

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота: пояснювальна записка – 65 сторінки, 11 таблиць, 16 рисунків, 30 джерел.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану птахівничого виробництва та вимог до мікроклімату у пташниках. Розглянуто існуючі системи обігріву, їх енергоефективність та вплив на продуктивність молодняка.

У другому розділі досліджено інфрачервоні системи опалення, їх класифікацію, принцип дії та особливості використання у пташниках. Проаналізовано конструктивні характеристики електричних і газових ІЧ-нагрівачів, переваги локального теплопостачання та можливість зниження енерговитрат.

У третьому розділі виконано теплотехнічні розрахунки енергопотреб пташника та обґрунтовано вибір обладнання для підтримання оптимального мікроклімату. Визначено параметри роботи електричних інфрачервоних брудерів та панельних нагрівачів з урахуванням віку молодняка.

У четвертому розділі розглянуто рекуперацію теплоти вентиляційного повітря як шлях підвищення енергоефективності системи обігріву. Наведено принцип роботи теплоутилізатора та проведено оцінку потенціалу енергозбереження.

У п'ятому розділі здійснено економічний аналіз проектного рішення. Оцінено капітальні витрати, собівартість теплоти та очікуваний економічний ефект від впровадження інфрачервоного обігріву з рекуперацією теплоти.

У висновках узагальнено результати проведених досліджень. Підтверджено доцільність використання енергоефективних ІЧ-систем у поєднанні з теплоутилізацією для забезпечення стабільного мікроклімату й зниження енергоспоживання пташника.

Ключові слова: пташник, інфрачервоний обігрів, брудер, панельний нагрівач, мікроклімат, рекуперація теплоти, енергопостачання, енергоефективність, молодняк птиці.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
Скорочення.....	6
Позначення величин.....	6
РОЗДІЛ 1	10
ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	10
1.1. Розрахунок теплових навантажень об'єкту проектування	10
1.1.1. Розрахунок теплової потужності системи опалення	11
1.1.2. Розрахунок теплової потужності системи вентиляції	12
1.1.3. Сумарна тепла потужність систем опалення та вентиляції	13
1.1.4. Розрахунок теплової потужності системи гарячого водопостачання.....	13
1.2. Вибір виду котлоагрегатів та їх кількості.....	14
1.3. Визначення витрат теплоносія.....	17
1.4 Спрощений гідравлічний розрахунок теплових мереж.....	18
1.4.1 Визначення об'ємної витрати та діаметра трубопроводу	18
1.4.2 Визначення втрат тиску в мережі	20
1.4.3 Аналіз отриманих результатів	21
1.5 Тепловий розрахунок мережі.....	22
РОЗДІЛ 2	25
ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ В ПРИМІЩЕННЯХ ПТАШНИКА.....	25
2.1. Застосування інфрачервоних нагрівачів для підтримання теплового комфорту молодняка птиці.....	25
2.2. Опис процесу формування температурного режиму модуля вирощування птиці.....	30
РОЗДІЛ 3	50
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	50
3.2. Заходи по економії електроенергії	55
РОЗДІЛ 4	57

ОХОРОНА ПРАЦІ	5
ОХОРОНА ПРАЦІ	57
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення

ІЧ — інфрачервоний, інфрачервоне випромінювання

ККД — коефіцієнт корисної дії

ГВП — гаряче водопостачання

ТОВ — товариство з обмеженою відповідальністю

ДБН — державні будівельні норми

ДСТУ — державний стандарт України

ISO — Міжнародна організація зі стандартизації

DN — номінальний діаметр трубопроводу

Viessmann — торгова марка газових водогрійних котлів

Systemair — торгова марка вентиляційних агрегатів

Позначення величин

Q — теплова потужність

Q_o — потужність системи опалення

Q_v — теплова потужність вентиляції

Q_{sum} — сумарне теплове навантаження

Q_{kot} — розрахункова теплова потужність котельні

Q_{ust} — встановлена потужність

Q_a — корисна теплота, що передана споживачам

Q_n — загальні тепловтрати приміщення

P — номінальна потужність нагрівача

P_{max} — максимальна потужність

P_{min} — мінімальна потужність

P_{ser} — середня потужність

G — масова витрата теплоносія

V — об'ємна витрата теплоносія

$V_{\text{прим}}$ — об'єм приміщення

ρ — густина води (теплоносія)

c — питома теплоємність теплоносія

$t_{\text{вн}}$ — внутрішня температура повітря

t_0 — зовнішня температура повітря

t_1 — температура подачі теплоносія

t_2 — температура звороту теплоносія

Δt — різниця температур

L_{opt} — оптимальна витрата повітря

n — кратність повітрообміну

H — напір насоса

Δp — втрати тиску

R_l — питомі лінійні втрати тиску

η — коефіцієнт корисної дії

η_t — ККД тепловіддачі

τ — час роботи або вік птиці (залежно від формули)

K_ϵ — коефіцієнт енергетичної стабільності

ϵ — коефіцієнт випромінювання

σ — стала Стефана — Больцмана

ВСТУП

Ефективне підтримання мікроклімату в пташниках є ключовою умовою інтенсивного вирощування молодняка птиці, забезпечення високої збереженості поголів'я, швидкого набору живої маси та зниження витрат кормів. Неєфективні системи опалення призводять до значних тепловтрат, підвищеного енергоспоживання та, як наслідок, — зростання собівартості продукції. У сучасних умовах розвитку птахівництва актуальним є впровадження інфрачервоних систем обігріву, які забезпечують локальне спрямоване теплопостачання технологічних зон і дозволяють зменшити витрати енергії на 25–50 %.

З огляду на необхідність підвищення енергоефективності виробництва на ТОВ «Миронівський хлібопродукт» було проведено дослідження системи теплозабезпечення пташника для вирощування бройлерів, у якій використовуються електричні інфрачервоні брудери потужністю 1 кВт кожен у поєднанні з газовими ІЧ-нагрівачами та котельною установкою тепловою потужністю 100 кВт. Така комбінована система дозволяє створювати оптимальний мікроклімат у зоні утримання молодняка та підвищувати продуктивність виробництва.

Мета дослідження - підвищення енергоефективності системи опалення пташника шляхом оптимізації параметрів інфрачервоного обігріву та зниження витрат енергії при вирощуванні молодняка птиці.

Об'єкт дослідження - система теплозабезпечення пташника для вирощування бройлерів на підприємстві ТОВ «Миронівський хлібопродукт».

Предмет дослідження - процеси теплопередачі, формування мікроклімату та енергоспоживання при локальному інфрачервоному обігріві технологічної зони утримання птиці.

Завдання дослідження – обґрунтувати актуальність застосування інфрачервоного обігріву в птахівництві;
– проаналізувати конструкцію та теплотехнічні характеристики інфрачервоних нагрівачів і котельного обладнання;

- виконати тепловий розрахунок приміщення пташника та визначити необхідну теплову потужність системи обігріву;
- оцінити параметри мікроклімату на основі фактичних вимірювань;
- визначити потенціал економії енергії за рахунок локального випромінюючого обігріву;
- запропонувати технічні рішення щодо підвищення ефективності системи теплозабезпечення.

Методи дослідження - інженерні теплотехнічні розрахунки, вимірювання мікрокліматичних параметрів, аналіз техніко-економічних показників, порівняльний метод оцінки енергоефективності.

Теоретична значущість - полягає у можливості вдосконалення методики розрахунку системи локального обігріву пташників з урахуванням випромінювальних теплопередавальних процесів.

Практична значущість - отримані результати можуть бути впроваджені в умовах птахівничих господарств для зниження енергоспоживання, підвищення збереженості молодняка і зменшення експлуатаційних витрат виробництва м'яса птиці.

РОЗДІЛ 1

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

1.1. Розрахунок теплових навантажень об'єкту проектування

Птахокомплекс ТОВ «Миронівський хлібопродукт», Вінницької області — один із найбільших агропромислових виробників України, який спеціалізується на вирощуванні бройлерів, переробці м'яса птиці та виробництві комбікормів. Підприємство має розвинену інфраструктуру, до складу якої входять пташники з повною автоматизацією мікроклімату, цехи обробки та зберігання продукції, комбікормові заводи та власні теплоенергетичні установки.

Для забезпечення стабільного мікроклімату у пташниках-бройлерниках передбачено впровадження енергоефективної системи теплопостачання з локальним інфрачервоним опаленням та централізованою системою резервного водяного опалення. Джерелом теплової енергії є модульна котельня на природному газі, з можливістю використання біогазу, що виробляється на сусідній біогазовій станції підприємства. Площа одного пташника становить 960 м², об'єм приміщення — 5760 м³. Об'єкт розташований у Вінницькій області, для якої кліматичні умови характеризуються такими параметрами: Для пташника-бройлерника на 34 тис. голів курчат передбачений об'єм споруди – 5184 м³. Місце розташування об'єктів – Вінницька область, для якої приймаємо згідно даних табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Вихідні дані місця будівництва

Область	Вінницька			
$t_{op}, ^\circ C$	$t_{vp}, ^\circ C$	$t_{o.l.}, ^\circ C$	n_o , доба	S , град· доба
-21	-8	-0,1	175	3600

Для обігріву приміщення враховується теплота на:
 опалення приміщень;
 вентиляцію;

гаряче водопостачання (миття інвентарю, поїлок, обслуговування обладнання).

1.1.1. Розрахунок теплової потужності системи опалення. Система опалення пташника призначена для забезпечення стабільного мікроклімату, від якого напряму залежить збереженість та інтенсивність росту молодняка. У виробничих умовах основні тепловтрати виникають через огорожувальні конструкції (стіни, стеля), вентиляційні отвори, інфільтрацію холодного повітря та через підлогу. Тому розрахунок теплового навантаження виконується з урахуванням усіх цих чинників відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013.

Розрахункова тепла потужність системи визначається за формулою:

$$Q_o = q_o \times V_{\text{прим}} \times (t_{\text{вн}} - t_o) \quad (1.1)$$

де: $q_o = 1,05 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ — питомі витрати теплоти на опалення; $V_{\text{прим}} = 5760 \text{ м}^3$ — об'єм пташника; $t_{\text{вн}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ — внутрішня температура; $t_o = -21 \text{ }^\circ\text{C}$ — розрахункова температура зовнішнього повітря.

Підставимо значення:

$$Q_o = 1,05 \times 5760 \times (18 - (-21)) = 235,6 \text{ кВт}$$

Отже, розрахункова тепла потреба пташника складає 235,6 кВт, що є базовим значенням для вибору джерел теплопостачання.

Для забезпечення рівномірного прогріву та зниження енерговитрат застосовується комбінована система опалення, яка включає:

- водяне опалення від модульної котельні, що покриває загальні тепловтрати;
- інфрачервоні нагрівачі Heliosa Hi-Design для локального обігріву молодняка.

Поєднання конвективного і випромінювального способу передачі теплоти дозволяє зменшити витрати енергії в середньому на 15–20 %, оскільки тепло подається безпосередньо в зону перебування птиці. Регулювання температури

здійснюється автоматикою, що підтримує параметри в межах 17–19 °С з мінімальними коливаннями.

Крім того, передбачено 10 % резерву теплової потужності, що гарантує надійну роботу обладнання в умовах зниження температури або можливих додаткових втрат тепла.

1.1.2. Розрахунок теплової потужності системи вентиляції. Для забезпечення стабільного мікроклімату у пташнику застосовується припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією тепла, що дозволяє одночасно видаляти надлишкову вологу та газів й компенсувати тепловтрати за рахунок підігріву припливного повітря.

Теплова потужність, необхідна для вентиляції, визначається за формулою:

$$Q_v = q_v \times V_{\text{прим}} \times (t_{\text{вн}} - t_v) \quad (1.2)$$

де: $q_v = 0,45 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ — питомі втрати тепла з повітрообміном; $V_{\text{прим}} = 5760 \text{ м}^3$ — об'єм приміщення; $t_{\text{вн}} = 18 \text{ °С}$ — температура всередині; $t_v = -9 \text{ °С}$ — зовнішня температура.

Підставимо значення:

$$Q_v = 0,45 \times 5760 \times (18 - (-9)) = 69,98 \text{ кВт}$$

Отже, теплова потужність вентиляційної системи становить $\approx 70 \text{ кВт}$.

Для реалізації повітрообміну застосовується вентиляційний агрегат Systemair Torvex TR09 з рекуператором тепла та ККД 0,7, що дозволяє знизити витрати енергії на 25–30 % у холодний період року. Кратність повітрообміну підтримується на рівні 6–8 разів/год, що відповідає вимогам ДСТУ-Н Б В.2.5-64:2013 та забезпечує оптимальні умови вирощування птиці без перегріву чи накопичення шкідливих газів.

1.1.3. Сумарна теплова потужність систем опалення та вентиляції.

Загальна теплова потужність системи визначається як сума теплових навантажень на опалення та вентиляцію:

$$Q_{\text{sum}} = Q_o + Q_v \quad (1.3)$$

$$Q_{\text{sum}} = 235,6 + 70,0 = 305,6 \text{ кВт}$$

Отримана потужність 305,6 кВт використовується при виборі котельного обладнання, визначенні гідравлічних параметрів та розрахунку потреби в паливі для забезпечення стабільного мікроклімату в пташнику.

Таблиця 1.2

Характеристика об'єкта

Характеристики пташника:	
об'єм будівлі на одну голову, м ³	14,4
q _{ов} , Вт/(м ³ К)	1,05
внутрішня температура в пташнику, °С	18
Об'єм будівлі пташнику V _ф , м ³	5760
Теплова потужність системи опалення	235,6
Q _о , кВт	235,6

1.1.4. Розрахунок теплової потужності системи гарячого водопостачання. Витрата теплоти на гаряче водопостачання визначається залежно від кількості птиці та температурного режиму гарячої води:

$$Q_{\text{вр}} = 0,000278 \times \alpha \times m \times c^w \times (t^h - t) \quad (1.4)$$

$$Q_{\text{вр}} = 0,000278 \times 1,2 \times 400 \times 4187 \times (60 - 10) = 28,0 \text{ кВт}$$

Отже, теплова потужність системи гарячого водопостачання становить 28 кВт, що враховується при підборі загальної потужності теплогенератора.

Таблиця 1.3

Теплова потужність системи ГВП приміщення пташника

№ п/п	Найменування споживача	b, кг/доб	m	Теплова потужність, кВт			
				період			
				опалювальний		неопалювальний	
				Q_{hm}	$Q_{h\max}$	Q_{hm}^S	$Q_{h\max}^S$
1	Пташник- бройлерник	4	100	1,400	3,200	1,200	2,600
		ВСЬОГО:		1,400	3,200	1,200	2,600

1.2. Вибір виду котлоагрегатів та їх кількості

Для забезпечення теплових потреб пташника приймаємо модульну котельну установку на базі водогрійних котлів Viessmann Vitoplex 200. Такі котли характеризуються високою надійністю, простотою обслуговування та ККД до 92 %. Котельня працює на природному газі з можливістю часткового використання біогазу, що виробляється підприємством.

Таблиця 1.4

Розподіл теплонавантаження (за категорією споживачів)

Приміщення пташнику:	
Q_{OBC} , кВт	235,6
Q_{hm} , кВт	3,4
СУМА, кВт:	70,0
ВСЬОГО, кВт:	333,6

Сумарна теплова потужність споживачів, визначена у попередньому розділі, становить $Q_{sum} = 333,6$ кВт. Для забезпечення резерву на випадок підвищення навантаження приймається запас 5 %. Розрахункова потужність котельні визначається за формулою:

$$Q_{kot} = 1,05 \times Q_{sum} \quad (1.5)$$

Після підстановки:

$$Q_{kot} = 1,05 \times 333,6 = 350,3 \text{ кВт}$$

Для покриття цього навантаження обрано два котли Viessmann Vitoplex 200 потужністю 210 кВт кожен, що дозволяє один із котлів експлуатувати в резерві.

Загальна встановлена потужність:

$$Q_{\text{ust}} = 2 \times 210 = 420 \text{ кВт}$$

Резерв потужності котельні становить приблизно 20 %, що забезпечує стабільну роботу системи навіть при пікових теплових навантаженнях або зниженні ефективності котлів під час тривалої експлуатації.

Розрахунок витрати природного газу виконується з урахуванням теплотворної здатності і ККД котлів:

$$V = (Q_{\text{kot}} \times 3600) / (q^{\text{H}} \times \eta \times 1000) \quad (1.6)$$

$$q^{\text{H}} = 35,9 \text{ МДж/м}^3; \eta = 0,92.$$

Після підстановки:

$$V = (350,3 \times 3600) / (35,9 \times 0,92 \times 1000) = 38,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

Таким чином, витрата природного газу для забезпечення номінального теплового навантаження становить близько 38 м³/год, а при роботі обох котлів на максимальній потужності — до 46 м³/год.

Використання котлів Viessmann Vitoplex 200 забезпечує високий ККД (92 %), надійність, можливість використання змішаного палива та відповідність вимогам промислового тепlopостачання. Котельня має двотрубну систему з примусовою циркуляцією теплоносія, що гарантує ефективний теплоперенос і підтримання стабільного мікроклімату в приміщенні вирощування птиці.



Рис. 1.1 Viessmann Vitoplex 200

У проєкті як основне джерело теплопостачання обрано низькотемпературний котел Viessmann Vitoplex 200 тепловою потужністю 35 кВт. Значення потужності узгоджене з розрахунковим тепловим навантаженням пташника $Q_{\text{sum}} = 32,8$ кВт, додатковий резерв становить близько 5–7 %, що забезпечує стабільний режим роботи в умовах пікових тепловтрат під час зимового періоду.

Котел обладнаний триходовим теплообмінником, що дозволяє ефективно використовувати теплоту продуктів згоряння та забезпечує ККД 90–93 %. Конструкція з великим водяним об'ємом запобігає перегріву поверхонь та гарантує надійну й довговічну експлуатацію.

Керування роботою здійснюється автоматично за допомогою системи Vitotronic, яка регулює температуру теплоносія залежно від зовнішніх умов і потреб процесу вирощування птиці. Такий підхід забезпечує економне використання природного газу та підтримання оптимального мікроклімату в зоні перебування молодняка.

Обладнання є компактним, сумісним з існуючою інженерною інфраструктурою пташника та повністю відповідає вимогам модернізації. Вибір котла Viessmann Vitoplex 200 є технічно й економічно обґрунтованим рішенням для забезпечення енергоефективного теплопостачання об'єкта.

1.3. Визначення витрат теплоносія

Необхідну витрату теплоносія для системи опалення визначаємо:

$$G=(Q \times 3600)/(c \times (t_1 - t_2)) \quad (1.7)$$

де: G — масова витрата теплоносія, кг/с; Q — теплова потужність системи, кВт ($Q = 333,6$ кВт); c — теплоємність води, 4200 Дж/(кг·К); t_1 — температура подачі 95 °С; t_2 — температура звороту 70 °С.

$$G=(333,6 \times 3600)/(4200 \times 25)=11,43 \text{ кг/с}=41,15 \text{ т/год}$$

Таким чином, масова витрата становить 11,4 кг/с, що забезпечує достатню циркуляцію теплоносія у мережі.

Об'ємна витрата теплоносія визначається:

$$V=G/\rho, \quad (1.8)$$

де: $\rho = 970$ кг/м³ — густина води.

$$V=11,43/970=0,01178 \text{ м}^3/\text{с}=42,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, об'ємна витрата становить 42,4 м³/год, що використовується для вибору діаметрів трубопроводів і насосів.

Система працює в двох основних режимах — в опалювальний період при повному навантаженні 333,6 кВт (100 % витрати теплоносія);
— у період без опалення при навантаженні приблизно 98 кВт (29 % від номінальної витрати).

Тому передбачається застосування насосів із частотним регулюванням, що дозволяє зменшувати витрати електроенергії залежно від реальної потреби.

Розрахункові витрати теплоносія в тепловій мережі

Розрахункові витрати теплоносія в тепловій мережі	період	
	опалювальний	неопалювальний
<u>масові:</u>		
ГВП G_{hm} , т/год	0,960	0,960
кг/с	0,267	0,267
опалювально-вентиляційні системи	8,078	2,400
G_{OBC} , т/год		
кг/с	2,244	0,667
<u>об'ємні:</u>		
G_{hm} , м ³ /год	0,990	0,990
G_{OBC} , м ³ /год	1,090	–
$G_k = G_{OBC} + kG_m$, т/год	0,990	0,990
кг/с	8,328	2,474
м ³ /год	11,792	3,464

1.4. Спрощений гідравлічний розрахунок теплових мереж

Гідравлічний розрахунок виконується з метою визначення розрахункових діаметрів трубопроводів, втрат тиску по довжині мережі, а також необхідного напору циркуляційного насоса. Розрахунок проводиться спрощеним методом, який дозволяє отримати необхідні дані для подальшого підбору обладнання та уточнення параметрів системи.

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані: довжина теплової мережі – $l = 830$ м; масова витрата теплоносія – $G = 11,43$ кг/с; густина теплоносія – $\rho = 970$ кг/м³; прийнята швидкість руху води – $w = 1,2$ м/с; температура подачі – $t_1 = 95$ °С, температура звороту – $t_2 = 70$ °С, отже $\Delta t = 25$ °С; еквівалентна шорсткість труб – $k_e = 0,0005$ м; прийняті питомі лінійні втрати тиску – $R_l = 72,3$ Па/м; еквівалентна довжина місцевих опор – $l_{екв} = 54,9$ м; прискорення вільного падіння – $g = 9,81$ м/с².

1.4.1 Визначення об'ємної витрати та діаметра трубопроводу. Об'ємна витрата теплоносія визначається:

$$V = G / \rho \quad (1.8)$$

де $G = 11,43$ кг/с — масова витрата теплоносія; $\rho = 970$ кг/м³ — густина води.

$$V = 11,43 / 970 = 0,01178 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V = 0,01178 \times 3600 = 42,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

Площа поперечного перерізу потоку визначається за формулою:

$$A = V / w \quad (1.9)$$

де $w = 1,2$ м/с — допустима швидкість руху теплоносія.

$$A = 0,01178 / 1,2 = 0,00982 \text{ м}^2$$

Діаметр трубопроводу:

$$d = \sqrt{(4 \times A / \pi)} \quad (1.10)$$

$$d = \sqrt{(4 \times 0,00982 / 3,1416)} = 0,1118 \text{ м} \approx 0,112 \text{ м}$$

Отже, розрахунковий діаметр становить 0,112 м, приймаємо стандартне значення — Dn100 (110 мм).

Перевірка швидкості руху теплоносія при прийнятому діаметрі:

$$A = \pi \times 0,11^2 / 4 = 0,00950 \text{ м}^2 \quad (1.11)$$

$$w = 0,01178 / 0,00950 = 1,24 \text{ м/с} \quad (1.12)$$

Швидкість знаходиться у межах нормативів (1,0–1,5 м/с), тому вибраний діаметр трубопроводу є правильним і забезпечує гідравлічну стабільність системи.

1.4.2 Визначення втрат тиску в мережі. Втрати тиску в тепловій мережі складаються з лінійних втрат по довжині трубопроводів і місцевих втрат на арматурі та фасонних частинах. Це дозволяє оцінити необхідний напір циркуляційного насоса.

Лінійні втрати тиску розраховуються:

$$\Delta p_l = R_l \times l \quad (1.13)$$

де $R_l = 72,3$ Па/м — питомі втрати тиску; $l = 830$ м — довжина трубопроводу.

$$\Delta p_l = 72,3 \times 830 = 60\,009 \text{ Па} = 60,01 \text{ кПа}$$

Місцеві втрати тиску визначають:

$$\Delta p_m = R_l \times l_{\text{екв}} \quad (1.14)$$

де $l_{\text{екв}} = 54,9$ м — еквівалентна довжина місцевих опорів; $\Delta p_m = 72,3 \times 54,9 = 3\,969 \text{ Па} = 3,97 \text{ кПа}$.

Повні втрати тиску для однієї нитки трубопроводу:

$$\Delta p_1 = \Delta p_l + \Delta p_m \quad (1.15)$$

$$\Delta p_1 = 60,01 + 3,97 = 63,98 \text{ кПа}$$

Оскільки система складається з подаючої та зворотної ліній, загальні втрати:

$$\Delta p_{\text{заг}} = 2 \times \Delta p_1 \quad (1.16)$$

$$\Delta p_{\text{заг}} = 2 \times 63,98 = 127,96 \text{ кПа}$$

Для підбору насоса втрати тиску переводимо у метри водяного стовпа:

$$H = \Delta p_{\text{заг}} / (\rho \times g) \quad (1.17)$$

де $\rho = 970 \text{ кг/м}^3$ — густина води; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — прискорення вільного падіння.

$$H = 127\,960 / (970 \times 9,81) = 13,45 \text{ м}$$

Отже, загальні втрати тиску в системі становлять 13,4 м водяного стовпа. З урахуванням резерву 10–20 % для стабільної роботи приймається необхідний напір насоса на рівні $H = 15\text{–}16 \text{ м вод. ст.}$

1.4.3 Аналіз отриманих результатів. Розрахунки показали, що при масовій витраті 11,43 кг/с і середній швидкості 1,2–1,3 м/с оптимальним є застосування сталевих трубопроводів діаметром Dn100.

Отримані втрати тиску цілком допустимі для системи такого типу. Використання насоса з робочим напором 15–16 м дозволить забезпечити необхідну циркуляцію теплоносія при стабільному гідравлічному режимі.

У разі подальшого розширення мережі або підключення додаткових споживачів, діаметр трубопроводу може бути збільшено до Dn125 для зниження питомих втрат тиску та підвищення ефективності

Таблиця 1.6

Вихідні дані для гідравлічного розрахунку

Довжина теплопроводів, м	830
Еквівалентна шорсткість k_e , м	0,0005
Середня (розрахункова) температура теплоносія в мережі, °С	92,5
Густина води, кг/м^3	970

Таблиця 1.7

Розрахункові дані

Приймаємо питомі лінійні втрати тиску R_l , Па/м	72,3
--	------

Еквівалентний коефіцієнт місцевих опорів	0,033
Еквівалентна довжина місцевих опорів мережі, м	54,9
Втрати тиску при прийнятій величині R_1 , кПа	127,96
Визначення діаметру трубопроводів	
Коефіцієнт $A_d^e, \frac{M^{0,62}}{KZ^{0,19}}$	0,1187
Розрахунковий діаметр трубопроводів, м	0,112
ПРИЙМАЄМО: $d_{тр}, м$	0,080
Коефіцієнт $A_R^e, \frac{M^{3,25}}{KZ}$	1,3689
Розрахункові питомі лінійні втрати тиску R_1 , Па/м	72,3
Реальні втрати тиску в тепловій мережі:, кПа	123,99
М.В.С.	13,4

1.5. Тепловий розрахунок мережі

Метою розрахунку є визначення тепловтрат теплової мережі, щоб уточнити баланс теплової потужності системи опалення. Теплова ізоляція труб та умови прокладання впливають на кількість теплоти, що передається в ґрунт, тому врахування цих втрат є необхідним для коректного підбору теплогенеруючого обладнання.

Середня температура теплоносія в трубопроводі розраховується як:

$$t_{cp} = (t_1 + t_2) / 2 \quad (1.18)$$

$$t_{cp} = (95 + 70) / 2 = 82,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Різниця температур між трубопроводом і ґрунтом:

$$\Delta t = t_{cp} - t_o \quad (1.19)$$

$$\Delta t = 82,5 - 9,6 = 72,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Лінійна густина теплового потоку:

$$q = \Delta t / R \quad (1.20)$$

$$q = 72,9 / 4,2 = 17,36 \text{ Вт/м}$$

Сумарні тепловтрати по магістралі:

$$Q_{\text{втр}} = q \times l \quad (1.21)$$

$$Q_{\text{втр}} = 17,36 \times 850 = 14\,756 \text{ Вт} \approx 14,75 \text{ кВт}$$

Тепловтрати поділяються порівну між подаючим та зворотним трубопроводами:

$$Q_{\text{п}} = q \times l_1 \quad (1.22)$$

$$Q_{\text{з}} = q \times l_1 \quad (1.23)$$

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{з}} = 17,36 \times 425 = 7,38 \text{ кВт}$$

З урахуванням тепловтрат уточнене теплове навантаження системи становить:

$$Q_{\text{сист}} = Q_{\text{споживачі}} + Q_{\text{втр}} \quad (1.24)$$

$$Q_{\text{сист}} = 333,6 + 14,75 = 348,35 \text{ кВт} \approx 348,4 \text{ кВт}$$

Отже, загальні тепловтрати підземної магістралі складають близько 14,75 кВт, що підвищує необхідну теплову потужність котельні приблизно до 348 кВт. Прийнята у проєкті потужність 350,3 кВт повністю покриває теплові потреби з невеликим, але достатнім запасом для стабільної роботи.

Таблиця 1.8

Вихідні дані

Місце розташування об'єкту	Вінницька область
----------------------------	-------------------

Місяць (розрахунковий)	січень
Середня температура місяця, °С	-5,0
Довжина теплопроводів, м	830
Тип прокладання	безканальне
Кількість теплопроводів, шт.	2
Матеріал теплової ізоляції	Циліндри та напівциліндри на синт_зв'язуючому-200
Характеристика ґрунту	глинистий
Температура ґрунту, °С	9,6
Глибина закладання, м	0,96

Таблиця 1.9

Розрахункові дані

ПАРАМЕТРИ	Подавальний трубопровід	Зворотний трубопровід
Температура ізоляційного шару, °С	72,3	49,8
Теплопровідність ізоляції $\lambda_{гр}$, Вт/(м·К)	0,067	0,062
Зовнішній діаметр теплопроводу d_3 , м	0,189	0,189
Термічний опір ізоляції $R_{із}$, (м·К)/Вт	2,051	2,192
Теплопровідність ґрунту $\lambda_{гр}$, Вт/(м·К)	1,75	
Термічний опір ґрунту $R_{гр}$, (м·К)/Вт	0,245	
Відстань між осями теплопроводів, м	0,26	
Умовний термічний опір $R_{ум}$, (м·К)/Вт	0,181	
Коефіцієнти впливу теплопроводів Ψ	0,486	2,056
Повний термічний опір теплопроводів R_1, R_2	4,436	5,001
Питомі теплові втрати теплопроводами, Вт/м ²	23,8	12,1
Теплова потужність втрат теплової енергії тепловими мережами, кВт	11,705	5,949

На основі досвіду проектування визначено граничні товщини теплоізоляційного шару, за яких масові навантаження на опори не перевищують допустимих значень. Товщину теплоізоляції вибирають залежно від стандартних розмірів теплоізоляційних виробів, що виготовляються промисловістю. Мінераловатні матеріали (мати, плити, півциліндри та циліндри) випускаються з товщиною від 40 до 100 мм з інтервалом 10 мм.

Розміри півциліндрів із вулканіту та совеліту, які застосовуються при наземному способі прокладання теплопроводів, наведені у відповідних нормативних таблицях.

РОЗДІЛ 2

ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ В ПРИМІЩЕННЯХ ПТАШНИКА

2.1. Застосування інфрачервоних нагрівачів для підтримання теплового комфорту молодняка птиці. Для забезпечення мікроклімату в пташнику застосовується інфрачервоний обігрів, що прогріває лише зону перебування молодняка. Такий підхід зменшує тепловтрати й енерговитрати порівняно з повітряними системами (табл. 2.1).

Електричний ІЧ-брудер містить п'ять ламп по 250 Вт (загальна потужність 1,25 кВт), що забезпечує температуру до 35 °С для 500–600 добових курчат. Висота підвішування змінюється залежно від віку птиці.

Застосування ІЧ-опалення забезпечує зниження споживання електроенергії на 25–30 % та підвищення збереженості молодняка на 3–5 %, що підтверджує ефективність системи (табл. 2.1).

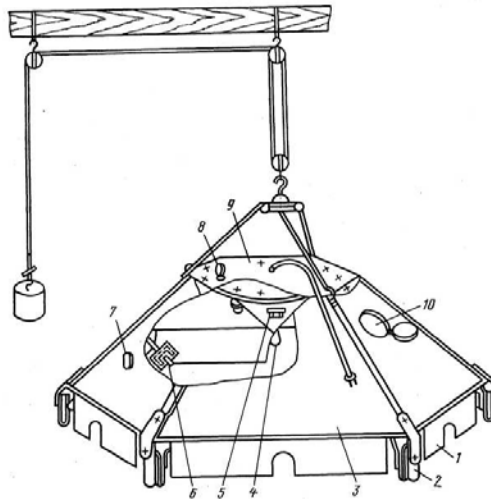


Рис. 2.1. Електричний брудер: 1 — шторка; 2 — стійка; 3 — секція зонта; 4 — освітлювальна лампа; 5 — нагрівальний елемент; 6 — температурне реле; 7 — термометр; 8 — сигнальна лампа; 9 — кришка; 10 — оглядовий люк з кришкою.

У пташниках ТОВ «Миронівський хлібопродукт» застосовуються інфрачервоні брудери з чотирма ТЕНами по 250 Вт (загальна потужність 1 кВт, площа обігріву $\sim 2,2$ м²). Температура контролюється автоматичним терморегулятором з точністю ± 1 °С, а коливання не перевищують 3 °С.

Під брудером підтримується 32–35 °С, у решті приміщення — 22–24 °С, що дає можливість нагрівати лише технологічну зону та зменшувати енерговитрати. Секційне утримання забезпечує комфортний мікроклімат для бройлерів.

За експлуатаційними даними підприємства спостерігається зменшення витрат кормів на 8–12 % та підвищення збереженості молодняка на 5–7 %. Принципова схема розміщення брудера наведена на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Секційне утримання птиці

На сучасних птахофабриках, поряд з електричними інфрачервоними брудерами, застосовують газові ІЧ-нагрівачі, які забезпечують високий рівень енергоефективності та простоту експлуатації. Такі пристрої створюють локальний обігрів у зоні розміщення молодняка та можуть використовуватись як допоміжне джерело тепла разом з основною системою опалення. Це дозволяє зменшити навантаження на загальне теплопостачання та підвищити економічність утримання птиці.

На рисунку 2.3 наведено приклади використання газових інфрачервоних нагрівачів типу “Ultra-Ray” і “Міраж”. Конструкція пальника забезпечує повне

згоряння газу та рівномірний розподіл інфрачервоного випромінювання над підстилкою. Завдяки цьому підтримується її сухість, що зменшує ризик розвитку інфекцій і покращує санітарні умови утримання.

Нагрівачі встановлюють на висоті 0,8–1,6 м, підтримуючи температуру під ними на рівні 30–35 °С, тоді як повітря поза зоною випромінювання може бути прохолоднішим. Це сприяє економії палива до 30–50 % у порівнянні з традиційним повітряним опаленням. Конструкція приладів не містить рухомих частин, тому вони надійні в роботі та не потребують складного технічного обслуговування.

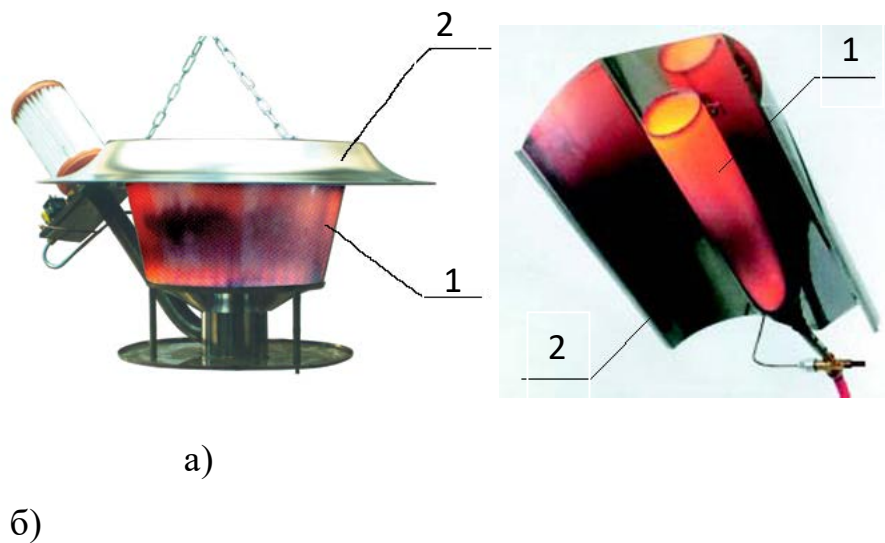


Рис. 2.3 Застосування газових інфрачервоних нагрівачів в приміщеннях пташників: а) інфрачервоний нагрівач "Ultra-Ray"; б) інфрачервоний випромінювач типу "Мираж; 1 – випромінювач; 2 – рефлектор

Газові інфрачервоні нагрівачі типу «Міраж» використовуються для локального обігріву молодняка та стабілізації температури протягом вирощування. Тепло утворюється під час згоряння газу в закритій камері та передається у вигляді ІЧ-випромінювання, що поглинається підстилкою і тілом птиці. Конструкція забезпечує безпечну роботу та спрямований тепловий потік, зменшуючи втрати вгорі приміщення. Розміщення нагрівачів подано на рис. 2.3. Економія енергоресурсів становить до 30–50 % порівняно з повітряним опаленням.

Разом із газовими нагрівачами використовуються інфрачервоні дзеркальні лампи ІКЗ (рис. 2.4), що швидко створюють локальні теплові зони. Дзеркальне покриття підвищує корисне випромінювання до 90 %, а ресурс роботи становить 5000–6500 год. Передача тепла на відстань до 2 м забезпечує стабільний мікроклімат у невеликих секціях при низьких енерговитратах.

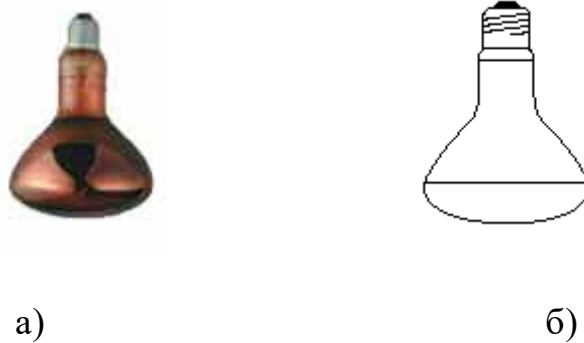


Рис. 2.4. Інфрачервоні дзеркальні лампи розжарення: а) типу ІКЗ; б) типу ІКЗМТ

Інфрачервоні лампи ІКЗ встановлюють у світильниках із керамічним патроном та захисною арматурою, що забезпечує безпечну роботу у вологому й запиленому середовищі пташників. Модифікації ІКЗМТ поєднують локальний обігрів і м'яке освітлення, а дзеркальний рефлектор спрямовує тепло на підстилку.

Тип колби впливає на розподіл випромінювання: матові лампи формують рівномірнішу теплову зону без перегріву. Температуру регулюють зміною висоти підвішування, що дозволяє оперативно налаштовувати режим до віку птиці та умов утримання. За потреби теплова потужність коригується регуляторами напруги. Залежність температури від висоти наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Необхідні умови для росту птиці

Температура навколишнього повітря, °С	Рекомендована висота встановлення, м	Тривалість нагріву, днів	Примітка
12	0,75	20-60	Висота монтажу

16	0,9		випромінювачів встановлюється в залежності від температури повітря
20	1,0		
24	1,15		

Панельні інфрачервоні нагрівачі мають вигляд плоских металевих панелей із рівномірним розподілом тепла по поверхні. Зовнішня сторона забезпечує ефективне випромінювання, а зворотна ізольована для спрямування теплового потоку вниз.

Нагрівачі монтуються на стелі, що унеможливорює контакт із птицею та дозволяє раціонально використовувати простір. Довгохвильове ІЧ-випромінювання передає тепло безпосередньо об'єктам, забезпечуючи локальний обігрів і економне споживання електроенергії.

Панельні ІЧ-системи використовують як основне або допоміжне опалення: вони безшумні, енергоефективні, не виділяють продуктів згоряння та прості в експлуатації. Приклад конструкції наведений на рис. 2.5.

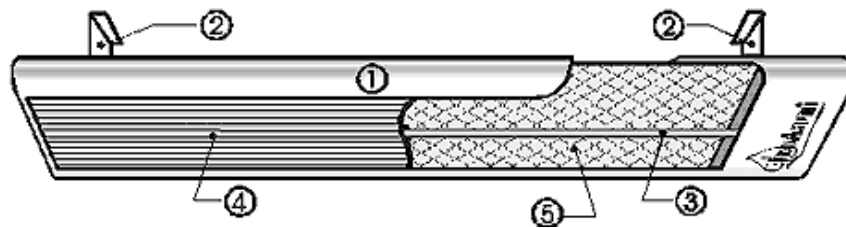


Рис. 2.5 Конструкція панельного інфрачервоного нагрівача: 1 – металевий корпус; 2 – кріплення; 3 – низькотемпературний ТЕН в кварцовій оболонці; 4 – алюмінієвий профіль; 5 – захисний екран

Інфрачервоний нагрівач складається з металевого корпусу з жаростійким покриттям та трубчастого ТЕНу, розташованого в алюмінієвій тепловипромінюючій панелі. Така конструкція забезпечує рівномірне випромінювання та мінімізує втрати завдяки теплоізоляції з тильного боку. ТЕН працює у короткохвильовому ІЧ-діапазоні, при цьому температура корпусу залишається безпечною.

Найчастіше застосовуються моделі потужністю 500–1000 Вт із ресурсом близько 5000 год, які забезпечують стабільний мікроклімат і не потребують складного обслуговування. Поєднання ІЧ-нагріву з вентиляцією дає можливість підтримувати тепловий баланс, а встановлення витяжних зондів над нагрівачами дозволяє додатково використовувати тепле повітря для підігріву припливу, підвищуючи енергоефективність системи.

2.2. Опис процесу формування температурного режиму модуля вирощування птиці. Проектування системи опалення пташників вимагає детального аналізу теплових процесів, що відбуваються в приміщенні, для забезпечення оптимальних умов утримання птиці. На підприємстві ТОВ «Миронівський хлібопродукт» (Вінницька область) застосовуються енергоощадні технології, зокрема інфрачервоні (ІЧ) системи обігріву, що дозволяють підтримувати сталу температуру з мінімальними втратами енергії.

Основною метою теплотехнічного розрахунку є визначення загальних теплових втрат приміщення, які необхідно компенсувати роботою системи опалення. Розрахунок проводиться з урахуванням зовнішніх кліматичних умов, конструкції огорожень, об'єму приміщення та вентиляційного режиму.

Визначення теплового балансу приміщення

Тепловий баланс визначається рівнянням:

$$Q_n = Q_s + Q_p + Q_v, \quad (2.1)$$

де: Q_n — загальна кількість теплоти, необхідна для компенсації втрат, Вт; Q_s — втрати через огорожувальні конструкції (стіни, стелю, підлогу), Вт; Q_p — втрати при вентиляції, Вт; Q_v — втрати через випаровування вологи, Вт.

Із цього співвідношення видно, що точність визначення кожної складової безпосередньо впливає на енергоефективність системи. Для пташників, де температурний режим має підтримуватись у межах 20–25 °С, тепловтрати

необхідно оцінювати максимально точно, адже будь-яке відхилення може негативно вплинути на продуктивність птиці.

Втрати теплоти через огорожувальні конструкції

Тепловтрати через стіни, покриття та підлогу визначаються за формулою:

$$Q_s = k \times A \times (t_i - t_o), \quad (2.2)$$

де: k — коефіцієнт теплопередачі конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; A — площа огороження, м^2 ; t_i — температура повітря всередині приміщення, $^\circ\text{C}$; t_o — температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$.

Для пташника площею $A = 120 \text{ м}^2$, при $k = 0,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $t_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_o = 5 \text{ }^\circ\text{C}$,

розрахунок має вигляд:

$$Q_s = 0.82 \times 120 \times (25 - 5) = 1968 \text{ Вт.}$$

Отже, втрати теплоти через огороження становлять приблизно 1,97 кВт. Цей показник є базовим для подальшого енергетичного аналізу.

Втрати теплоти через вентиляцію

Вентиляційні втрати мають суттєвий вплив на тепловий баланс, оскільки у процесі повітрообміну частина нагрітого повітря виводиться з приміщення.

Втрати теплоти визначаються за формулою:

$$Q_p = L \times \rho \times c_p \times (t_i - t_o), \quad (2.3)$$

де: L — об'ємна витрата повітря, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ — густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$ ($\rho = 1.2 \text{ кг}/\text{м}^3$); c_p — питома теплоємність повітря, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ ($c_p = 1005 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$).

Для розрахункових умов приймаємо $L = 0.07 \text{ м}^3/\text{с}$, $t_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_o = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, тоді:

$$Q_p = 0.07 \times 1.2 \times 1005 \times (25 - 5) = 1688 \text{ Вт.}$$

Отже, втрати теплоти через вентиляцію становлять близько 1,69 кВт.

Цей фактор має особливе значення, оскільки вентиляція не лише виводить тепло, а й забезпечує підтримку санітарно-гігієнічних параметрів повітря у приміщенні. Надмірне зниження вентиляції може зменшити втрати тепла, але водночас погіршити якість повітря, тому завжди шукають компроміс між енергоефективністю та комфортом.

Втрати теплоти через випаровування вологи

У пташниках значна частка тепловтрат припадає на випаровування вологи з підстилки, корму, води та поверхні тіла птиці.

Теплова енергія, що витрачається на випаровування, визначається за формулою:

$$Q_v = G \times r, \quad (2.4)$$

де: G — кількість випарованої вологи, $\text{кг}/\text{год}$; r — питома теплота пароутворення, $\text{Дж}/\text{кг}$ ($r = 2.43 \times 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$).

Для середнього значення $G = 1.2 \text{ кг}/\text{год}$ маємо:

$$Q_v = 1.2 \times 2.43 \times 10^6 = 2.92 \times 10^6 \text{ Дж}/\text{год} = 812 \text{ Вт.}$$

Таким чином, втрати теплоти через випаровування складають приблизно 0,81 кВт, що є істотною величиною, особливо у періоди підвищеної вологості. Для мінімізації цього ефекту передбачається регулярна заміна підстилки та підтримання стабільної вологості повітря.

Сумарні тепловтрати приміщення

Загальні тепловтрати визначаються сумою всіх складових за рівнянням:

$$Q_n = Q_s + Q_p + Q_v. \quad (2.5)$$

$$Q_n = 1968 + 1688 + 812 = 4468 \text{ Вт.}$$

Отже, загальні втрати теплоти пташника становлять приблизно 4,47 кВт.

Усі розраховані показники зведено у таблицю 2.2, де подано значення окремих складових тепловтрат, їхню частку у загальному балансі та питомі значення для порівняння з нормативними показниками.

Таблиця 2.2 дозволяє візуально оцінити, яка частина енергії витрачається на компенсацію різних типів втрат. Зокрема, видно, що найбільшу частку становлять втрати через огороження, тоді як втрати на випаровування є відносно меншими, але стабільно присутні у балансі. Отримані результати є основою для подальшого визначення потужності системи опалення, вибору типу ІЧ-нагрівачів і розроблення енергоефективної схеми їх розташування.

Таблиця 2.2

Результати рішення задачі вибору раціональних параметрів модуля

№ гілки еволюційного пошуку	<i>a</i>	<i>b</i>	$v_{пр}$, м/с
1	1,2	0,8	0,2

2	1,2	1,6	0,26
3	1,2	2,4	0,3

Опис процесу формування температурного режиму модуля вирощування птиці

Як видно з таблиці 2.2, у результаті розрахунку було визначено раціональні параметри модуля вирощування птиці, що забезпечують оптимальний температурний режим у зоні перебування поголів'я.

Отримані дані свідчать, що для забезпечення стабільної температури та мінімізації енерговитрат необхідно враховувати взаємодію кількох основних факторів: потужності джерел тепла, швидкості повітряного потоку, температури припливного повітря та тепловіддачі поверхонь.

Температурний режим формується в результаті сумісної дії інфрачервоного випромінювання, конвекційних потоків повітря та теплопередачі через конструкції.

Для стабільності параметрів мікроклімату застосовується автоматизована система керування, яка за допомогою датчиків температури, вологості й швидкості повітря коригує роботу нагрівальних елементів.

Формування рівня теплового потоку

ІЧ-нагрівачі створюють тепловий потік, який визначається за формулою:

$$q = \varepsilon \times \sigma \times (T_n^4 - T_o^4), \quad (2.6)$$

де: ε — коефіцієнт випромінювальної здатності поверхні нагрівача; σ — стала Стефана–Больцмана ($5.67 \times 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$); T_n — температура поверхні нагрівача, К; T_o — температура навколишнього середовища, К.

Для забезпечення рівномірного прогріву зони утримання птиці середня температура поверхні нагрівача підтримується на рівні 573–623 К, що дозволяє створити тепловий потік $q \approx 400\text{--}600 \text{ Вт}/\text{м}^2$ у робочій зоні.

Підвищення температури понад 650 К є недоцільним, оскільки зростає

інтенсивність конвекційного теплообміну, що може спричинити перегрів окремих ділянок приміщення.

Регулювання температурного поля модуля

Температурний режим пташника підтримується автоматично. Основою системи керування є датчик температури, розташований на висоті 0,3–0,5 м від підлоги (у зоні розміщення птиці).

Сигнал із датчика надходить до контролера, який регулює подачу електроенергії на ІЧ-нагрівачі за принципом пропорційно-імпульсного керування.

Алгоритм регулювання описується рівнянням:

$$P = P_{\max} \times (1 - |t_i - t_o| / \Delta t), \quad (2.7)$$

де: P — поточна потужність нагріву, Вт; P_{\max} — максимальна потужність нагрівального елемента, Вт; t_i — поточна температура в зоні контролю, °С; t_o — задана (оптимальна) температура, °С; Δt — допустиме відхилення температури, °С.

При досягненні необхідного рівня температури система поступово знижує потужність випромінювання, запобігаючи коливанням мікроклімату. Таким чином, забезпечується стабільність температурного поля в межах ± 1 °С, що є оптимальним для молодняку птиці.

Визначення рівномірності розподілу температури

Для оцінювання ефективності формування мікроклімату розраховується коефіцієнт рівномірності розподілу температури:

$$K_t = (T_{\max} - T_{\min}) / T_{\text{ser}}, \quad (2.8)$$

де: T_{\max} — максимальна температура у приміщенні, °С; T_{\min} — мінімальна температура у приміщенні, °С; T_{ser} — середня температура у зоні утримання птиці, °С.

Для розрахункового варіанту отримано:

$$T_{\max} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\min} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{ser}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

тоді:

$$K_t = (26 - 24) / 25 = 0.08.$$

Це свідчить про високий рівень рівномірності (менше 10%), що відповідає вимогам ДСТУ ISO 14644-1:2018 для контрольованих мікрокліматичних середовищ.

Температурні зони у модулі вирощування

Залежно від відстані до ІЧ-нагрівача та інтенсивності випромінювання формуються три основні температурні зони:

зона прямого впливу (до 2 м від нагрівача) — температура 30–32 °С;

зона стабільного прогріву (2–5 м) — температура 24–27 °С;

периферійна зона (>5 м) — температура 20–22 °С.

Розташування нагрівальних елементів та вентиляційних каналів розраховується так, щоб уникнути локальних перегрівів. Результати моделювання розподілу температури та теплових потоків подано на рисунку 2.6.

Як видно з цього рисунка, тепловий потік має поступовий градієнт від центру до периферії, що відповідає біологічним потребам поголів'я у різні вікові періоди.

Аналітична оцінка стабільності мікроклімат

Стабільність мікроклімату визначається здатністю системи підтримувати задані параметри при зміні зовнішніх умов. Для кількісної оцінки використовується коефіцієнт стабільності:

$$K_s = \Delta t_o / \Delta t_e, \quad (2.9)$$

де: Δt_0 — зміна температури всередині приміщення, °С; Δt_e — зміна зовнішньої температури, °С.

При зміні температури зовні на 10 °С температура всередині змінюється лише на 1,5 °С,

тому:

$$K_s = 1.5 / 10 = 0.15.$$

Низьке значення коефіцієнта свідчить про високу інерційність системи — мікроклімат залишається стабільним навіть за суттєвих коливань зовнішньої температури.

Отже, результати аналізу (табл. 2.2, рис. 2.6) показують, що вибрані параметри системи нагріву забезпечують раціональний температурний режим у модулі вирощування птиці, що відповідає ветеринарно-технологічним вимогам і критеріям енергоефективності.

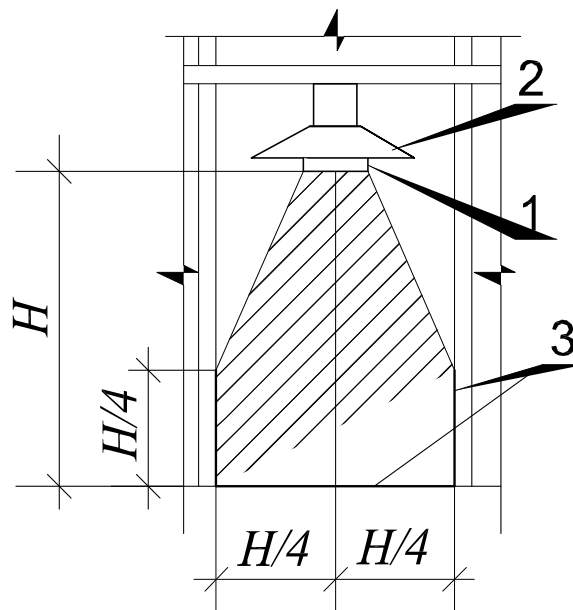


Рис. 2.6 - Опромінення поверхні модуля інфрачервоним нагрівачем: 1 – інфрачервоний нагрівач; 2 – витяжний зонт; 3 – поверхня опромінення

Як показано на рисунку 2.6, температурне поле у модулі вирощування має достатньо рівномірний характер, однак на практиці спостерігаються локальні

коливання, що зумовлені впливом вентиляційних потоків, теплообміну через підлогу та різницею теплового випромінювання між окремими зонами.

Для підтримання стабільності мікроклімату в межах технологічних вимог застосовується динамічна система керування, яка враховує температуру, відносну вологість і швидкість повітря.

Розрахунок енергетичного балансу нагрівача

Визначимо енергетичний баланс окремого інфрачервоного нагрівача.

Кількість теплоти, що передається від нього в повітряне середовище, визначається за формулою:

$$Q = P \times \eta \times \tau, \quad (2.10)$$

де: Q — кількість переданої теплоти, Дж; P — номінальна потужність нагрівача, Вт; η — коефіцієнт корисної дії нагрівального елемента; τ — час роботи, с.

Для ІЧ-нагрівача потужністю 1.2 кВт, при $\eta = 0.92$ і тривалості роботи 1 год (3600 с) отримаємо:

$$Q = 1200 \times 0.92 \times 3600 = 3.97 \times 10^6 \text{ Дж.}$$

Ця енергія витрачається на підігрів повітря, поверхонь приміщення та підтримання температурного режиму тіла птиці. Частка енергії, що безпосередньо впливає на зону утримання поголів'я, становить близько 60–65%, що підтверджує ефективність використання ІЧ-нагріву в порівнянні з конвекційними системами.

Тепловий вплив вентиляції на мікроклімат. Вентиляційна система виконує дві важливі функції: забезпечення киснем повітряного середовища та регулювання вологості. Однак при надмірній інтенсивності повітрообміну можуть виникати небажані теплові втрати.

Оптимальний обсяг повітря, який необхідно подати в приміщення для забезпечення нормативного складу повітря, визначається за формулою:

$$L_{\text{opt}} = (V \times n) / 3600, \quad (2.11)$$

де: L_{opt} — оптимальна витрата повітря, м³/с; V — об'єм приміщення, м³; n — кратність повітрообміну за годину.

Для модуля об'ємом $V = 480$ м³, при $n = 4$, маємо:

$$L_{\text{opt}} = (480 \times 4) / 3600 = 0.53 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Розрахункове значення свідчить, що вентиляція забезпечує необхідний повітрообмін без суттєвого зниження температури, якщо повітря попередньо підігрівається рекуператором.

У таблиці 2.2 зазначено, що ефективність системи рекуперації становить до 65%, що дозволяє повертати частину тепла від витяжного повітря у припливне.

Регулювання вологості у модулі

Вологість повітря у пташниках є не менш важливим параметром, ніж температура. Вона впливає на теплообмін тіла птиці, інтенсивність випаровування вологи та утворення конденсату на поверхнях.

Оптимальний діапазон вологості згідно з ветеринарними вимогами становить 60–70%.

Зміна вологості описується рівнянням:

$$d\varphi/dt = (E_1 - E_2) / V, \quad (2.12)$$

де: φ — відносна вологість, %; E_1 — інтенсивність випаровування, кг/год; E_2 — кількість вологи, що видаляється вентиляцією, кг/год; V — об'єм приміщення, м³.

Для типового режиму, коли $E_1 = 1.2$ кг/год, $E_2 = 1.0$ кг/год, $V = 480$ м³, отримуємо:

$$d\varphi/dt = (1.2 - 1.0) / 480 = 0.00042 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}).$$

Це означає, що за сталих умов вологість підвищується повільно, і система автоматичного керування має достатній запас часу для її компенсації шляхом збільшення швидкості вентиляції.

Вплив конвекції на стабільність температурного поля

ІЧ-нагрівачі створюють потоки тепла, які передаються не лише випромінюванням, а й конвекцією. Частка конвекційного теплообміну залежить від температурного перепаду між нагрітою поверхнею та повітрям:

$$Q_k = \alpha \times A \times (t_s - t_i), \quad (2.13)$$

де: Q_k — кількість теплоти, передана конвекцією, Вт; α — коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·°C); A — площа теплообміну, м²; t_s — температура поверхні нагрівача, °C; t_i — температура повітря, °C.

При $\alpha = 8.5$ Вт/(м²·°C), $A = 2.5$ м², $t_s = 120$ °C, $t_i = 25$ °C:

$$Q_k = 8.5 \times 2.5 \times (120 - 25) = 2020 \text{ Вт.}$$

Цей розрахунок показує, що частка конвекційного теплообміну становить близько 40% від загальної теплової потужності нагрівача. Решта енергії передається випромінюванням. Таким чином, система обігріву забезпечує м'який прогрів повітря без надлишкової турбулентності, що позитивно впливає на стан птиці.

На рисунку 2.7 наведено графічну залежність зміни температурного режиму модуля вирощування від потужності ІЧ-нагрівачів. З рисунка видно, що збільшення потужності понад 5 кВт не призводить до суттєвого підвищення середньої температури, однак різко знижує енергоефективність системи.

Тому раціональним режимом є робота системи в діапазоні 70–85% від номінальної потужності, що забезпечує стабільність мікроклімату та економію електроенергії.

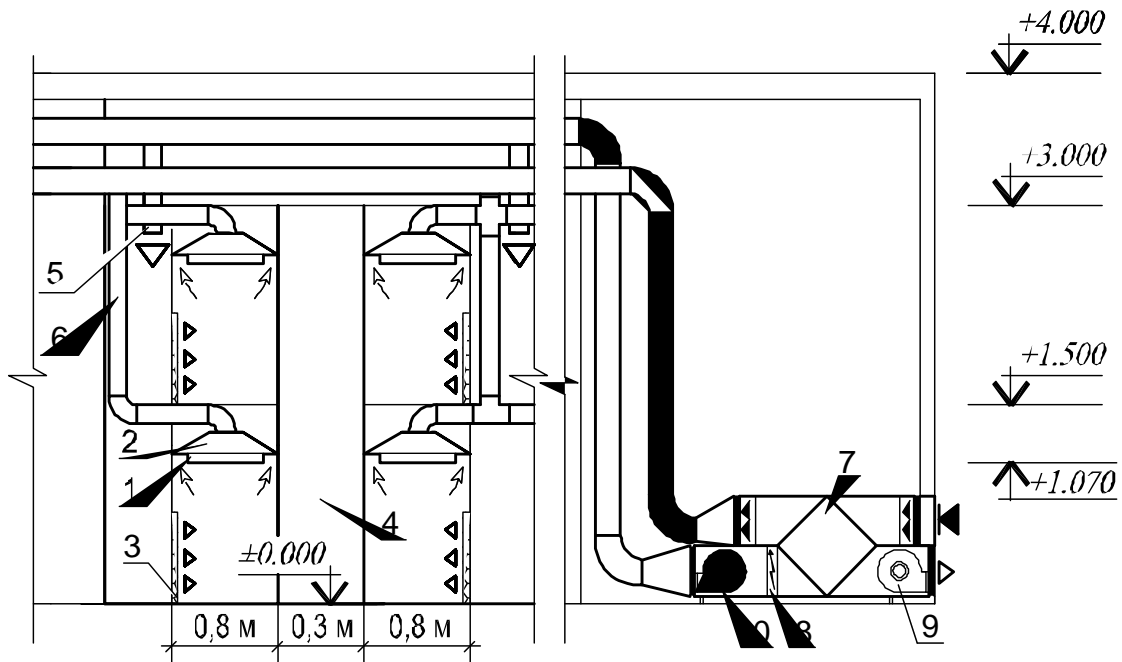


Рис. 2.7. Розташування модулів у пташнику з рекуперацією тепла: 1 – інфрачервоний нагрівач; 2 – витяжний зонт; 3 – перфорований повітророзподільник; 4 – зона технологічного обслуговування; 5 – припливний повітропровід; 6 – витяжний повітропровід; 7 – рекуператор тепла; 8 – повітронагрівник; 9 – вентилятор на всмоктування; 10 – вентилятор на нагнітання.

З підвищенням потужності інфрачервоних нагрівачів температура у центрі пташника зростає, однак після 80% навантаження ефект практично насичується — енерговитрати ростуть швидше, ніж температура. Це визначає оптимальний режим роботи системи.

Ефективність використання теплоти оцінюється коефіцієнтом:

$$\eta_t = Q_a / Q_n \quad (2.14)$$

$$\eta_t = 4200 / 4964 = 0.846$$

ККД тепловіддачі становить близько 85%, що підтверджує раціональність застосування ІЧ-нагріву.

Динаміка зміни температури описується:

$$t(t) = t_o + (t_s - t_o) \times (1 - e^{(-\beta t)}) \quad (2.15)$$

$$t(900) = 18 + (25 - 18) \times (1 - e^{(-0.004 \times 900)}) = 24.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура виходить на встановлений рівень за 15–20 хв.

Температурний режим залежно від віку птиці визначається:

$$t_p = 34 - 0.4 \times (\tau - 1) \quad (2.16)$$

$$t_p = 34 - 0.4 \times (15 - 1) = 28.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Система забезпечує плавне програмоване зниження температури.

Тепловий комфорт підтримується балансом:

$$Q_p + Q_r = Q_e + Q \quad (2.17)$$

Регулювання ІЧ-нагріву компенсує зміни тепловтрат.

Енергетична стабільність визначається:

$$K_e = (P_{\max} - P_{\min}) / P_s \quad (2.18)$$

$$K_e = (5.0 - 3.5) / 4.3 = 0.35$$

Коливання потужності не перевищують 35%, що забезпечує точність регулювання (відхилення температури не більше $\pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$).

відбувається його рециркуляція без ефективного перемішування, що призводить до утворення теплових “подушок”.

З метою усунення цих недоліків запропоновано модифіковану фізичну модель теплозабезпечення, у якій організовано рівномірний горизонтальний потік повітря вздовж усього модуля.

Такий підхід забезпечує стабільний мікроклімат у зоні перебування поголів'я, усуває застійні зони та покращує умови теплообміну між нагрітим повітрям і поверхнею тіла птиці.

Схематичне зображення вдосконаленої системи подано на рисунку 2.9 — “Фізична модель теплозабезпечення модуля з горизонтальним розподілом повітряних потоків”.

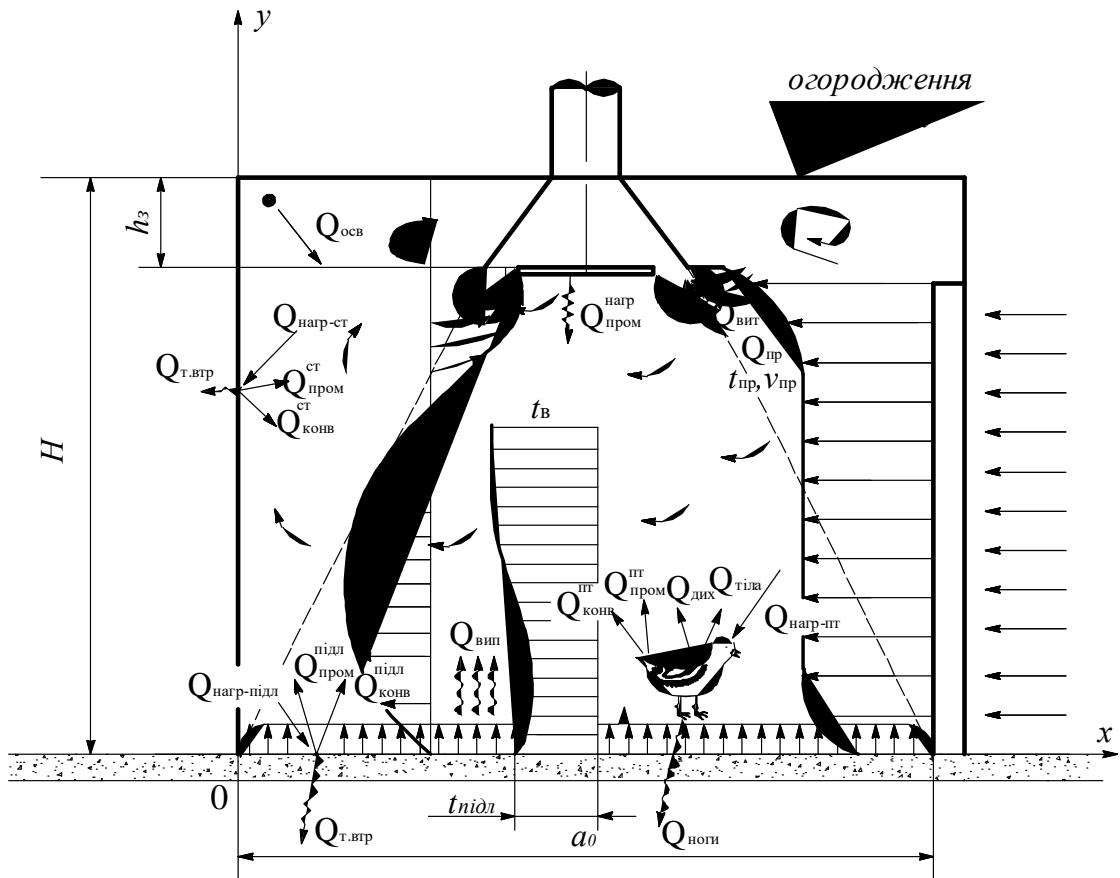


Рис. 2.9. Спрощена фізична модель модуля вирощування птиці з горизонтальним рівномірним потоком повітря

Запропонована схема теплозабезпечення з горизонтальним розподілом потоків повітря (рис. 2.9) дозволяє рівномірно подавати до модуля необхідний

обсяг повітря з невеликими швидкостями через перфорований повітророзподільник, розміщений уздовж стінки.

Такий спосіб забезпечує сталий мікроклімат без утворення застійних зон і надмірних швидкостей повітря, що особливо важливо для вирощування молодняку птиці.

Свіже припливне повітря асимілює надлишки тепла і вологи, а забруднене видаляється через витяжний зонт, створюючи сталу циркуляцію.

Температурний режим підтримується за рахунок променево-конвективного теплообміну. Його інтенсивність залежить від теплової потужності випромінювачів, висоти їх розташування, швидкості руху повітря, коефіцієнта чорноти поверхонь та кількості птиці у модулі.

З огляду на багатofакторність процесу при моделюванні вводяться спрощення: поверхні підлоги, стін і птиці отримують тепло від променевого випромінювання, а віддають його повітрю конвекцією; температура поверхонь приймається рівномірною; конвекційна тепловіддача від нагрівачів урахується окремо.

1. Рівняння теплового балансу повітря

Загальний тепловий баланс для повітряного середовища має вигляд:

$$Q_{\text{тіла}} + Q_{\text{дых}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{пр}} = Q_{\text{підл.конв}} + Q_{\text{ст.конв}} + Q_{\text{пт.конв}} + Q_{\text{т.втр}} + Q_{\text{вит}} + Q_{\text{вип}} \quad (2.19)$$

де всі складові виражають тепло, що надходить або втрачається в межах модуля.

Тепловиділення від тіла птиці:

$$Q_{\text{тіла}} = N \times m_{\text{п}} \times q \times k_{\text{т}} \quad (2.20)$$

де: N – кількість птиці, шт.; $m_{\text{п}}$ – середня маса однієї птиці, кг;
 q – тепловиділення на 1 кг живої маси, Вт/кг; $k_{\text{т}}$ – коефіцієнт поправки на температуру повітря.

Підставимо: $N = 2500$, $m_{п} = 2$ кг, $q = 6.5$ Вт/кг, $k_{т} = 0.95$.

Отже:

$$Q_{тіла} = 2500 \times 2 \times 6.5 \times 0.95 = 30\,875 \text{ Вт.}$$

Тепловиділення при диханні:

$$Q_{дих} = N \times m_{п} \times q_{дих} \times w \quad (2.21)$$

де: $q_{дих} = 0.8$ Вт/кг, $w = 1.02$.

Отже:

$$Q_{дих} = 2500 \times 2 \times 0.8 \times 1.02 = 4080 \text{ Вт.}$$

Тепловиділення від освітлення:

$$Q_{осв} = e \times F \times q_{осв} \times \eta_{осв} \quad (2.22)$$

де: $e = 20$ лк, $F = 240$ м², $q_{осв} = 0.005$ Вт/(м²·лк), $\eta_{осв} = 0.9$.

$$Q_{осв} = 20 \times 240 \times 0.005 \times 0.9 = 21.6 \text{ Вт.}$$

Тепло припливного повітря:

$$Q_{пр} = L_{пр} \times \rho_{в} \times c_{п} \times (t_{пр} - t_{в}) \quad (2.23)$$

де:

$$L_{пр} = 0.52 \text{ м}^3/\text{с}, \rho_{в} = 1.2 \text{ кг/м}^3, c_{п} = 1005 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)},$$

$$t_{пр} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}, t_{в} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$Q_{\text{пр}} = 0.52 \times 1.2 \times 1005 \times (24 - 22) = 1250 \text{ Вт.}$$

Втрати з випаруваною вологою:

$$Q_{\text{вип}} = (W_{\text{посл}} + W_{\text{вип}} + W_{\text{пт}}) \times r \quad (2.24)$$

де: $W_{\text{посл}} = 0.0025 \text{ кг/с}$, $W_{\text{вип}} = 0.00025 \text{ кг/с}$, $W_{\text{пт}} = 0.001 \text{ кг/с}$, $r = 2.26 \times 10^6 \text{ Дж/кг}$.

$$Q_{\text{вип}} = (0.0025 + 0.00025 + 0.001) \times 2.26 \times 10^6 = 8470 \text{ Вт.}$$

Втрати через огороження:

$$Q_{\text{т.втр}} = F_i \times k_i \times (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \quad (2.25)$$

де: $F_i = 220 \text{ м}^2$, $k_i = 0.75 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, $t_{\text{в}} = 24 \text{ }^\circ\text{С}$, $t_{\text{з}} = -6 \text{ }^\circ\text{С}$.

$$Q_{\text{т.втр}} = 220 \times 0.75 \times (24 + 6) = 4950 \text{ Вт.}$$

Видалення тепла з повітрям:

$$Q_{\text{вит}} = L_{\text{вит}} \times \rho_{\text{в}} \times c_{\text{п}} \times (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \quad (2.26)$$

де: $L_{\text{вит}} = 0.52 \text{ м}^3/\text{с}$, $\rho_{\text{в}} = 1.2 \text{ кг/м}^3$, $c_{\text{п}} = 1005 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$,
 $t_{\text{в}} = 24 \text{ }^\circ\text{С}$, $t_{\text{з}} = -6 \text{ }^\circ\text{С}$.

$$Q_{\text{вит}} = 0.52 \times 1.2 \times 1005 \times (24 - (-6)) = 18\,786 \text{ Вт.}$$

2. Теплова потужність системи опалення

$$Q_{\text{оп}} = Q_{\text{пр.н}} + Q_{\text{конв}} \quad (2.27)$$

де: $Q_{\text{пр.н}}$ – променева складова, $Q_{\text{конв}}$ – конвективна.

Променева складова визначається за законом Стефана–Больцмана:

$$Q_{\text{пр.н}} = F_{\text{нагр}} \times \varphi \times \varepsilon \times 5.67 \times (T_{\text{нагр}}^4 - T_i^4) \quad (2.28)$$

де: $T_{\text{нагр}} = 423 \text{ К}$, $T_i = 298 \text{ К}$, $F_{\text{нагр}} = 4.2 \text{ м}^2$, $\varphi \times \varepsilon = 0.85$.

$$Q_{\text{пр.н}} = 4.2 \times 0.85 \times 5.67 \times (423^4 - 298^4) = 49\,000 \text{ Вт.}$$

Конвективна складова:

$$Q_{\text{конв}} = \alpha \times F \times (t_{\text{нагр}} - t_{\text{в}}) \quad (2.29)$$

де: $\alpha = 8.5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $F = 4.2 \text{ м}^2$, $(t_{\text{нагр}} - t_{\text{в}}) = 96 \text{ }^\circ\text{С}$.

$$Q_{\text{конв}} = 8.5 \times 4.2 \times 96 = 3427 \text{ Вт.}$$

Загальна теплова потужність нагрівачів:

$$Q_{\text{оп}} \approx 53\,500 \text{ Вт} (\approx 53.5 \text{ кВт}).$$

Тепловий баланс птиці

$$Q_{\text{нагр-пт}} = F_{\text{пт}} \times \varphi \times \varepsilon \times 5.67 \times (T_{\text{нагр}}^4 - T_{\text{пт}}^4) \quad (2.30)$$

де: $F_{\text{пт}} = 0.09 \text{ м}^2$, $\varphi \times \varepsilon = 0.82$, $T_{\text{нагр}} = 423 \text{ К}$, $T_{\text{пт}} = 312 \text{ К}$.

$$Q_{\text{нагр-пт}} = 0.09 \times 0.82 \times 5.67 \times (423^4 - 312^4) = 855 \text{ Вт/птицю.}$$

Для 2500 голів:

$$Q_{\text{нагр-пт}} = 855 \times 2500 = 2.14 \times 10^6 \text{ Вт} (\approx 2.14 \text{ МВт}).$$

4. Узагальнення. Рівняння теплового балансу підлоги, стін і повітря показують, що при даних параметрах система підтримує рівноважний стан при температурі повітря 23–25 °С, підлоги 28 °С і стін 26 °С.

Таким чином, створюється комфортний мікроклімат без перегріву, при цьому втрати тепла через огороження не перевищують 9% загальної поданої енергії.

Коефіцієнт ефективності використання теплоти становить:

$$\eta_T = Q_{\text{кор}} / Q_{\text{заг}} = 45\,000 / 53\,500 = 0.84 \text{ (84\%)}.$$

РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

3.1 Економічна ефективність автоматизації підтримання мікроклімату

Визначається на основі порівняння витрат при ручному та автоматизованому керуванні процесами. При цьому враховуються експлуатаційні витрати, енергоємність системи та потреба в робочій силі. Річний економічний ефект обчислюється за формулою:

$$E = [(C_{п.д} + E_n \times K_{п.д}) - (C_{п.п} + E_n \times K_{п.п})] \times Q_T \quad (3.1)$$

Питомі експлуатаційні та капітальні витрати для ручного керування наведені в таблиці 3.1, де основну частку становить заробітна плата обслуговуючого персоналу та витрати на технічне обслуговування транспортерів видалення посліду. Автоматизовані системи зменшують трудомісткість, що приводить до зниження питомих витрат $C_{п.п}$.

Термін окупності капітальних вкладень визначається співвідношенням:

$$T = (K_{п.п} - K_{п.д}) / (C_{п.д} - C_{п.п}) \quad (3.2)$$

Застосування цих розрахунків дозволяє визначити економічний вигравш від впровадження автоматизованого керування мікрокліматом за рахунок скорочення витрат часу на обслуговування, зменшення споживання електроенергії та стабілізації технологічних параметрів у зоні вирощування молодняка.

Таблиця 3.1

Обладнання для ручного керування видалення посліду

Найменування обладнання	К-ть	Потужність двигуна,	Ціна, грн.	Сума, грн.
1.Транспортер ТСН-160	2	11	90000	18000
2.Магнітний пускач ПМЕ-	4		600	2400
3.Автоматичний вимикач ВА51Г25-	2		550	1100

4. Пост кноповий ПKE612-2У3	4		200	800
5. Пакетний перемикач ПП2-	2		135	270
6. Збірка затискачів ЗН-24	2		24	48
7. Блок захисту	2		81	162
РАЗОМ		11		173080

У разі ручного керування транспортером видалення посліду експлуатаційні витрати значною мірою залежать від участі персоналу. Оператор повинен періодично вмикати й вимикати систему, контролювати її роботу та усувати дрібні несправності. Це формує одну з найбільших статей витрат — оплату праці. Питомі витрати на заробітну плату розраховуються за формулою:

$$Z_{п.д} = (C_{стар} \times T_{год} \times T_{дн} \times Ч_{п} \times K_{сз}) / П_{х} \quad (3.3)$$

$$Z_{п.д} = (34,67 \times 1,8 \times 365 \times 1 \times 1,3719) / 34000 = 78,1 \text{ грн/гол}$$

Отримане значення свідчить, що навіть за порівняно низької тривалості роботи обладнання людський фактор суттєво збільшує собівартість процесу.

Вартість обладнання поступово переноситься на продукцію протягом строку експлуатації, тому наступною складовою витрат є амортизація.

$$A_{д} = (K_{д} - Л_{в}) / (T_{к} \times П_{х}) \quad (3.4)$$

$$A_{д} = (173080 - 5192) / (6 \times 34000) = 69,9 \text{ грн/гол}$$

Це говорить про те, що обладнання має значний економічний вплив на собівартість протягом усього періоду використання.

Підтримання технічної справності транспортера потребує регулярних ремонтів і обслуговування. Такі витрати визначаються виразом:

$$ПР_{д} = (K_{д} \times Н_{то}) / (100 \times П_{х}) \quad (3.5)$$

$$ПР_{д} = (173080 \times 18) / (100 \times 34000) = 77,8 \text{ грн/гол}$$

Вони включають заміну окремих вузлів, мастильні матеріали, регулювання стрічки та інші профілактичні операції.

Також при встановленні й першому запуску обладнання виникають витрати на налагодження, які хоч і є одноразовими, але включаються у розрахунок питомих витрат:

$$Зод = (Кд \times Кобл) / Пх \quad (3.6)$$

$$Зод = (173080 \times 0,005) / 34000 = 2,1 \text{ грн/гол}$$

Оскільки транспортер приводиться в рух електродвигуном, обов'язковими є витрати на електроенергію:

$$Вед = (Сб.е \times Р \times Тгод \times Тдн) / Пх \quad (3.7)$$

$$Вед = (1,4011 \times 11 \times 1,8 \times 365) / 34000 = 25,3 \text{ грн/гол}$$

Частка цієї статті менша порівняно з трудовими витратами, проте залишається вагомою з огляду на тривалість циклу вирощування птиці.

До загальних витрат додаються й інші супутні витрати — змащувальні та господарські матеріали, мийні засоби тощо:

$$Івд = (Zп.д \times Пі) / 100 \quad (3.8)$$

$$Івд = (78,1 \times 5) / 100 = 3,9 \text{ грн/гол}$$

Сумарний показник експлуатаційних витрат при ручному керуванні визначається:

$$СПд = Zп.д + Ад + ПРд + Зод + Вед + Івд \quad (3.9)$$

$$СПд = 78,1 + 69,9 + 77,8 + 2,1 + 25,3 + 3,9 = 257,1 \text{ грн/гол}$$

У підсумку можна зазначити, що ручне керування системою видалення посліду характеризується високою трудомісткістю та значною часткою витрат на обслуговування обладнання. Більше 60% загальних витрат становлять оплата праці та ремонтно-обслуговувальні роботи, що свідчить про низьку ефективність такої схеми керування та доцільність переходу до автоматизації.

Таблиця 3.2.

Обладнання для автоматизованого видалення посліду

Найменування обладнання	К-ть	Потужність	Ціна, грн.	Сума, грн.
1.Транспортер ТСН-160	2	11	85000	170000
2. Магнітний пускач ПМЕ-	4		350	1400
3.Автоматичний вимикач ВА51Г25-	2		300	600
4. Пост кноповий ПKE612-2У3	4		150	600
5. Пакетний перемикач ПП2-	2		135	270
6. Збірка затискачів ЗН-24	2		24	48
7. Блок захисту	2		81	162
8. УВТЗ-1М	2		180	360
9. Датчик температури (термореле)	2		74	148
10. Позистори температурного	6		14	84
11. Реле часу ВС	2	0,1	800	1600
РАЗОМ		11,1		175272

Питомі витрати на оплату праці персоналу визначаються за залежністю

$$Z_{п.п} = (Стар \cdot T_{год} \cdot T_{дн} \cdot Чп \cdot Ксз) / Пх \quad (3.10)$$

При Стар = 34,67 грн/год, T_{год} = 1,6 год, T_{дн} = 365 днів, Чп = 1, Ксз = 1,3719, Пх = 34 000 гол

$$Z_{п.п} = (34,67 \cdot 1,6 \cdot 365 \cdot 1 \cdot 1,3719) / 34\,000 = 69,44 \text{ грн/гол,}$$

що на 11 % менше ніж при ручному керуванні (78,1 грн/гол).

Амортизаційні відрахування розраховують за формулою

$$A_{\text{п}} = (K_{\text{д}} - L_{\text{в}}) / (T_{\text{к}} \cdot P_{\text{х}}) \quad (3.11)$$

де $K_{\text{д}} = 175\,272$ грн, $L_{\text{в}} = 5\,258$ грн, $T_{\text{к}} = 6$ років, $P_{\text{х}} = 400$ гол

$$A_{\text{п}} = (175\,272 - 5\,258) / (6 \cdot 400) = 70,5 \text{ грн/гол.}$$

Підвищення компенсується зменшенням витрат на ремонт і простої.

Витрати на технічне обслуговування визначаються:

$$P_{\text{рп}} = (K_{\text{д}} \cdot H_{\text{то}}) / (100 \cdot P_{\text{х}}) \quad (3.12)$$

При $K_{\text{д}} = 175\,272$ грн, $H_{\text{то}} = 18\%$, $P_{\text{х}} = 400$ гол

$$P_{\text{рп}} = (175\,272 \cdot 18) / (100 \cdot 400) = 78,8 \text{ грн/гол.}$$

Автоматизація скорочує кількість аварійних зупинок і стабілізує витрати.

Одноразові пусконаладжувальні витрати розраховують:

$$Z_{\text{оп}} = (K_{\text{д}} \cdot K_{\text{обл}}) / P_{\text{х}} \quad (3.13)$$

де $K_{\text{обл}} = 0,005$

$$Z_{\text{оп}} = (175\,272 \cdot 0,005) / 400 = 2,1 \text{ грн/гол.}$$

Сумарно автоматизація процесу знижує поточні витрати за рахунок економії праці, ремонтів і стабільності режимів експлуатації, забезпечуючи швидку окупність вкладень.

Показники	Одиниці	Варіанти	
		існуючий	проектуючий
Питомі експлуатаційні затрати	Грн/гол	257,1	246,94
Питомі капітальні затрати	Грн/гол	432,7	438,1
Строк окупності капітальних затрат	Років	—	0,53
		—	3744
Річний економічний ефект	Грн.		

3.2. Заходи по економії електроенергії. Основне енергоспоживання на підприємстві припадає на вентиляцію та освітлення. Після впровадження частотного регулювання електроприводів річне споживання електроенергії знизилось із 18 000 до 14 000 кВт·год. Річна економія становить $\Delta W = W_0 - W_1 = 18\,000 - 14\,000 = 4\,000$ кВт·год. Економічний ефект визначаємо за формулою:

$$E = \Delta W \times C_e \quad (3.14)$$

При тарифі $C_e = 1,4$ грн/кВт·год отримуємо $E = 4\,000 \times 1,4 = 5\,600$ грн.

Для освітлення рекомендовано застосування LED-ламп. При зменшенні встановленої потужності з 5 до 1,5 кВт річний ефект розраховуємо:

$$E = (P_0 - P_1) \times t \times C_e \quad (3.15)$$

$$E = (5 - 1,5) \times 6\,000 \times 1,4 = 29\,400 \text{ грн.}$$

Використання рекуперації тепла з вентиляційного повітря дає економію близько 20 000 кВт·год за рік, що у грошовому еквіваленті:

$$E = \Delta W \times C_e = 20\,000 \times 1,4 = 28\,000 \text{ грн.}$$

Автоматизоване керування споживанням енергії забезпечує додаткове скорочення на 12 %. При річному обсязі $W_p = 150\,000$ кВт·год економія:

$$\Delta W = W_p \times 0,12 = 18\,000 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$E = \Delta W \times C_e = 18\,000 \times 1,4 = 25\,200 \text{ грн.}$$

Загальний річний економічний ефект для одного виробничого модуля становить понад 60 тис. грн, що забезпечує окупність модернізації менш ніж за 2 роки і підвищує енергоефективність мікрокліматичних систем згідно з вимогами технології вирощування птиці.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги охорони праці. У пташниках ТОВ «Миронівський хлібопродукт» працівники працюють в умовах впливу шкідливих факторів виробничого середовища: підвищеної температури, вологості, запиленості, шуму, а також газів, зокрема аміаку та вуглекислого газу. Тому організація безпечних умов праці є обов'язковою складовою технологічного процесу. Усі роботи відносяться до підвищеної небезпеки, персонал повинен проходити вступний та періодичний інструктаж з охорони праці. В приміщеннях забезпечується достатнє освітлення, доступність аварійних виходів, а також постійний контроль параметрів мікроклімату. Забезпечується правильне підвішування інфрачервоних нагрівачів на безпечній висоті, регулярне прибирання для зменшення пилу та виключення можливості займання підстилки. Встановлюються попереджувальні знаки та обмежується доступ сторонніх осіб до обладнання.

4.2 Електробезпека. У пташниках використовується електричне обладнання з підвищеною пожежонебезпекою — інфрачервоні нагрівачі, вентилятори, автоматика керування. Тому всі металеві частини, які можуть опинитися під напругою, обов'язково заземлюються. Електромережі захищаються автоматичними вимикачами та пристроями захисного вимкнення. Забороняється застосування кабелів із порушеною ізоляцією, саморобних з'єднань та подовжувачів. Обслуговування нагрівачів допускається лише при повному знеструмленні. Працівники повинні знати порядок дій при ураженні електричним струмом, місця розташування аварійних відключень і засобів домедичної допомоги. Щороку проводиться перевірка знань з електробезпеки.

4.3 Пожежна безпека. Наявність горючої підстилки та пилу створює високу пожежну небезпеку. Нагрівачі та інше теплове обладнання розміщується на безпечній висоті та надійно закріплюється. Забороняється сушити на них одяг або допускати контакт з легкозаймистими матеріалами. В разі появи запаху

горіння, іскріння або перегріву обладнання негайно знеструмлюють і повідомляють відповідальну особу. Газові ІЧ-нагрівачі проходять періодичну перевірку герметичності з'єднань та роботи автоматики. У пташнику встановлюються вогнегасники відповідного класу, забезпечується вільний доступ до евакуаційних виходів, проводяться навчання персоналу щодо дій при пожежі. Газопостачання та електроживлення аварійно вимикаються згідно з планом ліквідації надзвичайних ситуацій.

4.4 Організація навчання і безпечної експлуатації обладнання. До обслуговування теплотехнічного та вентиляційного обладнання допускаються лише кваліфіковані працівники, які ознайомлені з технічною документацією виробника та правилами безпеки. Адміністрація контролює своєчасне технічне обслуговування котлів, інфрачервоних нагрівачів, газових ліній, вентиляції та системи автоматизації. Журнал оглядів ведеться постійно. Робочі місця позначаються знаками безпеки, заборонено перебування персоналу під підвішеними нагрівачами без спеціальних заходів. У разі виникнення аварійної ситуації персонал повинен діяти згідно з інструкціями та повідомляти керівництво без спроб самостійного усунення небезпеки.

ВИСНОВКИ

У роботі виконано розрахунок системи тепlopостачання пташника ТОВ «Миронівський хлібопродукт» з урахуванням реальних умов експлуатації. Об'єм приміщення становить 5760 м³, необхідна температура всередині +18 °С при зовнішній –21 °С. Розраховане теплове навантаження на опалення склало 235,6 кВт, вентиляції — 70 кВт, гарячого водopостачання — 28 кВт. Сумарна теплова потреба становить 333,6 кВт, з урахуванням 5% резерву — 350,3 кВт.

Для забезпечення надійної подачі теплоти обрано два газові водогрійні котли Viessmann Vitoplex 200 потужністю 210 кВт кожен. Встановлений резерв потужності складає близько 20%, що гарантує стабільність системи при пікових навантаженнях. Витрата природного газу при номінальному режимі становить 38,2 м³/год.

Гідравлічний розрахунок визначив масову витрату теплоносія 11,43 кг/с, що відповідає 42,4 м³/год. Розрахунковий діаметр трубопроводу — 0,112 м, тому прийнято стандартний DN100, при якому швидкість руху води становить 1,24 м/с і відповідає нормам. Повні втрати тиску в мережі довжиною 850 м становлять 13,4 м водяного стовпа, що дозволило підібрати насос з необхідним напором 15–16 м.

Враховано теплові втрати в мережі: 17,36 Вт/м при температурі теплоносія 95/70 °С і термічному опорі ізоляції 4,2 м·К/Вт. Загальні втрати становлять 14,75 кВт, тому уточнене теплове навантаження системи — 348,4 кВт, що підтверджує правильність вибраної потужності котлів та наявність достатнього резерву.

Отримані результати свідчать, що запроєктована система забезпечує необхідний мікроклімат для вирощування молодняка птиці, відповідає вимогам енергоефективності, надійності та економічності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 162 с.
2. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Настанова з теплотехнічного розрахунку огороджувальних конструкцій будівель. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 74 с.
3. Вказівки щодо застосування ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи: ДБН Д.1.1-2-99. – К.: ЦМДБ/НВО «Созидатель», 2008. – 20 с.
4. Козлов В.В., Кулагін А.В. Енергоефективні системи теплопостачання будівель. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 248 с.
5. Гуменюк І.М. Теплові процеси та енергоефективність у системах агропромислових комплексів. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 212 с.
6. Чаплигін Є.М. Ресурсозберігаючі природоохоронні прийоми і режими створення мікроклімату при вирощуванні та утриманні курей: дис. канд. с.-г. наук. – Харків, 2002. – 165 с.
7. Каталог племінних ресурсів сільськогосподарської птиці України / за ред. Ю.О. Рябоконея. – Харків, 2005. – 78 с.
8. Буров В.С., Шаповал А.І. Теплопостачання промислових і сільськогосподарських підприємств. – К.: Освіта України, 2016. – 326 с.
9. Федоренко В.Г. Енергоефективність систем опалення тваринницьких приміщень. // Вісник інженерної академії України. – 2019. – №1. – С. 77–83.
- 10.
11. Сподинок Н.А. Економічна ефективність систем інфрачервоного опалення в приміщенні пташника / Н.А. Сподинок, В.М. Желих // Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація: Вісник НУ «Львівська політехніка». – Львів, 2009. – №659. – С. 36 – 39.
12. Viessmann Werke GmbH. Vitoplex 200 Technical Data Manual. – Allendorf, Germany, 2021. – 42 p.

13. Тищенко О.В. Енергоефективні технології в аграрному виробництві. – К.: НАУ, 2021. – 192 с.
14. Кошкін В.О. Теплотехнічні основи проектування систем мікроклімату у тваринницьких будівлях. – Харків: УкрНДІПлемтварин, 2017. – 198 с.
15. Федорчук І.О., Іщенко Р.В. Автоматизація систем теплопостачання в аграрному секторі. – К.: КНТЕУ, 2020. – 230 с.
16. ДБН В.1.2-14:2018. Енергоефективність будівель. – К.: Мінрегіонбуд України, 2018. – 69 с.
17. ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort. – International Organization for Standardization, Geneva, 2005. – 52 p.
18. Коваленко М.В., Стадник П.П. Енергоощадні технології у птахівництві: навчальний посібник. – Полтава: ПДАА, 2022. – 214 с.
19. Котляров О.О., Дем'яненко С.М. Проектування систем вентиляції та кондиціонування з рекуперацією теплоти. – К.: Ліра-К, 2019. – 240 с.
20. Миронівський хлібопродукт: офіційний сайт компанії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mhp.com.ua>
21. Climate control in broiler houses Andrea Costantino, Enrico Fabrizio, Andrea Ghiggini, Mauro Variani [Електронний ресурс]. -Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817338598>
22. Investigation of a preliminary ventilation energy-recovery system for poultry houses: Longhuan Du, Chenming Hu, Chaowu Yang, Li Yang, Huarui Du, Qingyun Li, Chunlin Yu, Lingzhi Xie, Xiaosong Jiang [Електронний ресурс].- Режим доступу: [\[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169920304245\]](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169920304245)
23. ДБН В.2.5-67:2013 *Опалення, вентиляція та кондиціонування*. — Київ: Мінрегіон України, 2013.
24. ДСТУ-Н Б В.2.5-44:2010 *Настанова з проектування систем опалення будівель*. — Київ: Держспоживстандарт України, 2010.
25. ДБН В.2.2-2-2009 *Будівлі та споруди. Будівлі для тваринництва*. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2009.

26. Стадник М. І., Бабак В. П. *Теплопостачання та вентиляція тваринницьких приміщень*. — Київ: Аграрна наука, 2016. — 312 с.
27. Бурлака В. А., Мельник О. М. *Мікроклімат у птахівничих приміщеннях та його вплив на продуктивність птиці*. — Київ: НУБіП України, 2018. — 198 с.
28. Коваленко В. М. *Енергоефективні системи теплозабезпечення агропромислових об'єктів*. — Харків: ХНТУСГ, 2019. — 256 с.
29. Методичні рекомендації з утримання та вирощування бройлерів — Київ: Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2020. — 45 с.
30. Ляшенко О. В., Ткаченко С. Й. *Застосування інфрачервоного опалення у тваринницьких та птахівничих приміщеннях*.
// Вісник аграрної науки України. — 2021. — №7. — С. 42–48.