

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

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО
ЗАХИСТУ**
**Завідувача кафедри
електротехніки,
електромеханіки
та електротехнологій**

ДОЦ., К.Т.Н. / ОКУШКО О.В.

вчене звання і ступінь підпис

” _____ ” 2026 р.

число місяць рік

Бакалаврська кваліфікаційна робота

**на тему: « Проектні рішення з підвищення енергоефективності
систем мікроклімату пташника
»**

Спеціальність: 141 —
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
(код і назва)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

Синявський

О.Ю.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПИБ

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

Усенко С.М

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПИБ

Виконав

Опанасенко Віталій Олексійович

(підпис)

(ПБ)

КИЇВ – 2026

						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
електротехніки,
електромеханіки
та електротехнологій**
доцент, к.т.н. /Усенко С.М./
вчене звання і ступінь підпис
„_____” _____ 2025р.
число місяць рік

З А В Д А Н Н Я

на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи студенту

Опанасенко Віталій Олексійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 141 —
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
(код і назва)

Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: «Проектні рішення з розроблення системи електроспоживання станцій технічного сервісу електродвигунів середньої потужності».

затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» жовтня 2025 р. № 2607 „С”.

Термін подання завершеного проекту на кафедру 2026.06.01
(рік,

місяць, число)

Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи:

- 1) Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
- 2) Правила будови електроустановок (електрообладнання спеціальних установок).
- 3) Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
- 4) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- 5) Правила користування електричною енергією.

Перелік питань, які потрібно розробити:

- 1) Аналіз стану, перспектив і напрямків реалізації завдань, вирішуваних у проекті.
- 2) Технологічна частина.
- 3) Електротехнічна частина проекту

- 4) Спеціальне завдання: «Діагностування та технічний сервіс електродвигунів середньої потужності».
- 5) Заходи з енергозбереження та охорона праці.
- 6) Обґрунтування прийнятих інженерних рішень та заходи щодо раціонального використання електроенергії
- 7) Висновки.Список використаних джерел.
- 8) Додатки.

Перелік графічних документів (за потреби):

1. План станції ТО і діагностування електрообладнання. Силове електрообладнання.
2. План станції ТО і діагностування. Освітлювальна мережа.
3. Функціональна схема пошуку несправностей двигуна.
- 4.Схема перевірки і діагностування якорів і статорів електричних машин ПУНС 5

Дата видачі завдання 31.10.2025 р.

Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

Усенко С.М.

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

Опанасенко В.О

(підпис)

(ПІБ)

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ ПТАШНИКА ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	11
1.1 Характеристика пташника та технології утримання птиці.....	11
1.2 Основні технології отримання та зберігання водню	12
1.3 Енергоспоживання систем забезпечення мікроклімату птахоферми	15
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ	22
2.1 Розрахунок теплового балансу пташника.....	22
2.2 Розрахунок теплових втрат огорожувальних конструкцій.....	25
2.4 Розрахунок параметрів системи вентиляції	30
2.5 Математичне моделювання режимів роботи системи мікроклімату.....	33
3 ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ	39
3.1 Аналіз сучасних енергоефективних технологій у птахівництві	39
3.2 Вибір енергоефективної системи вентиляції пташника.....	41
3.3 Вибір та обґрунтування системи обігріву	43
3.4 Використання систем рекуперації тепла	45
3.5 Використання автоматизованих систем керування мікрокліматом	46
3.6 Розроблення структурної схеми енергоефективної системи мікроклімату ..	48
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ	49
4.1 Визначення капітальних витрат на модернізацію системи	49
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	50
4.3 Розрахунок економії енергоресурсів.....	51
4.4 Визначення економічної ефективності впровадження	52
4.5 Розрахунок терміну окупності проєкту	53

						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ	55
5.1	Аналіз небезпечних та шкідливих факторів у пташнику.....	55
5.2	Вимоги електробезпеки при експлуатації вентиляційного обладнання	57
5.3	Заходи пожежної безпеки у виробничих приміщеннях	59
5.4	Забезпечення безпечних умов праці персоналу	60
5.5	Заходи з поліпшення виробничого мікроклімату	62
	ВИСНОВКИ.....	65
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68

						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Функціонування сучасних птахівницьких підприємств безпосередньо пов'язане з необхідністю підтримання стабільних параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях. Температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та концентрація газів, що утворюються в процесі життєдіяльності птиці, істотно впливають на її фізіологічний стан, продуктивність і збереженість поголів'я. Порушення оптимальних умов внутрішнього середовища призводить до зниження ефективності виробництва, збільшення витрат на утримання птиці та погіршення санітарно-гігієнічного стану приміщень.

У більшості пташників забезпечення необхідних параметрів мікроклімату здійснюється за допомогою систем механічної вентиляції, теплогенераційного обладнання та електротехнічних установок. Робота такого обладнання супроводжується значним споживанням електричної та теплової енергії, що зумовлює високі експлуатаційні витрати виробничих об'єктів. З урахуванням зростання вартості енергетичних ресурсів питання раціонального використання енергії та підвищення ефективності роботи інженерних систем набуває особливої актуальності.

Системи мікроклімату пташника виконують комплекс функцій, пов'язаних із підтриманням температурного режиму, видаленням надлишкової вологи, забезпеченням необхідного повітрообміну та зниженням концентрації шкідливих газів, зокрема аміаку та вуглекислого газу. До основних елементів таких систем належать вентиляційні установки, нагрівальні пристрої, повітряні канали, регулювальні клапани та системи автоматичного керування. Ефективність їх роботи значною мірою визначається технічними характеристиками обладнання, конструктивними особливостями будівлі та режимами експлуатації.

						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З метою зниження енерговитрат у системах забезпечення мікроклімату застосовуються різні технічні підходи, зокрема оптимізація систем повітрообміну, використання енергоефективних вентиляторів, впровадження систем рекуперації тепла та автоматизованого регулювання параметрів внутрішнього середовища. Комплексне використання таких рішень дозволяє підвищити ефективність функціонування інженерних систем пташника, скоротити витрати енергоресурсів та покращити умови утримання птиці.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення енергоефективності систем мікроклімату пташників шляхом удосконалення технічних рішень вентиляції та теплопостачання, що сприятиме зменшенню енергоспоживання виробничих приміщень і підвищенню ефективності функціонування птахівницьких підприємств.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення проєктних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності систем забезпечення мікроклімату пташника шляхом оптимізації роботи вентиляційних і теплотехнічних установок.

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

- виконати аналіз умов формування мікроклімату у виробничих приміщеннях пташників;
- дослідити існуючі технічні рішення систем вентиляції та обігріву пташників;
- проаналізувати енергоспоживання обладнання, що забезпечує параметри мікроклімату;
- визначити основні напрями підвищення енергоефективності систем мікроклімату;
- розробити структурну схему енергоефективної системи забезпечення мікроклімату пташника;
- обґрунтувати вибір основного вентиляційного та теплотехнічного обладнання;

						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виконати розрахунок технічних параметрів модернізованої системи;
- провести оцінку ефективності запропонованих проєктних рішень;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки експлуатації обладнання систем мікроклімату.

Об’єктом дослідження є система забезпечення мікроклімату пташника як сукупність технічних засобів вентиляції, обігріву та регулювання параметрів внутрішнього середовища виробничого приміщення.

Предметом дослідження є технічні рішення підвищення енергоефективності систем вентиляції та теплопостачання пташника.

Практична цінність роботи полягає у розробленні технічних рішень щодо підвищення енергоефективності систем мікроклімату пташника, що дозволяє зменшити споживання енергетичних ресурсів, підвищити ефективність функціонування вентиляційного та теплотехнічного обладнання і забезпечити стабільні умови утримання птиці.

						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ ПТАШНИКА ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

1.1 Характеристика пташника та технології утримання птиці

Об'єктом дослідження у кваліфікаційній роботі є виробничий пташник підприємства ТОВ «Черкаська птахофабрика» (Черкаська область), діяльність якого пов'язана з промисловим вирощуванням м'ясної птиці. Основною технологічною вимогою до функціонування птахівничих приміщень є забезпечення стабільних параметрів мікроклімату, що безпосередньо впливають на продуктивність поголів'я, швидкість росту птиці та економічну ефективність виробництва.

Пташник являє собою одноповерхову виробничу будівлю ангарного типу прямокутної форми, призначену для підлогового утримання птиці. Загальна довжина будівлі становить 45,72 м, висота у коньку - 4,57 м. Уздовж бокових стін розташовані вентиляційні отвори площею приблизно 0,6 м², які забезпечують надходження припливного повітря до приміщення.

У торцевій частині будівлі встановлені витяжні вентилятори, які забезпечують примусове видалення відпрацьованого повітря. Така система вентиляції реалізує принцип механічної вентиляції з негативним тиском, при якому витяжні вентилятори створюють розрідження у внутрішньому об'ємі пташника, а свіже повітря надходить через припливні вентиляційні отвори. Схему будівлі пташника та розміщення вентиляційного обладнання наведено на рисунку 1.1.

						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

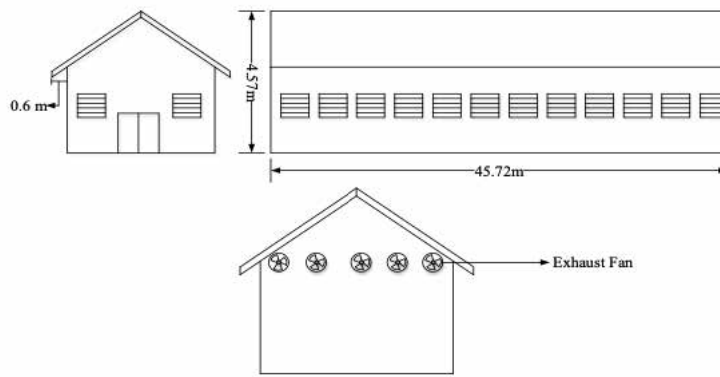


Рис. 1.1 – Схема пташника та розміщення вентиляційного обладнання («Exhaust Fan» - вентиляційне обладнання)

Технологія утримання птиці на підприємстві передбачає підлогову систему вирощування, при якій поголів'я розміщується на підстилці з органічних матеріалів. У процесі життєдіяльності птиці відбувається інтенсивне виділення тепла, вологи та газів, зокрема аміаку і вуглекислого газу, що зумовлює необхідність ефективної роботи систем вентиляції та обігріву.

Основними параметрами мікроклімату пташника є температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та концентрація шкідливих газів. Для забезпечення оптимальних умов утримання птиці ці параметри повинні підтримуватися у встановлених технологічних межах. Недостатня інтенсивність вентиляції призводить до накопичення вологи та шкідливих газів у приміщенні, що негативно впливає на фізіологічний стан поголів'я та продуктивність виробництва.

1.2 Основні технології отримання та зберігання водню

Ефективність вирощування птиці значною мірою визначається параметрами мікроклімату у виробничих приміщеннях. До основних параметрів, що характеризують мікроклімат пташника, належать температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та концентрація шкідливих газів. Відхилення цих показників від нормативних значень призводить до зниження

						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктивності птиці, погіршення санітарно-гігієнічних умов та збільшення енергетичних витрат на підтримання технологічного режиму.

Температурний режим у пташниках визначається віком птиці та технологією вирощування. Для молодняку птиці температура повітря повинна підтримуватися на рівні 30–32 °С, тоді як у процесі росту поголів'я вона поступово знижується до 18–20 °С для дорослої птиці. Порушення температурного режиму призводить до підвищення енергетичних витрат організму птиці на терморегуляцію, що негативно впливає на приріст маси та продуктивність.

Відносна вологість повітря у пташнику повинна знаходитися у межах 60–70 %. Збільшення вологості понад 75 %сприяє накопиченню конденсату на огорожувальних конструкціях будівлі, погіршенню стану підстилки та розвитку патогенних мікроорганізмів. Надмірно низька вологість повітря (менше 50 %) викликає підвищене пиловиділення та погіршує умови утримання птиці.

Важливим показником мікроклімату є швидкість руху повітря у зоні розміщення птиці. Для зимового періоду швидкість повітряних потоків повинна становити 0,2–0,3 м/с, тоді як у літній період для запобігання перегріванню птиці допускається її збільшення до 1,0–2,0 м/с. Оптимальний повітрообмін забезпечує ефективне видалення тепла, вологи та продуктів життєдіяльності птиці.

У процесі утримання птиці у повітрі приміщення накопичуються шкідливі гази, зокрема вуглекислий газ (CO_2) та аміак (NH_3). Допустима концентрація вуглекислого газу у пташниках не повинна перевищувати 0,25 %, а концентрація аміаку - 20 мг/м³. Перевищення цих значень призводить до зниження імунітету птиці та погіршення її фізіологічного стану.

Забезпечення необхідних параметрів мікроклімату здійснюється за допомогою систем вентиляції та обігріву. У сучасних птахівницьких господарствах застосовуються системи механічної вентиляції з негативним тиском, при яких витяжні вентилятори створюють розрідження у приміщенні, а

						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свіже повітря надходить через припливні отвори. Принцип організації повітрообміну у пташнику наведено на рисунку 1.2.

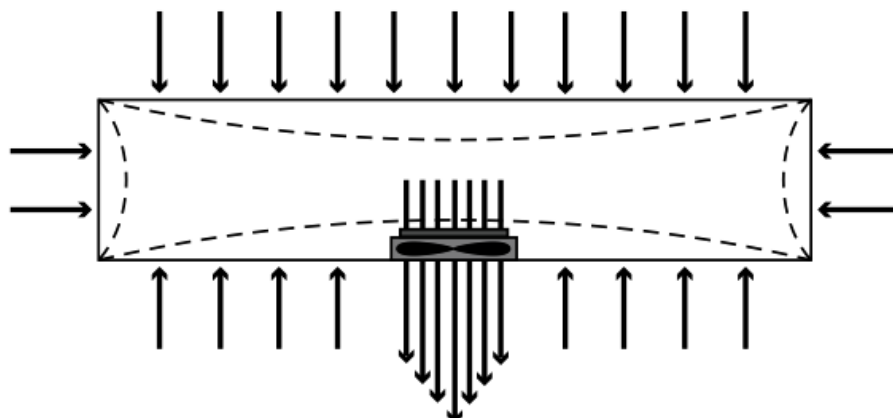


Рис.1.2 – Схема руху повітряних потоків у пташнику

У практиці птахівництва застосовується декілька схем вентиляції приміщень, що відрізняються способом подачі та видалення повітря. Основні варіанти організації повітрообміну у пташниках наведено на рисунку 1.3.

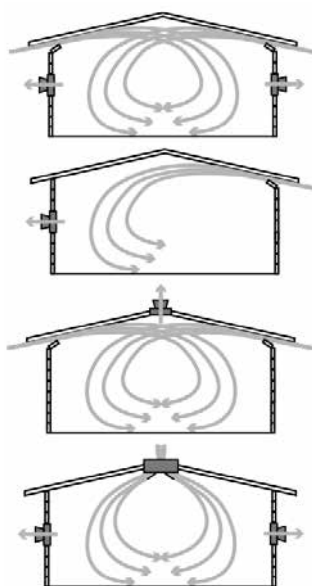


Рис. 1.3 – Основні схеми вентиляції пташників

Однією з найбільш ефективних систем вентиляції є тунельна вентиляція, при якій повітря переміщується уздовж усього приміщення від припливних отворів до витяжних вентиляторів. Така схема дозволяє створити рівномірний повітряний потік у зоні розміщення птиці та забезпечити інтенсивний теплообмін у літній період. Схему тунельної вентиляції наведено на рисунку 1.4.

						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

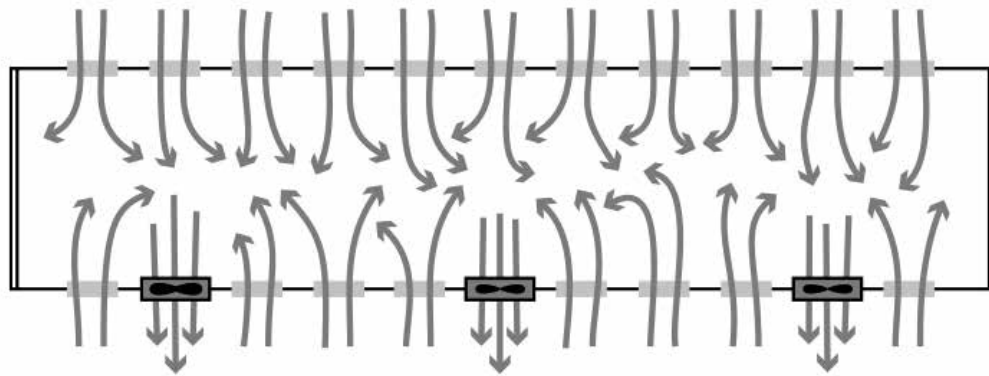


Рис. 1.4 – Схема тунельної вентиляції пташника

Для підтримання необхідного температурного режиму у холодний період року застосовуються системи обігріву, що можуть включати газові теплогенератори, електричні нагрівачі або водяні системи опалення. Потужність системи обігріву визначається тепловими втратами будівлі, які залежать від площі огорожувальних конструкцій, коефіцієнта теплопередачі матеріалів та температурної різниці між внутрішнім і зовнішнім середовищем.

Параметри мікроклімату пташника формуються за рахунок комплексної роботи систем вентиляції та обігріву. Рациональна організація повітрообміну та оптимізація режимів роботи вентиляційного обладнання дозволяють зменшити енергоспоживання інженерних систем та забезпечити стабільні умови утримання птиці. Це створює передумови для розроблення проєктних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності систем мікроклімату пташників.

1.3 Енергоспоживання систем забезпечення мікроклімату птахоферми

Системи забезпечення мікроклімату пташника є основними споживачами енергетичних ресурсів у птахівництві. До їх складу входять вентиляційні установки, системи обігріву, освітлення та автоматизовані системи керування. Основна частка енергоспоживання припадає на вентиляцію та теплогенерацію, що пов'язано з необхідністю підтримання нормативних параметрів температури, вологості та повітрообміну у виробничому приміщенні.

						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для пташника довжиною 45,72 м та шириною близько 12 м площа приміщення становить приблизно 548–550 м², а об'єм будівлі - близько 2300–2500 м³. При промисловому вирощуванні бройлерів густота посадки становить 30–35 кг живої маси на 1 м², що формує значне тепловиділення та потребує інтенсивного повітрообміну.

Нормативна кратність вентиляції для пташників становить:

- зимовий режим - 0,7–1,0 м³/год на 1 кг живої маси;
- перехідний режим - 3–4 м³/год на 1 кг;
- літній режим - 6–8 м³/год на 1 кг.

При поголів'ї приблизно 15–18 т живої маси необхідна продуктивність вентиляційної системи може досягати 90 000–120 000 м³/год.

Для забезпечення такого повітрообміну у пташнику встановлюється 6–8 витяжних вентиляторів продуктивністю 15 000–18 000 м³/год кожний. Потужність одного вентилятора становить 0,8–1,1 кВт.

Сумарна електрична потужність вентиляційної системи визначається за формулою

$$P_t = n \cdot P_1$$

де

n – кількість вентиляторів;

P₁ – потужність одного вентилятора.

Для пташника:

$$P_B = 8 \cdot 1,0 = 8 \text{ кВт}$$

Другим за величиною споживачем енергії є система обігріву. Для підтримання температури 30–32 °С у період вирощування молодняку використовуються газові або електричні теплогенератори потужністю 25–35 кВт.

Теплова потужність системи обігріву визначається залежністю

$$Q = V \cdot k \cdot \Delta T$$

Де

						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

V – об’єм будівлі, м³;

k – коефіцієнт тепловтрат (0,6–0,9);

ΔT – різниця температур внутрішнього і зовнішнього повітря.

Для пташника об’ємом 2400 м³ при температурній різниці 30 °С тепла потреба становить приблизно 35–40 кВт.

Окрім вентиляції та обігріву електроенергія витрачається на освітлення. У пташниках використовуються світлодіодні або люмінесцентні світильники потужністю 15–40 Вт. Загальна встановлена потужність освітлення для пташника становить приблизно 0,8–1,0 кВт.

Основні енергетичні характеристики систем мікроклімату наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Потужність основного обладнання систем мікроклімату пташника

Система	Кількість	Потужність одного елемента, кВт	Загальна потужність, кВт
Вентилятори	8	1,0	8
Теплогенератори	2	20	40
Освітлення	25 світильників	0,04	1
Автоматика та допоміжне обладнання	–	–	1,5
Разом	–	–	50,5

Річне споживання електроенергії системами мікроклімату залежить від режиму роботи обладнання. При середньодобовій роботі вентиляції 10–12 год річне споживання електроенергії становить приблизно

$$E = P \cdot tE = 8 \cdot 4000 \approx 32\,000 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

З урахуванням роботи систем обігріву, освітлення та допоміжного обладнання сумарне річне споживання енергії одним пташником становить 90–110 тис. кВт·год.

Структура енергоспоживання систем мікроклімату наведена у таблиці 1.2.

						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розподіл енергоспоживання систем мікроклімату

Система	Річне споживання, кВт·год	Частка, %
Вентиляція	32 000	32
Обігрів	45 000	45
Освітлення	8 000	8
Допоміжні системи	15 000	15
Разом	100 000	100

Аналіз показує, що понад 75–80 % енергоспоживання припадає на вентиляцію та обігрів, тому підвищення енергоефективності систем мікроклімату повинно бути спрямоване на оптимізацію роботи вентиляційного обладнання, використання енергоефективних вентиляторів, рекуперацію тепла та автоматизоване керування режимами повітрообміну.

1.4 Аналіз методів підвищення енергоефективності систем мікроклімату

Першим напрямом є зменшення теплових втрат через огорожувальні конструкції. Для пташників із недостатньою теплоізоляцією втрати теплоти через стіни та покриття можуть становити до 25–35 % загального теплового навантаження. При зниженні коефіцієнта теплопередачі стін з 0,8–1,0 Вт/(м²·К) до 0,35–0,45 Вт/(м²·К) потреба у тепловій енергії в опалювальний період зменшується в середньому на 15–20 %. Для виробничих приміщень птахівництва це дає змогу знизити встановлену потужність системи обігріву та скоротити тривалість роботи теплогенераторів.

Другим напрямом є оптимізація вентиляції. Надлишковий повітрообмін у холодний період безпосередньо збільшує втрати теплоти, оскільки кожний додатковий об'єм зовнішнього повітря потребує нагрівання до нормативної температури внутрішнього середовища. При перевищенні необхідної

						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктивності вентиляції на 20–25 % енерговитрати на обігрів можуть зростати на 10–15 %. Тому доцільним є ступеневе або плавне регулювання продуктивності вентиляторів залежно від температури, вологості та концентрації газів у приміщенні.

Одним із найбільш ефективних методів є використання вентиляторів із частотним регулюванням приводу. У традиційних системах вентилятори працюють у режимі увімкнення/вимкнення, що призводить до перевитрати електроенергії та нестабільності повітрообміну. Використання перетворювачів частоти дозволяє змінювати швидкість обертання вентилятора відповідно до фактичного навантаження. Відомо, що споживана потужність вентилятора пропорційна кубу відносної швидкості обертання

$$P \sim n^3$$

тому зменшення швидкості обертання на 20 % забезпечує зниження споживаної потужності приблизно на 49 %, а на 30 % - майже на 66 %. Для пташника із сумарною потужністю вентиляції 8 кВт це дозволяє отримати економію 10–15 тис. кВт·год/рік залежно від режиму експлуатації.

Третім напрямом є рекуперація теплоти витяжного повітря. У холодний період із пташника видаляється значний об'єм нагрітого повітря з температурою 18–24 °С, тепла енергія якого в традиційних системах втрачається. Застосування пластинчастих або роторних рекуператорів із коефіцієнтом корисної дії 50–70 % дозволяє частково передавати теплоту витяжного повітря припливному. У результаті теплове навантаження на систему обігріву знижується в середньому на 20–30 %. Для пташника з тепловою потребою 40 кВт це відповідає зменшенню необхідної теплової потужності на 8–12 кВт.

Четвертим напрямом є автоматизоване керування параметрами мікроклімату. Енергоефективність системи суттєво залежить від точності підтримання температури, вологості та концентрації шкідливих газів. При відхиленні температури всього на 1–2 °С від оптимального значення витрати

						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергії на обігрів можуть змінюватися на 5–8 %. Використання контролерів із датчиками температури, відносної вологості, концентрації CO₂ та NH₃ дозволяє реалізувати адаптивне керування вентиляторами, нагрівачами та припливними клапанами. Структурну схему автоматизованої системи регулювання мікроклімату наведено на рисунку 1.5.

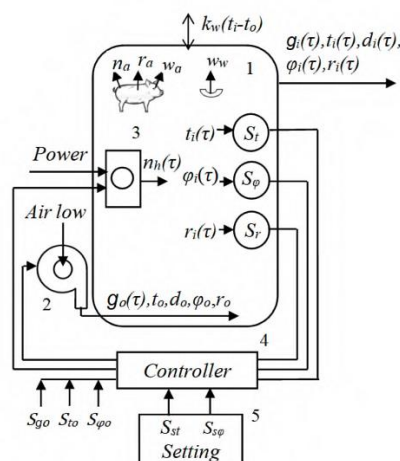


Рис. 1.5 – Структурна схема автоматизованого керування параметрами мікроклімату

П'ятим напрямом є застосування енергоефективного теплогенераційного обладнання. При використанні застарілих теплогенераторів коефіцієнт корисної дії системи обігріву може становити 75–80 %, тоді як для сучасних газових теплогенераторів цей показник досягає 90–94 %. Різниця у 10–15 % безпосередньо впливає на витрати палива або електроенергії. Крім того, доцільним є зональне регулювання температури, особливо у період вирощування молодняку, коли локальна потреба у теплі є вищою, ніж у решті об'єму приміщення.

Шостим напрямом є оптимізація режимів освітлення, оскільки система освітлення також формує додаткове електричне навантаження. Перехід від люмінесцентних джерел до світлодіодних світильників дозволяє знизити споживання електроенергії на освітлення на 40–60 %. При встановленій потужності освітлення 1,0 кВт це забезпечує економію до 3–4 тис. кВт·год/рік.

Для узагальнення основних технічних методів підвищення енергоефективності систем мікроклімату доцільно використати таблицю 1.3.

Таблиця 1.3

Основні методи підвищення енергоефективності систем мікроклімату пташника

Метод	Технічний ефект	Орієнтовне зниження енергоспоживання
Підвищення теплоізоляції огорожувальних конструкцій	Зменшення тепловтрат будівлі	15–20 %
Частотне регулювання вентиляторів	Зниження споживаної потужності вентиляції	20–50 % для вентиляції
Рекуперація теплоти витяжного повітря	Зменшення навантаження на обігрів	20–30 % для обігріву
Автоматизоване керування мікрокліматом	Точне підтримання параметрів середовища	10–15 %
Використання сучасних теплогенераторів	Підвищення ККД системи обігріву	10–15 %
Світлодіодне освітлення	Зменшення електроспоживання освітлення	40–60 % для освітлення

Отже, найбільший технічний ефект для пташника забезпечує поєднання трьох рішень: автоматизованого регулювання повітрообміну, використання вентиляторів із частотним керуванням та рекуперації теплоти витяжного повітря. Саме ці заходи дозволяють одночасно знизити витрати електричної енергії на вентиляцію, скоротити теплові втрати та стабілізувати параметри мікроклімату в межах технологічно допустимих значень. Для виробничого приміщення розглянутих розмірів сумарний потенціал скорочення енергоспоживання систем мікроклімату може становити 25–35 %, що є достатньою підставою для розроблення проєктних рішень з модернізації існуючої системи.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ

2.1 Розрахунок теплового балансу пташника

Для розрахунку прийнято пташник довжиною 45,72 м, шириною 12,0 м та висотою в карнизі 3,0 м; загальна висота в коньку - 4,57 м. Площа підлоги становить

$$F = L \cdot B = 45,72 \cdot 12 = 548,64 \text{ м}^2$$

За густини посадки 30 кг/м² сумарна жива маса птиці

$$M = 548,64 \cdot 30 = 16459 \text{ кг}$$

Тепловий баланс пташника в холодний період записується у вигляді

$$\Phi_s + \Phi_h = \Phi_c + \Phi_v$$

де Φ_s - чуттєве тепловиділення птиці, Φ_h - тепла потужність системи обігріву, Φ_c - втрати теплоти через огорожувальні конструкції, Φ_v - втрати теплоти з вентиляційним повітрям.

Втрати теплоти через огорожувальні конструкції визначаються за формулою

$$\Phi_c = \sum U_i A_i (t_i - t_o)$$

де U_i - коефіцієнт теплопередачі конструкції, A_i - її площа, t_i і t_o - внутрішня та зовнішня температури. Втрати теплоти на вентиляцію визначаються як

$$\Phi_v = \rho c_p L (t_i - t_o)$$

де ρ - густина повітря, c_p - його питома теплоємність, L - витрата повітря, м³/с.

Для розрахунку прийнято: розрахункова внутрішня температура $t_i = 20$ °С, зовнішня температура $t_o = -10$ °С, тобто

						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta t = t_i - t_o = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Площа поздовжніх стін:

$$A_{w1} = 2 \cdot 45,72 \cdot 3,0 = 274,32 \text{ м}^2$$

Площа торцевих стін без фронтонів:

$$A_{w2} = 2 \cdot 12 \cdot 3,0 = 72,0 \text{ м}^2$$

Площа двох фронтонів:

$$A_f = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot (4,57 - 3,0) = 18,84 \text{ м}^2$$

Загальна площа стін:

$$A_w = 274,32 + 72,0 + 18,84 = 365,16 \text{ м}^2$$

Довжина схилу даху:

$$l_r = \sqrt{\left(\frac{12}{2}\right)^2 + (4,57 - 3,0)^2} = \sqrt{6^2 + 1,57^2} = 6,20 \text{ м}$$

Площа покриття:

$$A_r = 2 \cdot 45,72 \cdot 6,20 = 566,93 \text{ м}^2$$

Для утепленого пташника прийнято:

$$U_w = 0,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad U_r = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Тоді втрати теплоти через стіни:

$$\Phi_w = U_w A_w \Delta t = 0,45 \cdot 365,16 \cdot 30 = 4929,7 \text{ Вт}$$

Втрати теплоти через покриття:

$$\Phi_r = U_r A_r \Delta t = 0,35 \cdot 566,93 \cdot 30 = 5952,8 \text{ Вт}$$

Сумарні трансмісійні втрати:

$$\Phi_c = \Phi_w + \Phi_r = 4929,7 + 5952,8 = 10882,5 \text{ Вт} \approx 10,9 \text{ кВт}$$

Для зимового режиму приймається мінімальна вентиляція 0,7 м³/год на 1 кг живої маси. Тоді необхідна витрата повітря

$$L_h = 0,7 \cdot 16459 = 11521,3 \text{ м}^3/\text{год}$$

						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У секундах:

$$L = \frac{11521,3}{3600} = 3,20 \text{ м}^3/\text{с}$$

За $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ та $c_p = 1005 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ вентиляційні втрати становлять

$$\Phi_v = 1,2 \cdot 1005 \cdot 3,20 \cdot 30 = 115776 \text{ Вт} \approx 115,8 \text{ кВт}$$

Тепловиділення птиці приймається за питомою загальною теплопродукцією $7,6 \text{ Вт/кг}$ у термонеutralній зоні. Тоді загальне тепловиділення поголів'я

$$\Phi_{tot} = 7,6 \cdot 16459 = 125088 \text{ Вт} \approx 125,1 \text{ кВт}$$

Для бройлерів CIGR наводить формулу чуттєвого тепловиділення на 1 хви:

$$\Phi_{s,1hpu} = 0,61[1000 + 20(20 - t)] - 0,228t^2$$

де t - температура повітря в приміщенні, $^{\circ}\text{C}$, а 1 хви відповідає 1000 Вт загального тепловиділення при 20°C .

За $t = 20^{\circ}\text{C}$:

$$\Phi_{s,1hpu} = 0,61 \cdot 1000 - 0,228 \cdot 20^2 = 610 - 91,2 = 518,8 \text{ Вт/хви}$$

Кількість хви для даного поголів'я:

$$N_{hpu} = \frac{\Phi_{tot}}{1000} = 125,1$$

Тоді чуттєве тепловиділення птиці

$$\Phi_s = 518,8 \cdot 125,1 = 64907 \text{ Вт} \approx 64,9 \text{ кВт}$$

Необхідна теплова потужність системи обігріву:

$$\Phi_h = \Phi_c + \Phi_v - \Phi_s = 10,9 + 115,8 - 64,9 = 61,8 \text{ кВт}$$

Отже, для розрахункового зимового режиму теплова потужність системи обігріву пташника повинна становити не менше 62 кВт . Із цієї величини близько $17,2 \%$ припадає на втрати через огорожувальні конструкції, а $82,8 \%$ - на вентиляційні втрати. Тому основним резервом підвищення енергоефективності є не збільшення потужності нагрівачів, а зменшення вентиляційних тепловтрат за

						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рахунок рекуперації, точного регулювання повітрообміну та підвищення герметичності будівлі.

2.2 Розрахунок теплових втрат огорожувальних конструкцій

Для розрахунку прийнято: довжина пташника $L = 45,72$ м, ширина $B = 12,0$ м, висота в карнизі $h = 3,0$ м, висота в коньку $h_k = 4,57$ м. Розрахункові температури: $t_i = 20^\circ\text{C}$, $t_o = -10^\circ\text{C}$.

Температурний перепад

$$\Delta t = t_i - t_o = 20 - (-10) = 30.$$

Теплові втрати через огорожувальні конструкції визначаються за формулою

$$Q_{\text{тр}} = \sum k_i F_i \Delta t,$$

де k_i - коефіцієнт теплопередачі конструкції; F_i - площа конструкції.

Коефіцієнт теплопередачі визначається через приведений термічний опір:

$$k = \frac{1}{R_{\Sigma}},$$

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_o}.$$

Для розрахунку прийнято: $\alpha_i = 8,7$, $\alpha_o = 23$. Стіни виконано із сендвіч-панелей з мінераловатним утеплювачем товщиною 0,08 м, покриття — із сендвіч-панелей з утеплювачем товщиною 0,10 м. Для обох конструкцій прийнято $\lambda = 0,041$.

Площа зовнішніх стін

$$F_{\text{ст}} = 2Lh + 2Bh + 2 \cdot \frac{1}{2} B(h_k - h),$$

$$F_{\text{ст}} = 2 \cdot 45,72 \cdot 3,0 + 2 \cdot 12 \cdot 3,0 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot (4,57 - 3,0) = 365,16.$$

						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжина схилу даху

$$l_d = \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + (h_k - h)^2} = \sqrt{6^2 + 1,57^2} = 6,20.$$

Площа покриття

$$F_{\text{пок}} = 2Ll_d = 2 \cdot 45,72 \cdot 6,20 = 566,93.$$

Таблиця 2.1

Розрахункові параметри огорожувальних конструкцій

Конструкція	δ , м	λ , Вт/(м·К)	R_{Σ} , м ² ·К/Вт	k , Вт/(м ² ·К)
Зовнішні стіни	0,08	0,041	2,11	0,474
Покриття	0,10	0,041	2,60	0,385

Для зовнішніх стін

$$R_{\Sigma, \text{ст}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,08}{0,041} + \frac{1}{23} = 2,11,$$

$$k_{\text{ст}} = \frac{1}{2,11} = 0,474.$$

Для покриття

$$R_{\Sigma, \text{пок}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,10}{0,041} + \frac{1}{23} = 2,60,$$

$$k_{\text{пок}} = \frac{1}{2,60} = 0,385.$$

Теплові втрати через стіни

$$Q_{\text{ст}} = k_{\text{ст}} F_{\text{ст}} \Delta t = 0,474 \cdot 365,16 \cdot 30 = 5192,7.$$

Отже, $Q_{\text{ст}} = 5,19$ кВт.

Теплові втрати через покриття

$$Q_{\text{пок}} = k_{\text{пок}} F_{\text{пок}} \Delta t = 0,385 \cdot 566,93 \cdot 30 = 6547,9.$$

Отже, $Q_{\text{пок}} = 6,55$ кВт.

Сумарні теплові втрати через огорожувальні конструкції

$$Q_{\text{тр}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{пок}} = 5,19 + 6,55 = 11,74 \text{ кВт.}$$

						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати розрахунку теплових втрат

Конструкція	F, м2	k, Вт/(м2·К)	Δt, °C	Q, кВт	Частка, %
Зовнішні стіни	365,16	0,474	30	5,19	44,2
Покриття	566,93	0,385	30	6,55	55,8
Разом	932,09	—	—	11,74	100,0

Питома величина трансмісійних тепловтрат, віднесена до площі підлоги пташника,

$$q_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{тр}}}{F_{\text{підл}}} = \frac{11,74 \cdot 10^3}{548,64} = 21,4.$$

Отже, основна частка теплових втрат припадає на покриття - 6,55 кВт, або 55,8% від загальних трансмісійних втрат.

2.3 Визначення необхідної потужності системи опалення

Необхідну потужність системи опалення визначено на основі складових теплового балансу пташника: трансмісійних втрат через огорожувальні конструкції, вентиляційних втрат та внутрішніх тепловиділень від птиці. Для розрахункового зимового режиму прийнято температуру внутрішнього повітря 20 °C та зовнішнього повітря -10 °C.

Вихідні дані для визначення потужності системи опалення

Параметр	Позначення	Значення
Площа підлоги пташника, м²	F	548,64
Розрахунковий об'єм приміщення, м³	V	2076,60
Внутрішня температура, °C	t _i	20

						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.1

Зовнішня температура, °С	t_o	-10
Різниця температур, К	Δt	30
Втрати теплоти через огорожувальні конструкції, кВт	$Q_{тр}$	10,88
Втрати теплоти на вентиляцію, кВт	Q_v	115,79
Чуттєве тепловиділення птиці, кВт	Q_c	64,91

Розрахункову теплову потужність системи опалення визначають за рівнянням

$$Q_{оп} = Q_{тр} + Q_v - Q_c, \quad (2.12)$$

де $Q_{оп}$ – необхідна теплова потужність системи опалення, кВт; $Q_{тр}$ – трансмісійні тепловтрати через огорожувальні конструкції, кВт; Q_v – вентиляційні тепловтрати, кВт; Q_c – чуттєве тепловиділення птиці, кВт.

Підставляючи результати розрахунків, отримані в пп. 2.1–2.2, маємо

$$Q_{оп} = 10,88 + 115,79 - 64,91 = 61,76 \text{ кВт}. \quad (2.13)$$

Для вибору встановленої потужності системи опалення вводять резерв на нерівномірність теплового навантаження, похибку розрахунку, періоди пуску та зниження температури зовнішнього повітря. Встановлену потужність визначають за формулою

$$Q_{вст} = k_z \cdot Q_{оп}, \quad (2.14)$$

де k_z – коефіцієнт запасу. Для систем опалення тваринницьких приміщень доцільно приймати $k_z = 1,10 \dots 1,15$. У розрахунку прийнято $k_z = 1,10$.

$$Q_{вст} = 1,10 \cdot 61,76 = 67,94 \text{ кВт}. \quad (2.15)$$

Отримане значення округлюється до стандартної встановленої потужності 68 кВт. Для забезпечення ступеневого регулювання навантаження та підвищення надійності роботи системи доцільно прийняти два теплогенератори номінальною потужністю 35 кВт кожний. Загальна встановлена потужність при цьому становитиме 70 кВт.

						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питомі показники потужності системи опалення становлять

$$qF = Q_{\text{вст}} / F = 67,94 / 548,64 = 0,124 \text{ кВт/м}^2 = 124 \text{ Вт/м}^2. \quad (2.16)$$

$$qV = Q_{\text{вст}} / V = 67,94 / 2076,60 = 0,0327 \text{ кВт/м}^3 = 32,7 \text{ Вт/м}^3. \quad (2.17)$$

Залежність необхідної теплової потужності системи опалення від зовнішньої температури наведено на рис. 2.1. Графік побудовано для сталих внутрішніх умов $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ та прийнятих значень трансмісійних і вентиляційних втрат.

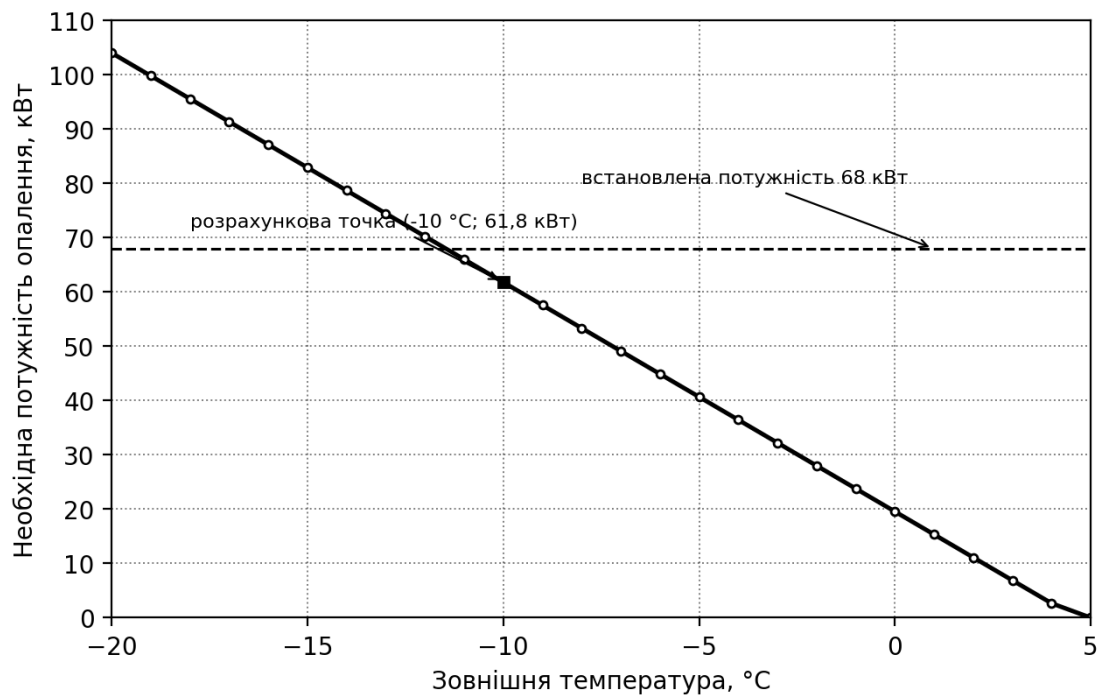


Рис. 2.1 – Залежність необхідної потужності системи опалення від зовнішньої температури

Отже, розрахункова потужність системи опалення для пташника становить 61,76 кВт, а з урахуванням 10 % резерву необхідно встановити джерело тепла сумарною потужністю не менше 68 кВт. Для практичної реалізації приймається система з двох теплогенераторів 35 кВт.

2.4 Розрахунок параметрів системи вентиляції

Вихідні дані для розрахунку параметрів вентиляції приймаються за результатами пп. 2.1–2.3: довжина пташника $L = 45,72$ м, ширина $B = 12,0$ м, розрахунковий об'єм приміщення $V = 2400$ м³, сумарна жива маса птиці $M = 16459$ кг, розрахункова внутрішня температура у холодний період $t_i = 20$ °С, зовнішня температура $t_o = -10$ °С. У п. 2.1 встановлено, що основна частка теплових втрат припадає на вентиляцію, а у п. 2.3 визначено необхідну теплову потужність системи опалення 62 кВт. Тому система вентиляції повинна забезпечувати нормативний повітрообмін за мінімально можливих теплових втрат.

Розрахунок витрати повітря виконується за питомою нормою на 1 кг живої маси птиці. Для бройлерних пташників приймаються такі режими роботи вентиляції: мінімальний зимовий режим, перехідний режим та літній режим. Необхідна витрата повітря визначається за формулою

$$L = l \cdot M,$$

де l – питома витрата повітря, м³/(год·кг); M – жива маса птиці, кг.

Для холодного періоду приймається $l_x = 0,7$ м³/(год·кг). Тоді необхідна витрата повітря становить

$$L_x = 0,7 \cdot 16459 = 11521,3 \text{ м}^3/\text{год} = 3,20 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для перехідного режиму приймається $l_p = 3,5$ м³/(год·кг). Тоді

$$L_p = 3,5 \cdot 16459 = 57606,5 \text{ м}^3/\text{год} = 16,00 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для теплого періоду, відповідно до галузевих норм для бройлерних пташників, приймається $l_t = 6,0$ м³/(год·кг). Тоді

$$L_t = 6,0 \cdot 16459 = 98754,0 \text{ м}^3/\text{год} = 27,43 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Кратність повітрообміну визначається за формулою

$$n = L / V,$$

де V – розрахунковий об'єм приміщення, м³.

Тоді для прийнятого об'єму пташника $V = 2400$ м³:

						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_x = 11521,3 / 2400 = 4,80 \text{ год}^{-1};$$

$$n_p = 57606,5 / 2400 = 24,00 \text{ год}^{-1};$$

$$n_t = 98754,0 / 2400 = 41,15 \text{ год}^{-1}.$$

Результати розрахунку витрати повітря та кратності повітрообміну наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Розрахункова витрата повітря за режимами роботи вентиляції

Режим	Питома витрата, м³/(год·кг)	Загальна витрата, м³/год	Витра та, м³/с	Кратні сть, год⁻¹
Холод ний	0,7	11521,3	3,20	4,80
Перехі дний	3,5	57606,5	16,00	24,00
Теплий	6,0	98754,0	27,43	41,15

Для вибору вентиляційного обладнання приймаються осьові витяжні вентилятори продуктивністю $Q_v = 15000 \text{ м}^3/\text{год}$ та встановленою електричною потужністю 1,0 кВт кожний. Кількість вентиляторів визначається за формулою

$$N = L_t / Q_v = 98754 / 15000 = 6,58.$$

За результатами розрахунку приймається 7 робочих вентиляторів. З урахуванням резерву та можливості роботи у форсованому режимі доцільно встановити 8 вентиляторів. При цьому сумарна паспортна продуктивність системи становитиме

$$Q_{\Sigma} = 8 \cdot 15000 = 120000 \text{ м}^3/\text{год},$$

що на 21,5 % перевищує розрахункову потребу теплого періоду та забезпечує необхідний резерв продуктивності.

Режими роботи вентиляторів доцільно організувати ступенево. У холодний період достатньо роботи одного вентилятора з частотним

регулюванням або переривчастим режимом; у перехідний період – чотирьох вентиляторів; у теплий період – семи вентиляторів, а восьмий використовується як резервний або для роботи в умовах пікового теплового навантаження. Результати вибору вентиляторів наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Вибір кількості вентиляторів за режимами роботи

Режим	Потрібна витрата, м³/год	Кількість вентиляторів, розрахункова	При йнято, шт.	Продуктивність, м³/год
Холодний	11521,3	0,77	1*	15000
Перехідний	57606,5	3,84	4	60000
Теплий	98754,0	6,58	7	105000
Максимальний	—	—	8	120000

* У холодний період робота одного вентилятора повинна регулюватися перетворювачем частоти або циклічним режимом, оскільки його паспортна продуктивність перевищує мінімально необхідну.

Площа припливних отворів визначається з умови допустимої швидкості руху повітря у вхідному перерізі:

$$F = L / (3600 \cdot v),$$

де v – розрахункова швидкість повітря у припливному отворі, м/с.

Для холодного періоду, щоб забезпечити спрямування струменя під стелю та інтенсивне змішування повітря, приймається $v_x = 4,0$ м/с. Тоді необхідна площа відкритих отворів становить

$$F_x = 11521,3 / (3600 \cdot 4,0) = 0,80 \text{ м}^2.$$

Для теплового періоду приймається $v_t = 2,5$ м/с. Тоді

$$F_t = 98754,0 / (3600 \cdot 2,5) = 10,97 \text{ м}^2.$$

						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як встановлено у п. 1.1, площа одного вентиляційного отвору становить 0,6 м². Отже, кількість одночасно відкритих отворів визначається як

$$z_x = 0,80 / 0,6 = 1,33 \approx 2 \text{ отвори};$$

$$z_t = 10,97 / 0,6 = 18,28 \approx 19 \text{ отворів.}$$

За наявності 24 припливних отворів сумарна наявна площа становить

$$F\Sigma = 24 \cdot 0,6 = 14,4 \text{ м}^2,$$

що перевищує необхідну площу теплого періоду. Це підтверджує достатність прийнятої схеми припливної вентиляції.

Сумарна встановлена електрична потужність вентиляційної системи дорівнює

$$P\Sigma = 8 \cdot 1,0 = 8,0 \text{ кВт.}$$

Питомий показник встановленої потужності на 1 м² площі пташника становить

$$p = 8,0 / 548,64 = 0,0146 \text{ кВт/м}^2 = 14,6 \text{ Вт/м}^2.$$

Отже, для розглянутого пташника доцільно прийняти систему механічної витяжної вентиляції з 8 осьовими вентиляторами продуктивністю 15000 м³/год кожний, ступеневим або частотним регулюванням продуктивності та керованим відкриванням припливних отворів. Така система забезпечує нормативний повітрообмін у всіх режимах роботи та узгоджується з тепловим балансом, визначеним у п. 2.1, і потужністю системи опалення, обґрунтованою у п. 2.3.

2.5 Математичне моделювання режимів роботи системи мікроклімату

Математичне моделювання виконано з використанням результатів пп. 2.1–2.4. Для розрахункового пташника прийнято сумарну живу масу птиці $M = 16459$ кг, чуттєве тепловиділення птиці $\Phi_s = 64,9$ кВт, розрахункову теплову потужність системи опалення $\Phi_{h,max} = 62$ кВт, а також витрати вентиляційного повітря за режимами $L_x = 11521,3$ м³/год, $L_p = 57606,5$ м³/год, $L_t = 98754,0$ м³/год.

						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модель описує зміну температури та вологості внутрішнього повітря залежно від зовнішніх умов і режиму роботи вентиляційно-опалювального обладнання.

Рівняння нестационарного теплового балансу приміщення записується у вигляді

$$C \cdot dt_i(\tau)/d\tau = \Phi_h(\tau) + \Phi_s - K \cdot [t_i(\tau) - t_o(\tau)] - \rho \cdot c_p \cdot L(\tau) \cdot [t_i(\tau) - t_o(\tau)],$$

де C — приведена теплоємність внутрішнього об'єму пташника, Дж/К; K — зведений коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій, Вт/К; $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ — густина повітря; $c_p = 1005 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ — питома теплоємність повітря; $L(\tau)$ — поточна витрата вентиляційного повітря, $\text{м}^3/\text{с}$.

З урахуванням результатів п. 2.2 коефіцієнт теплопередачі становить

$$K = U_w \cdot A_w + U_r \cdot A_r = 0,45 \cdot 365,16 + 0,35 \cdot 566,93 = 362,75 \text{ Вт/К}.$$

Приведена теплоємність повітряного об'єму пташника визначається за формулою

$$C = \rho \cdot c_p \cdot V = 1,2 \cdot 1005 \cdot 2400 = 2,894 \cdot 10^6 \text{ Дж/К}.$$

Параметри математичної моделі, прийняті для подальших розрахунків, наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Параметри математичної моделі системи мікроклімату

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця
Сумарна жива маса птиці	M	16459	кг
Чуттєве тепловиділення птиці	Φ_s	64,9	кВт
Максимальна теплова потужність опалення	$\Phi_{h,max}$	62,0	кВт
Коефіцієнт теплопередачі огорожень	K	362,75	Вт/К

Приведена теплоємність повітряного об'єму	C	2,894·10 ⁶	Дж/К
Мінімальна витрата повітря	L _x	11521,3	м³/год
Перехідна витрата повітря	L _п	57606,5	м³/год
Максимальна витрата повітря	L _t	98754,0	м³/год

Закон зміни продуктивності вентиляції у моделі прийнято кусково-лінійним: у зимовому режимі підтримується мінімальна витрата L_x, у діапазоні 20–24 °С витрата зростає до L_п, а в діапазоні 24–28 °С — до L_t. Такий закон відповідає ступеневому переходу між режимами, обґрунтованому в п. 2.4.

$$L(\tau) = L_x, \text{ якщо } t_i \leq 20 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$L(\tau) = L_x + (L_p - L_x) \cdot (t_i - 20) / 4, \text{ якщо } 20 < t_i < 24 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$L(\tau) = L_p + (L_t - L_p) \cdot (t_i - 24) / 4, \text{ якщо } 24 \leq t_i < 28 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$L(\tau) = L_t, \text{ якщо } t_i \geq 28 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Теплова потужність системи опалення визначається за пропорційним законом з обмеженням за максимальною потужністю:

$$\Phi_h(\tau) = \min \{ \Phi_{h,\max}; K_p \cdot [t_{\text{set}} - t_i(\tau)] \}, \text{ якщо } t_i < t_{\text{set}};$$

$$\Phi_h(\tau) = 0, \text{ якщо } t_i \geq t_{\text{set}},$$

де $t_{\text{set}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ — розрахункова температура в холодний період, а K_p — коефіцієнт пропорційного регулювання. Для аналізу прийнято $K_p = 15 \text{ кВт/}^{\circ}\text{C}$. На рисунку 2.2 наведено залежність потрібної теплової потужності від зовнішньої температури при мінімальній зимовій вентиляції.

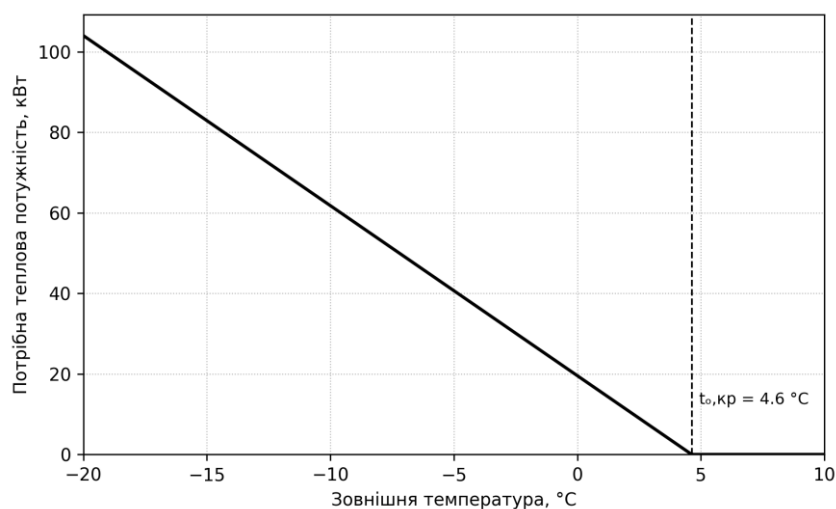


Рис. 2.2 – Залежність потрібної теплової потужності від зовнішньої температури

З рисунка 2.2 видно, що за зовнішньої температури $t_o = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ потрібна теплова потужність становить 61,8 кВт, що узгоджується з результатом п. 2.3. Критична температура зовнішнього повітря, за якої допоміжний обігрів уже не потрібний, становить $4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. При подальшому підвищенні температури підтримання мікроклімату забезпечується за рахунок власного тепловиділення птиці та вентиляції.

На рисунку 2.3 подано змодельовану характеристику системи вентиляції залежно від внутрішньої температури. Вона відображає перемикання між зимовим, перехідним та теплим режимами.

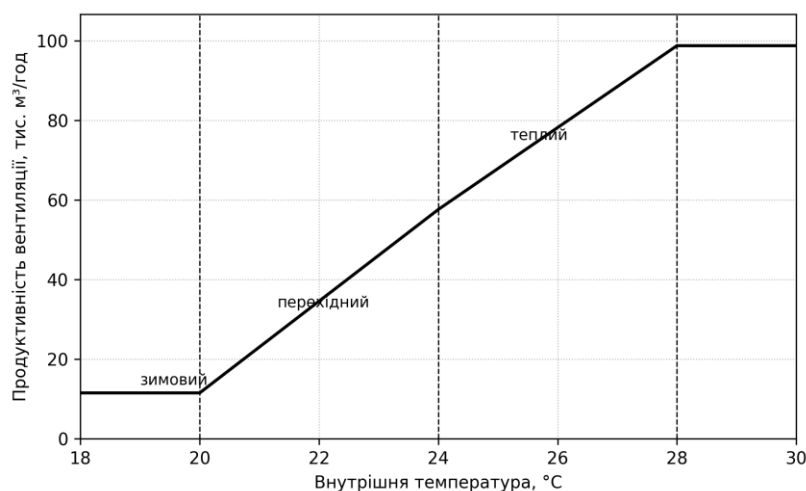


Рис. 2.3 – Характеристика зміни продуктивності вентиляції залежно від внутрішньої температури

За температури до 20 °С система працює з мінімальною витратою 11,52 тис. м³/год, що забезпечує нормативний зимовий повітрообмін. У діапазоні 20–24 °С продуктивність зростає до 57,61 тис. м³/год, а при подальшому підвищенні температури до 28 °С — до 98,75 тис. м³/год. Таким чином, модель забезпечує безперервний перехід між режимами роботи та може бути використана для вибору алгоритму керування вентиляторами.

Для оцінювання вологісного режиму використано рівняння балансу вологи:

$$\rho \cdot V \cdot dx_i(\tau)/d\tau = G_w - \rho \cdot L(\tau) \cdot [x_i(\tau) - x_o],$$

де G_w — інтенсивність надходження вологи від погोलів'я; x_i та x_o — вологовміст внутрішнього та зовнішнього повітря відповідно. Для розрахунку прийнято $G_w = 0,033$ кг/с та $x_o = 0,0013$ кг/кг сухого повітря. Відносна вологість визначалась за співвідношенням

$$\phi_i = x_i / x_{sat}(t_i) \cdot 100 \, \%.$$

Залежність відносної вологості від витрати вентиляційного повітря при $t_i = 20$ °С наведено на рисунку 2.4.

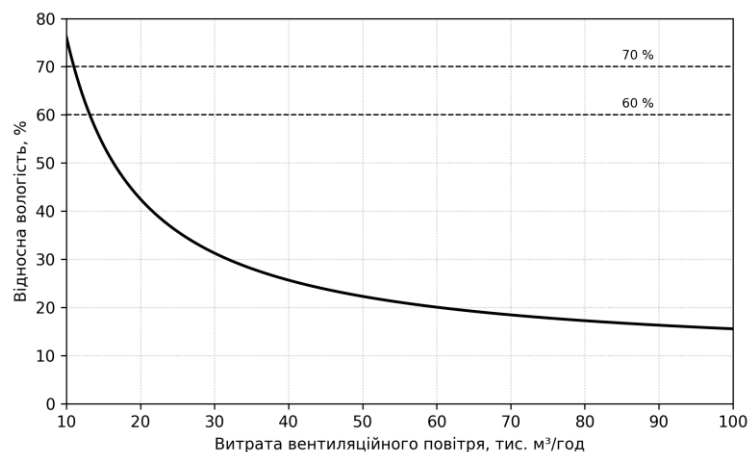


Рис. 2.4 – Залежність відносної вологості внутрішнього повітря від витрати вентиляції

За мінімальної зимової витрати $L_x = 11,52$ тис. м³/год відносна вологість становить 67,3 %, що відповідає рекомендованому діапазону 60–70 %. Зі збільшенням витрати повітря до перехідного режиму вологість зменшується до

20,5 %, а при максимальній літній витраті - до 15,7 %. Отже, у зимовому режимі вентиляція повинна регулюватися з урахуванням не лише температури, а й допустимого нижнього обмеження за вологістю, щоб не допустити надмірного пересушування повітря.

Отримана математична модель дає змогу кількісно оцінювати зв'язок між тепловим навантаженням, продуктивністю вентиляції та показниками мікроклімату. Найбільший вплив на енергоспоживання має зимовий режим, у якому вентиляційні втрати теплоти є визначальними. Тому для подальшого підвищення енергоефективності доцільним є впровадження частотного регулювання вентиляторів, точнішого контролю температури та систем утилізації теплоти витяжного повітря.

						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ

3.1 Аналіз сучасних енергоефективних технологій у птахівництві

Енергоефективність систем мікроклімату пташника визначається здатністю інженерних установок підтримувати нормативні параметри температури, вологості, швидкості руху повітря та концентрації шкідливих газів за мінімального споживання енергоресурсів. За результатами попереднього аналізу найбільшу частку річного енергоспоживання формують вентиляція та обігрів, які разом становлять близько 77 % сумарних витрат енергії виробничого приміщення. Тому проєктні рішення мають бути спрямовані передусім на зниження вентиляційних тепловтрат, оптимізацію роботи вентиляторів і підвищення точності автоматичного керування.

Для розрахункового пташника прийнято площу підлоги 548,64 м², сумарну живу масу птиці 16459 кг, встановлену потужність вентиляційної системи 8,0 кВт та необхідну встановлену потужність системи обігріву 68 кВт. У практичній реалізації передбачено використання двох теплогенераторів по 35 кВт, восьми осьових витяжних вентиляторів продуктивністю 15000 м³/год кожний, системи керованих припливних отворів і автоматизованого регулювання параметрів внутрішнього середовища.

До сучасних енергоефективних технологій, доцільних для використання в птахівництві, належать частотне регулювання вентиляторів, рекуперація теплоти витяжного повітря, зональне керування обігрівом, застосування високоефективних теплогенераторів, автоматизоване керування за показниками температури, вологості, CO₂ і NH₃, а також світлодіодне освітлення. Кожен із цих заходів має різний технічний ефект, тому найбільш раціональним є їх комплексне використання.

						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1

Порівняння енергоефективних технологій для систем мікроклімату
пташника

Технічне рішення	Основний об'єкт впливу	Технічний ефект	Доцільність для об'єкта
Частотне регулювання вентиляторів	система вентиляції	зменшення електроспоживання вентиляторів і плавне регулювання повітрообміну	висока
Рекуперація теплоти	витяжне повітря	повернення частини теплоти та зменшення навантаження на обігрів	висока у холодний період
Автоматизоване керування	вентиляція, обігрів, клапани	підтримання параметрів за фактичним навантаженням	висока
Високоєфективні і теплогенератори	система обігріву	підвищення ККД та зниження витрат палива	висока
Підвищення теплоізоляції	огороджувальні конструкції	зменшення трансмісійних тепловтрат	середня
LED-освітлення	система освітлення	зниження електроспоживання освітлення	додаткова

З урахуванням особливостей розглянутого пташника основними проєктними рішеннями приймаються: частотне регулювання вентиляторів, кероване відкривання припливних отворів, модернізація системи обігріву із застосуванням двох теплогенераторів по 35 кВт, використання рекуперації теплоти в режимі мінімального зимового повітрообміну та впровадження автоматизованої системи керування мікрокліматом.

						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Вибір енергоефективної системи вентиляції пташника

У пташнику застосовується механічна вентиляція з негативним тиском. При такій схемі витяжні вентилятори створюють розрідження у виробничому приміщенні, а зовнішнє повітря надходить через припливні отвори, розміщені вздовж бокових стін. За результатами розрахунку у розділі 2 для теплого періоду необхідна витрата повітря становить 98754 м³/год, а розрахункова кількість вентиляторів продуктивністю 15000 м³/год дорівнює 6,58. Для забезпечення резерву прийнято 8 вентиляторів загальною продуктивністю 120000 м³/год.

$$Q_{\Sigma} = N \cdot Q_v = 8 \cdot 15000 = 120000 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.1)$$

Запас продуктивності вентиляційної системи відносно потреби літнього періоду становить:

$$\begin{aligned} k_{\text{рез}} &= (Q_{\Sigma} - L_{\text{т}}) / L_{\text{т}} \cdot 100 = \\ &= (120000 - 98754) / 98754 \cdot 100 = 21,5 \% \end{aligned} \quad (3.2)$$

Для підвищення енергоефективності система вентиляції проєктується не як проста система увімкнення/вимкнення, а як багатоступенева система з частотним керуванням частиною вентиляторів. У холодний період необхідна витрата повітря становить 11521,3 м³/год, що менше продуктивності одного вентилятора. Тому один вентилятор повинен працювати з частотним регулюванням або циклічним керуванням, щоб уникнути надлишкового повітрообміну та зайвих тепловтрат.

						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2

Прийняті режими роботи енергоефективної вентиляційної системи

Режим роботи	Необхід на витрата, м³/год	Кількість робочих вентиляторів	Прийнята продуктивність, м³/год	Спосіб регулювання
Холодний	11521,3	1	до 15000	частотне або циклічне регулювання
Перехідний	57606,5	4	60000	ступеневе вмикання
Теплий	98754,0	7	105000	ступеневе вмикання
Максимальний	-	8	120000	форсований режим

Основою енергоефективності частотного регулювання є кубічна залежність споживаної потужності вентилятора від швидкості обертання робочого колеса:

$$P_2 = P_1 \cdot (n_2 / n_1)^3 \quad (3.3)$$

Наприклад, при зниженні швидкості обертання вентилятора до 80 % від номінальної споживана потужність становитиме:

$$P_2 = 1,0 \cdot 0,8^3 = 0,512 \text{ кВт} \quad (3.4)$$

Зменшення швидкості обертання на 20 % забезпечує зниження споживаної потужності майже на 49 %. Це особливо важливо для зимового та перехідного режимів, коли максимальна продуктивність вентиляції не потрібна, але система повинна стабільно видаляти вологу, CO₂ та NH₃.

						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

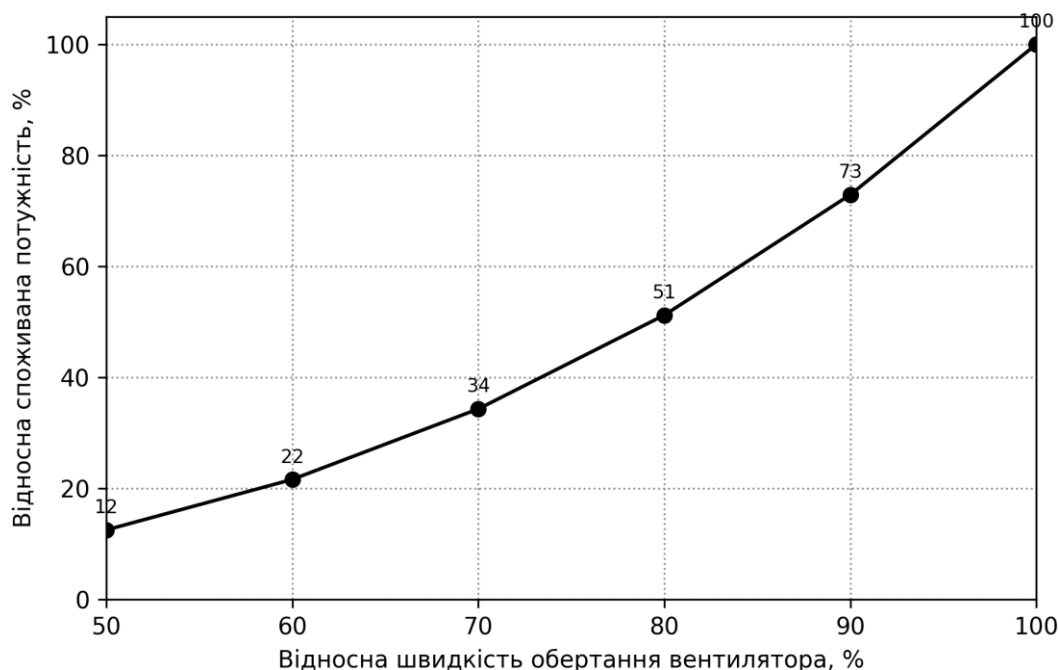


Рис. 3.1 – Залежність споживаної потужності вентилятора від швидкості обертання

Отже, для пташника доцільно прийняти систему витяжної вентиляції з 8 осьовими вентиляторами, частотним регулюванням мінімального режиму, ступеневим увімкненням вентиляторів у перехідний і літній періоди та автоматичним керуванням припливними отворами. Таке рішення забезпечує необхідний повітрообмін і зменшує перевитрату електроенергії.

3.3 Вибір та обґрунтування системи обігріву

Система обігріву пташника повинна компенсувати теплові втрати через огорожувальні конструкції та вентиляційні втрати з урахуванням тепловиділень птиці. За результатами теплового балансу розрахункова теплова потужність системи обігріву становить 61,76 кВт. З урахуванням коефіцієнта запасу 1,10 встановлена потужність повинна бути не меншою за 67,94 кВт.

$$Q_{\text{вст}} = k_z \cdot Q_{\text{оп}} = 1,10 \cdot 61,76 = 67,94 \text{ кВт} \quad (3.5)$$

Для практичної реалізації приймається система обігріву з двох теплогенераторів номінальною потужністю 35 кВт кожний. Така схема забезпечує сумарну потужність 70 кВт, резерв відносно розрахункової встановленої потужності та можливість ступеневого регулювання теплового навантаження.

$$Q_{\Sigma.об} = 2 \cdot 35 = 70 \text{ кВт} \quad (3.6)$$

Перевагою застосування двох теплогенераторів є підвищення надійності системи, оскільки у випадку зупинки одного агрегату другий може частково підтримувати температуру приміщення. Крім того, при невеликому тепловому навантаженні можлива робота лише одного теплогенератора, що зменшує кількість пусків, втрати на холостий хід і перевитрату енергоносія.

Таблиця 3.3

Прийняті технічні параметри системи обігріву пташника

Показник	Одиниця	Прийняте значення
Розрахункова тепла потужність	кВт	61,76
Коефіцієнт запасу	-	1,10
Необхідна встановлена потужність	кВт	67,94
Кількість теплогенераторів	шт.	2
Потужність одного теплогенератора	кВт	35
Сумарна встановлена потужність	кВт	70
Спосіб регулювання	-	ступеневе та автоматичне

Для підвищення енергоефективності теплогенератори повинні працювати у взаємодії з датчиками температури та системою вентиляції. У холодний період зменшення надлишкового повітрообміну безпосередньо зменшує потребу у

						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тепловій потужності. Тому система обігріву не розглядається окремо від вентиляції, а проєктується як частина єдиної автоматизованої системи мікроклімату.

3.4 Використання систем рекуперації тепла

У холодний період основна частина теплових втрат пташника пов'язана з вентиляційним повітрообміном. За результатами розрахунку вентиляційні тепловтрати становлять 115,79 кВт, що значно перевищує трансмісійні втрати через огорожувальні конструкції. Тому використання теплоти витяжного повітря є одним із основних напрямів підвищення енергоефективності системи мікроклімату.

Для пташника доцільно застосовувати рекуперацію теплоти насамперед у режимі мінімального зимового повітрообміну, коли припливне повітря має низьку температуру, а витяжне повітря містить значний запас теплоти. З урахуванням запиленості та підвищеної вологості повітря пташника доцільно передбачити теплообмінник із можливістю очищення, байпасним каналом і захистом від обмерзання.

$$Q_{\text{рек}} = \eta_{\text{рек}} \cdot Q_{\text{в}} \quad (3.7)$$

За ефективності рекуперації $\eta_{\text{рек}} = 0,35$ корисна теплова потужність, що може бути повернена до припливного повітря у зимовому режимі, становить:

$$Q_{\text{рек}} = 0,35 \cdot 115,79 = 40,53 \text{ кВт} \quad (3.8)$$

Фактична сезонна економія теплової енергії залежить від тривалості холодного періоду, забрудненості теплообмінної поверхні, режиму відтавання та кратності роботи системи. Для техніко-економічного розрахунку приймається, що рекуперація і автоматизоване керування дозволяють зменшити річні витрати енергії на обігрів з 45000 до 34650 кВт·год, тобто на 10350 кВт·год.

						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні умови застосування рекуперації теплоти у пташнику

Параметр	Вимога	Обґрунтування
Тип теплообмінника	пластинчастий або модульний із доступом для очищення	зменшення ризику забруднення поверхні
Режим використання	холодний та перехідний періоди	найбільша різниця температур
Захист від обмерзання	байпас, контроль температури, відтавання	запобігання блокуванню каналів
Санітарні вимоги	розділення припливного і витяжного потоків	недопущення перетікання забрудненого повітря
Очікуваний ефект	20-30 % для витрат на обігрів	зниження вентиляційних тепловтрат

Отже, система рекуперації теплоти є доцільною як складова модернізованої системи мікроклімату, однак її необхідно поєднувати з очищенням повітря, контролем обмерзання та регламентним технічним обслуговуванням.

3.5 Використання автоматизованих систем керування мікрокліматом

Автоматизована система керування мікрокліматом призначена для підтримання параметрів внутрішнього середовища пташника в межах технологічно допустимих значень. Основними вхідними сигналами є температура повітря, відносна вологість, концентрація CO₂, концентрація NH₃, режим вирощування птиці та зовнішня температура. Вихідними керуючими діями є зміна швидкості вентиляторів, відкривання припливних клапанів, увімкнення теплогенераторів і регулювання освітлення.

						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип автоматичного керування базується на порівнянні фактичного значення параметра із заданим. Узагальнено сигнал похибки визначається як:

$$e_i(t) = x_{\text{зад},i} - x_{\text{факт},i}(t) \quad (3.9)$$

де $x_{\text{зад},i}$ - задане значення параметра мікроклімату; $x_{\text{факт},i}(t)$ - фактичне значення параметра у момент часу t . Якщо похибка перевищує допустиму зону нечутливості, контролер формує команду на зміну режиму роботи вентиляції або обігріву.

Таблиця 3.5

Контрольовані параметри автоматизованої системи мікроклімату

Параметр	Нормативне або прийняте значення	Датчик	Керуюча дія
Температура повітря	18-32 °C залежно від віку птиці	датчик температури	обігрів, вентиляція
Відносна вологість	60-70 %	датчик вологості	вентиляція, припливні клапани
CO ₂	не більше 0,25 %	газовий датчик CO ₂	збільшення повітрообміну
NH ₃	не більше 20 мг/м ³	датчик аміаку	збільшення повітрообміну
Швидкість повітря	0,2-0,3 м/с взимку; 1,0-2,0 м/с влітку	розрахунковий контроль	ступінь роботи вентиляторів
Освітленість	за технологічним режимом	датчик/таймер	керування LED-освітленням

Очікуваний ефект від автоматизованого керування полягає не лише у зменшенні енергоспоживання, а й у стабілізації умов утримання птиці. Зменшення температурних коливань, своєчасне видалення аміаку та вологи, а також адаптивне керування вентиляторам дозволяють знизити ризик перевитрати енергії та покращити санітарно-гігієнічний стан приміщення.

3.6 Розроблення структурної схеми енергоефективної системи мікроклімату

На основі виконаного аналізу та розрахунків розроблено структурну схему енергоефективної системи мікроклімату пташника. Вона включає датчики контролю параметрів середовища, контролер, частотне керування вентиляторами, керовані припливні клапани, теплогенератори, систему рекуперації теплоти та LED-освітлення. Структурну схему наведено на рисунку 3.2.

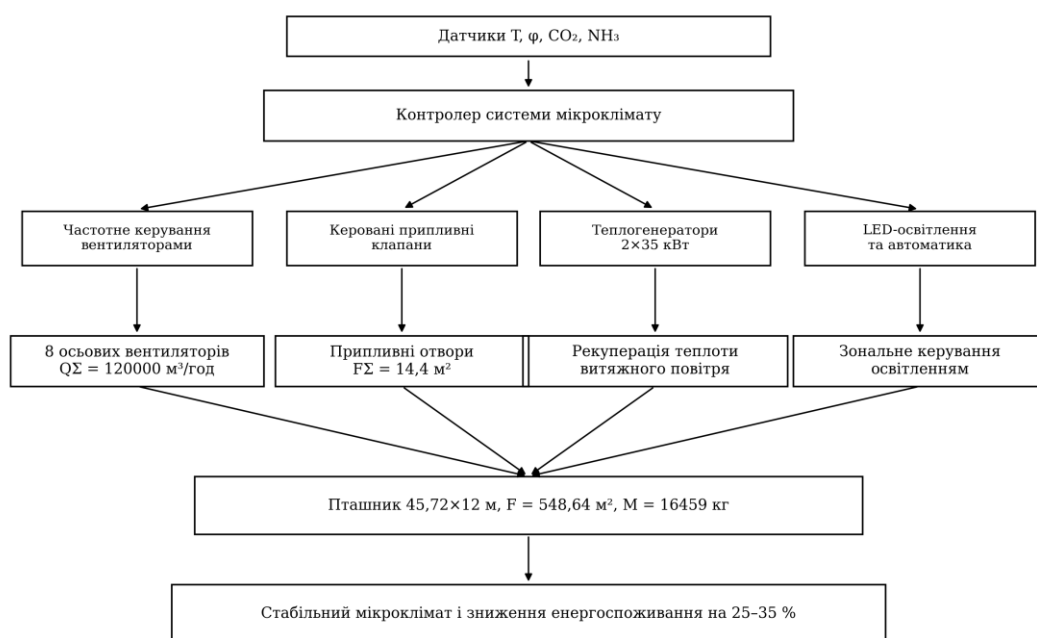


Рис. 3.2 – Структурна схема енергоефективної системи мікроклімату пташника

У запропонованій структурі центральним елементом є контролер системи мікроклімату. Він отримує інформацію від датчиків температури, вологості, CO₂ та NH₃, після чого формує керуючі сигнали для вентиляторів, припливних клапанів, теплогенераторів і системи освітлення. Така побудова дозволяє узгодити роботу вентиляції та обігріву, зменшити надлишковий повітрообмін у холодний період і підвищити ефективність використання теплової енергії.

						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Визначення капітальних витрат на модернізацію системи

Техніко-економічне обґрунтування виконується для оцінки доцільності впровадження запропонованих проєктних рішень. До складу модернізації включено частотне регулювання вентиляторів, встановлення датчиків мікроклімату, автоматизований контролер, електроприводи припливних клапанів, модуль рекуперації теплоти, модернізацію освітлення та монтажно-налагоджувальні роботи.

Капітальні витрати визначаються як сума вартості обладнання, матеріалів, монтажних і пусконалагоджувальних робіт:

$$K_{\Sigma} = K_{\text{обл}} + K_{\text{монт}} + K_{\text{пнр}} + K_{\text{рез}} \quad (4.1)$$

Таблиця 4.1

Орієнтовні капітальні витрати на модернізацію системи мікроклімату

Найменування витрат	Орієнтовна вартість, грн
Частотні перетворювачі для вентиляторів	68 000
Комплект датчиків температури, вологості, CO ₂ та NH ₃	42 000
Контролер автоматизованого керування та щит автоматики	62 000
Електроприводи припливних клапанів і виконавчі механізми	48 000
Модуль рекуперації теплоти для зимового мінімального повітрообміну	180 000
Світлодіодні світильники та блоки керування освітленням	55 000
Монтажні, пусконалагоджувальні та кабельні роботи	105 000
Резерв на допоміжні матеріали та налаштування	25 000
Разом	585 000

Загальні капітальні витрати на модернізацію системи становлять 585 000 грн. Ця сума є орієнтовною та може уточнюватися залежно від виробника обладнання фактичної довжини кабельних трас вартості монтажних робіт і складу системи автоматики.

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати системи мікроклімату складаються з витрат на електричну та теплову енергію, технічне обслуговування вентиляторів, теплогенераторів, датчиків, фільтрів і системи автоматики. Для порівняння прийнято базовий варіант, у якому річне енергоспоживання систем мікроклімату становить 100000 кВт·год.

Річні витрати на енергоресурси визначаються за формулою:

$$C_e = E_{\text{річ}} \cdot T_e \quad (4.2)$$

де $E_{\text{річ}}$ - річне споживання енергії, кВт·год; T_e - тариф або умовна вартість енергоресурсу, грн/кВт·год. Для техніко-економічного розрахунку прийнято $T_e = 7,50$ грн/кВт·год.

$$C_{\text{баз}} = 100000 \cdot 7.50 = 750\,000 \text{ грн/рік} \quad (4.3)$$

Після модернізації очікуване річне споживання зменшується до 74150 кВт·год, тому річні витрати на енергоресурси становитимуть:

$$C_{\text{мод}} = 74150 \cdot 7.50 = 556\,125 \text{ грн/рік} \quad (4.4)$$

Додаткові витрати на технічне обслуговування автоматизованої системи, датчиків і рекуператора приймаються на рівні 15000 грн/рік. Вони враховують очищення теплообмінника, перевірку датчиків, налаштування контролера та регламентне обслуговування приводів.

						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Розрахунок економії енергоресурсів

Економія енергоресурсів визначається як різниця між базовим річним енергоспоживанням і річним споживанням після впровадження енергоефективних технічних рішень. Для розрахунку враховано зменшення споживання електроенергії вентиляторами за рахунок частотного регулювання, зменшення витрат на обігрів за рахунок рекуперації та автоматизації, перехід на енергоефективне LED-освітлення і зниження витрат допоміжних систем.

$$\Delta E = E_{\text{баз}} - E_{\text{мод}} \quad (4.5)$$

$$\Delta E = 100000 - 74150 = 25850 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \quad (4.6)$$

Таблиця 4.2

Розрахунок річної економії енергоресурсів

Система	До модернізації, кВт·год/рік	Після модернізації, кВт·год/рік	Економія, кВт·год/рік	Зниження, %
Вентиляція	32000	22400	9600	30.0
Обігрів	45000	34650	10350	23.0
Освітлення	8000	3600	4400	55.0
Допоміжні системи	15000	13500	1500	10.0
Разом	100000	74150	25850	25.9

Грошова економія від зменшення споживання енергоресурсів становить:

$$S_{\text{вал}} = \Delta E \cdot T_e = 25850 \cdot 7.50 = 193\,875 \text{ грн} / \text{рік} \quad (4.7)$$

З урахуванням додаткового технічного обслуговування чистий річний економічний ефект дорівнює:

$$S_{\text{ч}} = S_{\text{вал}} - C_{\text{обсл}} = 193\,875 - 15\,000 = 178\,875 \text{ грн} / \text{рік} \quad (4.8)$$

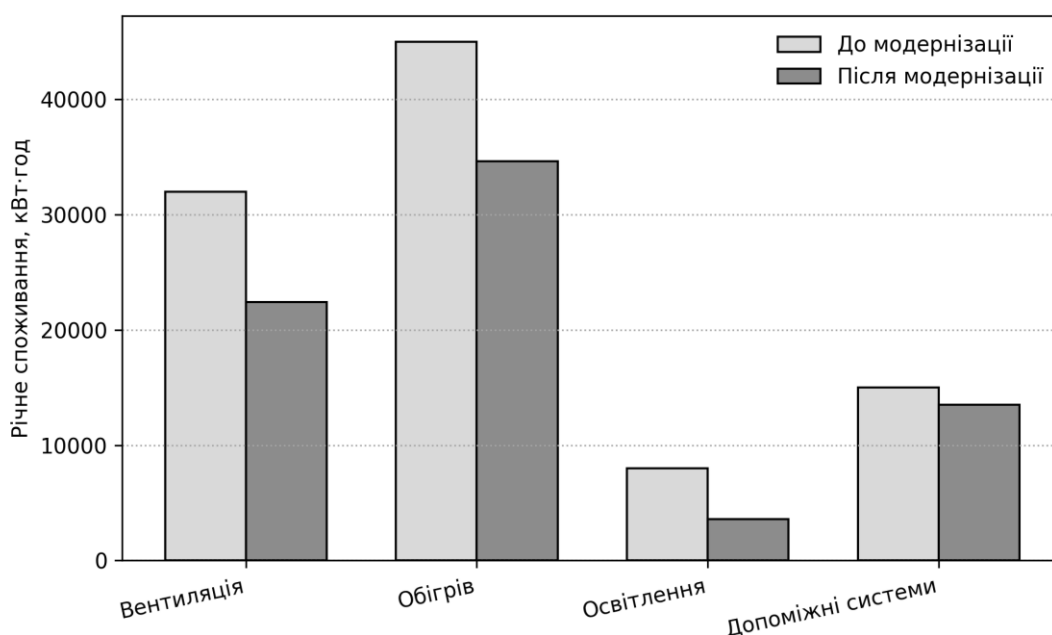


Рис. 4.1 – Порівняння річного енергоспоживання систем мікроклімату до та після модернізації

Отримані результати показують, що після модернізації сумарне річне енергоспоживання зменшується зі 100000 до 74150 кВт·год, тобто на 25,85 %. Це відповідає очікуваному потенціалу підвищення енергоефективності, визначеному у першому розділі роботи.

4.4 Визначення економічної ефективності впровадження

Економічна ефективність впровадження модернізованої системи мікроклімату оцінюється за чистим річним економічним ефектом, коефіцієнтом ефективності капітальних вкладень і зменшенням питомого енергоспоживання. Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$E_k = S_{\text{ч}} / K_{\Sigma} \quad (4.9)$$

$$E_k = 178\,875 / 585\,000 = 0.306 \quad (4.10)$$

Питоме енергоспоживання систем мікроклімату, віднесене до площі пташника, до модернізації становило:

$$e_{\text{баз}} = E_{\text{баз}} / F = 100000 / 548.64 = 182.3 \text{ кВт·год/м}^2\cdot\text{рік} \quad (4.11)$$

Після модернізації цей показник зменшується до:

$$e_{\text{мод}} = E_{\text{мод}} / F = 74150 / 548.64 = 135.2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік} \quad (4.12)$$

Зниження питомого енергоспоживання становить:

$$\Delta e = 182.3 - 135.2 = 47.1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік} \quad (4.13)$$

Таблиця 4.3

Узагальнені показники економічної ефективності модернізації

Показник	Одиниця	Значення
Капітальні витрати	грн	585 000
Базове енергоспоживання	кВт·год/рік	100000
Енергоспоживання після модернізації	кВт·год/рік	74150
Річна економія енергії	кВт·год/рік	25850
Чистий річний економічний ефект	грн/рік	178 875
Коефіцієнт ефективності вкладень	1/рік	0.306
Зниження енергоспоживання	%	25.85

За отриманими показниками модернізація є економічно доцільною, оскільки дає суттєве скорочення річного споживання енергоресурсів та забезпечує чистий економічний ефект близько 179 тис. грн на рік. Крім прямої економії, система забезпечує стабільніші параметри мікроклімату, що позитивно впливає на умови утримання птиці.

4.5 Розрахунок терміну окупності проєкту

Термін простої окупності визначається як відношення капітальних витрат на модернізацію до чистого річного економічного ефекту:

						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{ок}} = K_{\Sigma} / S_{\text{ч}} \quad (4.14)$$

$$T_{\text{ок}} = 585\,000 / 178\,875 = 3.27 \text{ року} \quad (4.15)$$

Отже, строк окупності запропонованих проєктних рішень становить приблизно 3,27 року. Для інженерних систем виробничого птахівницького приміщення такий строк є прийнятним, оскільки основні елементи системи автоматики, вентилятори, теплогенератори та LED-світильники мають значно більший нормативний термін експлуатації.

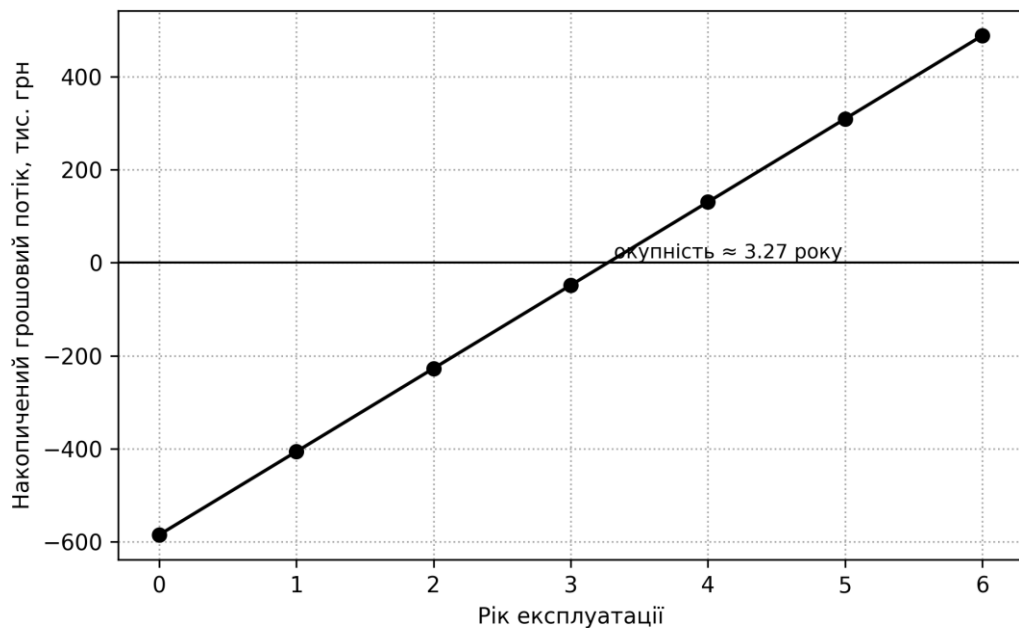


Рис. 4.2 – Накопичений грошовий потік проєкту модернізації системи мікроклімату

Після завершення строку окупності модернізована система продовжує забезпечувати щорічну економію енергоресурсів. Додатковою перевагою є підвищення керованості системи мікроклімату, зменшення ризику перегріву або переохолодження птиці, зниження концентрації шкідливих газів і поліпшення санітарно-гігієнічних умов виробничого приміщення.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ

Охорона праці під час експлуатації систем мікроклімату пташника є важливою складовою проєктних рішень, оскільки вентиляційне, теплогенераційне та автоматизоване обладнання працює у виробничому середовищі з підвищеною запиленістю, вологістю, наявністю біологічних забруднень і значною концентрацією технологічних процесів. Розроблені у попередніх розділах рішення з модернізації вентиляції, обігріву, рекуперації теплоти та автоматизованого керування повинні забезпечувати не лише енергоефективність, а й безпечні умови праці персоналу.

У розглянутому пташнику експлуатуються 8 витяжних вентиляторів сумарною встановленою потужністю 8,0 кВт, два теплогенератори по 35 кВт, система припливних клапанів, датчики температури, вологості, концентрації CO₂ і NH₃, а також щити керування та допоміжне електротехнічне обладнання. Тому питання безпеки необхідно розглядати комплексно: з позиції електробезпеки, пожежної безпеки, захисту від механічних травм, підтримання допустимих санітарно-гігієнічних параметрів та організації технічного обслуговування.

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів у пташнику

Виробниче середовище пташника характеризується одночасною дією фізичних, хімічних, біологічних та електротехнічних факторів. Основними джерелами небезпеки є працюючі вентилятори, теплогенератори, електродвигуни, шафи керування, повітропроводи, припливні клапани, система автоматики, підстилка, пил, волога та гази, що утворюються у процесі життєдіяльності птиці.

У попередніх розділах встановлено, що для забезпечення необхідного повітрообміну прийнято систему механічної вентиляції з 8 осьовими

						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентиляторами продуктивністю 15000 м³/год кожний. У холодний період система працює у мінімальному режимі, а в теплий період може залучати до 7 робочих вентиляторів. Такий режим забезпечує технологічні параметри мікроклімату, однак потребує захисту персоналу від обертових частин, шуму, вібрації та небезпеки ураження електричним струмом.

Для якісної оцінки рівня ризику використовується співвідношення

$$R = P \cdot S \quad (5.1)$$

де R - умовний рівень ризику; P - імовірність виникнення небезпечної події; S - тяжкість можливих наслідків. Такий підхід дозволяє визначити, які небезпечні фактори потребують першочергового усунення або технічного обмеження.

Таблиця 5.1

Небезпечний або шкідливий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Основні заходи захисту
Ураження електричним струмом	електродвигун и вентиляторів, щити керування, теплогенератори, кабельні лінії	електротравма , зупинка обладнання, аварійний режим роботи	заземлення, автоматичні вимикачі, УЗО, допуск до робіт тільки після відключення напруги
Механічне травмування	обертові робочі колеса вентиляторів, приводи клапанів, рухомі елементи автоматики	пошкодження рук, одягу, інструменту	захисні решітки, кожухи, блокування пуску під час обслуговування
Підвищений шум і вібрація	осьові вентилятори, повітряні канали, кріплення обладнання	втома персоналу, послаблення кріплень, зниження надійності системи	віброізоляція , балансування вентиляторів, періодична перевірка кріплень
Пил і біоаерозолі	підстилка, корм, пір'я, рух птиці, вентиляційні потоки	подразнення органів дихання, забруднення обладнання	засоби індивідуального захисту, прибирання, фільтрація та провітрювання

Як видно з таблиці 5.1, найбільш суттєвими для досліджуваного об'єкта є електричні, механічні, санітарно-гігієнічні та пожежні ризики. Їх зменшення повинно забезпечуватися не окремими заходами, а системою організаційного і технічного контролю. Саме тому модернізована система мікроклімату має включати датчики контролю параметрів повітря, засоби автоматичного захисту електрообладнання та регламентоване технічне обслуговування.



Рис. 5.1 – Структурна схема заходів безпечної експлуатації систем мікроклімату

На рисунку 5.1 показано взаємозв'язок основних груп заходів безпеки. Така структура дає змогу розділити відповідальність між технічним персоналом, працівниками пташника та особами, що виконують обслуговування електротехнічного і вентиляційного обладнання.

5.2 Вимоги електробезпеки при експлуатації вентиляційного обладнання

Вентиляційне обладнання пташника живиться від електричної мережі змінного струму через щити керування та апарати захисту. Основними споживачами електроенергії є електродвигуни осьових вентиляторів, приводи припливних клапанів, автоматика, датчики та допоміжні пристрої. З урахуванням підвищеної вологості, запиленості та можливості механічного

пошкодження кабельних ліній електрообладнання повинно мати відповідний ступінь захисту оболонки та виконуватися з урахуванням вимог ПУЕ і правил безпечної експлуатації електроустановок.

Усі металеві корпуси вентиляторів, теплогенераторів, щитів керування, повітропроводів і конструктивних елементів, які можуть опинитися під напругою у разі пошкодження ізоляції, повинні бути приєднані до захисного заземлення. Захист електричних ліній виконується автоматичними вимикачами з характеристиками, що відповідають струмам навантаження та умовам короткого замикання.

Перед виконанням ремонтних робіт електрообладнання має бути повністю відключене від мережі. Після відключення необхідно перевірити відсутність напруги, вивісити попереджувальний знак і переконатися у повній зупинці робочих коліс вентиляторів. Забороняється виконувати очищення вентилятора, регулювання приводу або заміну датчиків при ввімкненій напрузі.

Таблиця 5.2

Елемент системи	Небезпека	Вимога електробезпеки
Електродвигуни вентиляторів	ураження струмом, перегрів обмоток, коротке замикання	заземлення корпусів, тепловий захист, автоматичний вимикач, періодична перевірка ізоляції
Щит керування мікрокліматом	доступ до струмоведучих частин, помилкове вмикання	закритий корпус, маркування апаратів, блокування дверцят, допуск тільки відповідального персоналу
Кабельні лінії	пошкодження ізоляції, перегрів провідників	прокладання у захисних каналах, вибір перерізу за струмом, захист від механічного пошкодження
Датчики та кола автоматики	пошкодження при вологості та пилу	використання низьковольтних кіл керування, герметичні з'єднання, періодична перевірка сигналів
Теплогенератори	перегрів, пошкодження живлення вентилятора, аварійний режим	автоматичне відключення при перегріві, контроль тяги, термостатичний захист

Наведені у таблиці 5.2 вимоги забезпечують захист персоналу від електротравм і зменшують ризик аварійного відключення системи мікроклімату. Особливо важливим є справний стан автоматичного керування, оскільки воно забезпечує перехід вентиляційної системи між зимовим, перехідним і літнім режимами роботи.

Для підтримання електробезпеки необхідно не рідше одного разу на рік виконувати перевірку опору ізоляції кабельних ліній, справності заземлення, працездатності автоматичних вимикачів та стану контактних з'єднань. Результати перевірок повинні фіксуватися в журналі технічного обслуговування.

5.3 Заходи пожежної безпеки у виробничих приміщеннях

Пташник належить до виробничих приміщень, у яких пожежна небезпека формується за рахунок наявності електрообладнання, теплогенераторів, горючих матеріалів підстилки, пилу та кабельних ліній. Найбільш небезпечними є зони розміщення теплогенераторів, електричних щитів, вентиляторів і складування допоміжних матеріалів.

Основним принципом пожежної безпеки є недопущення поєднання джерела займання, горючого середовища та надмірного нагріву. Для цього теплогенератори повинні встановлюватися з дотриманням безпечних відстаней до горючих матеріалів, електрокабелі мають бути захищені від пошкоджень, а поверхні обладнання - регулярно очищені від пилу. У місцях розташування електротехнічного обладнання не допускається накопичення підстилки, тари, корму та інших горючих матеріалів.

Для теплогенераторів приймається автоматичний контроль температури, наявності аварійного відключення, перевірка справності пальників, вентиляторів і датчиків перегріву. Якщо система працює в автоматичному режимі, то контролер повинен забезпечувати вимкнення подачі палива при відсутності тяги, перегріві або відмові вентилятора.

						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3

Ділянка або обладнання	Пожежний ризик	Протипожежний захід
Теплогенератори	перегрів корпусу, займання пилу або підстилки	термозахист, контроль тяги, очищення від пилу, дотримання безпечних відстаней
Електрощити та автоматика	коротке замикання, нагрів контактів	автоматичні вимикачі, періодична підтяжка контактів, закриті металеві корпуси
Кабельні траси	пошкодження ізоляції, перевантаження лінії	вибір кабелів за струмом, прокладання у захисних каналах, заборона тимчасових скруток
Вентилятори	перегрів електродвигуна, накопичення пилу	тепловий захист, очищення лопатей, контроль вібрації та струму
Підстилка і корм	накопичення горючих матеріалів	регулярне прибирання, недопущення зберігання біля електрообладнання
Виробниче приміщення	поширення диму та продуктів горіння	вільні евакуаційні проходи, справні вогнегасники, інструктаж персоналу

Заходи, наведені в таблиці 5.3, повинні виконуватися не лише під час введення системи в експлуатацію, а й протягом усього періоду роботи пташника. Особливу увагу слід приділяти очищенню обладнання від пилу, оскільки у птахівничих приміщеннях пил швидко накопичується на корпусах електродвигунів, решітках вентиляторів та поверхнях теплогенераторів.

Первинні засоби пожежогашіння розміщують біля входів, електрощитової та зони теплогенераторів. Проходи до них повинні бути вільними. Персонал має знати порядок відключення живлення, зупинки вентиляції, вимкнення теплогенераторів та повідомлення відповідальних осіб у разі виникнення аварійної ситуації.

5.4 Забезпечення безпечних умов праці персоналу

						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Безпечні умови праці персоналу пташника забезпечуються поєднанням організаційних, санітарно-гігієнічних і технічних заходів. Працівники повинні проходити первинний та періодичний інструктаж з охорони праці, пожежної безпеки, правил роботи з вентиляційним і теплотехнічним обладнанням, а також порядку дій у разі аварійної зупинки системи мікроклімату.

Під час роботи у пташнику персонал піддається впливу пилу, біоаерозолів, підвищеної вологості, аміаку, шуму від вентиляторів та мікрокліматичних коливань. Тому працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту: спецодяг, захисне взуття, рукавички, респіратори або маски при виконанні робіт із підстилкою, а також захисні окуляри при очищенні обладнання.

Для контролю безпечних умов праці доцільно застосовувати систему оперативного моніторингу параметрів повітря. Якщо концентрація аміаку наближається до граничного значення 20 мг/м³, а концентрація CO₂ - до 0,25 %, система автоматичного керування повинна збільшувати продуктивність вентиляції або формувати сигнал тривоги для персоналу.

Таблиця 5.4

Напрямок забезпечення безпеки	Практичний захід	Очікуваний результат
Інструктаж персоналу	первинний, повторний і цільовий інструктаж з правил роботи з обладнанням	зменшення помилок під час експлуатації та обслуговування
Засоби індивідуального захисту	респіратори, рукавички, спецодяг, захисне взуття	зменшення впливу пилу, газів і механічних факторів
Організація робочих проходів	підтримання проходів вільними, заборона складування біля обладнання	зниження ризику травмування та швидка евакуація
Контроль шуму і вібрації	перевірка вентиляторів, балансування, вібропрокладки	покращення умов праці та підвищення ресурсу обладнання
Санітарне обслуговування	регулярне очищення поверхонь, підстилки та вентиляційних решіток	зменшення пилу, аміаку та біологічного навантаження

Заходи, подані в таблиці 5.4, мають бути включені до експлуатаційного регламенту пташника. Їх виконання дозволяє не лише захистити персонал, а й підтримувати стабільний технологічний режим вирощування птиці. Особливо важливо, щоб обслуговування вентиляції та теплогенераторів виконувалося у періоди, коли обладнання вимкнене та охолоджене.

Роботи з очищення вентиляторів, фільтрів, припливних клапанів і теплообмінного обладнання повинні виконуватися за нарядом або розпорядженням відповідальної особи. Перед початком робіт необхідно відключити живлення, зафіксувати комутаційні апарати у вимкненому положенні та перевірити відсутність механічного руху.

5.5 Заходи з поліпшення виробничого мікроклімату

Поліпшення виробничого мікроклімату є одночасно технологічним і безпековим завданням. У попередніх розділах встановлено, що оптимальними параметрами для пташника є температура 18–20 °С для дорослої птиці, відносна вологість 60–70 %, швидкість руху повітря 0,2–0,3 м/с у холодний період та до 1,0–2,0 м/с у літній період. Допустима концентрація CO₂ не повинна перевищувати 0,25 %, а NH₃ - 20 мг/м³.

Для контролю відповідності фактичних параметрів нормативним значенням доцільно використовувати показник відносного відхилення контрольованого параметра:

$$K_m = X_f / X_n \quad (5.2)$$

де K_m - відносний показник стану параметра мікроклімату; X_f - фактичне значення параметра; X_n - допустиме або нормативне значення. Якщо K_m перевищує 1 для концентрації шкідливих газів або вологості, система керування повинна формувати команду на збільшення вентиляції, відкривання припливних клапанів або подання аварійного сигналу.

						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для поліпшення мікроклімату пташника необхідно забезпечити узгоджену роботу вентиляції, обігріву, рекуперації та автоматизованого керування. У холодний період надмірне збільшення повітрообміну призводить до значних теплових втрат, тому вентиляція повинна працювати за показами датчиків CO₂, NH₃ і вологості. У літній період основним завданням є відведення надлишкового тепла та створення достатньої швидкості повітря у зоні перебування птиці.

Таблиця 5.5

Параметр мікроклімату	Допустимий або рекомендований рівень	Захід поліпшення
Температура повітря	30–32 °С для молодняку; 18–20 °С для дорослої птиці	ступеневе керування теплогенераторами, зональний обігрів, рекуперація теплоти
Відносна вологість	60–70 %, небажано понад 75 %	регулювання вентиляції, контроль стану підстилки, усунення конденсату
Швидкість руху повітря	0,2–0,3 м/с взимку; 1,0–2,0 м/с влітку	частотне керування вентиляторами, регулювання припливних отворів
Концентрація CO ₂	не більше 0,25 %	датчики CO ₂ , автоматичне збільшення повітрообміну
Концентрація NH ₃	не більше 20 мг/м ³	контроль вологості підстилки, інтенсивніша вентиляція, санітарне прибирання
Пил і біоаерозолі	мінімізація запиленості робочої зони	очищення поверхонь, правильне розміщення повітряних потоків, ЗІЗ для персоналу

Наведені у таблиці 5.5 заходи безпосередньо пов'язані з проєктними рішеннями, розробленими у третьому розділі. Частотне регулювання вентиляторів, автоматизований контроль параметрів повітря та використання ефективних теплогенераторів забезпечують не лише економію енергоресурсів, а й стабільність виробничого середовища.

Таким чином, охорона праці в системах мікроклімату пташника повинна розглядатися як складова енергоефективної експлуатації. Стабільні параметри

						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітряного середовища зменшують навантаження на персонал, підвищують безпеку технічного обслуговування і забезпечують нормальні умови утримання птиці.

						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення енергоефективності систем забезпечення мікроклімату пташника. Дослідження виконано на прикладі виробничого пташника ТОВ «Черкаська птахофабрика», який призначений для підлогового утримання м'ясної птиці та має механічну систему вентиляції з негативним тиском. У роботі обґрунтовано, що стабільність параметрів мікроклімату безпосередньо впливає на продуктивність птиці, збереженість поголів'я, санітарно-гігієнічний стан приміщення та витрати енергоресурсів.

У першому розділі виконано аналіз систем мікроклімату пташника та шляхів підвищення їх енергоефективності. Встановлено, що основними контрольованими параметрами є температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря, концентрація CO₂ та NH₃. Для розглянутого пташника площею 548–550 м² і об'ємом близько 2400 м³ основними споживачами енергії є вентиляція та обігрів. Частка вентиляції у річному енергоспоживанні становить близько 32 %, а обігріву - близько 45 %, тому саме ці системи мають найбільший потенціал для модернізації.

У другому розділі виконано математичне моделювання та розрахунок параметрів системи мікроклімату. За розрахункової живої маси птиці 16459 кг визначено необхідну витрату повітря для різних режимів роботи вентиляції: 11521,3 м³/год у холодний період, 57606,5 м³/год у перехідний період та 98754,0 м³/год у теплий період. Для забезпечення повітрообміну обґрунтовано застосування 8 осьових витяжних вентиляторів продуктивністю 15000 м³/год кожний. Сумарна паспортна продуктивність системи становить 120000 м³/год, що забезпечує необхідний резерв для літнього режиму.

Розрахунки теплового балансу показали, що втрати теплоти через огорожувальні конструкції становлять близько 11 кВт, а вентиляційні тепловтрати є найбільшою складовою теплового навантаження. Необхідна

						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплова потужність системи опалення у розрахунковому зимовому режимі становить 61,76 кВт, а з урахуванням 10 % резерву - 67,94 кВт. Для практичної реалізації прийнято два теплогенератори потужністю 35 кВт кожний, що забезпечує сумарну встановлену потужність 70 кВт.

У третьому розділі розроблено проєктні рішення з підвищення енергоефективності систем мікроклімату. До складу запропонованих рішень включено частотне регулювання вентиляторів, автоматизоване керування за параметрами температури, вологості, CO₂ і NH₃, застосування енергоефективних теплогенераторів, оптимізацію режимів повітрообміну та використання рекуперації теплоти витяжного повітря. Запропонована структура системи дозволяє узгоджувати роботу вентиляції й обігріву відповідно до фактичного технологічного навантаження.

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проєктних рішень. Визначено капітальні витрати на модернізацію системи, експлуатаційні витрати та очікувану економію енергоресурсів. Основний економічний ефект формується за рахунок зменшення споживання електроенергії вентиляторами при частотному регулюванні, скорочення теплових втрат завдяки оптимізації повітрообміну та зниження витрат на обігрів при використанні сучасного теплогенераційного обладнання і рекуперації теплоти.

У п'ятому розділі розроблено заходи з охорони праці та безпеки експлуатації систем мікроклімату. Проаналізовано електричні, механічні, пожежні, санітарно-гігієнічні та біологічні фактори, що виникають під час роботи пташника. Запропоновано заходи електробезпеки, пожежної безпеки, безпечного обслуговування вентиляційного обладнання та поліпшення виробничого мікроклімату. Реалізація цих заходів забезпечує безпечні умови праці персоналу і надійну експлуатацію модернізованої системи.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи підтверджено доцільність модернізації системи мікроклімату пташника на основі енергоефективних

						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічних рішень. Поєднання частотного керування вентиляторами, автоматизованого контролю параметрів повітря, рекуперації теплоти та ефективного обігріву дозволяє знизити енергоспоживання, стабілізувати технологічний режим і покращити умови утримання птиці. Запропоновані рішення можуть бути використані при модернізації існуючих пташників і проєктуванні нових енергоефективних виробничих приміщень птахівницьких підприємств.

						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3873910458809321241?doc_type=2
2. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2
3. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/va042282-99>
4. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017.
5. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Держнаглядохоронпраці України від 09.01.1998 № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98>
6. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>
7. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
8. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>
9. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
10. ДСТУ EN 12464-2:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 2. Зовнішні робочі місця. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
11. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.

						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. ISO 50001:2018. Energy management systems. Requirements with guidance for use. Geneva : International Organization for Standardization, 2018. URL: <https://www.iso.org/standard/69426.html>
13. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems. Requirements with guidance for use. Geneva : International Organization for Standardization, 2018. URL: <https://www.iso.org/standard/63787.html>
14. EN 16798-1:2019. Energy performance of buildings. Ventilation for buildings. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings. Brussels : European Committee for Standardization, 2019.
15. EN 16798-3:2017. Energy performance of buildings. Ventilation for buildings. Part 3: For non-residential buildings. Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. Brussels : European Committee for Standardization, 2017.
16. ASHRAE Handbook. Fundamentals. Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2025. URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook>
17. ASHRAE Handbook. HVAC Systems and Equipment. Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2024. URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook/description-ashrae-handbook-hvac-systems-and-equipment>
18. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022. Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta : ASHRAE, 2022. URL: <https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standards-62-1--62-2>
19. CIBSE Guide B. Heating, Ventilating, Air Conditioning and Refrigeration. London : Chartered Institution of Building Services Engineers, 2016.
20. Pedersen S., Sällvik K. Climatization of Animal Houses: Heat and Moisture Production at Animal and House Levels. CIGR Section II, 4th Report. Horsens : Danish Institute of Agricultural Sciences, 2002.

						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume II: Animal Production and Aquacultural Engineering / ed. by C. W. CIGR. St. Joseph : ASAE, 1999. 664 p.
22. ASABE EP270.5. Design of Ventilation Systems for Poultry and Livestock Shelters. St. Joseph : American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2012.
23. Albright L. D. Environment Control for Animals and Plants. St. Joseph : American Society of Agricultural Engineers, 1990. 453 p.
24. Bottcher R. W., Czarick M. Tunnel Ventilation of Broiler Houses. Athens : University of Georgia Cooperative Extension, 1997.
25. Donald J. O., Campbell J., Simpson G. Poultry House Ventilation Guide. Auburn : Auburn University Cooperative Extension System, 2001.
26. Xin H., Gates R. S., Green A. R., Mitloehner F. M., Moore P. A., Wathes C. M. Environmental impacts and sustainability of egg production systems. Poultry Science. 2011. Vol. 90, No. 1. P. 263–277.
27. Gates R. S., Casey K. D., Xin H., Wheeler E. F., Simmons J. D. Fan assessment numeration system for ventilation efficiency. Applied Engineering in Agriculture. 2004. Vol. 20, No. 6. P. 829–837.
28. Liang Y., Xin H., Wheeler E. F., Gates R. S., Li H., Zajackowski J. S., Topper P. A., Casey K. D., Behrends B. R., Burnham D. J., Zajackowski F. J. Ammonia emissions from U.S. poultry houses. Poultry Science. 2005. Vol. 84, No. 3. P. 342–349.
29. Aerts J. M., Berckmans D. Precision livestock farming for poultry. World's Poultry Science Journal. 2004. Vol. 60, No. 4. P. 435–447.
30. Li H., Xin H., Liang Y., Burns R. T., Hoff S. J., Harmon J. D. Reduction of ammonia emissions from stored laying hen manure through topical application of zeolite, Al+Clear, Ferix-3, or poultry litter treatment. Journal of Applied Poultry Research. 2008. Vol. 17, No. 4. P. 421–431.

						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

31. Awbi H. B. Ventilation of Buildings. 2nd ed. London : Taylor & Francis, 2003. 522 p.
32. Etheridge D., Sandberg M. Building Ventilation: Theory and Measurement. Chichester : John Wiley & Sons, 1996. 724 p.
33. McQuiston F. C., Parker J. D., Spitler J. D. Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design. 6th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2005. 642 p.
34. Kreith F., Bohn M. S. Principles of Heat Transfer. 7th ed. Stamford : Cengage Learning, 2010. 784 p.
35. Incropera F. P., DeWitt D. P., Bergman T. L., Lavine A. S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2011. 1076 p.
36. Big Dutchman. Climate and ventilation systems for poultry production. URL: <https://www.bigdutchman.com/en/poultry-growing/products/climate/>
37. Munters. Climate control and ventilation solutions for poultry houses. URL: <https://www.munters.com>

						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		