

CFD МОДЕЛЮВАННЯ МОДУЛЬНОГО УТРИМАННЯ ПТИЦІ

В. І. Троханяк, кандидат технічних наук, доцент

Н. А. Сподинюк, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: trohaniak.v@gmail.com

Анотація. *Інтенсивне вирощування птиці в промислових умовах здійснюється переважно в приміщеннях, обладнаних системами механічної вентиляції. Частота теплового стресу організму постійно зростає через неякісне регулювання параметрів мікроклімату, що впливає на продуктивність птиці. Альтернативою традиційним системам теплозабезпечення приміщень пташників можуть бути системи інфрачервоного опалення.*

Мета дослідження – модернізація способу утримання птиці на основі принципу її секційного вирощування.

Для якісного і одночасно, різновікового вирощування птиці запропоновано модульне утримання. Системою теплозабезпечення модуля служить панельний інфрачервоний нагрівач. Він призначений для локального нагріву технологічної зони. Конструктивні розміри модуля визначалися з міркувань якісного перебігу технологічного процесу, а саме щільності посадки птиці. Для більш якісного представлення температурного режиму в модулі проведено CFD моделювання. Отримано поля швидкостей, тисків і температур. Температура повітря поблизу птиці у модулі сягає 18,6 °C, а середня швидкість не перевищує 0,75 м/с.

Ключові слова: *птиця, модульне утримання птиці, CFD, інфрачервоний нагрівач, система вентиляції*

Актуальність. *Інтенсивне вирощування птиці в промислових умовах здійснюється переважно в обмежених тваринницьких приміщеннях, обладнаних системами механічної вентиляції. Частота теплового стресу організму постійно зростає через неякісне регулювання мікрокліматичних параметрів. Це в свою чергу впливає на продуктивність птиці, наприклад, на щоденний приріст ваги, смертність, коефіцієнт конверсії корму тощо [1]. Отже, альтернативою традиційним системам теплозабезпечення приміщень пташників можуть бути системи локального нагрівання, такі як системи інфрачервоного опалення.*

При правильному розташуванні інфрачервоних випромінювачів відбувається нагрівання тільки тієї зони, де перебуває птиця. Така особливість випромінювачів дозволяє уникнути необхідності в опаленні всього об'єму пташника. Крім цього, самі нагрівачі легкі в регулюванні та забезпечують необхідну температуру повітря,

що змінюється з ростом птиці. При додатковому застосуванні комплексу автоматики разом з системою інфрачервоного опалення можна отримати значний економічний ефект [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З санітарно-гігієнічної точки зору інфрачервоне випромінювання позитивно впливає на фізіологічний стан птиці, особливо на молодняк. Теплообмін при інфрачервоному випромінюванні відбувається за відсутності проміжного середовища між двома поверхнями при різних температурах. Таким чином, характер покриття поверхні відіграє велику роль у процесі поглинання інфрачервоних променів [3].

Дифузна природа теплопередачі випромінюванням показана в роботі [4], де на прикладі інфрачервоного нагрівача потужністю 600 Вт описана методика дослідження розподілу теплового потоку. Показано, що ефективність випромінювача зростає із початковим збільшенням електричної потужності та стабілізується при значенні близько 52 %. Також доведено, що рівномірність розподілу променевого теплового потоку покращується із віддаленням від обігрівача.

У статті [5] наведені результати дослідження променевого теплового потоку при висотах встановлення нагрівача від 1,22, до 1,98 м над вимірювальною площиною. Це доводить той факт, що вибір типу інфрачервоного нагрівача залежить напряму від геометричних розмірів приміщення, геометричного розташування обладнання, джерел тепла, площі зони опромінення. Таким чином підтверджується вплив багатьох факторів на формування температурного режиму в зоні опромінення.

Достатньо уваги приділено конструкції самого нагрівача, оскільки наявність додаткових відбивачів дозволить підвищити ефективність випромінювання. У роботі [6] наведено експериментально-чисельний аналіз параболічного відбивача з променевим джерелом тепла з різною шириною входу, яка впливає на розподіл температури. У статті [7] запропонований нагрівач з використанням кільцевого циліндричного променевого пальника, встановленого всередині конічного відбивача з нержавіючої сталі. При цьому відбивач не тільки перефокусовує спрямований випромінювальний потік пальника, але також бере участь у теплообміні з димовими

газами і виділяє додатковий променевий потік. Всі ці особливості показують ефективність застосування інфрачервоних випромінювачів у сільському господарстві, зокрема, в пташниках.

Автори статті [8] запропонували нову систему охолодження в пташнику з використанням теплообмінних апаратів спеціальної конструкції [9]. Провели CFD моделювання потоків повітря і тепло- масообміну в приміщенні пташника. У них як охолоджувач використовується вода підземних свердловин. Дано рекомендації з вибору конструкції систем вентиляції в пташниках. У продовженні даних досліджень [10] автори оптимізували висоту витяжних вентиляторів. Показано, що вентиляційне обладнання доцільно встановлювати на висоті 1,5 м. При цьому зменшується величина застійних зон та нерівномірність розподілу швидкості повітря поблизу птиці.

З метою зниження витрати енергії та підвищення якісних показників повітряного середовища під час забезпечення необхідних умов утримання птиці [11] автори провели експериментальні дослідження та чисельне моделювання. У процесі досліджень вони досягнули зменшення енерговитрат для забезпечення мікроклімату під час вирощування бройлерів та підвищили якість повітряного середовища пташників. Це дало змогу зменшити витрату кормів та втрати поголів'я птиці і, як результат, підвищити економічну ефективність виробництва та якість готової продукції.

У роботі [12] модернізовано конструкцію пташника. Проведено CFD моделювання і знайдене ефективне розташування припливних клапанів для бокової системи вентиляції. Авторами рекомендується в подальшому на етапі проведення проектування бокової системи вентиляції врахувати, що припливні клапани встановлювати не нижче, ніж на висоті 200 мм від рівня перекриття.

У працях [13-15] автори досліджували доцільність використання технології IoT у сільськогосподарському виробництві та розробці енергоефективного методу управління модульним електричним комплексом.

Мета дослідження – модернізація способу утримання птиці на основі принципу її секційного вирощування.

Матеріали та методи дослідження. На основі принципу секційного вирощування птиці запропоновано модульне утримання курчат-бройлерів. Системою теплозабезпечення модуля служить панельний інфрачервоний нагрівач, призначений для локального нагрівання технологічної зони. Для забезпечення постійного надходження свіжого припливного повітря та асиміляції шкідливостей у модулі передбачено припливно-витяжну систему вентиляції.

Такий спосіб вирощування птиці має ряд переваг. У першу чергу – це можливість застосування модулів як при промисловому вирощуванні, так і в межах індивідуальних фермерських господарств. Оскільки промисловий спосіб вирощування птиці передбачає скупчення великої її кількості в одному пташнику, можливе виникнення і швидке поширення інфекційних захворювань. Завдяки локальному мікроклімату, передбаченому в модулі, можна запобігти цьому негативному явищу. Крім того, є можливість утримувати різновікові категорії птиці в одному пташнику, забезпечувати температурний режим за мірою росту птиці.

При зміні температури повітря в модулі від +16 до +35 °С, швидкості повітря від 0,2 до 0,3 м/с та якісному регулюванні цих параметрів, системи інфрачервоного опалення та вентиляції забезпечують нормовану температуру повітря в зоні опромінення [16]. При цьому необхідні температурні умови змінюються за мірою росту птиці.

Конструктивні розміри модуля визначалися з міркувань якісного перебігу технологічного процесу, а саме забезпечення максимальних показників виходу продукції в пташнику з врахуванням нормованої щільності посадки птиці $n_{\text{норм}}=0,035 \text{ м}^2$ на 1 голову та нормованої інтенсивності опромінення підлоги $q_{\text{норм}}=174...290 \text{ Вт/м}^2$ [17].

У табл. 1 наведено результати вирішення задачі вибору раціональних параметрів модуля вирощування птиці.

1. Раціональні геометричні параметри модуля

Параметр	Значення
Площа модуля F , м ²	0,96
Довжина модуля a , м	1,2
Ширина модуля b , м	0,8
Висота модуля H , м	1,5
Розміри інфрачервоного нагрівача $a_{\text{нагр}} \times b_{\text{нагр}}$, м	0,1x0,54
Площа опромінення $F_{\text{опром}}$, м ²	3,26

На основі визначених раціональних параметрів модуля вирощування птиці була спроектована дослідна установка, яка зображена на рис. 1.

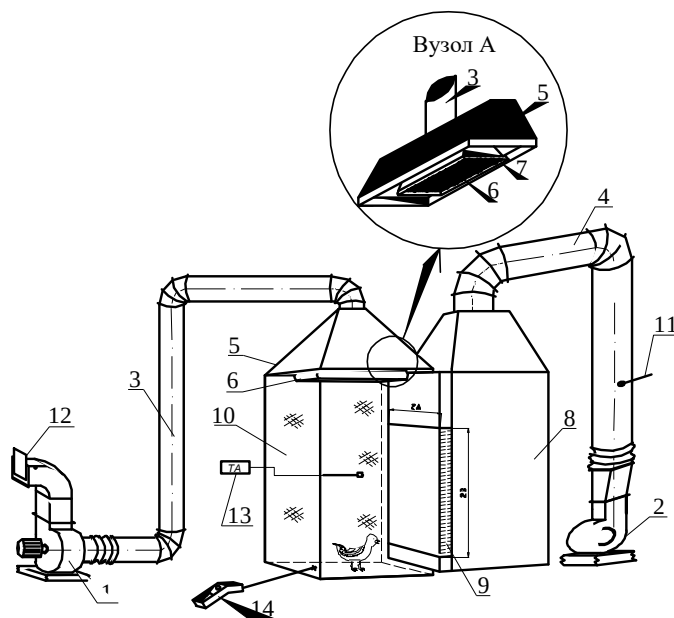


Рис. 1. Схема спроектованої установки для дослідження параметрів теплового режиму технологічної зони модуля для утримання птиці:

1 – витяжний вентилятор типу Ц4-70 №2,5; 2 – припливний вентилятор типу Ц4-70 № 2,5; 3 – витяжний повітропровід; 4 – припливний повітропровід; 5 – витяжний зонт; 6 – інфрачервоний нагрівач типу QH 1500; 7 – рефлектор; 8 – камера статичного тиску; 9 – повітророзподільник; 10 – модуль утримання птиці; 11, 12 – шибери; 13 – термоанемометр типу АТТ – 1004; 14 – пірометр типу «Німбус-530/1»

Для якіснішої оцінки теплового стану в модулі та мікроклімату в цілому проведено чисельне моделювання. Для економії комп'ютерного розрахункового часу проводилось чисельне моделювання лише в модулі утримання птиці 9.

Підготовлена геометрична модель з виділеними граничними умовами представлена на рис. 2, а.

В основі математичної моделі лежать рівняння Нав'є-Стокса [8, 18], рівняння переносу енергії для конвективних течій та рівняння нерозривності. У розрахунках застосована модель турбулентності Spalarta-Allmarasa [19-20] та модель випромінювання Discrete Ordinates [21].

Витрата припливно-витяжного повітря - $800 \text{ м}^3/\text{год}$ ($0,02722 \text{ кг/с}$). Інтенсивність опромінення інфрачервоного нагрівача - 7238 Вт/м^2 . Ступінь чорноти поверхні нагрівача - 0,7. Температура птиці - 41°C .

При чисельному моделюванні гідродинаміки і тепло- масопереносу використовувався метод кінцевих елементів. При побудові сітки для зони модуля (рис. 2, б) використано метод локального управління сіткою. Показник якості сітки Orthogonal Quality відповідає близько 0,274. Мінімальний розмір елемента становив 0,005 м, максимальний – 0,02 м. Кількість елементів - 1747410, кількість граней - 2381752. У розрізі чітко видно виступаючу сітку, завдяки чому можна краще оцінити якість та недоліки самої сітки. Також ми помічаємо згущення сітки поблизу інфрачервоного нагрівача.

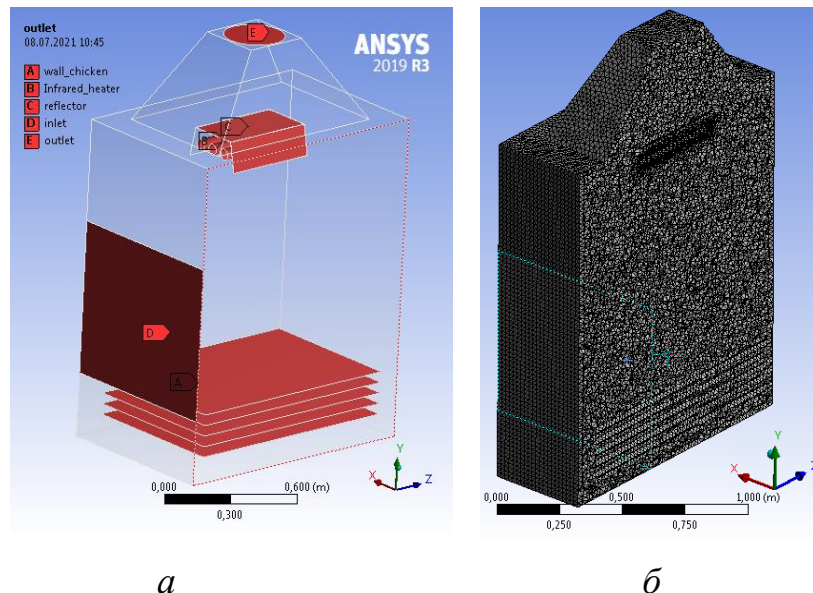


Рис. 2. Геометрична модель (а) та сітка (б) зони модуля для утримання птиці

Результати досліджень температурного режиму модуля для вирощування птиці порівнювалися з нормованими значеннями за санітарно-гігієнічними вимогами [17] та чисельним моделюванням (табл. 2).

Нагрівання повітря в модулі відбувалося внаслідок конвективного теплообміну між нагрітою поверхнею тіла птиці та оточуючим повітрям. Тому вимірювалася температура на поверхні пір'я птиці та, як результат, температура повітря в модулі.

Для більш ґрунтовного дослідження впливу інфрачервоного опромінення на організм птиці, яка розміщувалася під нагрівачем протягом тривалого часу, було визначено температуру тіла птиці. Як видно з таблиці, температура тіла знаходиться в допустимих межах за санітарно-гігієнічними нормами [17], а отже, організм не зазнає перегрівання, і інфрачервоне випромінювання здійснює позитивний вплив на молодняк.

2. Результати CFD моделювання температурного режиму модуля для вирощування птиці

Результати	CFD	Норми утримання птиці [17]
Теплова потужність нагрівача $Q_{\text{нагр}}$, Вт	1000	400...1500
Висота встановлення нагрівача H , м	1,5	1...1,7
Температура повітря в приміщенні $t_{\text{в}}$, °C	15	15...18
Температура повітря в модулі $t_{\text{м}}$, °C	19,124	16...35
Температура тіла птиці $t_{\text{пт}}$, °C	41,0	40...42

Результати досліджень та їх обговорення. На рисунках 3-9 представлено результати чисельного моделювання. На рис. 3-4 представлено поле швидкостей у модулі для утримання птиці. Максимальна швидкість у зоні границі "вихід" досягає до 10,427 м/с (рис. 3, б). Середня швидкість повітря поблизу птиці 0,75 м/с, що повністю відповідає нормам утримання птиці. Швидкість на границі "вхід" 0,2 м/с.

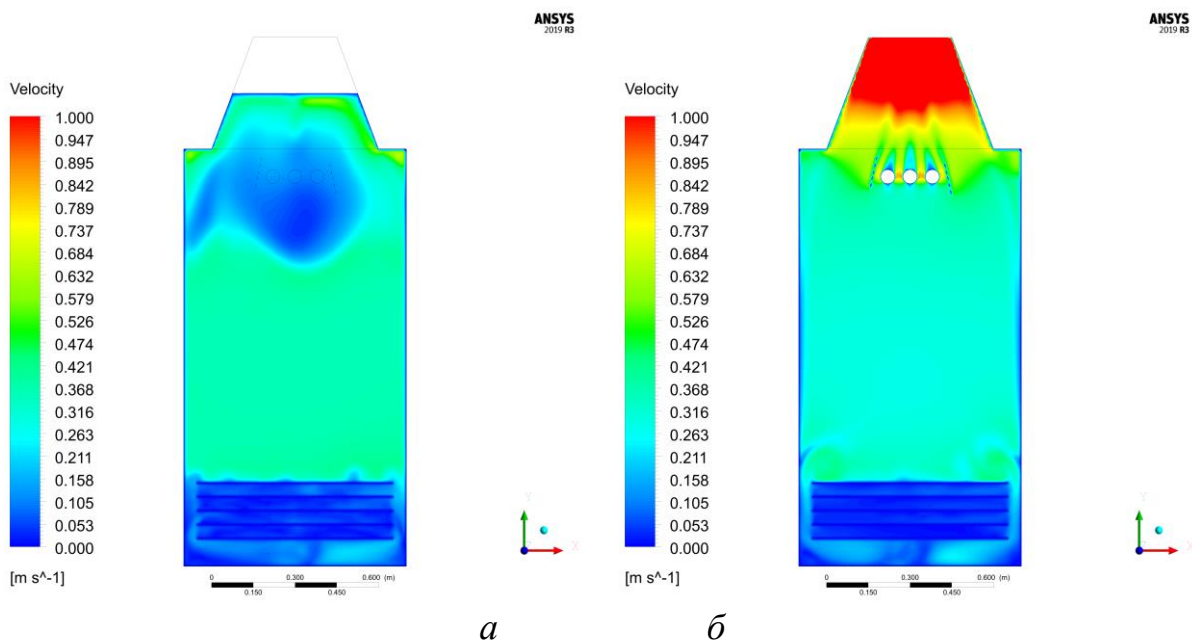


Рис. 3. Поле швидкостей (м/с) у модулі для утримання птиці по осі y :
 a – 0,3 м від стінки; $б$ – 0,6 м від стінки

На рис. 4 спостерігаємо турбулентність потоку в верхній частинні модуля. Потік повітря повільно направляєється до крайньої стінки навпроти границі "вхід" та піднімається вгору.

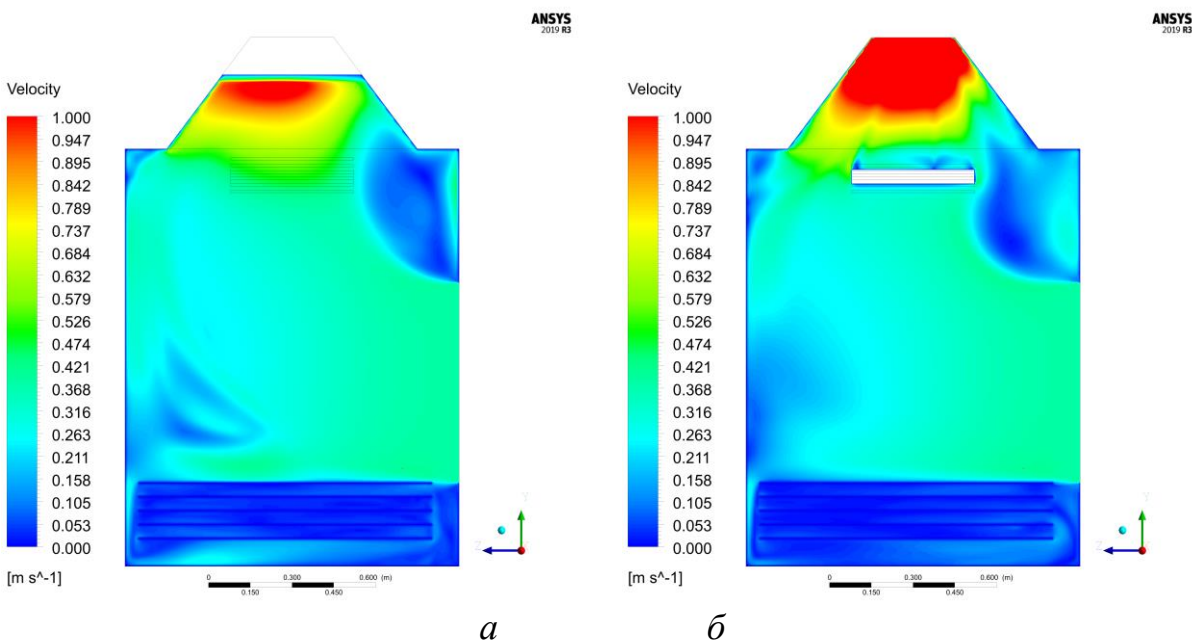


Рис. 4. Поле швидкостей (м/с) у модулі для утримання птиці по осі z :
 a – 0,2 м від стінки; $б$ – 0,4 м від стінки

На рис. 5-6 показано поле тисків у модулі. Максимальний перепад тиску сягає до 10 Па. На границі "вихід" у модулі створюється незначне вакуумування до

5 Па. Явище, яке ми спостерігаємо, є незначним і не впливає на утримання птиці в цілому.

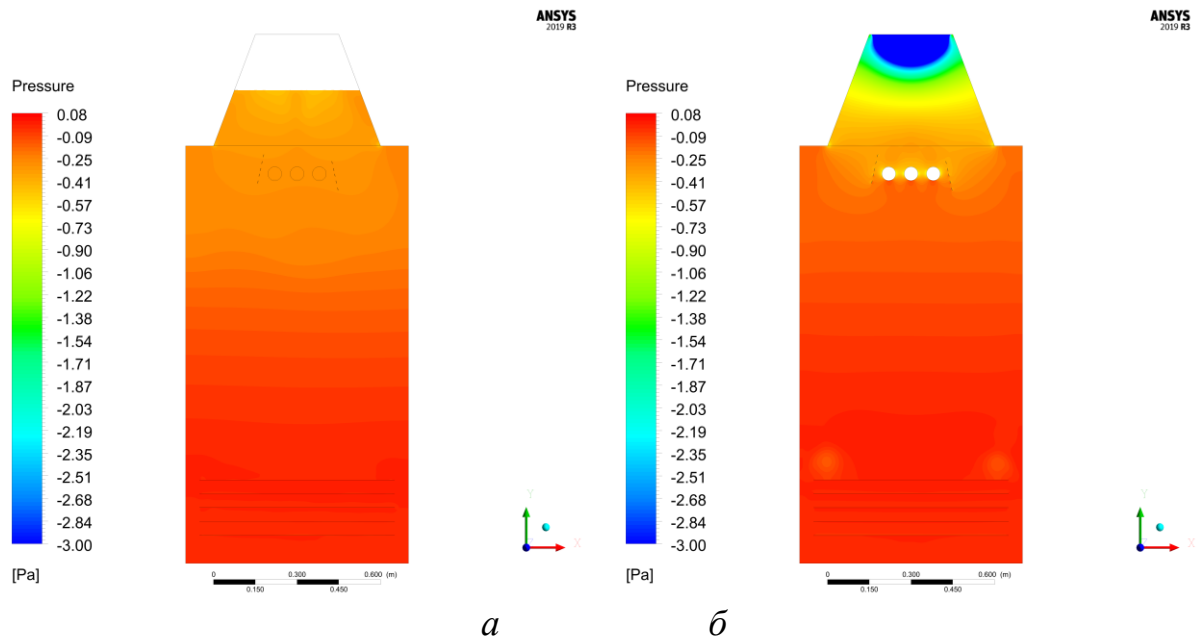


Рис. 5. Поле тисків (Па) у модулі для утримання птиці по осі ху:
a – 0,3 м від стінки; *б* – 0,6 м від стінки

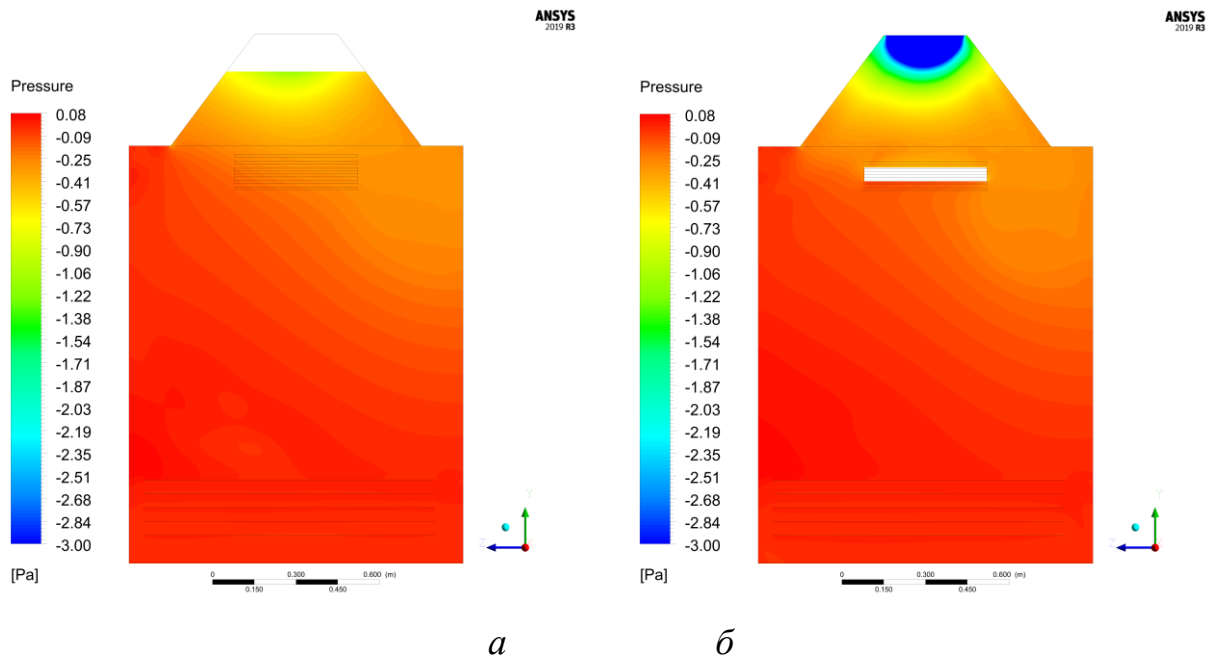


Рис. 6. Поле тисків (Па) у модулі для утримання птиці по осі зу:
a – 0,2 м від стінки; *б* – 0,4 м від стінки

На рис. 7-8 показано поле температур у модулі. Максимальна температура спостерігається поблизу інфрачервоного випромінювача – 154 °С. Птиця модульного утримання, яка обігрівается інфрачервоним обігрівачем, омивається потоком повітря. Тепло відбирається з поверхні тіла птиці і направляється вверху.

Середня температура в модулі дорівнює 18,6 °С, що повністю відповідає нормам утримання птиці [17].

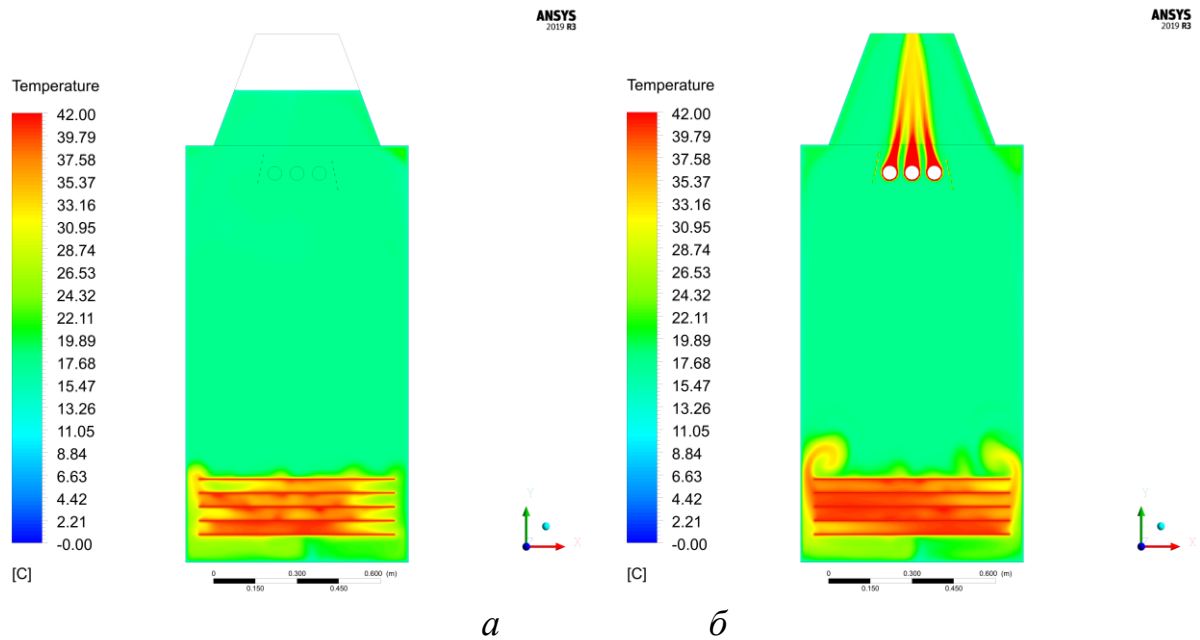


Рис. 7. Поле температур (°С) у модулі для утримання птиці по осі ху:
а – 0,3 м від стінки; *б* – 0,6 м від стінки

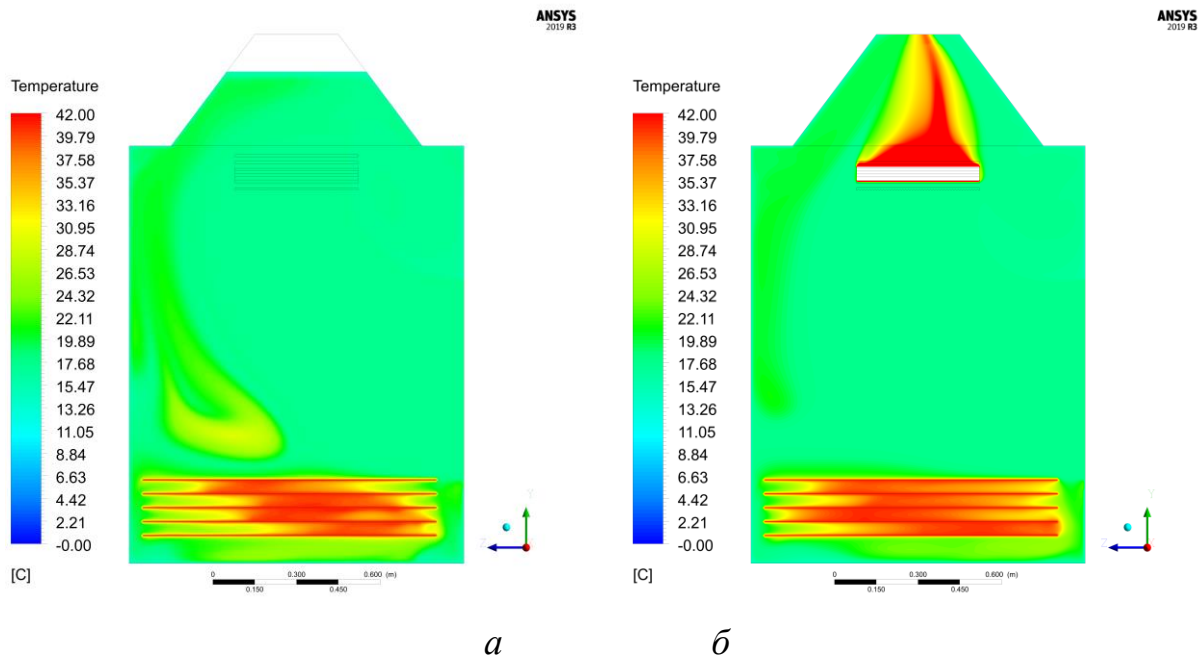


Рис. 8. Поле температур (°С) у модулі для утримання птиці по осі зу:
а – 0,2 м від стінки; *б* – 0,4 м від стінки

Нижче наведено лінії току, м/с (рис. 9, *а*), швидкості повітря, м/с (рис. 9, *б*) та температури повітря, °С (рис. 9, *в*) в модулі для утримання птиці в 3D відображенні. З цих зображень можна більш детально та якісніше оцінити формування мікроклімату в модулі та його вплив на організм птиці.

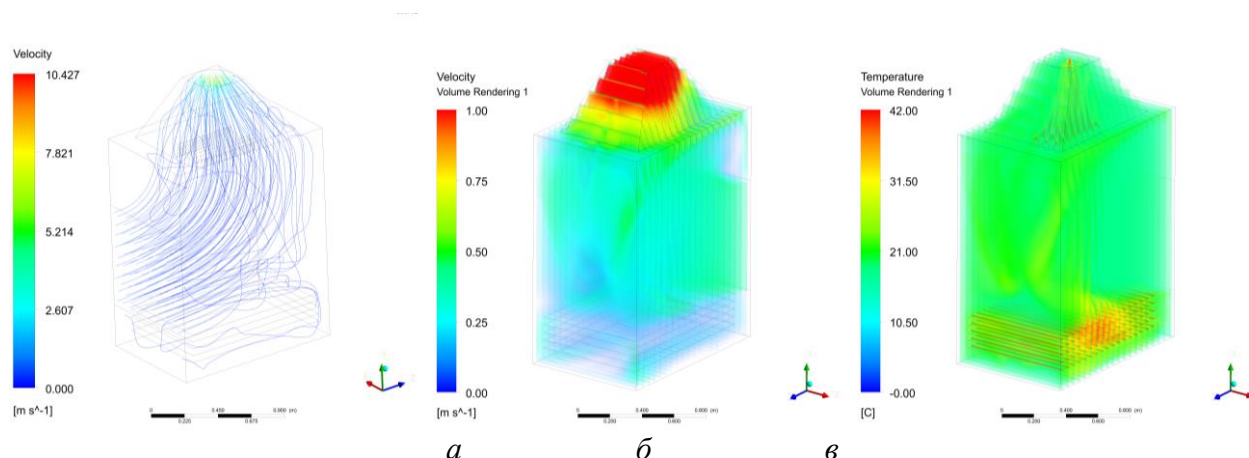


Рис. 9. Лінії току, м/с (а), швидкості повітря, м/с (б) та температури повітря, °С (в) в модулі для утримання птиці в 3D відображенні

Висновки і перспективи.

На основі принципу секційного вирощування птиці запропоновано модульне утримання курчат-бройлерів. Розроблено конструкцію модуля для вирощування птиці з інфрачервоним нагрівачем. Запропонована конструкція є енергоефективною і рекомендується для встановлення в приміщеннях пташників.

Проведено чисельне моделювання модуля для утримання птиці. Отримано поля швидкостей, тисків і температур. Проаналізовано мікроклімат у модулі. Температура повітря поблизу птиці у модулі сягає 18,6 °С, а середня швидкість не перевищує 0,75 м/с.

Список використаних джерел

- 1 Vitt R., Weber L., Zollitsch W., Hortenhuber S.J., Baumgartner J., Niebuhr K., Piringer M., Anders I., Andre K., Hennig-Pauka I., Schönhart M., Schauburger G. Modelled performance of energy saving air treatment devices to mitigate heat stress for confined livestock buildings in Central Europe. Biosystems Engineering. 2017. Вип. 64. С. 85-97.
- 2 Voznyak O., Spodyniuk N., Savchenko O., Sukholova I., Kasynets M. Enhancing energetic and economic efficiency of heating coal mines by infrared heater. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2021. Вип. 2. С. 104-109. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/104>.
- 3 Amanowicz Ł., Wojtkowiak J. Experimental investigations of thermal performance improvement of aluminum ceiling panel for heating and cooling by covering its surface with paint. E3S Web of Conferences. 2018. Вип. 44. 00002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400002>.
- 4 Brown K.J., Farrelly R., O'shaughnessy S.M., Robinson A.J. Energy efficiency of electrical infrared heating elements. Applied Energy. 2016. Вип. 162. С. 581-588. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.064>.

5 Linhoss J.E., Purswell J.L., Davis J.D., Fan Z. Comparing Radiant Heater performance using spatial modeling. Applied Engineering in Agriculture. 2017. Вип. 33. № 3. С. 395-405. <https://doi.org/10.13031/aea.12108>.

6 Lee E.H., Yang D.Y. Experimental and numerical analysis of a parabolic reflector with a radiant heat source. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. Вип. 85. С. 860-864. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.02.042>.

7 Maznoy A., Kirdyashkin A., Pichugin N., Zambalov S., Petrov D. Development of a new infrared heater based on an annular cylindrical radiant burner for direct heating applications. Energy. 2020. Вип. 204. 117965. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117965>.

8 Gorobets V. G., Trokhaniak V. I., Antypov I. O., Bohdan Yu. O. The numerical simulation of heat and mass transfer processes in tunneling air ventilation system in poultry houses. INMATEH: Agricultural Engineering. 2018. Вип. 55. № 2. С. 87-96.

9 Gorobets V. G., Bohdan Yu. O., Trokhaniak V. I., Antypov I. O. Experimental studies and numerical modelling of heat and mass transfer process in shell-and-tube heat exchangers with compact arrangements of tube bundles. MATEC Web of Conferences. 2018. Вип. 240. 02006. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824002006>.

10 Gorobets V. G., Trokhaniak V. I., Rogovskii I. L., Titova L. L., Lendiel T. I., Dudnyk A. O., Masiuk M. Y. The numerical simulation of hydrodynamics and mass transfer processes for ventilating system effective location. INMATEH: Agricultural Engineering. 2018. Вип. 56. № 3. С. 185-192.

11 Trokhaniak V. I., Rutylo M. I., Rogovskii I. L., Titova L. L., Luzan O. R., Bannyi O. O. Experimental studies and numerical simulation of speed modes of air environment in a poultry house. INMATEH Agricultural Engineering. 2019. Вип. 59. № 3. С. 9-18. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-59-01>.

12 Trokhaniak V. I., Rogovskii I. L., Titova L. L., Dziubata Z. I., Luzan P. H., Popyk P. S. Using CFD simulation to investigate the impact of fresh air valves on poultry house aerodynamics in case of a side ventilation system. INMATEH Agricultural Engineering. 2020. Вип. 62. № 3, С. 155-164. <https://doi.org/10.35633/inmateh-62-01>.

13 Kiktev N., Lendiel T., Osypenko V. Application of the internet of things technology in the automation of the production of compound feed and premixes. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings. 2021. Вип. 2833. С. 124-133.

14 Lysenko V., Lendiel T., Komarchuk D. Phytomonitoring in a greenhouse based on arduino hardware. Paper presented at the 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018. Proceedings. 2019. С. 365-368. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632030>.

15 Korobiichuk I., Lysenko V., Reshetiuk V., Lendiel T., Kamiński M. Energy-efficient electrotechnical complex of greenhouses with regard to quality of vegetable production. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. Вип. 543. С. 243-251. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0_30.

16 Spodyniuk N., Lis A. Research of Temperature Regime in the Module for Poultry Growing. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. 100 LNCE, С. 451-458. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_55.

17 ВНТП-АПК-04.05 Відомчі норми технологічного проектування. Підприємства птахівництва. К.: Міністерство аграрної політики України, 2005. 90 с.

18 Горобець В. Г., Богдан Ю. О., Троханяк В. І. Теплообмінне обладнання для когенераційних установок. К.: «ЦП «Компринт», 2017. 203 с.

19 Троханяк В. І. Система енергозбереження у птичниках із використанням низькопотенціальної енергії ґрунту. К.: «ЦП «Компринт», 2018. 386 с.

20 Горобець В. Г., Троханяк В. . Енергоефективна система підтримання мікроклімату у птичівничих приміщеннях : монографія. К.: «ЦП «Компринт», 2017. 195 с.

21 ANSYS. ANSYS Fluent Theory Guide. Release 18.2. Published in the USA. 2017. 832 с.

References

1 Vitt, R., Weber, L., Zollitsch, W., Hortenhuber, S.J., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Piringer, M., Anders, I., Andre, K., Hennig-Pauka, I., Sch€onhart, M., Schauburger, G. (2017). Modelled performance of energy saving air treatment devices to mitigate heat stress for confined livestock buildings in Central Europe. Biosystems Engineering, 64, 85-97.

2 Voznyak, O., Spodyniuk, N., Savchenko, O., Sukholova, I., Kasynets, M. (2021). Enhancing energetic and economic efficiency of heating coal mines by infrared heater. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2, 104-109.

3 Amanowicz, Ł., Wojtkowiak, J. (2018). Experimental investigations of thermal performance improvement of aluminum ceiling panel for heating and cooling by covering its surface with paint. E3S Web of Conferences, 44, 00002.

4 Brown, K. J., Farrelly, R., O'shaughnessy, S. M., Robinson, A. J. (2016). Energy efficiency of electrical infrared heating elements. Applied Energy, 162., 581-588.

5 Linhoss, J. E., Purswell, J. L., Davis, J. D., Fan, Z. (2017). Comparing Radiant Heater performance using spatial modeling. Applied Engineering in Agriculture, 33 (3), 395-405.

6 Lee, E. H., Yang, D. Y. (2015). Experimental and numerical analysis of a parabolic reflector with a radiant heat source. International Journal of Heat and Mass Transfer, 85, 860-864.

7 Maznoy, A., Kirdyashkin, A., Pichugin, N., Zambalov, S., Petrov, D. (2020). Development of a new infrared heater based on an annular cylindrical radiant burner for direct heating applications. Energy, 204, 117965.

8 Gorobets, V. G., Trokhaniak, V. I., Antypov, I. O., Bohdan, Yu. O. (2018). The numerical simulation of heat and mass transfer processes in tunneling air ventilation system in poultry houses. INMATEH: Agricultural Engineering, 55 (2), 87-96.

9 Gorobets V. G., Bohdan Yu. O., Trokhaniak V. I., Antypov I. O. (2018). Experimental studies and numerical modelling of heat and mass transfer process in shell-and-tube heat exchangers with compact arrangements of tube bundles. MATEC Web of Conferences, 240, 02006.

10 Gorobets V. G., Trokhaniak V. I., Rogovskii I. L., Titova L. L., Lendiel T. I., Dudnyk A. O., Masiuk M. Y. (2018). The numerical simulation of hydrodynamics and mass transfer processes for ventilating system effective location. INMATEH: Agricultural Engineering, 56 (3), 185-192.

11 Trokhaniak, V.I., Rutylo M. I., Rogovskii I. L., Titova L. L., Luzan O. R., Bannyi O. O. (2019). Experimental studies and numerical simulation of speed modes of air environment in a poultry house. INMATEH Agricultural Engineering, 59 (3), 9-18.

12 Trokhaniak, V. I., Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Dziubata, Z. I., Luzan, P. H., Popyk, P. S. (2020). Using CFD simulation to investigate the impact of fresh air valves on poultry house aerodynamics in case of a side ventilation system. INMATEH Agricultural Engineering, 62 (3), 155-164.

13 Kiktev, N., Lendiel, T., Osypenko, V. (2021). Application of the internet of things technology in the automation of the production of compound feed and premixes. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings, 2833, 124-133.

14 Lysenko, V., Lendiel, T., Komarchuk, D. (2019). Phytomonitoring in a greenhouse based on arduino hardware. Paper presented at the 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018. Proceedings, 365-368.

15 Korobiichuk, I., Lysenko, V., Reshetiuk, V., Lendiel, T., Kamiński, M. (2017). Energy-efficient electrotechnical complex of greenhouses with regard to quality of vegetable production. Advances in Intelligent Systems and Computing, 543, 243-251.

16 Spodyniuk, N., Lis, A. (2021). Research of Temperature Regime in the Module for Poultry Growing. Lecture Notes in Civil Engineering, 100 LNCE, 451-458.

17 DSTD-AIC-04.05. (2005). Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannia. Pidpriemstva ptakhivnytstva [Departmental standards of technological design. Poultry enterprises]. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 90.

18 Gorobets, V .G., Bohdan, Yu. O, Trokhaniak, V. I. (2018). Heat-exchange equipment for cogeneration plants. Kyiv: «PC «Komprint», 198.

19 Trokhaniak, V. I. (2018). Power saving system in poultry-houses with usage of soil low-potential energy. Kyiv: «PC «Komprint», 386.

20 Gorobets, V. G., Trokhaniak, V. I. (2017). Energy efficient system maintenance microclimate in poultry premises. Kyiv: «PC «Komprint», 195.

21 ANSYS. ANSYS Fluent Theory Guide. Release 18.2. (2017). Published in the USA, 832.

CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДУЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ПТИЦЫ

В. И. Троханяк, Н. А. Сподынюк

Аннотация. *Интенсивное выращивание птицы в промышленных условиях производится преимущественно в помещениях, оборудованных системами механической вентиляции. Частота теплового стресса организма постоянно увеличивается из-за некачественного регулирования параметров микроклимата, что влияет на продуктивность птицы. Альтернативой традиционным системам теплоснабжения помещений птичников могут быть системы инфракрасного отопления.*

Цель исследования – модернизация способа содержания птицы на основе принципа ее секционного выращивания.

Для качественного и одновременно разновозрастного выращивания птицы предложено модульное содержание. Системой теплоснабжения модуля служит панельный инфракрасный нагреватель. Он предназначен для локального нагрева технологической зоны. Конструктивные размеры модуля определялись из

соображений качественного протекания технологического процесса, а именно плотности посадки птицы. Для более качественного представления температурного режима в модуле проведено моделирование CFD. Получены поля скоростей, давлений и температур. Температура воздуха вблизи птицы в модуле составляет 18,6 °C, а средняя скорость не превышает 0,75 м/с.

Ключевые слова: *птица, модульное содержание птицы, CFD, инфракрасный нагреватель, система вентиляции*

CFD MODELING OF MODULAR POULTRY BREEDING

V. Trokhaniak, N. Spodyniuk

Abstract. *Intensive poultry farming in industrial conditions is carried out mainly in rooms equipped with mechanical ventilation systems. The frequency of body heat stress is constantly increasing due to poor regulation of microclimate parameters, which affects the productivity of birds. Infrared heating systems can be an alternative to traditional heating systems for poultry houses.*

The purpose of the study is to modernize the method of keeping poultry based on the principle of its sectional breeding.

For high-quality and simultaneous breeding of different ages of poultry a modular keeping is offered. The heating system of module is a panel infrared heater. It is intended for local heating of technological area. Design dimensions of the module were determined for reasons of qualitative course of technological process, namely the stocking density of poultry. For a better representation of temperature regime in the module CFD modeling was performed. Fields of velocities, pressures and temperatures were obtained. The air temperature near poultry in the module reached 18.6 °C, and the average velocity did not exceed 0.75 m/s.

Key words: *poultry, module for poultry breeding, CFD, infrared heater, ventilation system*