотоварної ферми і птахівничого підрозділу.

Птахоферма спеціалізується на вирощуванні бройлерів на м'ясо. Виробничий процес здійснюється у спеціалізованих пташниках із використанням механізованих систем годівлі, напування, видалення посліду та підтримання мікроклімату. Наявні технічні засоби дають змогу виконувати основні операції відповідно до технологічних вимог.

Аналіз структури енергоспоживання засвідчив, що найбільше енергетичних ресурсів витрачається на забезпечення мікроклімату, зокрема на опалення пташників. Саме цей процес має найбільший вплив на собівартість продукції та ефективність функціонування птахоферми.

Отже, удосконалення системи створення мікроклімату є доцільним і обґрунтованим напрямом дипломного проєктування. Запропоноване енергозберігаюче рішення має бути спрямоване на зменшення енерговитрат, підвищення надійності обладнання та забезпечення стабільних умов утримання птиці.

2 Модернізація технологічного процесу забезпечення мікроклімату

2.1 Актуальність питання

Мікроклімат у пташнику є одним із ключових чинників, що визначає інтенсивність росту бройлерів, збереженість поголів'я, витрати корму, санітарний стан приміщення та загальну економічну результативність виробництва м'яса птиці. До основних параметрів внутрішнього повітряного середовища належать температура, відносна вологість, швидкість руху повітря, концентрація шкідливих газів, вміст пилу, рівномірність розподілу повітряних потоків і стабільність умов у зоні перебування птиці.

Найбільше значення у період вирощування бройлерів має температурний режим. У перші дні життя курчата ще не мають повністю сформованої системи терморегуляції, тому навіть короточасне відхилення температури від оптимального рівня швидко впливає на їхню поведінку, активність, споживання корму й води та фізіологічний стан. У технологічних рекомендаціях Cobb зазначено, що здатність курчат до самостійного теплового регулювання формується поступово, тому на початку вирощування необхідно особливо уважно контролювати температуру повітря, температуру підстилки та відсутність протягів [1].

За зниження температури частина енергії корму витрачається не на приріст живої маси, а на підтримання температури тіла птиці. У таких умовах бройлери скупчуються, стають менш рухливими, нерівномірно розміщуються у приміщенні, а ризик захворювань і падежу зростає. Надмірно висока температура також є небажаною: птиця зменшує споживання корму, частіше дихає відкритим дзьобом, втрачає вологу і може перегріватися. У рекомендаціях Aviagen підкреслюється, що за підвищеної температури бройлери обмежують споживання корму для зменшення власного тепловиділення, а за зниженої температури збільшуються енергетичні витрати організму на обігрів [2].

Температурний режим не можна розглядати окремо від вологості, вентиляції та газового складу повітря. Якщо повітрообмін недостатній, у приміщенні накопичуються водяна пара, вуглекислий газ, аміак, пил та інші забруднювачі. Підвищена вологість спричиняє зволоження підстилки, посилює утворення аміаку, погіршує стан кінцівок птиці та підвищує мікробне навантаження. Водночас надмірна вентиляція у холодний період збільшує втрати теплоти і призводить до перевитрат енергоресурсів на опалення. Отже, система мікроклімату повинна підтримувати не лише комфортні умови для птиці, а й енергетично раціональний режим роботи обладнання.

Для умов СТОВ «Лада» модернізація системи мікроклімату є особливо важливою, оскільки птахоферма спеціалізується на вирощуванні бройлерів, а місткість одного пташника становить 15000 голів. У попередньому розділі було встановлено, що у структурі енерговитрат значну частку займають вентиляція та опалення; у зимовий період витрати на забезпечення мікроклімату можуть наближатися до половини загального енергоспоживання птахоферми.

З енергетичної точки зору найбільш складним є холодний період року. Вентиляція повинна безперервно або циклічно видаляти вологу, аміак і вуглекислий газ, але разом із відпрацьованим повітрям з приміщення виноситься значна кількість теплоти. Саме тому в сучасних пташниках застосовують автоматичне керування вентиляторами, регульовані припливні клапани, локальне обігрівання молодняку, теплоізоляцію огорожувальних конструкцій, рециркуляцію частини повітря та рекуперацію теплоти. За результатами дослідження бройлерних приміщень із рекуператорами, використання систем повернення теплоти може суттєво зменшувати витрати енергії на опалення, оскільки вентиляційні втрати становлять значну частину теплового балансу пташника [3].

У літній період основним завданням стає не збереження теплоти, а відведення надлишкового тепла, яке виділяється птицею, обладнанням і надходить через огорожувальні конструкції. Для цього застосовують підвищений повітрообмін, тунельну вентиляцію, вентилятори великої продуктивності, охолоджувальні панелі, системи туманоутворення або форсункового зволоження. Тунельна

вентиляція створює спрямований потік уздовж приміщення і забезпечує ефект охолодження за рахунок руху повітря біля птиці. У технологічних рекомендаціях Cobb зазначено, що в жарку погоду ефективна температура, яку відчуває птиця, може бути нижчою від фактичної температури повітря завдяки підвищеній швидкості його руху [1].

Отже, модернізація технологічного процесу забезпечення мікроклімату повинна бути спрямована на підтримання нормативних параметрів повітряного середовища, зниження ризику теплового або холодового стресу та скорочення енергетичних витрат. Найбільш доцільним є комплексний підхід, що поєднує ефективне опалення, раціональну вентиляцію, автоматичне керування, контроль температури, вологості, концентрації CO₂ та аміаку, а також використання енергозберігаючих технічних рішень.

2.2 Вихідні дані до проєктування, зоотехнічні вимоги

Для подальшого розрахунку системи мікроклімату приймаємо одне виробниче приміщення для вирощування бройлерів. Основні геометричні та технологічні параметри пташника наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до проєктування системи мікроклімату

Показник	Позначення	Значення
Ширина приміщення, м	B	12
Довжина приміщення, м	L	80
Висота приміщення, м	H	4,5
Площа підлоги, м ²	F	960
Будівельний об'єм приміщення, м ³	V	4320
Місткість приміщення, гол.	n	15000
Площа підлоги на одну голову, м ² /гол.	f	0,064
Щільність посадки, гол./м ²	q	15,6
Об'єм приміщення на одну голову, м ³ /гол.	v	0,288

Параметри мікроклімату повинні відповідати біологічним особливостям бройлерів, їхньому віку, живій масі, щільності посадки та періоду року. У перші дні вирощування температура підтримується на підвищеному рівні, оскільки курчата ще не здатні стабільно підтримувати температуру тіла. У міру росту птиці потреба в додатковому обігріванні поступово зменшується, але зростає потреба у видаленні надлишкового тепла, вологи та шкідливих газів.

Рекомендовані орієнтовні значення температури повітря залежно від віку птиці та відносної вологості наведено в таблиці 2.2. На практиці встановлену температуру доцільно коригувати не лише за показами датчиків, а й за поведінкою птиці: рівномірним розміщенням у пташнику, активним споживанням корму й води, відсутністю скупчення біля нагрівачів або припливних отворів. Cobb рекомендує враховувати відносну вологість, оскільки однакова температура за різної вологості по-різному сприймається птицею [1].

Таблиця 2.2 – Орієнтовний температурний режим для бройлерів залежно від віку та відносної вологості

Вік птиці, діб	Температура при RH 50 %, °C	Температура при RH 60 %, °C	Температура при RH 70 %, °C
0	32	31	30
7	30	29	28
14	27	26	25
Завершальний період вирощування	23–24	22–23	21–22

Якість повітря у пташнику визначається вмістом кисню, вуглекислого газу, аміаку, чадного газу, пилу та водяної пари. Мінімальна вентиляція повинна працювати навіть тоді, коли немає потреби в охолодженні приміщення, оскільки вона забезпечує видалення вологи, аміаку і CO₂ та підтримує підстилку у сухому

стані. У рекомендаціях Cobb мінімальна вентиляція розглядається насамперед як засіб підтримання якості повітря і вологості, а не тільки як інструмент температурного регулювання [1].

Таблиця 2.3 – Основні зоотехнічні вимоги до якості повітря у пташнику

Показник	Рекомендоване значення
Вміст кисню, %	понад 19,6
Концентрація аміаку, ppm	менше 10
Концентрація вуглекислого газу, ppm	менше 3000
Концентрація чадного газу, ppm	менше 10
Вміст респірабельного пилу, мг/м ³	менше 3,4
Відносна вологість повітря, %	бажано 60–65
Швидкість повітря в зоні молодняку при мінімальній вентиляції, м/с	до 0,30

Підвищення концентрації вуглекислого газу понад рекомендовані межі негативно впливає на активність птиці, споживання корму і темпи росту. Надлишковий аміак найчастіше пов'язаний із підвищеною вологістю підстилки, недостатнім повітрообміном або порушенням режиму утримання. Тому у сучасних системах керування доцільно передбачати контроль не лише температури, а й вологості, концентрації CO₂, аміаку та розрідження у приміщенні.

Швидкість руху повітря також повинна змінюватися залежно від віку птиці. Для молодняку небезпечні протяги, тоді як для старших бройлерів у жаркий період підвищена швидкість повітря є корисною, оскільки створює охолоджувальний ефект. Орієнтовні вимоги до швидкості повітря наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Орієнтовні допустимі швидкості руху повітря залежно від віку птиці

Вік птиці, діб	Орієнтовна швидкість повітря, м/с	Призначення режиму
0–5	0–0,3	недопущення переохолодження курчат
5–14	0,3–0,5	обережне збільшення повітрообміну
14–21	0,5–1,8	перехід до інтенсивнішої вентиляції
понад 21	до 2,0–2,5 за потреби	охолодження птиці у теплий період

Таким чином, система мікроклімату для приміщення розміром 12×80×4,5 м і місткістю 15000 голів повинна забезпечувати змінний режим роботи. У холодний період головним завданням є підтримання заданої температури при мінімально необхідному повітрообміні, а в теплий період - інтенсивне видалення надлишкового тепла з одночасним недопущенням перегрівання птиці.

2.3 Огляд систем створення мікроклімату

Системи створення мікроклімату у птахівництві можна класифікувати за способом організації повітрообміну, джерелом теплопостачання, методом охолодження та рівнем автоматизації. У сучасних бройлерних пташниках найчастіше застосовують комбіновані системи, які поєднують мінімальну вентиляцію для холодного періоду, перехідну вентиляцію для помірних температур, тунельну вентиляцію для літньої спеки, а також локальне або загальне опалення.

Найпростішим варіантом є природна вентиляція. Вона ґрунтується на дії вітру та теплового напору, коли тепле повітря піднімається вгору і видаляється через верхні отвори, а свіже повітря надходить через бокові прорізи або клапани. Така система має низькі енергетичні витрати, але її робота суттєво залежить від

зовнішньої температури, напряму і швидкості вітру. За даними Aviagen, природна вентиляція потребує постійного контролю та ручного або автоматизованого регулювання відкриття бокових штор, оскільки погодні умови можуть швидко змінюватися [2].

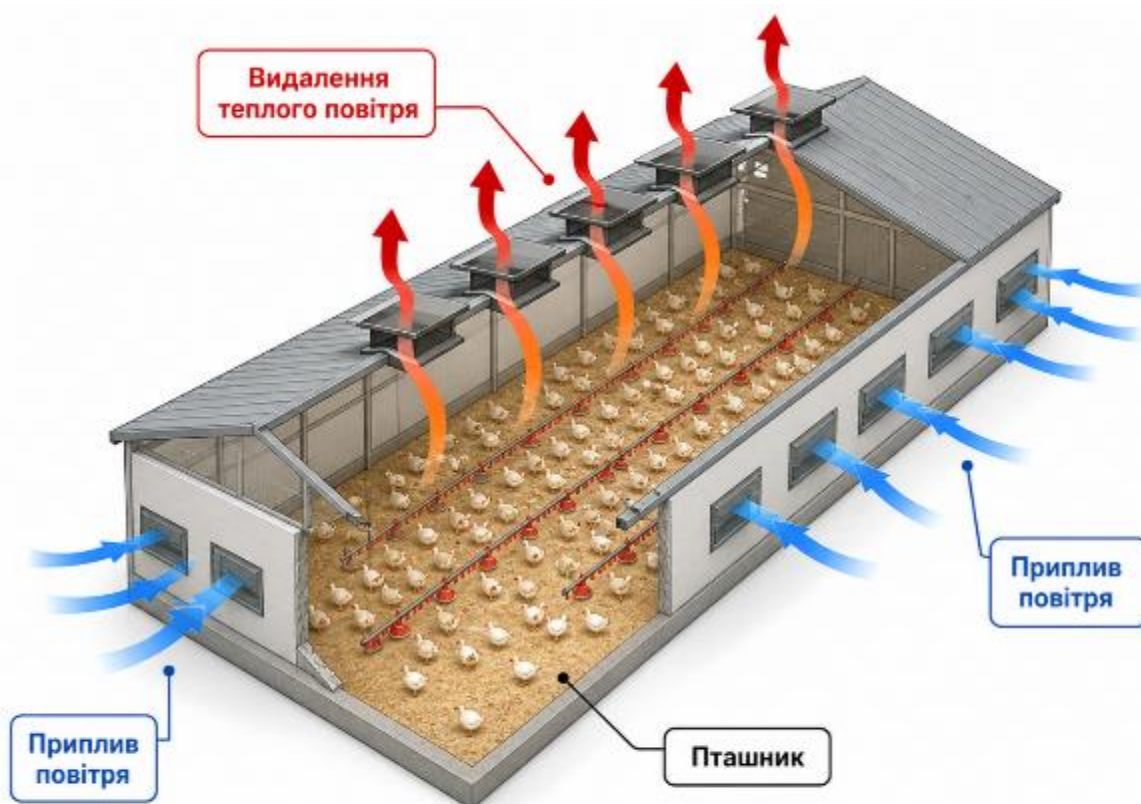


Рисунок 2.1 – Схема природної вентиляції пташника

Перевагами природної вентиляції є простота будови, низькі експлуатаційні витрати та мінімальна потреба в електрообладнанні. До недоліків належать нестабільний повітрообмін, складність точного регулювання температури, ризик протягів, залежність від погодних умов і недостатня ефективність за високої щільності посадки птиці.

Більш поширеним рішенням для бройлерних пташників є механічна вентиляція з від'ємним тиском. У такій системі витяжні вентилятори видаляють повітря з приміщення, а свіже повітря надходить через регульовані припливні кла-

пани. За рахунок створення невеликого розрідження свіже повітря спрямовується у верхню зону приміщення, змішується з теплим внутрішнім повітрям і лише після цього опускається у зону перебування птиці. Це дозволяє уникати холодних потоків на рівні підлоги та краще контролювати стан підстилки.

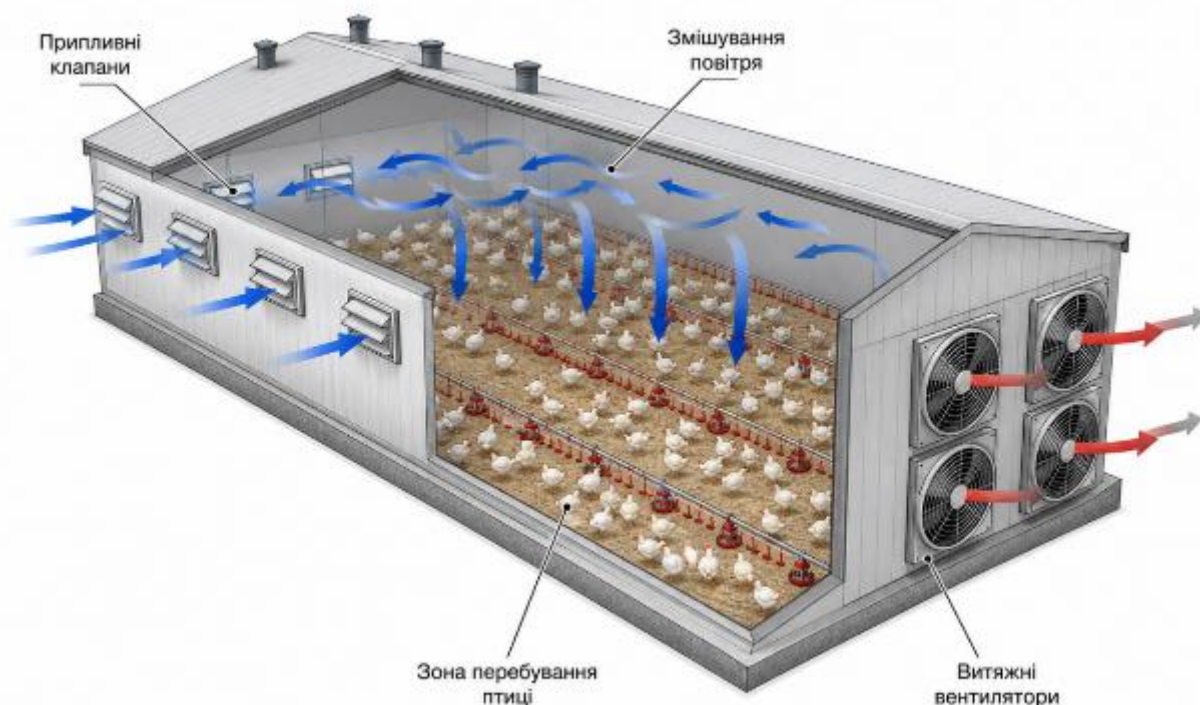


Рисунок 2.2 – Схема механічної вентиляції з боковими припливними клапанами

Мінімальна вентиляція використовується переважно в холодний період або на початкових стадіях вирощування. Її призначення полягає не в охолодженні, а у підтриманні якості повітря, видаленні вологи, CO_2 та аміаку. Згідно з рекомендаціями Cobb, мінімальна вентиляція може працювати за таймером або сигналами датчиків, а тривалість роботи вентиляторів коригується залежно від віку птиці, вологості та якості повітря [1].

Перехідна вентиляція застосовується тоді, коли мінімального повітрообміну вже недостатньо, але потреби у повному тунельному режимі ще немає. У

цьому випадку збільшується кількість працюючих вентиляторів, відкриваються додаткові припливні клапани, а система автоматики поступово підвищує інтенсивність повітрообміну. Такий режим характерний для весняно-осіннього періоду та для середніх етапів вирощування птиці.

Тунельна вентиляція є основним способом охолодження бройлерів у жаркий період. При цьому повітря надходить з одного торця пташника, проходить уздовж усього приміщення і видаляється вентиляторами, встановленими на протилежному торці. За рахунок високої швидкості руху повітря створюється ефект вітрового охолодження, який знижує температуру, що фактично сприймається птицею.

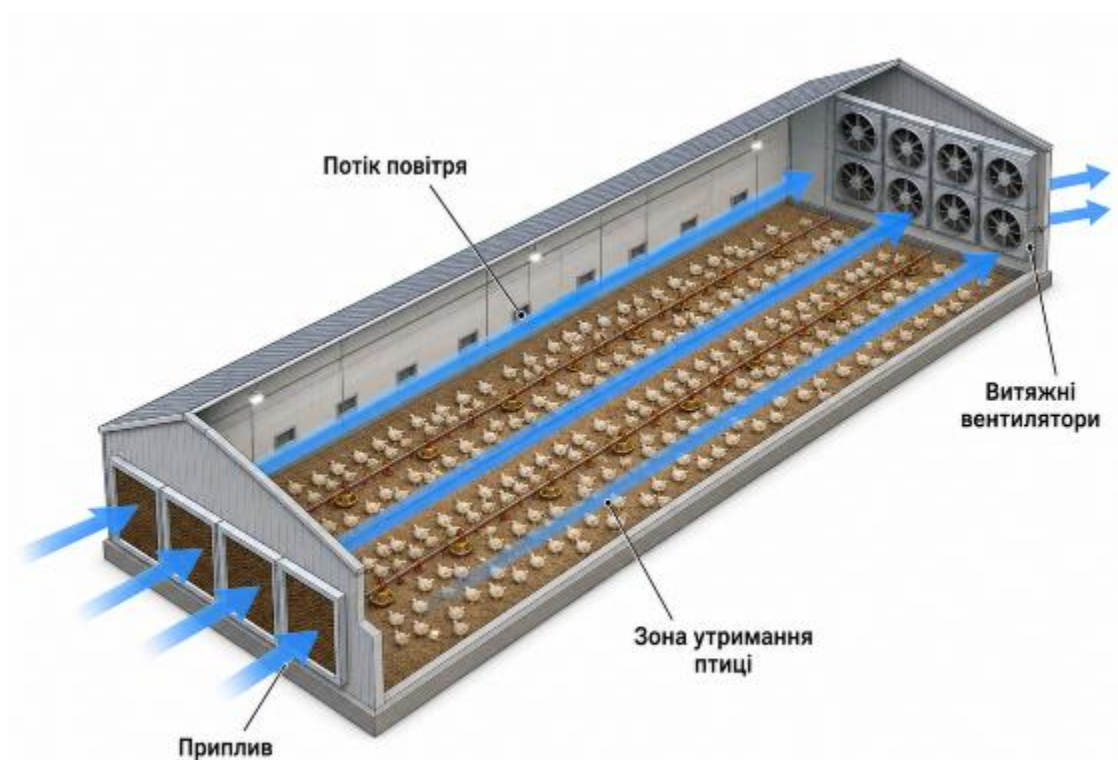


Рисунок 2.3 – Схема тунельної вентиляції

Для підвищення ефективності охолодження тунельну вентиляцію часто поєднують із випарним охолодженням. Найпоширенішими варіантами є охолоджувальні панелі типу *rad cooling* та системи туманоутворення. Принцип їхньої

роботи полягає у випаровуванні води, під час якого частина теплоти повітря витрачається на фазовий перехід води з рідкого стану в пару. У результаті температура повітря знижується, але його вологість зростає, тому така система має працювати разом із контролем вологості.

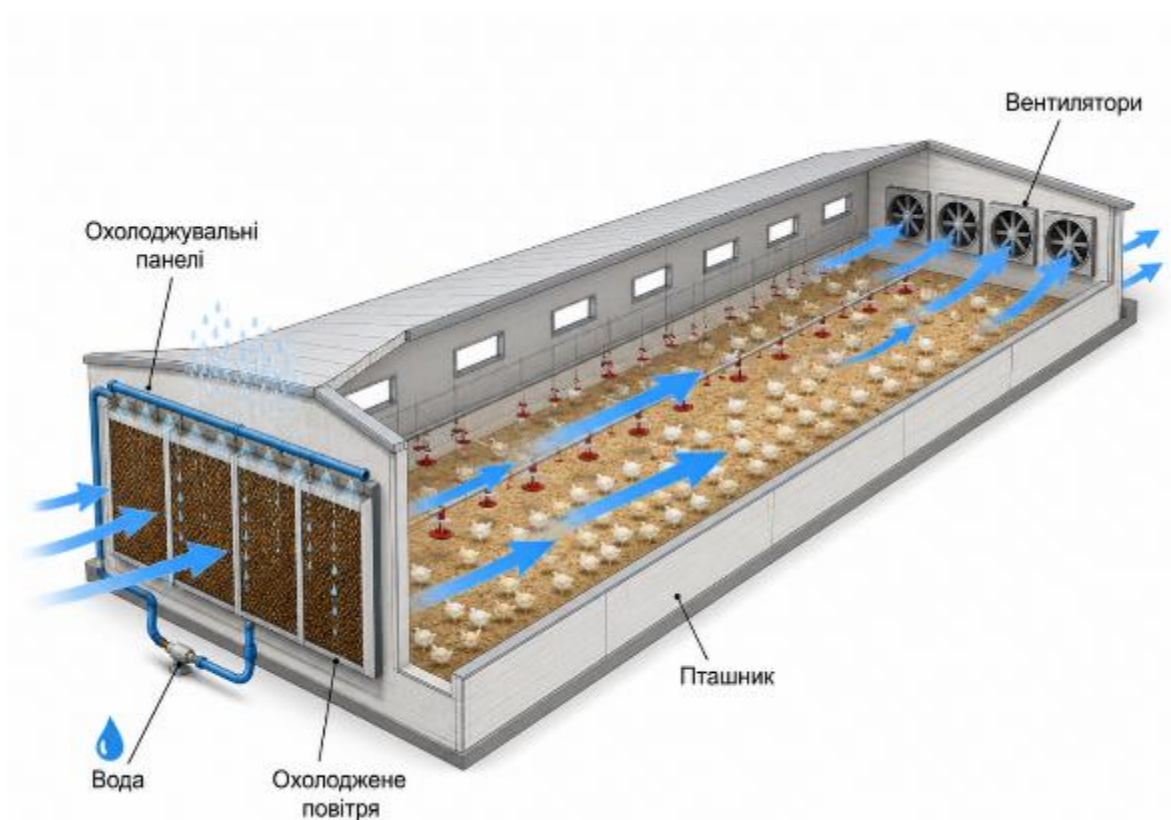


Рисунок 2.4 – Схема тунельної вентиляції з випарним охолодженням

Системи опалення у пташниках можуть бути локальними або загальними. Локальне опалення передбачає використання брудерів, інфрачервоних нагрівачів або теплогенераторів у зоні розміщення молодняку. Його перевагою є можливість підтримувати підвищену температуру саме там, де перебувають курчата, без надмірного нагрівання всього об'єму приміщення. Загальне опалення забезпечує нагрівання повітря у всьому пташнику за допомогою повітрянагрівачів, водяних калориферів, газових теплогенераторів або комбінованих систем.

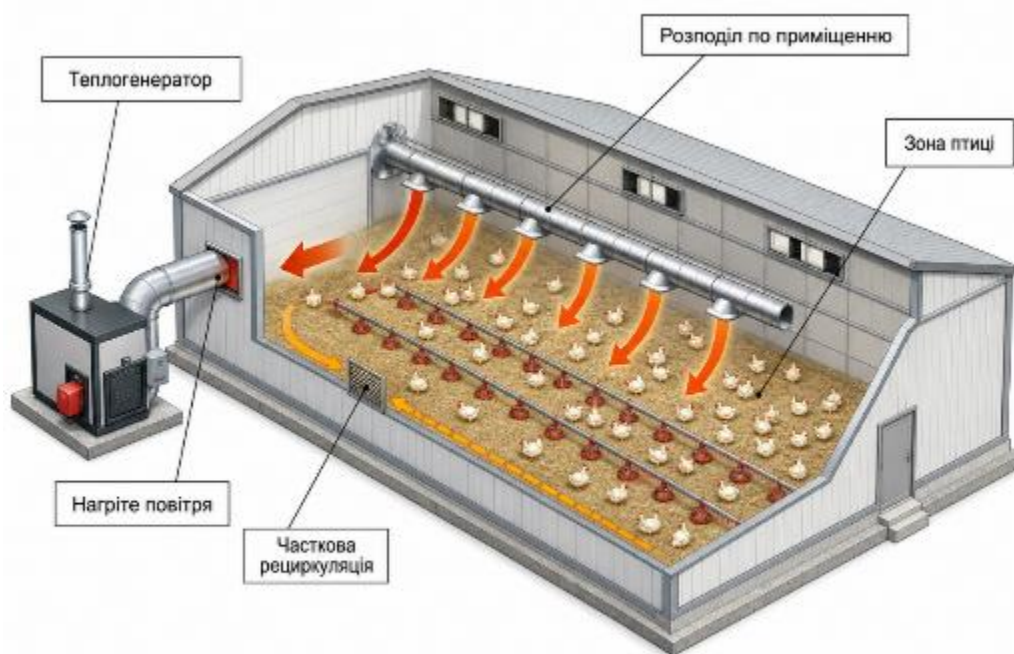


Рисунок 2.5 – Схема системи опалення з примусовою циркуляцією теплого повітря

Порівняльну характеристику основних систем створення мікроклімату наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Порівняння систем створення мікроклімату у пташниках

Система	Основне призначення	Переваги	Недоліки	Доцільність застосування
Природна вентиляція	Повітрообмін за рахунок вітру і теплового напору	Низькі енерговитрати, проста конструкція	Залежність від погоди, слабе регулювання, ризик протягів	Невеликі приміщення, помірний клімат, низька щільність посадки

Механічна мінімальна вентиляція	Видалення вологи, CO ₂ , аміаку в холодний період	Керований повітрообмін, стабільніша якість повітря	Потребує електроенергії та автоматики	Обов'язкова для сучасних бройлерних пташників
Перехідна вентиляція	Підвищення повітрообміну за помірних температур	Плавний перехід між зимовим і літнім режимом	Потребує узгодженої роботи клапанів і вентиляторів	Весна, осінь, середній період вирощування
Тунельна вентиляція	Охолодження птиці у спекотний період	Висока ефективність, ефект вітрового охолодження	Значні витрати електроенергії, потреба у герметичності приміщення	Літній період, висока щільність посадки
Випарне охолодження	Зниження температури припливного повітря	Ефективне охолодження при високій температурі	Підвищує вологість, потребує якісної води й обслуговування	Разом із тунельною вентиляцією
Локальне опалення	Обігрів молодняку у стартовий період	Економія енергії, нагрівання потрібної зони	Необхідність правильного розміщення джерел тепла	Перші дні вирощування
Загальне опалення	Підтримання температури всього приміщення	Стабільний температурний фон	Високі витрати теплової енергії	Зимовий період, основне або резервне джерело тепла

На основі проведеного огляду можна зробити висновок, що для пташника місткістю 15000 голів найбільш доцільною є комбінована автоматизована система мікроклімату. Вона повинна включати мінімальну вентиляцію для холодного періоду, перехідний режим для міжсезоння, тунельну вентиляцію для літнього охолодження, систему локального або загального опалення, датчики температури, вологості, CO₂ та аміаку, а також блок автоматичного керування. Така система дозволяє підтримувати нормативні параметри повітряного середовища, зменшити вплив людського фактора та оптимізувати витрати енергоресурсів.

Для подальшої модернізації доцільно розглядати не заміну окремого елемента, а удосконалення технологічного процесу в цілому. Найбільш перспективними напрямками є автоматичне регулювання повітрообміну, використання частотного керування вентиляторами, підвищення герметичності приміщення, застосування теплообмінників-рекуператорів у зимовий період та раціональне поєднання тунельної вентиляції з випарним охолодженням улітку.

2.4 Розробка варіанту реалізації технологічного процесу

За результатами порівняльного аналізу систем створення мікроклімату для бройлерних пташників до подальшого використання приймається комбінована система, у якій поєднуються бічні припливні клапани, витяжні шахти, тунельні вентилятори та засоби підігріву повітря. Такий варіант є доцільним для приміщення значної довжини та місткістю 15000 голів, оскільки він дає змогу змінювати режим повітрообміну залежно від віку птиці, температури зовнішнього повітря і фактичного стану повітряного середовища всередині пташника.

Прийнята система відрізняється тим, що не працює за одним постійним режимом, а послідовно переходить між мінімальною, перехідною та тунельною вентиляцією. У холодний період року основне навантаження покладається на бічні припливні клапани та витяжні шахти. Свіже повітря подається через клапани невеликими порціями, спрямовується у верхню зону приміщення, змішується з теплим внутрішнім повітрям і лише після цього опускається до рівня перебування

птиці. Це зменшує ризик утворення холодних потоків у зоні підстилки та дозволяє одночасно видаляти надлишкову вологу і шкідливі гази.

У літній період, коли головним завданням стає відведення надлишкового тепла, система переводиться у тунельний режим. При цьому повітря надходить через торцеві припливні клапани, проходить уздовж усього пташника і видаляється вентиляторами тунельної вентиляції. Завдяки цьому формується спрямований повітряний потік, який забезпечує інтенсивне охолодження птиці за рахунок підвищеної швидкості руху повітря в зоні її утримання.

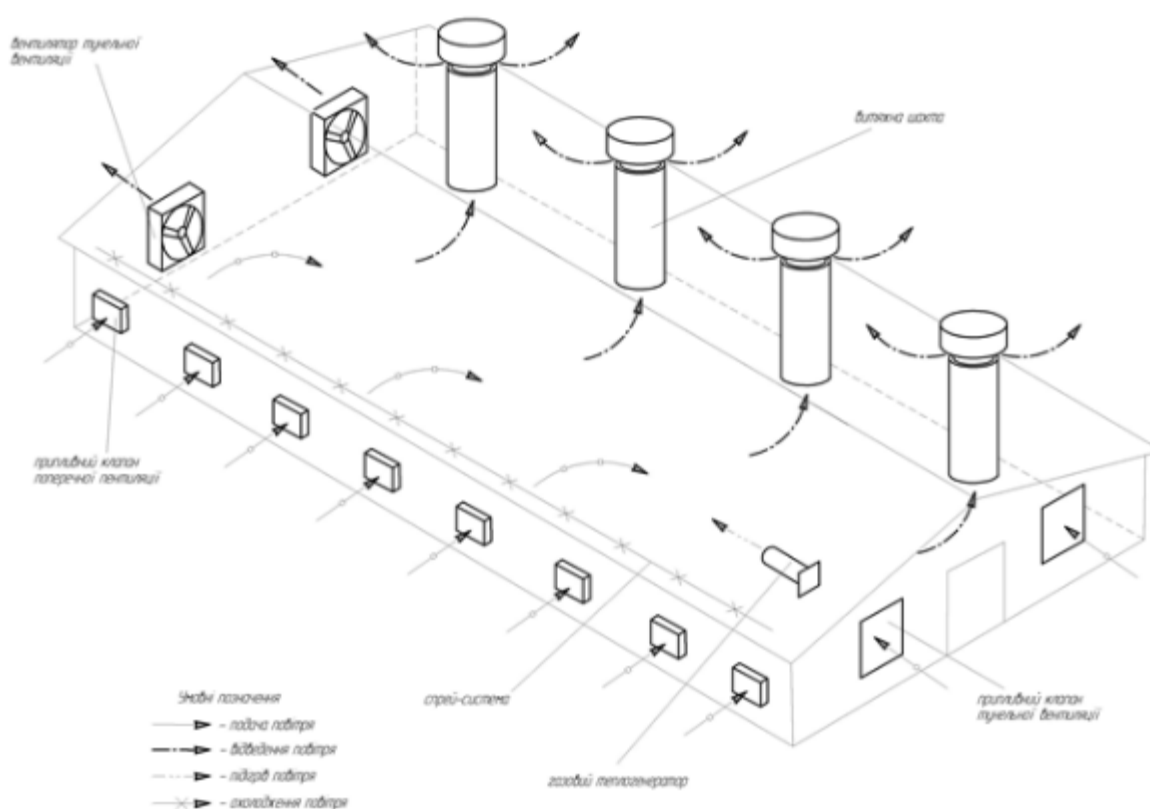


Рисунок 2.6 – Схема прийнятої системи забезпечення мікроклімату пташника

У загальному вигляді технологічний процес забезпечення мікроклімату включає подачу свіжого повітря, його підігрів або охолодження залежно від сезону, розподіл у приміщенні, перемішування з внутрішнім повітрям, видалення забрудненого повітря та автоматичне регулювання продуктивності окремих елементів. Склад основного обладнання прийнятої системи наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Склад комплекту обладнання системи мікроклімату

Найменування елемента	Функціональне призначення
Бічні припливні клапани поздовжньої вентиляції	Дозована подача зовнішнього повітря у холодний та перехідний періоди з його спрямуванням у верхню зону приміщення.
Витяжні шахти	Видалення теплого, вологого та забрудненого повітря з верхньої частини пташника.
Вентилятори тунельної вентиляції	Створення інтенсивного поздовжнього повітряного потоку в теплий період року.
Торцеві припливні клапани тунельної вентиляції	Подача повітря у пташник під час роботи системи в тунельному режимі.
Осьові теплогенератори	Підігрів повітря та компенсація тепловтрат приміщення у зимовий період.
Система автоматичного керування	Координація роботи клапанів, вентиляторів і теплогенераторів відповідно до сигналів датчиків.
Датчики температури, вологості та тиску	Контроль фактичного стану повітряного середовища та передача інформації на блок керування.
Електроприводи клапанів і виконавчі механізми	Автоматичне регулювання положення припливних клапанів відповідно до заданого режиму вентиляції.
Силове та комутаційне обладнання	Живлення електроспоживачів, комутація навантажень і захист елементів системи від аварійних режимів.

Бічні припливні клапани розміщуються вздовж довгих стін пташника. Їх робота полягає не тільки у відкриванні отвору для надходження свіжого повітря, а й у формуванні правильного напрямку повітряного струменя. Потік повинен потрапляти до верхньої частини приміщення, де температура вища, ніж біля пі-

длоги. Унаслідок перемішування свіже повітря частково підігрівається і не створює різкого охолодження птиці. Така організація припливу особливо важлива в перші тижні вирощування бройлерів, коли молодняк найбільш чутливий до переохолодження і протягів.

Витяжні шахти встановлюються у верхній зоні приміщення. Їх розміщення пов'язане з природним переміщенням теплого та вологого повітря вгору. Через шахти з пташника видаляються водяна пара, вуглекислий газ, аміак, пилові частинки та надлишкове тепло. За рахунок цього підтримується задовільний газовий склад повітря, зменшується зволоження підстилки та поліпшуються санітарно-гігієнічні умови утримання птиці.

Вентилятори тунельної вентиляції доцільно розміщувати на одному з торців будівлі. При їх увімкненні у приміщенні створюється розрідження, завдяки якому повітря надходить з протилежного боку та рухається вздовж усього пташника. Така схема ефективна для літнього періоду, оскільки забезпечує не лише оновлення повітря, а й охолоджувальну дію повітряного потоку на птицю. Для запобігання нерівномірному розподілу швидкостей вентилятори повинні працювати узгоджено, а припливні отвори тунельної вентиляції мають відкриватися на достатню площу.

Осьові теплогенератори використовуються для підтримання необхідної температури у холодний період року. Вони можуть працювати як у режимі прямого нагрівання припливного повітря, так і з частковою рециркуляцією внутрішнього повітря. Другий варіант дає можливість зменшити втрати теплоти, однак частка рециркуляції не повинна погіршувати якість повітря. Тому робота теплогенераторів має бути узгоджена з мінімальною вентиляцією, яка забезпечує видалення вологи та шкідливих газів.

Система автоматичного керування виконує функцію координації всіх елементів технологічного процесу. Контролер отримує інформацію від датчиків температури, вологості та тиску, а за необхідності також від датчиків концентрації вуглекислого газу й аміаку. На основі цих показників він змінює положення кла-

панів, кількість працюючих вентиляторів і теплову потужність нагрівального обладнання. Це дозволяє підтримувати мікроклімат у заданих межах без постійного ручного втручання оператора.

Таблиця 2.7 – Режими роботи прийнятої системи мікроклімату

Період або режим роботи	Працюючі елементи системи	Основне завдання
Холодний період	Бічні клапани, витяжні шахти, теплогенератори, автоматика	Підтримання температури й видалення вологи за мінімальних тепловтрат.
Перехідний період	Бічні клапани, витяжні шахти, частина вентиляторів	Плавне збільшення повітрообміну без різких температурних коливань.
Теплий період	Торцеві клапани, тунельні вентилятори, автоматика	Відведення надлишкового тепла і створення охолоджувального потоку.
Аварійний режим	Резервні вентилятори, аварійне відкривання клапанів, сигналізація	Недопущення перегрівання птиці або накопичення шкідливих газів.

У холодний період система працює переважно в режимі мінімальної вентиляції. Бічні клапани відкриваються на невелику величину, витяжні шахти забезпечують стабільне видалення забрудненого повітря, а теплогенератори компенсують тепловтрати. Головною умовою такого режиму є недопущення переохолодження зони утримання птиці при одночасному видаленні надлишкової вологи. У перехідний період року продуктивність вентиляції поступово збільшується. Автоматика змінює ступінь відкриття клапанів і кількість працюючих вентиляторів залежно від температури та вологості. Це дозволяє уникнути як перегрівання приміщення, так і зайвих витрат енергії на опалення.

У теплий період основним стає тунельний режим вентиляції. Бічні клапани закриваються або переводяться у допоміжне положення, відкриваються торцеві

припливні клапани, а вентилятори тунельної вентиляції створюють поздовжній потік повітря. Завдяки цьому забезпечується інтенсивне відведення теплоти від птиці та обладнання.

Отже, запропонований варіант є комбінованим і передбачає узгоджену роботу кількох взаємопов'язаних підсистем. Його перевага полягає у можливості адаптувати повітрообмін і теплопостачання до фактичних умов вирощування бройлерів, підтримувати нормативний мікроклімат і зменшувати енерговитрати.

2.5 Визначення параметрів процесу забезпечення мікроклімату

Для забезпечення стабільних умов вирощування бройлерів система мікроклімату повинна виконувати декілька взаємопов'язаних функцій: підтримувати нормативний газовий склад повітря, видаляти надлишкову вологу, забезпечувати необхідний температурний режим, створювати рівномірне освітлення та автоматично змінювати режим роботи обладнання залежно від віку птиці й зовнішніх кліматичних умов.

Подальші розрахунки виконуємо для одного пташника з такими вихідними даними: довжина приміщення 80 м, ширина 12 м, висота 4,5 м, площа підлоги 960 м², будівельний об'єм 4320 м³, місткість 15000 голів. Для розрахунків приймаємо максимальну живу масу одного бройлера наприкінці вирощування 2,5 кг.

$$G_{\text{пт}} = n_{\text{пт}} \cdot m_{\text{пт}} = 15000 \cdot 2,5 = 37500 \text{ кг} \quad (2.1)$$

де $G_{\text{пт}}$ - загальна жива маса птиці у приміщенні, кг; $n_{\text{пт}}$ - кількість птиці, гол.; $m_{\text{пт}}$ - середня жива маса однієї голови, кг.

Розрахунок основних елементів системи доцільно виконувати за найбільш несприятливими умовами, тобто за максимальним навантаженням приміщення птицею та максимальними потребами у вентиляції, опаленні або охолодженні.

2.5.1 Підтримання газового складу повітря

Підтримання газового складу повітря у пташнику забезпечується організованим повітрообміном. Його основне призначення полягає у видаленні надлишкової вологи, вуглекислого газу, аміаку, пилу та теплоти, що виділяються птицею, підстилкою і технологічним обладнанням. Недостатній повітрообмін призводить до накопичення шкідливих домішок, зволоження підстилки та погіршення санітарного стану приміщення. Надмірна вентиляція у холодний період, навпаки, збільшує тепловтрати і витрати на опалення.

Для проєктованого пташника приймаємо комбіновану систему вентиляції, яка складається з бічних припливних клапанів, вентиляторів мінімальної вентиляції та вентиляторів тунельного режиму. Такий варіант дозволяє забезпечити окремі режими роботи для холодного, перехідного і літнього періодів.

Мінімальну вентиляцію визначаємо за питомою подачею повітря на 1 кг живої маси птиці. Приймаємо питому подачу повітря 0,7 м³/год на 1 кг живої маси.

$$L_{min} = q_v \cdot G_{пт} = 0,7 \cdot 37500 = 26250 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.2)$$

де L_{min} - мінімально необхідна подача повітря, м³/год; q_v - питома подача повітря на 1 кг живої маси, м³/(год·кг); $G_{пт}$ - загальна жива маса птиці у приміщенні, кг.

Отже, для підтримання допустимого газового складу повітря у холодний період необхідно забезпечити повітрообмін не менше 26250 м³/год.

Для літнього періоду та роботи у тунельному режимі приймаємо розрахункову швидкість руху повітря в робочій зоні 2,0 м/с. Оскільки основний повітряний потік проходить не через повну будівельну висоту приміщення, а переважно через зону утримання птиці, активну висоту потоку приймаємо 3,0 м.

$$F_a = B \cdot H_a = 12 \cdot 3,0 = 36 \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

де F_a - активна площа поперечного перерізу повітряного потоку, м²; B - ширина пташника, м; H_a - активна висота повітряного потоку, м.

$$L_{tun} = F_a \cdot v_{п} \cdot 3600 = 36 \cdot 2,0 \cdot 3600 = 259200 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.4)$$

де L_{tun} - продуктивність вентиляції у тунельному режимі, м³/год; F_a - активна площа поперечного перерізу потоку, м²; $v_{\text{п}}$ - швидкість руху повітря у пташнику, м/с.

Таким чином, система вентиляції повинна забезпечувати два основних рівні продуктивності: мінімальний повітрообмін близько 26,3 тис. м³/год і максимальний літній повітрообмін близько 259 тис. м³/год.

Для подачі припливного повітря приймаємо бічні припливні клапани Climatec 3000-VFG-C. Продуктивність одного клапана при статичному тиску 20 Па становить близько 4100 м³/год. Конструкція клапана дає можливість спрямовувати припливний потік у верхню зону приміщення, що зменшує ризик виникнення протягів у зоні перебування птиці.

$$n_{\text{кл}} = \frac{L_{\text{min}}}{q_{\text{кл}}} = \frac{26250}{4100} = 6,4 \quad (2.5)$$

де $n_{\text{кл}}$ - мінімально необхідна кількість припливних клапанів, шт.; L_{min} - мінімально необхідна подача повітря, м³/год; $q_{\text{кл}}$ - продуктивність одного припливного клапана, м³/год.

Таблиця 2.7 – Визначення кількості припливних клапанів

Показник	Значення
Розрахункова мінімальна вентиляція, м ³ /год	26250
Марка припливного клапана	Climatec 3000-VFG-C
Продуктивність одного клапана при 20 Па, м ³ /год	4100
Мінімально необхідна кількість, шт.	7
Прийнята кількість з урахуванням рівномірності подачі, шт.	16
Розміщення	по 8 шт. на кожній довгій стіні
Орієнтовний крок встановлення, м	10

За продуктивністю достатньо 7 клапанів. Однак для уникнення застійних зон і рівномірного розподілу припливного повітря вздовж пташника приймаємо

конструктивно доцільну кількість - 16 припливних клапанів, по 8 штук на кожній довгій стіні. При довжині приміщення 80 м орієнтовний крок встановлення становитиме приблизно 10 м.

Для видалення повітря у режимі мінімальної вентиляції приймаємо вентилятор Munters ED24HE продуктивністю близько 9100 м³/год. Для тунельної вентиляції приймаємо вентилятор Munters ED36HE продуктивністю близько 19100 м³/год.

$$n_{min} = \frac{L_{min}}{q_{ED24}} = \frac{26250}{9100} = 2,88 \quad (2.6)$$

де n_{min} - кількість вентиляторів мінімальної вентиляції, шт.; q_{ED24} - продуктивність одного вентилятора ED24HE, м³/год.

Приймаємо 3 вентилятор Munters ED24HE. Вони можуть працювати ступінчасто або циклічно за сигналом контролера, що дає змогу підтримувати якість повітря без надмірного охолодження приміщення.

$$n_{tun} = \frac{L_{tun}}{q_{ED36}} = \frac{259200}{19100} = 13,57 \quad (2.7)$$

де n_{tun} - кількість вентиляторів тунельної вентиляції, шт.; L_{tun} - продуктивність вентиляції у тунельному режимі, м³/год; q_{ED36} - продуктивність одного вентилятора ED36HE, м³/год.

Приймаємо 14 вентиляторів Munters ED36HE, розміщених у торцевій стіні пташника. Таке рішення забезпечує необхідну кратність повітрообміну в літній період і створює спрямований повітряний потік уздовж усього приміщення.

Таблиця 2.8 – Визначення кількості витяжних вентиляторів

Режим роботи	Розрахункова продуктивність, м³/год	Прийнята марка вентилятора	Продуктивність одного вентилятора, м³/год	Кількість, шт.
Мінімальна вентиляція	26250	Munters ED24HE	9100	3
Тунельна вентиляція	259200	Munters ED36HE	19100	14

Отже, для підтримання газового складу повітря та запобігання утворенню застійних зон у пташнику приймаємо 16 бічних припливних клапанів Climates 3000-VFG-C, 3 вентилятори мінімальної вентиляції Munters ED24HE та 14 вентиляторів тунельної вентиляції Munters ED36HE.

2.5.2 Підтримання температурного режиму

Температурний режим у пташнику залежить від віку птиці, зовнішньої температури, рівня вентиляції, тепловиділення птиці, теплоізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій і роботи системи опалення. Найбільше теплове навантаження на систему опалення виникає у холодний період року, коли необхідно одночасно підігрівати припливне повітря і компенсувати втрати теплоти через стіни, покриття, підлогу, двері та технологічні отвори.

Розрахунок теплової потужності виконуємо за двома основними складовими: теплота на підігрів вентиляційного повітря та теплота на компенсацію втрат через огорожувальні конструкції. Для зимового розрахунку приймаємо внутрішню температуру повітря 22 °С, зовнішню розрахункову температуру мінус 20 °С.

$$\Delta t = t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}} = 22 - (-20) = 42 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (2.8)$$

де Δt - розрахункова різниця температур, °С; $t_{\text{вн}}$ - температура повітря всередині пташника, °С; $t_{\text{зов}}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря, °С.

$$Q_{\text{вент}} = 0,335 \cdot L_{\text{min}} \cdot \Delta t \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{вент}} = 0,335 \cdot 26250 \cdot 42 = 369337 \text{ Вт} = 369,3 \text{ кВт} \quad (2.10)$$

де $Q_{\text{вент}}$ - теплова потужність на підігрів вентиляційного повітря, кВт; 0,335 - коефіцієнт для переведення витрати повітря у теплову потужність, Вт·год/(м³·°С); L_{min} - мінімальна вентиляція, м³/год; Δt - різниця температур, °С.

Для компенсації тепловтрат через огорожувальні конструкції приймаємо орієнтовну площу теплопередачі стін і покриття 1850 м² та середній коефіцієнт теплопередачі 0,5 Вт/(м²·°С).

$$Q_{\text{ог}} = k_{\text{ог}} \cdot F_{\text{ог}} \cdot \Delta t = 0,5 \cdot 1850 \cdot 42 = 38850 \text{ Вт} = 38,9 \text{ кВт} \quad (2.11)$$

де $Q_{ог}$ - тепловтрати через огорожувальні конструкції, кВт; $k_{ог}$ - середній коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій, Вт/(м²·°C); $F_{ог}$ - площа теплопередачі, м².

$$Q_{заг} = Q_{вент} + Q_{ог} = 369,3 + 38,9 = 408,2 \text{ кВт} \quad (2.12)$$

де $Q_{заг}$ - загальна теплова потреба пташника, кВт.

$$Q_{розн} = Q_{заг} \cdot k_p = 408,2 \cdot 1,15 = 469,4 \text{ кВт} \quad (2.13)$$

де $Q_{розн}$ - розрахункова теплова потужність системи опалення з урахуванням резерву, кВт; k_p - коефіцієнт резерву потужності.

Для опалення пташника приймаємо газові повітрянагрівачі Solveno RGAX-100 тепловою потужністю до 100 кВт. Їх застосування дозволяє швидко компенсувати тепловтрати приміщення і підтримувати задану температуру в зоні утримання птиці.

$$n_{тг} = \frac{Q_{розн}}{Q_{тг}} = \frac{469,4}{100} = 4,69 \quad (2.14)$$

де $n_{тг}$ - кількість теплогенераторів, шт.; $Q_{розн}$ - розрахункова теплова потужність системи опалення, кВт; $Q_{тг}$ - теплова потужність одного теплогенератора, кВт.

Приймаємо 5 теплогенераторів Solveno RGAX-100 загальною встановленою тепловою потужністю 500 кВт. Такий варіант забезпечує покриття розрахункової потреби в теплоті та має необхідний резерв для роботи в несприятливих погодних умовах.

Таблиця 2.9 – Розрахунок системи опалення пташника

Показник	Значення
Мінімальна вентиляція, м ³ /год	26250
Розрахункова різниця температур, °C	42
Теплота на підігрів вентиляційного повітря, кВт	369,3
Тепловтрати через огорожувальні конструкції, кВт	38,9
Загальна теплова потреба, кВт	408,2

Резерв потужності, %	15
Розрахункова теплова потужність, кВт	469,4
Прийнятий тип теплогенератора	Solveno RGAX-100
Потужність одного теплогенератора, кВт	100
Прийнята кількість, шт.	5
Загальна встановлена потужність, кВт	500

У літній період завдання системи мікроклімату полягає не в підігріві, а у відведенні надлишкової теплоти. Для цього приймаємо тунельну вентиляцію з випарним охолодженням припливного повітря. Площа охолоджувальних панелей визначається за максимальною витратою повітря та допустимою швидкістю проходження повітря через панель. Приймаємо допустиму швидкість через панель 1,5 м/с.

$$F_{\text{пан}} = \frac{L_{\text{tun}}}{3600 \cdot v_{\text{пан}}} = \frac{259200}{3600 \cdot 1,5} = 48,0 \text{ м}^2 \quad (2.15)$$

де $F_{\text{пан}}$ - розрахункова площа охолоджувальних панелей, м^2 ; L_{tun} - максимальна витрата повітря у тунельному режимі, $\text{м}^3/\text{год}$; $v_{\text{пан}}$ - швидкість проходження повітря через охолоджувальну панель, м/с.

$$F_{\text{пан.пр}} = F_{\text{пан}} \cdot k_3 = 48,0 \cdot 1,125 = 54 \text{ м}^2 \quad (2.16)$$

де $F_{\text{пан.пр}}$ - прийнята площа охолоджувальних панелей з урахуванням запасу, м^2 ; k_3 - коефіцієнт запасу на забруднення панелей, нерівномірність змочування та втрати повітря.

$$l_{\text{пан}} = \frac{F_{\text{пан.пр}}}{h_{\text{пан}}} = \frac{54}{2,0} = 27 \text{ м} \quad (2.17)$$

де $l_{\text{пан}}$ - загальна довжина панельного блоку, м; $h_{\text{пан}}$ - висота охолоджувальної панелі, м.

Панелі доцільно розміщувати на припливному торці або на бічних ділянках поблизу припливного торця з рівномірним підведенням повітря до всієї

площі змочування. Для циркуляції води приймаємо насосну групу продуктивністю близько 30 м³/год із фільтром, водозбірним піддоном та розподільчим трубопроводом.

Таблиця 2.10 – Параметри системи літнього охолодження

Показник	Значення
Максимальна витрата повітря, м ³ /год	259200
Прийнята швидкість повітря через панель, м/с	1,5
Розрахункова площа панелей, м ²	48
Прийнята площа з резервом, м ²	54
Висота панелі, м	2,0
Загальна довжина панельного блоку, м	27
Орієнтовна продуктивність насосної групи, м ³ /год	30
Основний режим роботи	разом із тунельною вентиляцією

Отже, для підтримання температурного режиму в холодний період приймаємо 5 газових теплогенераторів Solveno RGAX-100, а для літнього періоду - систему тунельної вентиляції з охолоджувальними панелями загальною площею 54 м².

2.5.3 Освітлення пташника

Освітлення у пташнику впливає на активність птиці, споживання корму й води, рівномірність росту та поведінку бройлерів. У перші дні вирощування освітленість повинна бути достатньою для того, щоб курчата швидко знаходили корм і воду. Надалі інтенсивність освітлення поступово знижують, щоб зменшити надлишкову активність птиці та поліпшити ефективність вирощування.

Для розрахунку приймаємо максимальну освітленість у початковий період 25 лк. Площа пташника становить 960 м².

$$\Phi = \frac{E \cdot F \cdot k \cdot z}{\eta} \quad (2.18)$$

$$\Phi = \frac{25 \cdot 960 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,6} = 61600 \text{ лм} \quad (2.19)$$

де Φ - необхідний світловий потік, лм; E - нормована освітленість, лк; F - площа пташника, м²; k - коефіцієнт запасу; z - коефіцієнт нерівномірності; η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Для освітлення приймаємо світлодіодні світильники для птахівничих приміщень потужністю 18 Вт. Орієнтовну світлову ефективність приймаємо 140 лм/Вт.

$$\Phi_1 = P_1 \cdot \eta_{\text{св}} = 18 \cdot 140 = 2520 \text{ лм} \quad (2.20)$$

де Φ_1 - світловий потік одного світильника, лм; P_1 - потужність одного світильника, Вт; $\eta_{\text{св}}$ - світлова ефективність світильника, лм/Вт.

$$n_{\text{св}} = \frac{\Phi}{\Phi_1} = \frac{61600}{2520} = 24,4 \quad (2.21)$$

де $n_{\text{св}}$ - розрахункова кількість світильників, шт.; Φ - необхідний світловий потік, лм; Φ_1 - світловий потік одного світильника, лм.

Приймаємо 30 світлодіодних світильників по 18 Вт. Збільшення кількості порівняно з мінімально розрахунковою необхідне для забезпечення рівномірного освітлення в усіх зонах пташника, особливо біля годівниць, ліній напування та торцевих частин приміщення.

$$P_{\text{осв}} = n_{\text{св}} \cdot P_1 = 30 \cdot 18 = 540 \text{ Вт} \quad (2.22)$$

де $P_{\text{осв}}$ - загальна встановлена потужність освітлення, Вт; $n_{\text{св}}$ - прийнята кількість світильників, шт.; P_1 - потужність одного світильника, Вт.

Розміщення світильників приймаємо у 3 поздовжні ряди по 10 світильників у кожному. При довжині приміщення 80 м крок між світильниками в одному ряду становитиме приблизно 8 м. Світильники доцільно встановлювати з можливістю плавного регулювання яскравості.

2.5.4 Допоміжне обладнання

Для забезпечення стабільної роботи системи мікроклімату, крім основних елементів вентиляції, опалення, охолодження та освітлення, необхідно передбачити допоміжне обладнання. Його призначення полягає у контролі параметрів повітряного середовища, автоматичному керуванні виконавчими механізмами, захисті електрообладнання та забезпеченні надійності технологічного процесу.

До складу допоміжного обладнання приймаємо контролер мікроклімату, датчики температури, вологості, вуглекислого газу, аміаку і статичного тиску, електроприводи припливних клапанів, шафу керування та захисту, насосну групу для системи випарного охолодження, а також систему аварійної сигналізації.

Датчики температури доцільно розміщувати рівномірно по довжині пташника на рівні перебування птиці. Для приміщення довжиною 80 м приймаємо 6 датчиків температури з орієнтовним кроком 12–15 м. Датчики вологості встановлюємо у середній частині пташника та ближче до витяжної зони. Датчики CO₂ і NH₃ використовуємо для коригування мінімальної вентиляції за фактичною якістю повітря.

Таблиця 2.11 – Прийняте допоміжне обладнання системи мікроклімату

Найменування	Кількість	Призначення
Контролер мікроклімату	1	Автоматичне керування системою
Датчики температури	6	Контроль температури по довжині пташника
Датчики вологості	2	Контроль вологості повітря
Датчики CO ₂	2	Коригування мінімальної вентиляції
Датчик NH ₃	1	Контроль накопичення аміаку

Датчик статичного тиску	1	Контроль розрідження у приміщенні
Електроприводи клапанів	16	Регулювання припливного повітря
Шафа керування	1	Керування і захист електрообладнання
Насосна група охолодження	1	Подача води на охолоджувальні панелі

2.6 Висновки

Отже, прийнятий комплект основного та допоміжного обладнання забезпечує підтримання газового складу повітря, температурного режиму, освітлення та автоматичне керування технологічним процесом. Для пташника розміром 12×80×4,5 м і місткістю 15000 голів приймаємо: 16 бічних припливних клапанів Climatec 3000-VFG-C, 3 вентилятори мінімальної вентиляції Munters ED24HE, 14 вентиляторів тунельної вентиляції Munters ED36HE, 5 газових теплогенераторів Solveno RGAX-100, охолоджувальні панелі площею 54 м², 30 світлодіодних світильників по 18 Вт та комплект засобів автоматичного контролю і керування.

3 Удосконалення вентиляційної установки

3.1 Обґрунтування важливості питання

Забезпечення мікроклімату у пташнику є одним із найбільш енергомістких процесів у технології вирощування бройлерів. У холодний період року система вентиляції повинна безперервно видаляти з приміщення вологу, вуглекислий газ, аміак, пил та надлишкове тепло, але разом із відпрацьованим повітрям із пташника втрачається значна кількість теплоти. Тому процес вентиляції одночасно виконує санітарно-зоотехнічну функцію і створює додаткове теплове навантаження на систему опалення.

Для бройлерного пташника недостатній повітрообмін є небезпечним, оскільки він сприяє накопиченню шкідливих газів і зволоженню підстилки. Вологе середовище посилює утворення аміаку, погіршує санітарний стан приміщення, підвищує ризик захворювань кінцівок і дихальної системи птиці. Водночас надмірна вентиляція без утилізації теплоти призводить до значних енергетичних втрат, оскільки холодне припливне повітря потрібно постійно підігрівати до зоотехнічно допустимої температури.

За рекомендаціями з утримання птиці, вентиляція необхідна не тільки для охолодження приміщення, а й для підтримання якості повітря, видалення вологи та запобігання накопиченню аміаку. Навіть тоді, коли тепловидалення не є основною метою, мінімальна вентиляція повинна працювати для підтримання підстилки у сухому стані та забезпечення нормального газового складу повітря [1, 2].

З енергетичної точки зору найбільш проблемним є зимовий режим. У цей період припливне повітря має низьку температуру, а обмежити вентиляцію нижче допустимого рівня неможливо через вимоги до газового складу повітря. У результаті значна частина теплової енергії, що виробляється теплогенераторами, фактично виноситься назовні разом із витяжним повітрям. Тому одним із най-

більш доцільних напрямів удосконалення вентиляційної установки є застосування повітряного теплоутилізатора, який передає частину теплоти від витяжного повітря до припливного без їх безпосереднього змішування.

Використання теплоутилізації у птахівничих приміщеннях дозволяє попередньо підігрівати зовнішнє повітря, зменшувати навантаження на систему опалення, підвищувати рівномірність температурного поля та знижувати витрати енергоресурсів. Оскільки вентиляція у пташнику працює протягом усього періоду вирощування, повернення навіть частини теплоти має відчутний економічний ефект. Практичні матеріали з енергозбереження у птахівництві вказують, що рекуперація теплоти вентиляційного повітря є логічним етапом підвищення енергоефективності пташників, оскільки вона дозволяє використовувати теплоту витяжного повітря для підігріву припливного [3].

Для умов проєктованого пташника, місткістю 15000 голів, удосконалення вентиляційної установки доцільно виконати шляхом встановлення повітряного теплоутилізатора у складі припливно-витяжної системи. Такий підхід дає змогу зберегти необхідний повітрообмін, не погіршуючи зоотехнічних умов, і одночасно зменшити витрати теплоти на підігрів припливного повітря.

3.2 Аналіз стану питання

Повітряні теплоутилізатори, які можуть застосовуватися у системах вентиляції тваринницьких і птахівничих приміщень, відрізняються конструкцією, способом передавання теплоти, аеродинамічним опором, можливістю очищення, стійкістю до пилу та вологи, а також вартістю виготовлення. Для пташників важливо, щоб теплообмінник не створював надмірного опору руху повітря, не забивався пилом, мав можливість відведення конденсату та був достатньо простим в обслуговуванні.

Найбільш поширеними типами повітряних теплоутилізаторів є пластинчасті рекуператори, роторні регенеративні теплообмінники, трубчасті рекуператори, теплоутилізатори з проміжним теплоносієм та теплові труби.

Порівняння основних типів теплоутилізаторів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика повітряних теплоутилізаторів

Тип теплоутилізатора	Переваги	Недоліки	Доцільність для пташника
Пластинчастий	Відсутність рухомих частин, достатня ефективність, компактність	Забруднення вузьких каналів, ризик обмерзання, складніше очищення	Можливе застосування за наявності фільтрації та відведення конденсату
Роторний	Висока ефективність, компактна конструкція	Рухомі частини, можливе перенесення запахів і домішок, складніше обслуговування	Обмежено доцільний у пташниках через забруднене витяжне повітря
Трубчастий	Простота, ремонтпридатність, зручне очищення, можливість відведення конденсату	Більші габарити порівняно з пластинчастим	Доцільний для модернізації вентиляційної установки пташника
З проміжним теплоносієм	Можливість рознести припливний і витяжний канали	Насос, трубопроводи, ризик замерзання теплоносія	Доцільний при складному плануванні повітроводів
Теплові труби	Відсутність насоса, розділення потоків	Складніше виготовлення, нижча ремонтпридатність	Можливий варіант, але менш простий для господарських умов

З урахуванням умов експлуатації пташника найбільш раціональним для подальшого опрацювання є трубчастий теплоутилізатор. Його можна інтегру-

вати у припливно-витяжну систему, забезпечити відведення конденсату, розмістити над зоною утримання птиці та використати для рівномірної подачі підігрітого припливного повітря через отвори у зовнішній трубі. Така конструкція поєднує функції теплообміну та розподілу повітря по приміщенню.

3.3 Розробка варіанту удосконалення

За результатами аналізу приймаємо до розробки тритрубний повітряний теплоутилізатор, призначений для попереднього підігріву зовнішнього повітря теплотою витяжного повітря пташника. Конструкція виконується у вигляді системи концентрично розміщених труб, через які організовано рух припливного та витяжного повітря. Теплообмін відбувається через стінки труб, тобто повітряні потоки не змішуються між собою.

Прийнята схема дозволяє вирішити декілька задач одночасно: зменшити витрати теплоти на підігрів припливного повітря, забезпечити більш рівномірну подачу повітря по ширині або довжині приміщення, знизити ймовірність локального переохолодження птиці та використати витяжну шахту як елемент загальної системи утилізації теплоти.

Для проєктування теплоутилізатора використовуємо вихідні дані, прийняті в розділі 2: місткість пташника 15000 голів, розміри приміщення $12 \times 80 \times 4,5$ м, мінімальна вентиляція у холодний період $L_{min} = 26250$ м³/год, внутрішня температура $t_{вн} = 22$ °С, розрахункова зовнішня температура $t_{зов} = -20$ °С.

3.3.1 Розробка конструкційно-технологічної схеми

Конструкційно-технологічна схема тритрубного теплоутилізатора наведена на рисунку 3.4. Основними елементами пристрою є три труби різного діа-

метра, які формують канали для руху припливного та витяжного повітря, витяжна шахта, припливний і витяжний вентилятори та трубка для відведення конденсату.

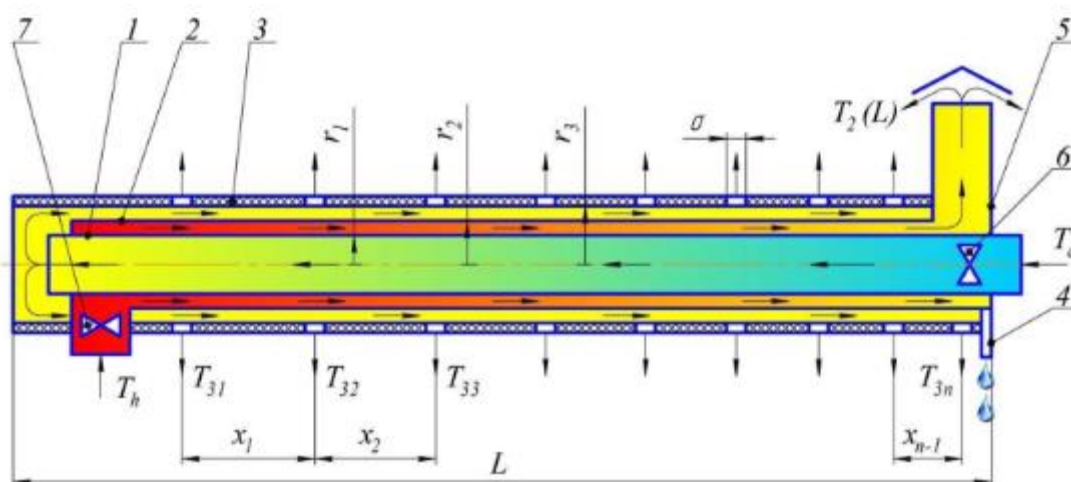


Рисунок 3.4 – Технологічна схема тритрубного теплоутилізатора з основними параметрами: 1, 2, 3 – труби; 4 – трубка для відведення конденсату; 5 – витяжна шахта; 6 – припливний вентилятор; 7 – витяжний вентилятор

Принцип роботи пристрою полягає в такому. Холодне зовнішнє повітря подається припливним вентилятором у канали теплоутилізатора, де воно нагрівається через стінки труб за рахунок теплоти витяжного повітря. Після підігріву припливне повітря надходить у пташник через отвори у зовнішній трубі. Тепле забруднене повітря з приміщення рухається у витяжному каналі до витяжної шахти та видаляється назовні витяжним вентилятором.

Оскільки витяжне повітря має підвищену вологість, під час охолодження на стінках теплообмінника може утворюватися конденсат. Для його відведення у нижній частині конструкції передбачається трубка відведення конденсату. Це запобігає накопиченню вологи всередині теплоутилізатора та зменшує ризик корозії й забруднення каналів.

труби L , площу отворів для виходу припливного повітря, їх кількість n та крок розміщення x .

Мінімальна витрата повітря для пташника у холодний період становить:

$$L_{min} = 26250 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для рівномірного розподілу повітря по приміщенню приймаємо кількість теплоутилізаторів:

$$z = 8 \text{ шт.}$$

Витрата повітря через один теплоутилізатор визначається за формулою:

$$L_{од} = \frac{L_{min}}{z}. \quad (3.1)$$

де $L_{од}$ – витрата повітря через один теплоутилізатор, $\text{м}^3/\text{год}$; L_{min} – мінімальна витрата вентиляційного повітря у холодний період, $\text{м}^3/\text{год}$; z – кількість теплоутилізаторів, шт.

$$L_{од} = \frac{26250}{8} = 3281 \text{ м}^3/\text{год.}$$

У перерахунку на секунди:

$$q_{од} = \frac{L_{од}}{3600} = \frac{3281}{3600} = 0,911 \text{ м}^3/\text{с.}$$

де $q_{од}$ – секундна витрата повітря через один теплоутилізатор, $\text{м}^3/\text{с}$.

Для забезпечення прийнятних швидкостей руху повітря та зменшення аеродинамічного опору приймаємо такі радіуси труб:

$$r_1 = 0,20 \text{ м, } r_2 = 0,30 \text{ м, } r_3 = 0,40 \text{ м.}$$

Площа перерізу внутрішньої труби становить:

$$F_1 = \pi r_1^2.$$

де F_1 – площа перерізу внутрішньої труби, м^2 ; r_1 – радіус внутрішньої труби, м.

$$F_1 = 3,14 \cdot 0,20^2 = 0,126 \text{ м}^2.$$

Площа кільцевого каналу між першою і другою трубами:

$$F_2 = \pi(r_2^2 - r_1^2). \quad (3.2)$$

де F_2 – площа кільцевого каналу між трубами 1 і 2, м^2 ; r_2 – радіус другої труби, м.

$$F_2 = 3,14 \cdot (0,30^2 - 0,20^2) = 0,157 \text{ м}^2.$$

Площа кільцевого каналу між другою і третьою трубами:

$$F_3 = \pi(r_3^2 - r_2^2). \quad (3.3)$$

де F_3 – площа кільцевого каналу між трубами 2 і 3, м^2 ; r_3 – радіус зовнішньої труби, м.

$$F_3 = 3,14 \cdot (0,40^2 - 0,30^2) = 0,220 \text{ м}^2.$$

Перевіримо швидкість руху повітря у каналах. Для внутрішньої труби:

$$v_1 = \frac{q_{\text{од}}}{F_1}. \quad (3.4)$$

де v_1 – швидкість повітря у внутрішній трубі, м/с.

$$v_1 = \frac{0,911}{0,126} = 7,23 \text{ м/с}.$$

Для першого кільцевого каналу:

$$v_2 = \frac{q_{\text{од}}}{F_2} = \frac{0,911}{0,157} = 5,80 \text{ м/с}.$$

Для другого кільцевого каналу:

$$v_3 = \frac{q_{\text{од}}}{F_3} = \frac{0,911}{0,220} = 4,14 \text{ м/с}.$$

Отримані швидкості є прийнятними для вентиляційних каналів такого типу, оскільки вони не створюють надмірного аеродинамічного опору та забезпечують достатню інтенсивність теплообміну.

Довжину зовнішньої труби теплоутилізатора приймаємо з урахуванням ширини пташника і необхідності розосередженої подачі повітря:

$$L = 10 \text{ м.}$$

Підігріте припливне повітря подається у приміщення через круглі отвори у зовнішній трубі. Для запобігання утворенню локальних струменів приймаємо швидкість виходу повітря з отворів:

$$v_{\text{отв}} = 4 \text{ м/с.}$$

Необхідна сумарна площа отворів одного теплоутилізатора визначається за формулою:

$$F_{\text{отв}} = \frac{q_{\text{од}}}{v_{\text{отв}}}. \quad (3.5)$$

де $F_{\text{отв}}$ – сумарна площа отворів для виходу припливного повітря, м^2 ; $v_{\text{отв}}$ – прийнята швидкість виходу повітря з отворів, м/с .

$$F_{\text{отв}} = \frac{0,911}{4} = 0,228 \text{ м}^2.$$

Приймаємо діаметр одного отвору:

$$d_{\text{отв}} = 0,10 \text{ м.}$$

Площа одного отвору:

$$f_{\text{отв}} = \frac{\pi d_{\text{отв}}^2}{4}. \quad (3.6)$$

де $f_{\text{отв}}$ – площа одного отвору, м^2 ; $d_{\text{отв}}$ – діаметр отвору, м .

$$f_{\text{отв}} = \frac{3,14 \cdot 0,10^2}{4} = 0,00785 \text{ м}^2.$$

Кількість отворів на одному теплоутилізаторі:

$$n = \frac{F_{\text{отв}}}{f_{\text{отв}}}. \quad (3.7)$$

де n – кількість отворів, шт.

$$n = \frac{0,228}{0,00785} = 29,0.$$

Приймаємо $n = 30$ отворів, які розміщуються у два ряди по 15 отворів. Крок розміщення отворів уздовж труби становитиме:

$$x = \frac{L}{15 + 1}.$$

де x – крок між отворами в одному ряду, м.

$$x = \frac{10}{16} = 0,625 \text{ м.}$$

Загальна кількість отворів для восьми теплоутилізаторів:

$$n_{\text{заг}} = z \cdot n = 8 \cdot 30 = 240 \text{ шт.}$$

де $n_{\text{заг}}$ – загальна кількість отворів у системі, шт.

Для перевірки працездатності теплоутилізатора визначимо температуру припливного повітря після рекуперації. Приймаємо коефіцієнт температурної ефективності теплоутилізатора:

$$\eta_t = 0,45.$$

Температура припливного повітря після теплоутилізатора:

$$t_{\text{після}} = t_{\text{зов}} + \eta_t(t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}). \quad (3.8)$$

де $t_{\text{після}}$ – температура припливного повітря після теплоутилізатора, °С; $t_{\text{зов}}$ – температура зовнішнього повітря, °С; $t_{\text{вн}}$ – температура внутрішнього повітря пташника, °С; η_t – температурна ефективність теплоутилізатора.

$$t_{\text{після}} = -20 + 0,45 \cdot (22 - (-20)) = -1,1 \text{ °С.}$$

Отже, за розрахункової зовнішньої температури мінус 20 °С припливне повітря після теплоутилізатора має температуру близько мінус 1,1 °С. Це означає, що повітря перед подачею у пташник попередньо підігрівається майже на 19 °С, а подальший догрів до нормативної температури забезпечується теплогенераторами.

Потужність утилізованої теплоти визначається за формулою:

$$Q_{\text{ут}} = 0,335 \cdot L_{\text{min}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}) \cdot \eta_t. \quad (3.9)$$

де $Q_{\text{ут}}$ – теплова потужність, що повертається теплоутилізатором, кВт;
 L_{min} – мінімальна витрата вентиляційного повітря, м³/год; $t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}$ – різниця температур внутрішнього і зовнішнього повітря, °C; η_t – температурна ефективність теплоутилізатора.

$$Q_{\text{ут}} = 0,335 \cdot 26250 \cdot 42 \cdot 0,45 = 166,2 \text{ кВт.}$$

Таким чином, прийнятий варіант теплоутилізатора дозволяє повернути до системи мікроклімату приблизно 166 кВт теплової потужності у розрахунковому зимовому режимі.

3.4 Розрахунок витрат енергоресурсів

Для оцінювання ефективності удосконалення порівнюємо базовий варіант системи вентиляції без теплоутилізації та проєктний варіант із тритрубними теплоутилізаторами. У базовому варіанті вся теплота, необхідна для підігріву вентиляційного повітря, забезпечується теплогенераторами. У проєктному варіанті частина теплоти повертається з витяжного повітря і використовується для попереднього підігріву припливного повітря.

Теплова потужність, необхідна для нагрівання припливного повітря у базовому варіанті, визначається за формулою:

$$Q_6 = 0,335 \cdot L_{\text{min}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}). \quad (3.10)$$

де Q_6 – теплова потужність для підігріву вентиляційного повітря у базовому варіанті, кВт.

$$Q_6 = 0,335 \cdot 26250 \cdot 42 = 369,3 \text{ кВт.}$$

У проєктному варіанті теплова потужність на догрів припливного повітря зменшується на величину утилізованої теплоти:

$$Q_{\text{п}} = Q_6 - Q_{\text{ут}}.$$

де $Q_{\text{п}}$ – теплова потужність для догріву повітря у проєктному варіанті, кВт;
 $Q_{\text{ут}}$ – теплова потужність, що повертається теплоутилізатором, кВт.

$$Q_{\Pi} = 369,3 - 166,2 = 203,1 \text{ кВт.}$$

Зменшення теплового навантаження на систему опалення:

$$\Delta Q = Q_{\delta} - Q_{\Pi} = 166,2 \text{ кВт.}$$

Відносне зниження витрат теплоти на підігрів вентиляційного повітря:

$$E_Q = \frac{\Delta Q}{Q_{\delta}} \cdot 100. \quad (3.11)$$

де E_Q – відносна економія теплоти, %.

$$E_Q = \frac{166,2}{369,3} \cdot 100 = 45,0 \text{ \%}.$$

Для визначення річної економії теплоти приймаємо тривалість опалювального періоду 170 діб, середній коефіцієнт використання розрахункового теплового навантаження $k_c = 0,45$. Тоді тривалість роботи у перерахунку на розрахункове навантаження становитиме:

$$\tau = 170 \cdot 24 \cdot k_c.$$

де τ – еквівалентна тривалість роботи системи за розрахункового навантаження, год; k_c – середній коефіцієнт використання розрахункового теплового навантаження.

$$\tau = 170 \cdot 24 \cdot 0,45 = 1836 \text{ год.}$$

Річна економія теплової енергії:

$$W_{\text{ек}} = \Delta Q \cdot \tau. \quad (3.12)$$

де $W_{\text{ек}}$ – річна економія теплової енергії, кВт·год.

$$W_{\text{ек}} = 166,2 \cdot 1836 = 305143 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Якщо для опалення використовується природний газ, орієнтовну економію газу можна визначити за формулою:

$$V_{\Gamma} = \frac{W_{\text{ек}}}{H_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}}. \quad (3.13)$$

де V_{Γ} – економія природного газу, м³; H_{Γ} – нижча теплота згоряння природного газу, кВт·год/м³; η_{Γ} – коефіцієнт корисної дії теплогенератора.

Приймаємо $H_{\Gamma} = 9,3 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$, $\eta_{\Gamma} = 0,90$.

$$V_T = \frac{305143}{9,3 \cdot 0,90} = 36457 \text{ м}^3.$$

Результати порівняння базового і проєктного варіантів наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Порівняння витрат теплоти у базовому та проєктному варіантах

Показник	Базовий варіант	Проєктний варіант
Мінімальна вентиляція, м³/год	26250	26250
Температурна ефективність теплоутилізатора	—	0,45
Температура зовнішнього повітря, °С	-20	-20
Температура припливного повітря після теплоутилізатора, °С	-20	-1,1
Потужність на підігрів вентиляційного повітря, кВт	369,3	203,1
Утилізована теплова потужність, кВт	—	166,2
Відносне зниження витрат теплоти, %	—	45,0
Річна економія теплової енергії, кВт·год	—	305143
Орієнтовна економія природного газу, м³/рік	—	36457

Таким чином, застосування тритрубного теплоутилізатора у складі вентиляційної установки дозволяє зменшити теплове навантаження на систему опалення приблизно на 166 кВт у розрахунковому зимовому режимі. Відносне зниження витрат теплоти на підігрів вентиляційного повітря становить близько 45 %. Орієнтовна річна економія теплової енергії становить понад 305 тис. кВт·год, що відповідає приблизно 36,5 тис. м³ природного газу за прийнятих умов розрахунку.

За рахунок попереднього підігріву припливного повітря покращується також технологічна надійність системи: знижується ризик переохолодження птиці, підвищується рівномірність розподілу температури, зменшується навантаження на теплогенератори та створюються передумови для зниження собівартості продукції птахівництва.

3.5 Висновки

У розділі обґрунтовано доцільність удосконалення вентиляційної установки пташника шляхом використання повітряного теплоутилізатора. Показано, що в холодний період року значна частина теплової енергії втрачається з витяжним повітрям, тому повернення цієї теплоти є важливим напрямом енергозбереження.

Проведений аналіз основних типів теплоутилізаторів показав, що для умов бройлерного пташника найбільш придатним є трубчастий рекуператор. На його основі запропоновано конструкційно-технологічну схему тритрубного теплоутилізатора, який забезпечує розділення припливного і витяжного повітря, попередній підігрів зовнішнього повітря та можливість відведення конденсату.

За результатами розрахунку прийнято 8 теплоутилізаторів, кожний із яких забезпечує витрату повітря близько 3281 м³/год. Радіуси труб становлять $r_1 = 0,20$ м, $r_2 = 0,30$ м, $r_3 = 0,40$ м, довжина зовнішньої труби - 10 м. Для подачі повітря у приміщення передбачено 30 отворів діаметром 0,10 м на кожному теплоутилізаторі.

Розрахунок енерговитрат показав, що при температурній ефективності теплоутилізатора 0,45 тепла потужність, яка повертається у систему мікроклімату, становить приблизно 166 кВт. Це дозволяє знизити витрати теплоти на підігрів вентиляційного повітря на 45 %, а орієнтовна річна економія теплової енергії становить близько 305 тис. кВт·год.

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги при створенні мікроклімату в пташниках

Створення та підтримання мікроклімату в пташниках є не лише технологічною, а й важливою санітарно-гігієнічною та виробничо-безпековою вимогою. У процесі роботи систем вентиляції, опалення, охолодження та теплоутилізації працівники можуть зазнавати впливу підвищеної або зниженої температури повітря, протягів, пилу, аміаку, вуглекислого газу, біологічних факторів, шуму від вентиляторів, рухомих частин обладнання, електричного струму, гарячих поверхонь і пожежонебезпечних факторів.

Основними нормативними документами України, які доцільно враховувати під час розроблення заходів з охорони праці для птахівничого приміщення, є Правила охорони праці у птахівництві, ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів та Правила пожежної безпеки в Україні. Правила охорони праці у птахівництві поширюються на суб'єктів господарювання, які займаються вирощуванням і триманням птиці та первинною обробкою продукції птахівництва, а також визначають обов'язок роботодавця створити безпечні умови праці на робочих місцях.

На рівні Європейського Союзу загальні підходи до безпеки працівників визначаються Рамковою директивою 89/391/ЄС, яка спрямована на запровадження заходів для поліпшення безпеки та здоров'я працівників на роботі. Вимоги до робочих місць розкриваються у Директиві 89/654/ЄС, що охоплює, зокрема, питання облаштування робочих приміщень, шляхів руху, розмірів робочих зон та якості повітря. Для обладнання, яке використовується працівниками, застосовуються положення Директиви 2009/104/ЄС щодо мінімальних вимог безпеки й охорони здоров'я під час використання робочого обладнання.

Мікроклімат виробничого приміщення повинен забезпечувати безпечні умови перебування працівників у робочій зоні. Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99

мікроклімат виробничих приміщень визначається поєднанням температури, відносної вологості, швидкості руху повітря, температури поверхонь та інтенсивності теплового випромінювання. Ці показники мають контролюватися з урахуванням теплого і холодного періодів року, а також характеру виконуваних робіт.

У пташнику необхідно забезпечувати справну роботу припливно-витяжної вентиляції, теплогенераторів, теплоутилізаторів, охолоджувальних панелей, датчиків температури, вологості, розрідження, вуглекислого газу та аміаку. Вентиляційне обладнання має працювати таким чином, щоб не допускати утворення застійних зон, накопичення шкідливих газів, надмірного запилення повітря і локального переохолодження працівників та птиці. Повітряні потоки необхідно спрямовувати так, щоб холодне припливне повітря спочатку змішувалося з теплим внутрішнім повітрям у верхній зоні приміщення, а вже потім надходило до робочої зони.

Значну увагу слід приділяти захисту працівників від біологічних факторів, оскільки під час обслуговування пташників можливий контакт із пилом органічного походження, мікроорганізмами, послідом, підстилкою та аерозолями. У законодавстві ЄС ці питання регулюються Директивою 2000/54/ЄС, яка встановлює мінімальні вимоги щодо захисту працівників від ризиків, пов'язаних із впливом біологічних агентів на робочому місці.

Під час експлуатації систем мікроклімату працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту: спецодяг, захисне взуття, рукавиці, респіратори або фільтрувальні маски під час роботи в запиленому середовищі, захисні окуляри при очищенні обладнання та засоби захисту органів слуху при роботі поблизу вентиляторів з підвищеним рівнем шуму. Працівники допускаються до обслуговування обладнання лише після проведення інструктажу, навчання безпечним методам роботи, ознайомлення з інструкціями виробника та перевірки знань з охорони праці.

Електрообладнання системи мікроклімату - вентилятори, приводи клапанів, насоси, шафи керування, датчики, теплогенератори та освітлювальні прилади - повинно експлуатуватися відповідно до Правил безпечної експлуатації

електроустановок споживачів. Для запобігання ураженню електричним струмом необхідно передбачити захисне заземлення, автоматичне вимикання живлення, справність ізоляції, захист від вологи та пилу, використання апаратів захисту від короткого замикання і перевантаження. Роботи з ремонту електрообладнання повинні виконуватися тільки після зняття напруги та вивішування попереджувальних плакатів.

Пожежна безпека є особливо важливою для пташників, оскільки в приміщеннях наявні горючі матеріали: підстилка, пил, електричні кабелі, полімерні елементи обладнання та, у разі використання газового опалення, паливні комунікації. Правила пожежної безпеки в Україні є обов'язковими для виконання суб'єктами господарювання та встановлюють загальні вимоги до пожежної безпеки на об'єктах. У пташнику необхідно підтримувати справність електромережі, не допускати накопичення пилу на теплогенераторах і світильниках, забезпечувати вільний доступ до вогнегасників, електрощитових і евакуаційних виходів.

Під час створення мікроклімату в пташнику необхідно дотримуватися таких загальних вимог: обладнання повинно мати захисні кожухи на рухомих частинах; вентилятори мають бути закриті сітками або решітками; повітропроводи, шахти та теплообмінні елементи повинні бути закріплені та не створювати небезпеки падіння; проходи біля обладнання мають залишатися вільними; очищення, огляд і ремонт слід виконувати лише при зупиненому обладнанні; робота на висоті біля витяжних шахт або повітропроводів повинна проводитися із застосуванням справних драбин, помостів або інших безпечних засобів доступу.

Таким чином, охорона праці при створенні мікроклімату в пташнику повинна базуватися на поєднанні технічних, організаційних, санітарно-гігієнічних і протипожежних заходів. Їхнє виконання дозволяє зменшити ризики для працівників, забезпечити безпечну експлуатацію вентиляційно-опалювального обладнання та підтримати стабільні умови вирощування птиці.

4.2 Інструкція з охорони праці при роботі з теплоутилізатором

Загальні положення

До обслуговування теплоутилізатора допускаються працівники, які пройшли вступний і первинний інструктаж з охорони праці, ознайомлені з конструкцією пристрою, правилами роботи вентиляційної установки, вимогами електробезпеки, пожежної безпеки та санітарно-гігієнічними вимогами до роботи у птахівничих приміщеннях. Працівник повинен знати призначення теплоутилізатора, схему руху припливного та витяжного повітря, місця розташування вентиляторів, повітропроводів, конденсатовідвідної трубки, електроприводів, датчиків і шафи керування.

Теплоутилізатор призначений для використання теплоти витяжного повітря з метою попереднього підігрівання припливного повітря. Під час його роботи можливими небезпечними та шкідливими факторами є обертові частини вентиляторів, електрична напруга, гарячі або охолоджені поверхні, шум і вібрація, запилене повітря, аміак, вуглекислий газ, конденсат, слизькі поверхні біля місць відведення вологи, а також можливість падіння під час обслуговування елементів, розташованих на висоті.

Працівник зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту: спецодяг, рукавиці, захисне взуття з неслизькою підошвою, респіратор або фільтрувальну маску під час очищення теплообмінних каналів, захисні окуляри при видаленні пилу і забруднень, а також засоби захисту слуху у разі підвищеного шуму від вентиляторів. Забороняється працювати з теплоутилізатором у несправному спецодязі, з відкритими рухомими частинами обладнання, при пошкодженій ізоляції електропроводки або за відсутності захисного заземлення.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи працівник повинен оглянути теплоутилізатор і переконатися у справності основних вузлів. Необхідно перевірити стан припливного та витяжного вентиляторів, наявність захисних решіток, відсутність сторонніх предметів у повітропроводах і шахтах, справність кріплень труб, герметичність з'єднань, вільність проходження повітря через канали теплоутилізатора,

справність конденсатовідвідної трубки та відсутність підтікання конденсату на проходи або електрообладнання.

Перед увімкненням установки слід перевірити показники датчиків температури, вологості та тиску, стан пульта керування, наявність живлення, справність автоматичних вимикачів і відсутність аварійних повідомлень. Пуск обладнання дозволяється виконувати лише за умови, що всі люки, кришки, оглядові отвори та захисні кожухи закриті й надійно закріплені.

Якщо під час огляду виявлено пошкодження електрокабелів, запах горілої ізоляції, ненормальний шум вентилятора, підвищену вібрацію, деформацію труб, засмічення повітропроводів, підтікання конденсату або несправність автоматики, запуск теплоутилізатора забороняється. Про виявлені несправності необхідно повідомити відповідальну особу.

Вимоги безпеки під час роботи

Під час роботи теплоутилізатора працівник повинен контролювати стабільність руху повітря, температуру припливного повітря, роботу вентиляторів, стан конденсатовідведення і показники системи автоматики. Забороняється відкривати оглядові люки, знімати захисні решітки, торкатися рухомих частин вентиляторів, проводити очищення каналів або підтягування кріплень під час роботи обладнання.

Не допускається перекривати припливні або витяжні канали сторонніми предметами, змінювати налаштування автоматики без дозволу відповідальної особи, залишати працююче обладнання без контролю при аварійних сигналах, а також використовувати теплоутилізатор при несправному конденсатовідведенні. У разі накопичення конденсату всередині каналів може погіршуватися теплопередача, збільшуватися аеродинамічний опір і виникати небезпека обмерзання в холодний період року.

Під час роботи в пташнику необхідно уникати тривалого перебування без засобів захисту в зоні підвищеної запиленості або концентрації аміаку. При появі

різкого запаху аміаку, погіршенні самопочуття, подразненні очей або органів дихання працівник повинен залишити приміщення, повідомити керівника робіт і вжити заходів щодо посилення вентиляції.

Роботи з очищення теплообмінних поверхонь виконують тільки після повної зупинки вентиляторів, відключення живлення, вивішування попереджувального плаката та перевірки відсутності обертання робочих органів. Забороняється очищати теплоутилізатор струменем води, якщо це може призвести до потрапляння вологи на електрообладнання, датчики або з'єднувальні коробки.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після завершення зміни або регламентного обслуговування необхідно перевірити стан теплоутилізатора, переконатися у відсутності сторонніх предметів у зоні вентиляторів і повітропроводів, очистити робоче місце від пилу, залишків підстилки та інших забруднень. Якщо проводилося очищення або ремонт, потрібно встановити на місце всі кришки, люки, решітки та захисні кожухи.

Працівник повинен перевірити, чи не заблоковано конденсатовідвідну трубку, чи немає підтікання конденсату на підлогу, електрокабелі або елементи автоматики. Про всі виявлені несправності слід повідомити відповідальну особу та зробити запис у журналі технічного обслуговування.

Засоби індивідуального захисту після роботи необхідно очистити, висушити та розмістити у відведеному місці. Респіратори або фільтрувальні елементи слід замінювати відповідно до їхнього стану та рекомендацій виробника.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі появи диму, запаху горілої ізоляції, іскріння, різкого шуму, вібрації, зупинки вентилятора, обмерзання теплоутилізатора, підтікання конденсату на електрообладнання або спрацювання аварійної сигналізації необхідно негайно зупинити установку, вимкнути живлення та повідомити керівника робіт.

При виникненні пожежі слід діяти відповідно до інструкції з пожежної безпеки: відключити електроживлення, повідомити відповідальних осіб, викликати пожежно-рятувальну службу, розпочати гасіння первинними засобами пожежогасіння лише за умови відсутності небезпеки для життя. Забороняється гасити

електрообладнання, що перебуває під напругою, водою або піною, якщо воно попередньо не відключене від електромережі.

У разі ураження працівника електричним струмом необхідно негайно припинити дію струму, відключивши живлення або відтягнувши потерпілого за допомогою сухого ізолювального предмета, після чого викликати медичну допомогу і надати домедичну допомогу відповідно до наявних навичок.

4.3 Висновки

У розділі охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникати під час експлуатації системи створення мікроклімату в бройлерному пташнику. До них належать електрична напруга, рухомі частини вентиляторів, гарячі поверхні теплогенераторів, шум, вібрація, пил, аміак, вуглекислий газ, біологічні фактори, конденсат і пожежонебезпечні умови.

Запропоновані заходи охорони праці передбачають справну роботу вентиляції, опалення і теплоутилізації, застосування автоматичного контролю параметрів повітряного середовища, використання засобів індивідуального захисту, дотримання вимог електробезпеки, пожежної безпеки та санітарно-гігієнічних норм. При цьому враховано положення нормативно-правової бази України та підходи Європейського Союзу щодо безпеки робочих місць, використання виробничого обладнання і захисту працівників від біологічних чинників.

Розроблена інструкція з охорони праці при роботі з теплоутилізатором визначає порядок безпечного виконання робіт перед запуском, під час експлуатації, після завершення обслуговування та в аварійних ситуаціях. Виконання цих вимог дозволить знизити ризик травмування працівників, забезпечити надійну роботу теплоутилізатора та створити безпечні умови праці у пташнику.

5 Економічна ефективність впровадження теплоутилізатора

5.1 Вихідні дані

Економічну ефективність визначаємо для одного бройлерного пташника, в якому передбачається встановлення розробленого тритрубного теплоутилізатора. Призначення пристрою полягає у використанні теплоти витяжного повітря для попереднього підігрівання припливного повітря у холодний період року. Завдяки цьому зменшується теплова потужність, яку необхідно забезпечувати теплогенераторами, і відповідно знижуються витрати на природний газ.

Розрахунок виконано порівнянням базового варіанта, у якому припливне повітря нагрівається без використання теплоутилізації, та проєктного варіанта, у якому частина теплоти повертається з витяжним повітрям. Для розрахунку прийнято показники, отримані у попередніх розділах: місткість пташника 15000 голів, мінімальна витрата вентиляційного повітря 26250 м³/год, розрахункова теплова потужність на підігрів вентиляційного повітря 369,3 кВт.

Вартість природного газу для розрахунку прийнято 29,85 грн/м³, що відповідає оприлюдненому тарифному плану для бізнес-споживачів ТОВ «ГК «Нафтогаз України» на травень 2026 року. Вартість електроенергії для непобутового споживача прийнято орієнтовно 8,00 грн/кВт·год з урахуванням ринкової складової, передачі та розподілу; у реальному проєкті цей показник уточнюється за чинним договором електропостачання.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для економічного розрахунку

Показник	Одиниця виміру	Значення
Місткість пташника	гол.	15000
Середня маса одного бройлера наприкінці вирощування	кг	2,5
Загальна жива маса птиці	кг	37500
Мінімальна витрата вентиляційного повітря	м ³ /год	26250
Різниця температур внутрішнього і зовнішнього повітря	°C	42

Теплова потужність для підігрівання вентиляційного повітря	кВт	369,3
Прийнята ефективність теплоутилізатора	–	0,35
Тривалість опалювального періоду	год/рік	4320
Нижча теплота згоряння природного газу	кВт·год/м³	9,5
ККД теплогенератора	–	0,90
Ціна природного газу	грн/м³	29,85
Потужність додаткового електрообладнання теплоутилізатора	кВт	2,2
Ціна електроенергії	грн/кВт·год	8,00
Капітальні вкладення на впровадження теплоутилізатора	грн	800000

Капітальні вкладення включають вартість виготовлення теплоутилізатора, монтаж повітропроводів, встановлення припливного та витяжного вентиляторів, підключення до системи керування, а також пусконаладжувальні роботи. Орієнтовну структуру капітальних вкладень наведено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Орієнтовна структура капітальних вкладень

Стаття витрат	Сума, грн	Питома частка, %
Виготовлення тритрубного теплоутилізатора	450000	56,3
Вентилятори, повітропроводи та запірно-регулювальна арматура	160000	20,0
Елементи автоматики та підключення до шафи керування	60000	7,5
Монтажні та пусконаладжувальні роботи	130000	16,2
Разом	800000	100

5.2 Результати розрахунків

Розрахунок економічного ефекту виконували шляхом зіставлення річних експлуатаційних витрат для двох варіантів: базового та проєктного. Для базового варіанта визначали витрати на забезпечення мікроклімату без теплоутилізації, тобто з повним підігрівом припливного повітря за рахунок теплогенераторів. Для проєктного варіанта враховували, що частина теплової енергії повертається у

приміщення за допомогою теплоутилізатора, унаслідок чого зменшується потреба в енергоресурсах для опалення.

Порівняння виконували за основними статтями витрат: оплата праці, технічне обслуговування і ремонт, амортизація, витрати на енергоресурси. Найбільша різниця між базовим і проєктним варіантами формується саме за рахунок скорочення витрат на енергоресурси. Водночас у проєктному варіанті з'являються додаткові витрати, пов'язані з амортизацією теплоутилізатора та його технічним обслуговуванням. Проте ці витрати є значно меншими порівняно з отриманою економією теплової енергії.

Річний економічний ефект визначали як різницю між загальними річними витратами базового і проєктного варіантів. Термін окупності визначали шляхом зіставлення капітальних вкладень у модернізацію з отриманою річною економією.

Таблиця 5.3 – Порівняння річних витрат для базового та проєктного варіантів

Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант	Проєктний варіант	Відхилення
Витрати теплоти на підігрів вентиляційного повітря	кВт·год/рік	1595520	1037082	-558438
Споживання природного газу на підігрів повітря	м³/рік	186613	121298	-65314
Витрати на природний газ	грн/рік	5570387	3620752	-1949635
Витрати електроенергії додаткового обладнання	грн/рік	0	76032	+76032
Витрати на оплату праці з нарахуваннями	грн/рік	0	175680	+175680
Витрати на ТО і ремонт	грн/рік	0	40000	+40000
Амортизаційні відрахування	грн/рік	0	80000	+80000
Загальні річні витрати	грн/рік	5570387	3992464	-1577923
Річний економічний ефект	грн/рік	—	1577923	—
Капітальні вкладення	грн	—	800000	—
Термін окупності	років	—	0,51	—

Аналіз таблиці 5.3 показує, що використання теплоутилізатора дає змогу зменшити річну потребу в теплоті для підігрівання вентиляційного повітря на 558,4 тис. кВт·год. Це відповідає економії природного газу близько 65,3 тис. м³ на рік. Незважаючи на появу додаткових витрат на електроенергію, оплату праці,

технічне обслуговування, ремонт і амортизацію, загальні річні витрати зменшуються з 5570,4 тис. грн до 3992,5 тис. грн. Річний економічний ефект становить 1577,9 тис. грн, а термін окупності капітальних вкладень – близько 0,51 року, тобто приблизно 6 місяців.

5.3 Висновки

У розділі виконано економічну оцінку впровадження розробленого тритрубного теплоутилізатора у бройлерному пташнику. Встановлено, що основний економічний результат досягається за рахунок зменшення витрат природного газу на підігрівання припливного вентиляційного повітря у холодний період року.

За прийнятих вихідних даних теплоутилізатор дозволяє повернути у систему мікроклімату близько 558,4 тис. кВт·год теплоти на рік, що еквівалентно економії приблизно 65,3 тис. м³ природного газу. Вартісна економія газу становить 1949,6 тис. грн/рік.

З урахуванням додаткових витрат на електроенергію, оплату праці, технічне обслуговування, ремонт і амортизацію річний економічний ефект становить 1577,9 тис. грн. При капітальних вкладеннях 800,0 тис. грн термін окупності розробленого теплоутилізатора становить 0,51 року. Отже, впровадження теплоутилізатора є економічно доцільним і може бути рекомендоване для модернізації системи мікроклімату пташника.

Загальні висновки

У дипломному проєкті розглянуто підвищення ефективності технологічного процесу створення мікроклімату в бройлерному пташнику шляхом модернізації вентиляційної установки та впровадження теплоутилізатора. Актуальність роботи зумовлена значними витратами енергоресурсів на опалення, вентиляцію та підтримання нормативних параметрів повітряного середовища.

У першому розділі наведено характеристику СТОВ «Лада», розглянуто природно-кліматичні умови, земельні ресурси, рослинницьку і тваринницьку галузі. Встановлено, що важливим напрямом діяльності підприємства є вирощування бройлерів, а найбільшу частку в енергоспоживанні птахоферми займають процеси забезпечення мікроклімату, зокрема опалення та вентиляція.

У другому розділі обґрунтовано необхідність удосконалення системи мікроклімату. Розглянуто вплив температури, вологості, швидкості руху повітря, газового складу та запиленості на продуктивність і здоров'я птиці. Для пташника розміром $80 \times 12 \times 4,5$ м і місткістю 15000 голів прийнято комбіновану систему з бічними припливними клапанами, витяжними шахтами, тунельною вентиляцією, теплогенераторами, охолоджувальними панелями та автоматичним керуванням.

У третьому розділі розроблено варіант модернізації вентиляційної установки із застосуванням тритрубного теплоутилізатора. Обґрунтовано його конструкційно-технологічну схему та визначено основні параметри: радіуси труб, довжину зовнішньої труби, площу і кількість отворів для виходу припливного повітря та крок їх розміщення. Запропонована конструкція забезпечує попереднє підігрівання припливного повітря теплотою витяжного потоку.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці при експлуатації системи мікроклімату та теплоутилізатора. Визначено основні небезпечні фактори: електрична напруга, рухомі частини вентиляторів, гарячі поверхні, шум, пил, аміак, вуглекислий газ і пожежонебезпечні умови. Розроблено загальні вимоги безпеки та інструкцію з охорони праці з урахуванням нормативної бази України та ЄС.

У п'ятому розділі визначено економічну ефективність впровадження теплоутилізатора. Порівняно базовий і проєктний варіанти з урахуванням витрат на оплату праці, технічне обслуговування, ремонт, амортизацію та енергоресурси. Встановлено, що річний економічний ефект становить близько 1,58 млн грн, а термін окупності - близько 0,51 року.

Отже, запропонована модернізація системи мікроклімату з використанням тритрубного теплоутилізатора дозволяє зменшити витрати енергоресурсів, підвищити стабільність температурного режиму, покращити умови утримання птиці та забезпечити швидку окупність впровадження.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Дудін, В. Ю., Повод, М., Бондарська, О., Лихач, В., Жижка, С., Нечмілов, В., та ін. (2021). *Технологія виробництва і переробки продукції свинарства*. Науково-методичний центр ВФПО.
2. Романюха, І. О., & Дудін, В. Ю. (2014). *Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств* (2-ге вид., перероб. і доп.; І. Романюха, Ред.). Нова ідеологія.
3. Повод, М. Г., Дудін, В. Ю., & Шпетний, М. Б. (2019). *Розробка основних засад щодо обґрунтованого визначення розмірів санітарно-захисних зон свиноферм*. Сумський національний аграрний університет.
4. Cobb Broiler Management Guide. Cobb-Vantress, 2021. URL: https://www.cobbgenetics.com/assets/Cobb-Files/Broiler-Guide_English-2021-min.pdf
5. Aviagen. Environmental Management in the Broiler House. URL: <https://eu.aviagen.com/assets/Uploads/Environmental-Management-Broiler.pdf>
6. Energy Consumption and Indoor Environment of Broiler Houses with Energy Recovery Ventilators. URL: https://www.researchgate.net/publication/273662722_Energy_Consumption_and_Indoor_Environment_of_Broiler_Houses_with_Energy_Recovery_Ventilators
7. Baxevanou C. et al. Reduction of Energy Intensity in Broiler Facilities. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8383108/>
8. Cobb 500 Broiler Guide. URL: https://cobb-germany.com/wp-content/uploads/2022/08/Cobb_Germany_Cobb500_Broiler_Guide_eng.pdf
9. FAO. Poultry housing and management in developing countries. Ventilation management. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

10. Aviagen. Environmental Management in the Broiler House. Huntsville: Aviagen Group.
11. University of Arkansas System Division of Agriculture. Saving Energy With Ventilation Heat Recovery in Poultry Houses. FSA1077.
12. Cobb-Vantress. Cobb Broiler Management Guide. Siloam Springs: Cobb-Vantress.
13. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>.
14. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві: наказ Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240, зареєстрований у Міністерстві юстиції України 21.09.2018 за № 1090/32542. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1090-18>.
15. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99: постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/va042282-99>.
16. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні: наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417, зареєстрований у Міністерстві юстиції України 05.03.2015 за № 252/26697. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>.
17. Council Directive 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31989L0391>.

18. Council Directive 89/654/EEC of 30 November 1989 concerning the minimum safety and health requirements for the workplace. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1989/654/oj/eng>.
19. Directive 2009/104/EC of the European Parliament and of the Council of 16 September 2009 concerning the minimum safety and health requirements for the use of work equipment by workers at work. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/104/oj/eng>.
20. Directive 2000/54/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on the protection of workers from risks related to exposure to biological agents at work. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/54/oj/eng>.
21. Тарифні плани на природний газ для бізнесу. ТОВ «ГК «Нафтогаз України». URL: <https://gas.ua/uk/business/tariffs>
22. Тарифи на послуги з розподілу електричної енергії, що діють з 01 січня 2026 року. НКРЕКП. URL: <https://www.nerc.gov.ua/>
23. Теплотехнічні розрахунки систем вентиляції та опалення тваринницьких приміщень: методичні підходи до визначення витрат теплоти на підігрів вентиляційного повітря.

ДОДАТКИ

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

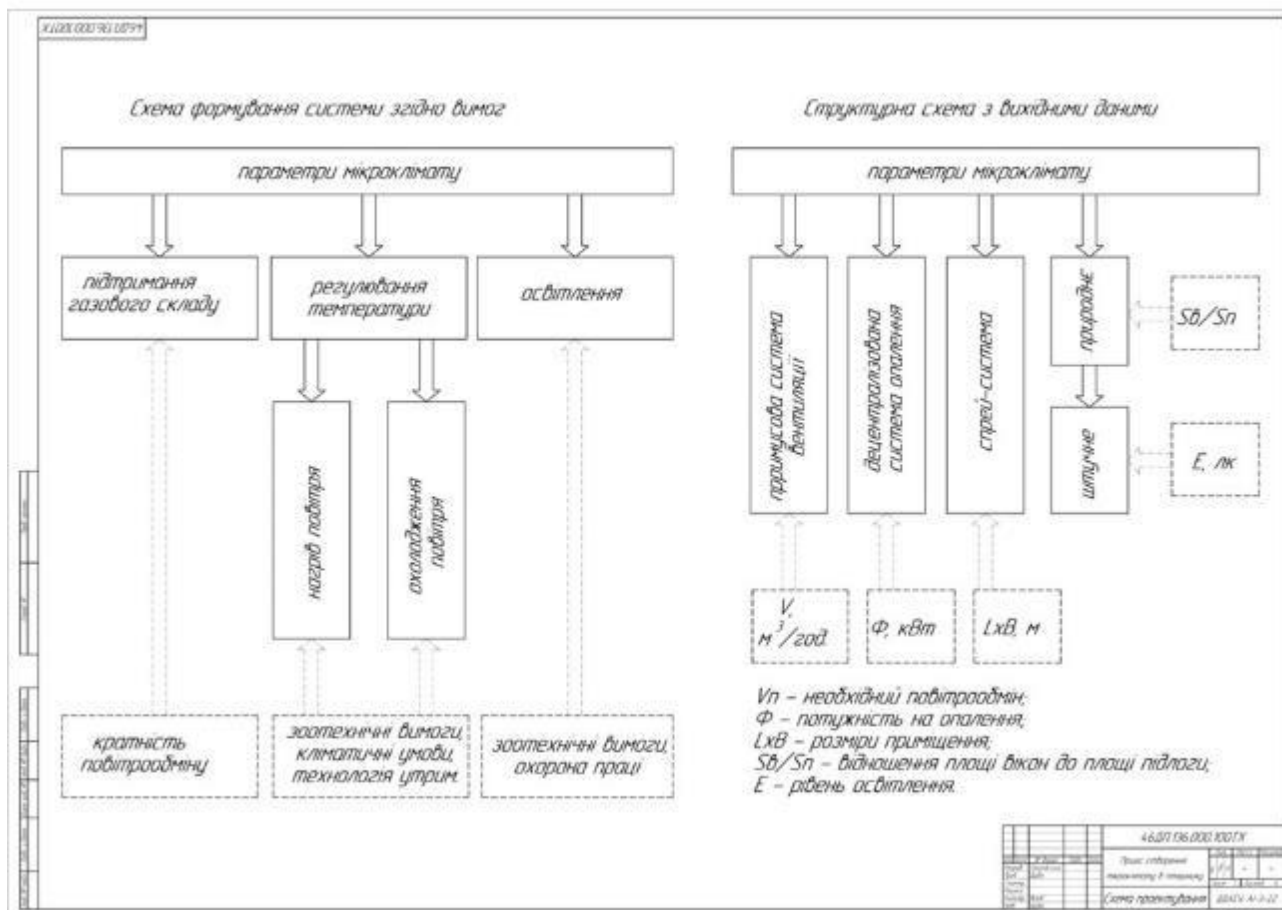
Розробка енергозберігаючої системи створення мікроклімату на бройлерній птахофермі

демонстраційний матеріал до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-3-22
Тітановський Віталій Костянтинович

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

Дніпро-2026



Додаток 1				
Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант	Проектний варіант	Відхилення
Витрати теплоти на підігрів вентиляційного повітря	кВт·год/рік	1595520	1037082	-558438
Споживання природного газу на підігрів повітря	м³/рік	186613	121298	-65314
Витрати на природний газ	грн/рік	5570387	3620752	-1949635
Витрати електроенергії додаткового обладнання	грн/рік	0	76032	+76032
Витрати на оплату праці з нарахуваннями	грн/рік	0	175680	+175680
Витрати на ТО і ремонт	грн/рік	0	40000	+40000
Амортизаційні відрахування	грн/рік	0	80000	+80000
Загальні річні витрати	грн/рік	5570387	3992464	-1577923
Річний економічний ефект	грн/рік	-	1577923	-
Капітальні вкладення	грн	-	800000	-
Термін окупності	років	-	0,51	-

46.07.06.000.000.000

Листовий номер:

1/1

Відомості:

Відомості:

Відомості:

Відомості:

