

УДК 636.03

## Застосування геотермальної вентиляції для теплопостачання приміщень пташників

Н.А. Сподинок<sup>1</sup>, Л.П. Горбаченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, n\_spoduniuk@meta.ua, ORCID: 0000-0002-2865-9320

<sup>2</sup>викладач. Львівський техніко-економічний коледж національного університету "Львівська політехніка", м. Львів, Україна, lililviv72@gmail.com

*Анотація.* Існує потреба додаткових заходів підвищення енергоефективності систем теплозабезпечення пташників. Комплексне застосування системи інфрачервоного опалення у поєднанні з системою геотермальної вентиляції дозволить значно скоротити енерговитрати об'єкту та покращити екологічні показники системи в цілому. Робота геотермальної системи вентиляції полягає у використанні енергії ґрунту для часткового нагрівання припливного повітря, що надходить до приміщення пташника. Також доцільне застосування додаткових заходів рекуперації теплоти витяжного повітря з пташника. У роботі представлена розроблена система подачі теплоти для пташника з інтегрованим застосуванням ґрунтового теплообмінника для нагріву припливного повітря та інфрачервоного обігрівача для локального обігріву зон перебування птиці. Показано ефективність застосування такої системи. Отримано результати досліджень раціональних розмірів модуля для вирощування птиці. Розміри інфрачервоного обігрівача становлять 0,54×0,1 м. Модулі розташовані в два яруси з зонами технологічного обслуговування в пташнику.

*Ключові слова:* інфрачервоне опалення, геотермальна енергія, ґрунтовий теплообмінник, пташник.

**Вступ.** Завдяки постійному зростанню ціни на енергоносії у всьому світі інтенсивно розвивається вторинна та поновлювана енергетика: вітрова, сонячна, енергія біомаси, геотермальна тощо. Це вказує на актуальність розробок у цьому напрямку. Об'єкти агропромислового комплексу є найбільш енергомісткими і потребують додаткових заходів для економії енергії за рахунок впровадження енергоефективних систем теплозабезпечення.

При передбаченні необхідного мікроклімату в приміщеннях сільськогосподарських комплексів, зокрема пташників, існують значні втрати енергії.

Усі відхилення параметрів навколишнього середовища від нормативних значень негативно впливають на продуктивність м'ясних порід птиці та ефективність виробництва [1]. Тому виникає потреба використання енергоефективної інфрачервоної системи опалення в місцях розміщення птиці.

Інфрачервоні системи опалення на відміну від інших систем забезпечення мікроклімату в пташниках здійснюють локальне опалення. Крім того, інфрачервоне випромінювання позитивно впливає на організм птиці, особливо на молодняк.

**Актуальність дослідження.** Існує потреба застосування додаткових заходів підвищення енергоефективності системи теплозабезпечення пташника. Комплексне застосування си-

стеми інфрачервоного опалення у поєднанні з системою геотермальної вентиляції дозволить значно скоротити енерговитрати об'єкту та покращити екологічні показники системи в цілому.

Робота геотермальної системи вентиляції полягає в використанні енергії ґрунту для часткового нагрівання припливного повітря, що надходить до приміщення пташника. Також доцільним є застосування додаткових заходів рекуперації теплоти витяжного повітря з пташника.

**Останні дослідження та публікації.** На глибині 3 м і більше температура ґрунту протягом року практично не змінюється і приблизно дорівнює середньорічній температурі зовнішнього повітря. На глибині 1,5...3,2 м взимку температура коливається від +5°C до +7°C, а влітку від +10°C до +12°C [2, 3]. Під землею нижче рівня промерзання ґрунту встановлюється система повітроводів, які виконують функцію теплообмінника між землею та повітрям, що проходить цими каналами. Взимку припливне холодне повітря, що потрапляє в будинок і проходить через ґрунтовий теплообмінник, нагрівається, а влітку – охолоджується. При раціональному розподілі повітроводів можна виводити з ґрунту значну кількість теплової енергії з низькими витратами невідновлюваної енергії [5]. Тому енергію земних надр доцільно використовувати для попереднього нагрівання

зовнішнього повітря у механічних системах вентиляції [4].

**Формулювання цілей статті.** Мета даної роботи розробити систему подачі теплоти для пташника із інтегрованим застосуванням ґрунтового теплообмінника для нагріву припливного повітря, та інфрачервоного обігрівача для локального обігріву місця розміщення птиці. При цьому слід отримати раціональні розміри модуля для вирощування птиці задля ефективного забезпечення технологічного процесу.

**Основна частина.** На основі аналізу діючих систем теплопостачання в зоні перебування птиці запропоновано модульне вирощування птиці як альтернативу традиційному вирощуванню птиці в клітках. При такому способі вирощування є можливість утримувати різновікові групи птиці і забезпечувати температурний режим відповідно до її зростання. Використання модульного вирощування птиці можливо як у всьому пташнику, так і в окремих господарствах як окремому підрозділі [6, 7].

При розробці моделі модуля вирощування птиці виникає необхідність вибору його раціональних конструктивних параметрів. Якщо відомий допустимий діапазон зміни деяких параметрів модуля, то з усього можливого набору потрібно вибрати найбільш доцільні варіанти. Ефективність розв'язку визначалася наявністю бінарного відношення вибору  $R$ , у якому з двох альтернативних варіантів було обрано кращий.

Позначимо через  $x$  раціональний розв'язок і через  $\Omega$  набір допустимих розв'язків. Кожен розв'язок  $x$  від  $\Omega$  відповідає одному з  $n$  числових показників  $X_1(x), \dots, X_n(x)$ . При порівнянні двох варіантів  $x_1, x_2 \in \Omega$ , умова  $x_1 R x_2$  повинна бути виконана [8].

Розміри модуля визначалися з умов технологічного процесу при максимальних показниках випуску продукції в пташнику з урахуванням нормованої щільності посадки птиці,  $n_{\text{норм}} = 0,035 \text{ м}^2$  на голову та нормованої інтенсивності опромінення підлоги у діапазоні  $q_{\text{норм}} = 174 \dots 290 \text{ Вт/м}^2$ .

При опаленні модуля інфрачервоним нагрівачем радіаційна складова передачі теплоти відіграє важливу роль у забезпеченні комфортних умов перебування птиці в модулі.

Зі збільшенням швидкості повітря, м/с, у модулі збільшується інтенсивність конвективної теплопередачі над нагрітою поверхню підлоги. Внаслідок цього знижується температура поверхні підлоги та тіла птиці, що призводить до їхнього швидкого охолодження.

Тому критерієм оцінки раціональних розмірів модуля є мінімальна швидкість припливного повітряного потоку в модулі,  $v_{\text{пр}}$ , м/с, яка знаходиться в межах  $v_{\text{пр}} = 0,2 \dots 0,3 \text{ м/с}$ .

$$v_{\text{пр}} = G_{\text{пр}} / (3600 F_{\text{пр}} \rho_{\text{пр}}) \rightarrow \min, \text{ м/с}, \quad (1)$$

де  $G_{\text{пр}}$  – масова витрата припливного повітря, кг/год;  $F_{\text{пр}}$  – площа припливного повітророзподільника,  $\text{м}^2$ ;  $\rho_{\text{пр}}$  – густина повітря в модулі,  $\text{кг/м}^3$ . У цьому випадку бінарне відношення вибору  $R$  може бути представлене як

$$x_1 R x_2 = v_{\text{пр}}(x_2) > v_{\text{пр}}(x_1). \quad (2)$$

При визначенні раціональних розмірів модуля в зоні розміщення птиці, а саме довжини  $a$  та ширини  $b$ , м, вводяться обмеження на кількість птиці в модулі  $n \leq n_{\text{норм}}$  та інтенсивність опромінення підлоги  $q \leq q_{\text{норм}}$ .

У табл. 1 представлені результати вирішення проблеми вибору раціональних параметрів модуля вирощування птиці.

Таблиця 1

Результати вирішення проблеми вибору раціональних параметрів модуля

Номер гілки еволюційного пошуку	$a$	$b$	$v_{\text{пр}}$ , м/с
1	1,2	0,8	0,2
2	1,2	1,6	0,26
3	1,2	2,4	0,3

З урахуванням умови критерію вибираються раціональні параметри модуля: довжина 1,2 м і ширина 0,8 м. Для розміщення максимальної кількості модулів у пташнику висоту модуля прийнято 1,5 м.

Інженерний спосіб розрахунку проектних розмірів інфрачервоного обігрівача полягає у визначенні площі поверхні опромінення модуля з відомими його раціональними параметрами, а саме площі модуля та висоти установки нагрівача (рис. 1).

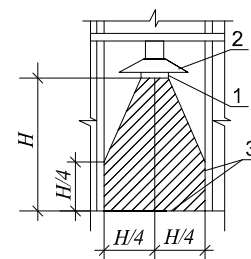


Рис. 1. Опромінення поверхні модуля інфрачервоним нагрівачем:

- 1 - інфрачервоний обігрівач, 2 - витяжна витяжка,
- 3 - поверхня опромінення

Залежність площі опромінення в модулі  $F_{\text{опром}}$ ,  $\text{м}^2$ , від розмірів інфрачервоного нагрівача,  $\text{м}$ , і висоти встановлення випромінювача  $H$ ,  $\text{м}$ , буде мати вигляд:

$$F_{\text{випром}} = (a_{\text{нагр}} + H) (b_{\text{нагр}} + H), \quad (3)$$

Тут  $a_{\text{нагр}}$  – довжина нагрівача,  $\text{м}$ ;  $b_{\text{нагр}}$  – ширина нагрівача,  $\text{м}$ .

При відомих конструктивних розмірах модуля та висоті встановлення нагрівача, отриманих з бінарного співвідношення вибору, розміри інфрачервоного обігрівача будуть рівними  $0,54 \times 0,1 \text{ м}$ .

Модулі розташовані у два яруси з передбаченими у пташнику зонами для технологічного обслуговування (рис. 2).

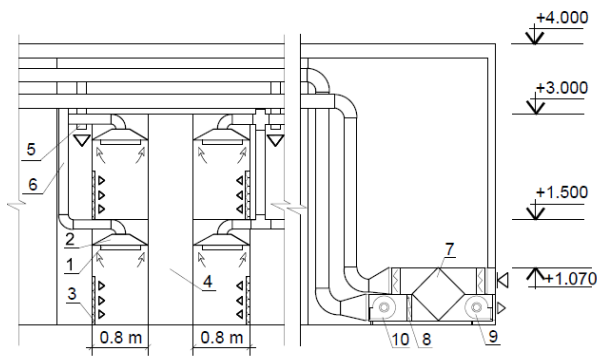


Рис. 2. Розташування модулів у пташнику з рекуперацією теплоти:

- 1 – інфрачервоний обігрівач; 2 – витяжний зонт;
- 3 – перфорований повітророзподільник; 4 – зона технологічного обслуговування; 5 – припливний повітровід;
- 6 – витяжний повітровід; 7 – рекуператор теплоти;
- 8 – калорифер; 9 – вентилятор на всмоктуванні;
- 10 – вентилятор на нагнітанні

Нагрівальним елементом у модулі є інфрачервоний випромінювач 1, який слугує для нагріву поверхонь. Повітря нагрівається за рахунок конвективного теплообміну. Через перфорований повітророзподільник 5 подається припливне повітря для асиміляції надлишку теплоти та вологи протягом усього технологічного процесу. Видалення забрудненого повітря відбувається за допомогою витяжного зонта 2. Надалі це повітря застосовується для нагрівання зовнішнього повітря в рекуператорі 6.

Приєднання модуля до припливно-витяжної системи з пластинчастим рекуператором дозволяє знизити енерговитрати, пов'язані з нагріванням відпрацьованого повітря. Нагрівач повітря 8 використовується для нагрівання припливного повітря до необхідних параметрів після секції рекуператора.

Для економії енергії на нагрівання повітря в повітронагрівачі необхідно застосувати ґрунтовий теплообмінник.

На рис. 3 наведена принципова схема системи геотермальної вентиляції із застосуванням ґрунтового теплообмінника з вентиляційною установкою з рекуперацією теплоти.

Система розроблена для використання теплоти землі. У ґрунт прокладені повітроводи 2, у яких холодне повітря нагрівається завдяки низькотемпературній теплоті ґрунту. При проходженні через установку з рекуперацією теплоти 11, повітря нагрівається до необхідної температури і надходить до пташника.

Повітря, що видаляється із зони розміщення птиці, надходить до рекуператора теплоти і нагріває припливне повітря. Таким чином відбувається економія енергії для додаткового нагрівання повітря у вентиляційній установці.

Оскільки температура ґрунту протягом року сильно не змінюється, а температура навколишнього середовища змінюється, рекуперація теплоти відбувається завдяки різниці температури.

Влітку температура зовнішнього повітря досить висока. Коли повітря проходить повітроводами під землею, воно віддає частину своєї теплоти до ґрунту і потрапляє до споруди охолодженим.

**Висновки.** Розроблена система подачі теплоти для пташника із інтегрованим застосуванням ґрунтового теплообмінника для нагріву припливного повітря та інфрачервоного обігрівача для локального обігріву зони перебування птиці забезпечує енергоефективне вирощування птиці.

Отримані розміри модуля для вирощування птиці дозволяють ефективно вести технологічний процес. Доцільні розміри інфрачервоного обігрівача становлять  $0,54 \times 0,1 \text{ м}$ . Модулі розташовані в два яруси, з зонами технологічного обслуговування в пташнику.

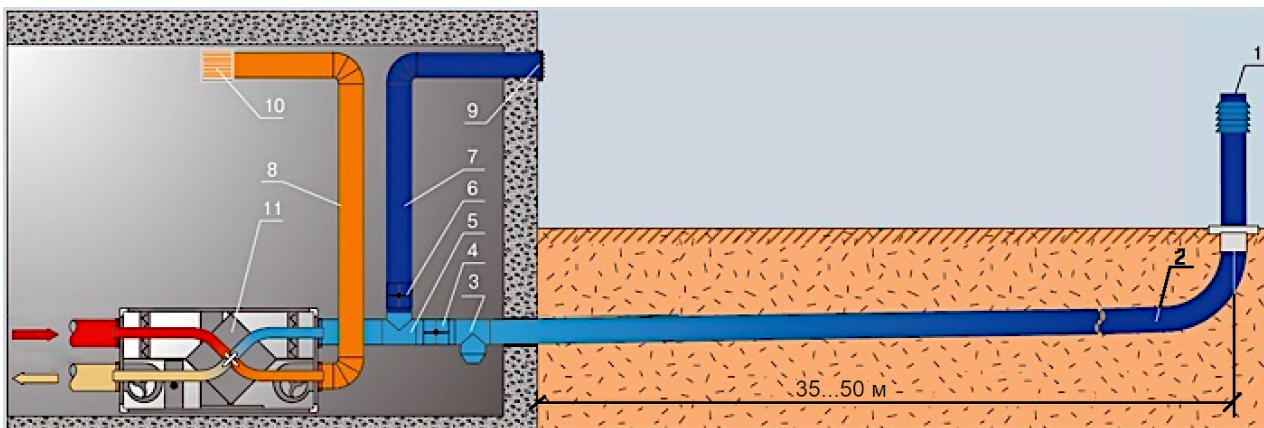


Рис. 3. Принципова схема системи геотермальної вентиляції [9]:

1 – колонка подачі повітря, 2 – повітровід ґрунтового теплообмінника, 3 – пристрій для збору та відведення конденсату, 4 - автоматичний затворний клапан, 5 – трійник, 6 – автоматичний байпас, 7 - байпасний канал живлення, 8 – витяжний повітровід, 9 – припливна решітка, 10 - витяжна решітка, 11 – припливно-витяжна система з рекуперацією теплоти

### Література

1. Dolgikh D. Results of Experimental Studies of the Air Heat Exchanger / D. Dolgikh, O. Kovyazin, Ye. Rensevich // Design, Manufacture and Operation of Agricultural Machinery. – 2013. – No. 43 (1). – p. 263-267.
2. Nakorchevsky A. Optimal design of ground heat exchangers / A. Nakorchevsky, B. Basok // Industrial Heat Engineering. – 2005. – No. 27(6). – p. 27-31.
3. Nakorchevsky A. Problems of soil heat accumulation and methods of their solution / A. Nakorchevsky, A. Basok, T. Belyaeva // Industrial Heat Engineering. – 2003. – No. 25(3). – p. 42-50.
4. Савченко О. Технічні передумови влаштування геотермальної вентиляції пасивних будинків / О. Савченко, В. Желих, К. Дуднік, О. Конончук // Вісник НУ «ЛП» «Теорія і практика будівництва». – 2015. – № 823. – с. 281-285.
5. Zhelykh V. Improving efficiency of heat exchange of horizontal ground-air heat exchanger for geothermal ventilation systems / V. Zhelykh, O. Savchenko, V. Matushevych // Fyzyka Budowli w Teorii i Praktyce. – 2016. – 8. – № 4. – p. 43-46.
6. Zhelykh V. Analysis of the Processes of Heat Exchange on Infrared Heater Surface / V. Zhelykh, M. Ulewicz, N. Spodyniuk, S. Shapoval, V. Shepichak // Diagnostyka. – 2016. – No. 3(17). – p. 81-85.
7. Spodyniuk N. Combined Heating Systems of Premises for Breeding of Young Pigs And Poultry / N. Spodyniuk, V. Zhelykh, O. Dzeryn // FME Transactions. - 2018. – No. 46. – p. 651-657. DOI: 10.5937/fmet1804651S
8. Волошин О.Ф. Моделі та методи прийняття рішень: навчальний посібник / О.Ф. Волошин, С.О. Машенко. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. – 336 с.
9. Свинчук В. О., Коберський Д. В. Аналіз доцільного впровадження ґрунтових теплообмінників для створення мікроклімату в виробничих приміщеннях та в індивідуальних будинках фермерських господарств АПК Житомирської області // Студентські наукові читання. – 2013: Наук.-теор. зб. – 2014. – Т. IV. – С. 101-112.

### References

1. Dolgikh D., Kovyazin O., Rensevich Ye. "Results of Experimental Studies of the Air Heat Exchanger." *Design, Manufacture and Operation of Agricultural Machinery*, Vol. 43, No.1, 2013, pp. 263-267.
2. Nakorchevsky A., Basok B. "Optimal design of ground heat exchangers." *Industrial Heat Engineering*, Vol. 27, No.6, 2005, pp. 27-31.
3. Nakorchevsky A., Basok A., Belyaeva T. "Problems of soil heat accumulation and methods of their solution." *Industrial Heat Engineering*, Vol. 25, No.3, 2003, pp. 42-50.
4. Savchenko O., Zhelykh V., Dudnik K., Kononchuk O. "Tekhnichni peredumovy vlashtuvannya heotermalnoi ventilyatsii pasyvnykh budynkiv." *Visnyk NU «LP» «Teoriia i praktyka budivnytstva»*, Vol. 823, 2015, pp. 281-285.
5. Zhelykh V., Savchenko O., Matushevych V. "Improving efficiency of heat exchange of horizontal ground-air heat exchanger for geothermal ventilation systems." *Fyzyka Budowli w Teorii i Praktyce*, Vol.8, No. 4, 2016, pp. 43-46.
6. Zhelykh V., Ulewicz M., Spodyniuk N., Shapoval S., Shepichak V. "Analysis of the Processes of Heat Exchange on Infrared Heater Surface." *Diagnostyka*, Vol. 3, No.17, 2016, pp. 81-85.
7. Spodyniuk N., Zhelykh V., Dzeryn O. "Combined Heating Systems of Premises for Breeding of Young Pigs And Poultry." *FME Transactions*, No. 46, 2018, pp. 651-657. DOI: 10.5937/fmet1804651S
8. Voloshin O. F., Mashchenko S. O. *Models and methods of decision-making*. Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr «Kyivskiy universytet», 2006, 336 p.

9. Svyinchuk V. O., Koberskyi D. V. "Analiz dotsilnoho vprovadzhennia gruntovykh teploobminnykiv dlia stvorennia mikroklimatu v vyrobnychkykh prymishchenniakh ta v individualnykh budynkakh fermerskykh hospodarstv APK Zhytomyrskoi oblasti". *Studentski naukovi chytannia*. 2013. 2014. Vol. IV. P. 101-112.

УДК 636.03

## Применение геотермальной вентиляции для теплоснабжения помещений птичников

Н. А. Сподинюк<sup>1</sup>, Л. П. Горбаченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина, n\_spoduniuk@meta.ua, ORCID: 0000-0002-2865-9320

<sup>2</sup>преподаватель. Львовский технико-экономический колледж национального университета «Львовская политехника», г. Львов, Украина, lililviv72@gmail.com

*Аннотация. Существует потребность дополнительных мероприятий по повышению энергоэффективности системы теплообеспечения птичника. Комплексное применение системы инфракрасного отопления в сочетании с системой геотермальной вентиляции позволит значительно сократить энергозатраты объекта и улучшить экологические показатели системы в целом. Работа геотермальной системы вентиляции заключается в использовании энергии почвы для частичного нагрева приточного воздуха, поступающего в помещение птичника. Также целесообразно применение дополнительных мероприятий по рекуперации теплоты вытяжного воздуха из птичника. В работе представлена разработанная система подачи теплоты для птичника с интегрированным применением грунтового теплообменника для нагрева приточного воздуха и инфракрасного обогревателя для локального обогрева зоны пребывания птицы. Показана эффективность применения такой системы. Получены результаты исследований рациональных структурных размеров модуля для выращивания птицы. Размеры инфракрасного обогревателя равны 0,54x0,1 м. Модули расположены в два яруса, с зонами технологического обслуживания в птичнике.*

*Ключевые слова: инфракрасное отопление, геотермальная энергия, почвенный теплообменник, птичник.*

UDC 636.03

## Application of Geothermal Ventilation for Heat Supply of Poultry Premises

N.A. Spodyniuk<sup>1</sup>, L.P. Horbachenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, n\_spoduniuk@meta.ua, ORCID: 0000-0002-2865-9320

<sup>2</sup>lecturer, Lviv Technical and Economic College, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, lililviv72@gmail.com

*Abstract. The facilities of the agricultural complex are the most energy-intensive and require additional energy-saving measures through the introduction of energy-efficient heat supply systems. Considering the necessary microclimate in the premises of agricultural complexes, in particular poultry houses, there are significant energy costs. Therefore, there is a need for additional measures to be taken to improve the energy efficiency of heat supply systems in a poultry house. Based on the analysis of existing heat supply systems in the poultry area, modular poultry production is proposed and substantiated as an alternative to traditional poultry farming in cages. With this method of cultivation, it is possible to keep different age groups of birds and to carry out the appropriate temperature regime as they grow. The integrated use of infrared heating in combination with geothermal ventilation will significantly reduce the energy consumption of the facility and improve the environmental performance of the system as a whole. The work of the geothermal ventilation system is to use the energy of the soil to partially heat the supply air entering the poultry house. As the soil temperature does not change much during the year and the ambient temperature changes, the recovery occurs due to the temperature difference. In summer, the outside air temperature is high. When the air passes through the underground ducts, it gives off some of its heat to the soil. Therefore, the inlet air cools before coming to the air handling unit. It is also advisable to apply additional heat recovery measures using the heat potential of the exhaust air from the house. The work presents the developed system of heat supply for the poultry house with the integrated ground heat exchanger for heating of the supply air and an infrared heater for local heating of the stay of the bird. The effectiveness of such systems is shown. The results of studies of rational dimensions for the poultry breeding module have been obtained. The size of the infrared heater is 0.54 × 0.1 m. The modules are located in two tiers, with technological areas in the poultry house.*

*Keywords: infrared heating, geothermal energy, soil heat exchanger, poultry house.*

Надійшла до редакції / Received 06.09.2019.