

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ В ПТАШНИКУ ПРИ БІЧНІЙ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Запропонований новий спосіб охолодження зовнішнього повітря у вентиляційних системах пташників, який базується на використанні води з підземних свердловин та теплообмінників рекуператорів для охолодження припливного повітря.

У птахівничому приміщенні пропонується бокова система охолодження в літній період року при температурі зовнішнього повітря +40 °С. У припливній клапані, із зовнішньої сторони пташника, монтуються теплообмінні апарати. Їх кількість складає 40 шт для половини пташника з поперечними розмірами 0,85x0,3 м.

Проведено чисельне моделювання процесів аеродинаміки і теплопереносу в пташниках при тунельній системі вентиляції. В результаті чисельних розрахунків отримано розподіл температур, швидкостей і тисків в повітряному середовищі пташника. У певних точках, в районі входу у припливних клапанів, максимальна швидкість повітря досягає до 11,62 м/с. Тиск на вході в припливні клапани досягає 78,298 Па. Така поведінка говорить про те, що важче охоложене повітря базується ближче до птиці, а більш нагріте піднімається вгору.

Із розподілу температур у різних перерізах в пташнику спостерігаємо, що охоложене повітря з теплообмінних апаратів температурою +20 °С направляється від клапанів в пташник. Проходячи близько 1,5 м нагрівається і холодний потік розосереджується по приміщенні. Середня температура на цих ділянках складає в межах від +24,44 °С до +26,67 °С. Враховуючи велику довжину пташника, поблизу стінки 1,5...0,5 м, відбувається температурна застійна зона, яка коливається від +27 °С до +32 °С.

Використання теплообмінників для охолодження припливного повітря дає можливість підтримувати його температуру на рівні +20-25 °С та знизити показники вологовмісту в птахівничих приміщеннях, які є високими при використанні для охолодження припливного повітря касетних методів або розпилювання води форсунками.

Ключові слова: CFD, бокова система вентиляції, система охолодження, пташник, теплообмінний апарат.

Вступ

Традиційною системою охолодження в пташниках для забезпечення нормованого мікроклімату в приміщенні є охолодження з прямим випаровуванням (ОПВ) [1, 2]. У цих системах 100 % свіжого зовнішнього повітря всмоктується через випарні охолоджувальні касети на бічних стінках, щоб відповідати вищезазначеним обмеженням щодо тепла та якості повітря [3]. Отже, температура повітря охолоджується до вологого термометра, одночасно збільшуючи вміст вологи. Крім того, ОПВ підвищує вологість припливного повітря, тим самим зменшуючи тепловіддачі від курей [4]. Окрім теплового стресу, висока вологість у приміщенні призводить до інших несприятливих наслідків для здоров'я, оскільки збільшується кількість аміаку, який виділяється курячим послідом [5]. Це призводить до зменшення споживання курми корму та виробництва яєць, а також збільшення рівня смертності, що веде до зниження виробництва та прибутку галузі. Виходячи із цих численних труднощів, з якими стикається птахівницька промисловість, можливість створити відповідну сталу систему охолодження для пташників у регіоні Катару є гострою потребою.

Сучасні системи охолодження припливного повітря в пташниках [6, 7] базуються на використанні розпилювальних або випарних систем. В основі обох систем лежить принцип адіабатного охолодження [8], коли вода переходить із рідкого стану в газоподібний унаслідок вільного випаровування, що дозволяє знижувати температуру зовнішнього нагрітого повітря в птахівничих приміщеннях.

У розпилювальних пристроях типу форсунок або дискових розпилювачів утворюється аерозоль або спрей, що містить краплі води малого діаметра [9]. Форсунки бувають двох типів, а саме: низького і високого тиску води. За застосування для охолодження повітря форсунокового методу передбачається наявність спеціальної системи водопідготовки – очищення, фільтрування й т. п., оскільки високий вміст солей швидко виводить із ладу роботу форсунок. Крім того, експлуатація таких систем вимагає великих витрат електричної енергії.

Недоліками касетного методу є високий аеродинамічний опір і велика вартість установки. До недоліків указанного методу можна віднести також засмічування касетних каналів пилом у процесі експлуатації. Слід зазначити, що на засміченій поверхні касети утворюється цвіль, яка вносить у

припливне повітря компоненти, що за високої вологості повітря сприяє збудженню в птиці різних хворіб. У разі невчасного очищення касет на їхній поверхні можуть вирости водорості. Указані чинники спонукають до частого заміни касет уже на першому році експлуатації. Максимальний строк роботи касет не перевищує 10 років і залежить від якості води, профілактичних робіт та режиму експлуатації. Ефективність касетного охолодження великою мірою залежить також від герметичності пташника.

Мета і завдання.

Удосконалення системи охолодження в повітряному середовищі пташника за рахунок монтажу теплообмінних апаратів на бічній стінці загалом 80 шт. Як науковою складовою є дослідження процесів гідродинаміки та теплообміну в повітряному середовищі пташника з удосконаленням розташування як вентиляційного обладнання, так і теплообмінних апаратів які дотикаються до припливних клапанів.

Матеріали та методи досліджень

Досліджується система охолодження припливного повітря в пташнику. Розмір якого складає 120×21 м. Підлога виконана з двох шарів бетону товщиною 0,1 м, зверху і знизу, між якими знаходиться полістирол товщиною 0,05 м. У місцях на відстані 2 м від стін, товщину теплоізоляційного матеріалу збільшено до 0,1 м. Стіни виконані як тришарові, з обох сторін наявні два шари бетону товщиною 0,06 м, між якими знаходиться шар полістиролу товщиною 0,1 м. Для спрощення моделі, перекриття виконано як тришарове, яке із зовнішньої і внутрішньої сторони виконане з бетону, між якими знаходиться шар теплоізоляційного матеріалу izovat 30 товщиною 0,1 м.

Враховуючи «симетрію» граничних умов на бокових стінках пташника ми розглядаємо тільки половину пташника (див. рис. 1), що дає змогу зменшити використання комп'ютерних ресурсів.

У птаховничому приміщенні пропонується бокова система охолодження в літній період року при температурі зовнішнього повітря +40 °С. У припливні клапана, із зовнішньої сторони пташника, монтуються теплообмінні апарати. Їх кількість складає 40 шт для половини пташника з поперечними розмірами 0,85×0,3 м. В якості охолоджувача являється вода з підземних свердловин. Із попередніх досліджень авторів [10], які розробляли теплообмінні апарати для такої системи охолодження, представлено детальні дослідження. Аналізуючи результати, через такі теплообмінники, зовнішнє тепле повітря проходить через нього і буде охолоджуватись до +20 °С.

Витяжні вентилятори розташовуються на задній торцевій стінці, в кількості 5 шт, беручи із рекомендацій авторів дослідження [11], із загальною продуктивністю 42,815 кг/с.

Ця кількість повітря є достатньою для видалення надлишкової теплоти з пташника. Взято до уваги і припливні клапани, висота розташування яких від рівня перекриття складає 0,21 м. Кут нахилу спойлера над клапаном 73°. Довжина спойлера 0,2 м. Задіяно 40 клапанів для половини пташника. Клапани Wlotpowietrza 3000-VFG мають ширину 0,86 м, а висота відкривання їх складає 0,09 м.

На усіх зовнішніх стінах і перекритті задавались граничні умови третього роду (див. рис. 1), при зовнішній температурі повітря +40 °С і величині коефіцієнта тепловіддачі 10 Вт/м²К, який характерний для середніх швидкостей зовнішнього вітрового потоку. Припускаємо, що температура ґрунту, що прилягає до нижнього бетонного шару підлоги, складає +10 °С.

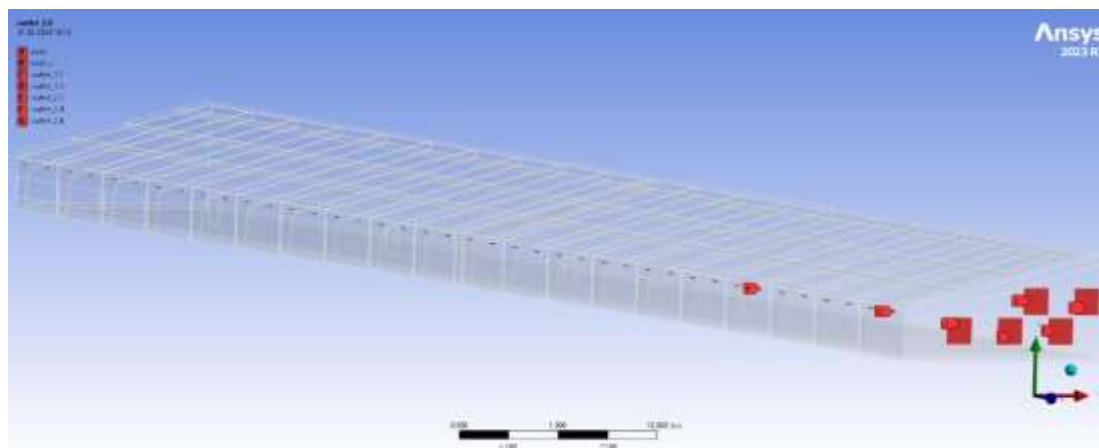


Рисунок 1 – Геометрія 3D пташника із зазначенням граничних умов

Геометрію пташника виконано в ANSYS Design Modeler 2023 R1 і виставлено граничні умови. Після чого геометрію передано в ANSYS Meshing 2023 R1 для побудови сітки. Побудова сітки виконана за допомогою методу CutCell. Мінімальний розмір грані – 0,015 м. Максимальний розмір грані – 0,12 м. Для припливних клапанів та витяжних вентиляторів сітку згущували з мінімальними розмірами елемента 0,01 м та 0,04 м відповідно. Згущення сітки виконано для більш точніших результатів при моделювання на

вході та виході з пташника. Як результат, показник якості сітки *orthogonal quality* складає 0,214, кількість елементів 4485116 шт, а кількість вузлів 4854992 шт. Результати побудованої сітки можна побачити на рис. 2.

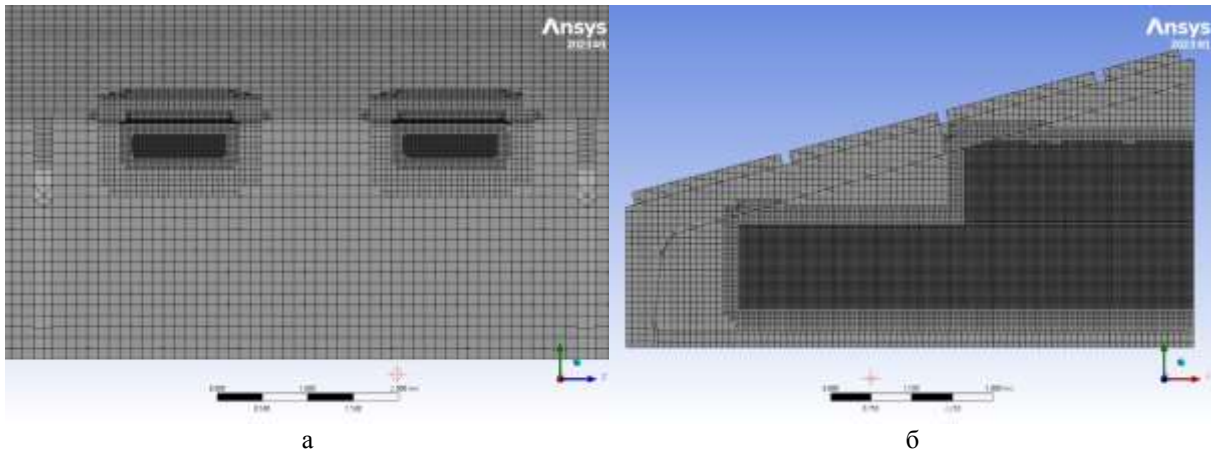


Рисунок 2 – Сітка в повітряному середовищі пташника:
а – бокова стінка; б – задня торцева стінка

Чисельне моделювання проводилось безпосередньо в ANSYS Fluent 2023 R1. У моделі застосовувались рівняння Navier-Stokes, стандартна модель турбулентності *k-ε* і модель випромінювання *Discrete Ordinates*.

Результати досліджень

На рис. 4-10 показано результати чисельного моделювання пташника на чотирьох ділянках (рис. 3) по довжині приміщення – 10,25 м, 43,25 м, 74,75 м і 109,25 по осі *x*. Перша і друга ділянки – середина 4-го припливного клапана і 15-го відповідно. Третя – між 25-м та 26-м припливними клапанами. Четверта ділянка – на середині 37-го припливного клапана. По довжині пташника розташовано 40 припливних клапани, із теплообмінними апаратами.

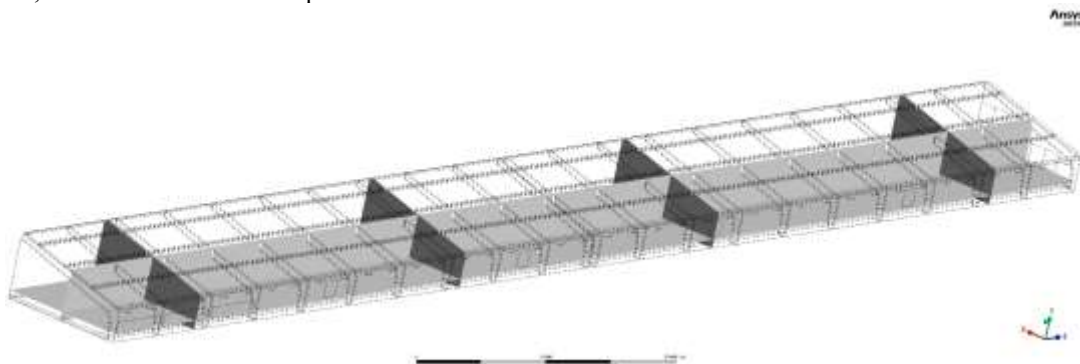


Рисунок 3 – Перерізи виведених результатів чисельного моделювання

На ділянках 1, 2 та 4 відображено лінії потоку в пташнику (див. рис. 4а, 4б, 4г, 5а, 5б, 5г). Спостерігаємо, що клапани та спойлери розташовані не достатньо вдало. Потік повітря виходить з клапанів зі швидкістю 11,485 м/с. Досягаючи, практично, середини пташника і направляєється вниз, втрачаючи швидкість, до птиці. Між стрімким потоком повітря і птицею створюється великий вихор, який забезпечує подачу свіжого повітря птиці. У верхній частині пташника, по середній лінії, створюється малий вихор повітря через специфічну конструкцію пташника. А також відбувається поділ повітряного потоку, через інтенсивну його подачу. Що супроводжує турбулентність потоку повітря, на цих ділянках, та інтенсивне перемішування свіжого повітря із відпрацьованим. У певних точках, в районі входу у припливних клапанів, максимальна швидкість повітря досягає до 11,62 м/с. Тиск на вході в припливні клапани досягає 78,298 Па.

В свою чергу, між 25-м та 26-м припливними клапанами (див. рис. 4в, 5в), швидкість повітря досягає 1,3 м/с. Повітря рівномірно видаляється із пташника.

Швидкість повітря на трьох вентиляторах які розташовані у нижній лінії складає 5,148 м/с, а тиск - 4,045 Па, однак на верхніх двох вентиляторах швидкість складає 4,871 м/с, а тиск -3,575 Па (рис. 7). Така поведінка говорить про те, що важче охолоджене повітря базується ближче до птиці, а більш нагріте піднімається вгору.

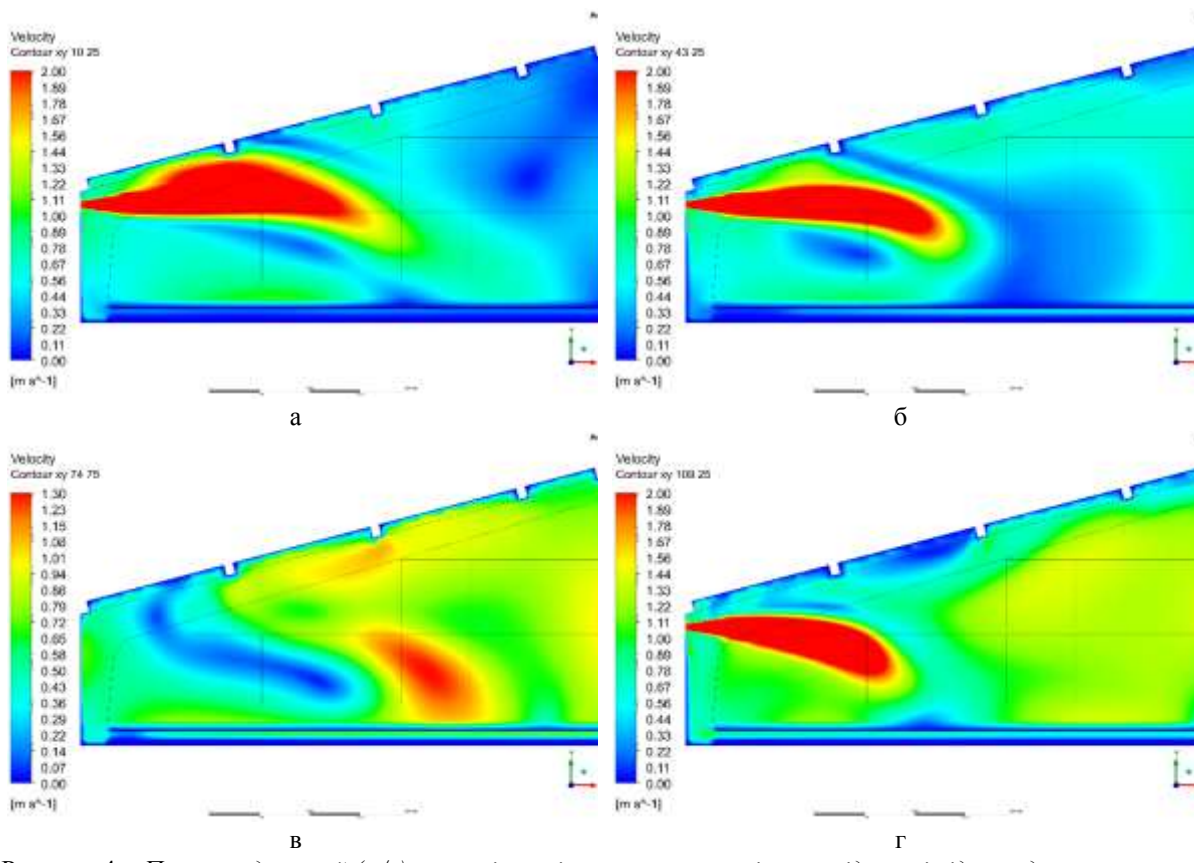


Рисунок 4 – Поле швидкостей (м/с) у приміщенні пташника по осі x на відстані від передньої торцевої стінки: а – 10,25 м; б – 43,25 м; в – 74,75 м; г – 109,25 м.

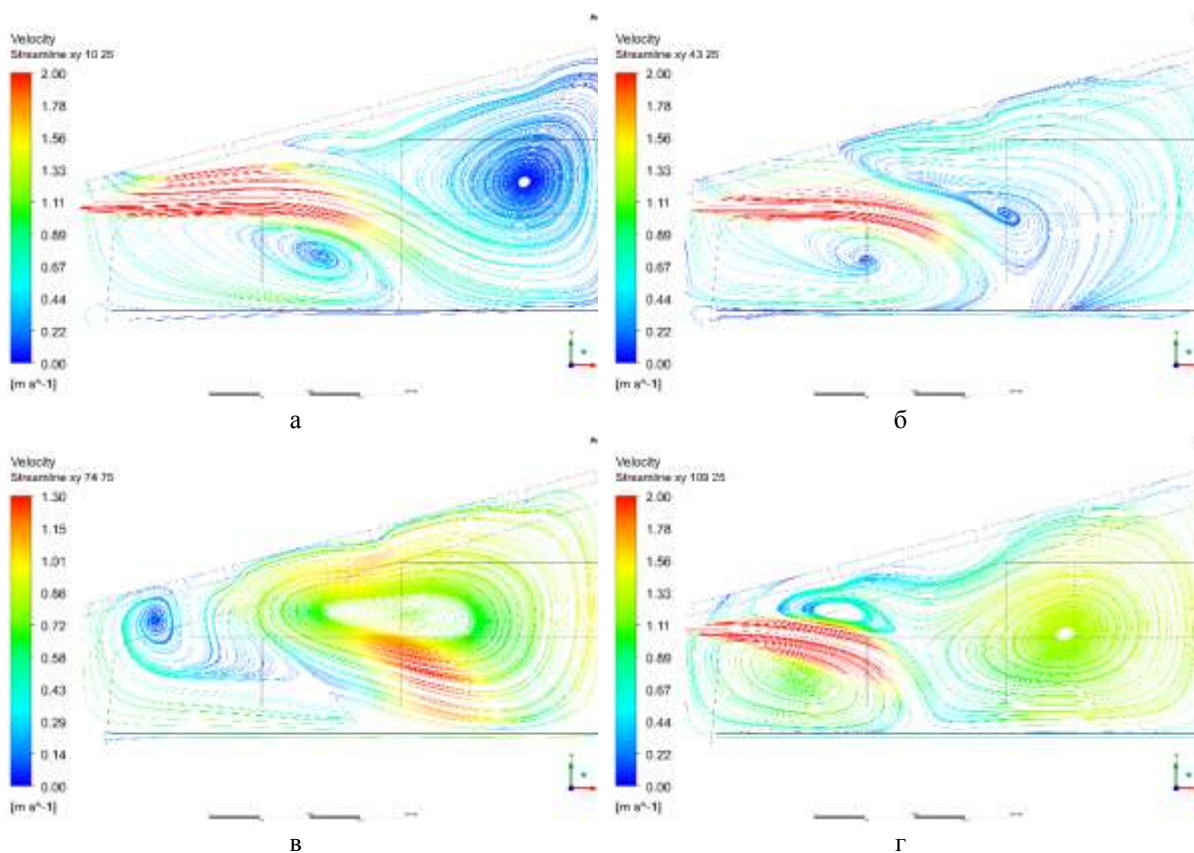


Рисунок 5 – Лінії потоку (м/с) у приміщенні пташника по осі x на відстані від передньої торцевої стінки: а – 10,25 м; б – 43,25 м; в – 74,75 м; г – 109,25 м.

На рис. 6 представлено розподіл температур у різних перерізах в пташнику. Як бачимо, охолоджене повітря з теплообмінних апаратів температурою $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 6а, б, г), направляється від клапанів в пташник. Проходячи близько 1,5 м нагрівається і холодний потік розосереджується по приміщенні. Середня температура на цих ділянках складає в межах від $+24,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+26,67\text{ }^{\circ}\text{C}$. Враховуючи велику довжину пташника, поблизу стінки 1,5 м (рис. 6г) і 0,5 м (рис. 6а, б, в), відбувається температурна застійна зона, яка коливається від $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$. У моделі приведені припущення, що птиця не розміщена на відстані 0,6 м від стіни. Таким чином, лише дуже мала кількість птиці буде відчувати певний дискомфорт (рис. 6г). Поблизу перекриття на не великій відстані, близько 0,15 м, температура коливається від $+28\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ці підвищені температури супроводжуються через високу температуру зовнішнього повітря ($+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) та інтенсивність сонячного випромінювання. На рис. 6в представлено температурне поле між 25-м та 26-м припливними клапанами. Температура на цій ділянці дещо нижча, від $+24,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+25,96\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це супроводжене через те, що відсутня подача охолодженого повітря на цій ділянці.

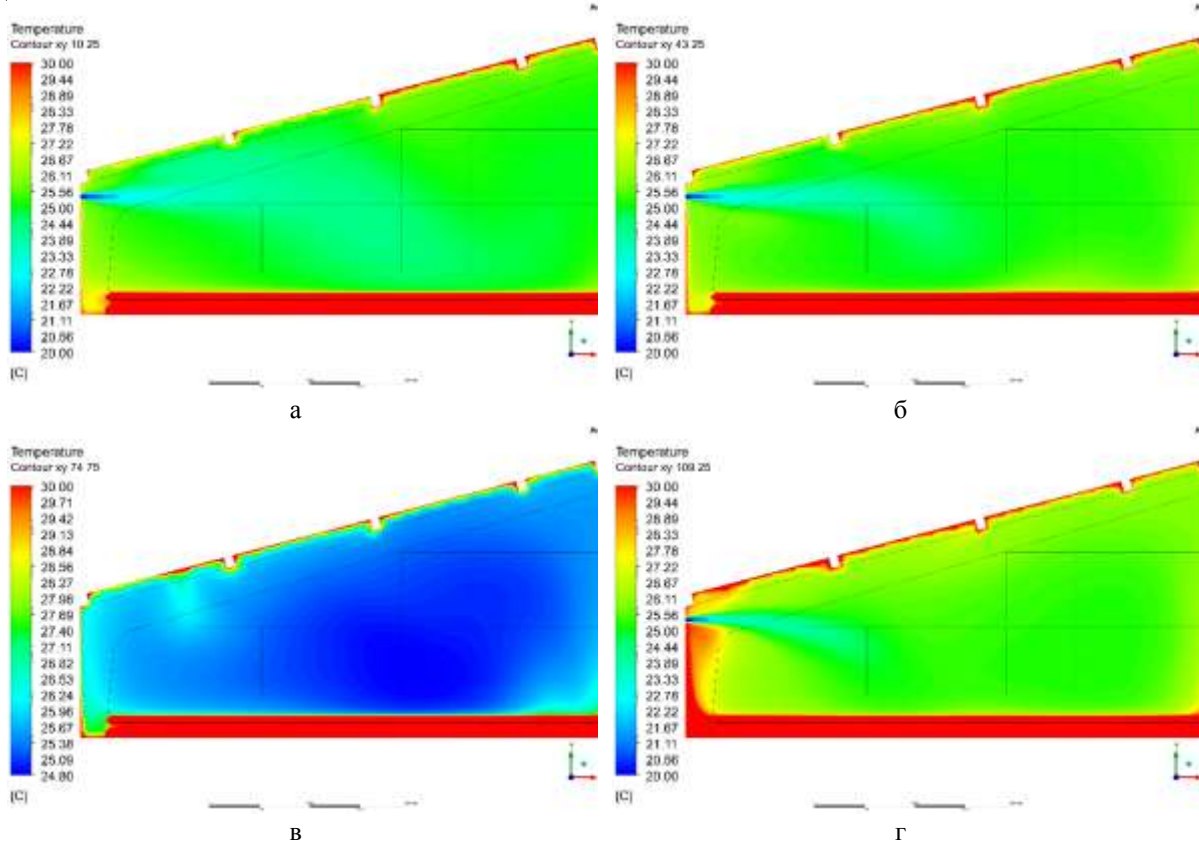


Рисунок 6 – Поле температур ($^{\circ}\text{C}$) у приміщенні пташника по осі ху на відстані від передньої торцевої стінки: а – 10,25 м; б – 43,25 м; в – 74,75 м; г – 109,25 м.

На рис. 8 представлено поле швидкостей (рис. 8а) та поле температур (рис. 8б) на висоті 0,7 м від рівня підлоги. Дані результати є найбільш цікавими та важливими, так як птиця знаходиться на підлоговому утриманні. Враховуючи норми технічного утримання птиці, швидкість повітря поблизу птиці не повинно перевищувати 2 м/с, тому результати на рис. 5а показано в межах від 0 м/с до 2 м/с. З огляду на результати представлені на рис 3 та високі швидкості повітря на вході у припливних клапанів, які досягають 11,62 м/с, лише у малих зонах швидкість повітря перевищує 2 м/с. Усереднена швидкість повітря на ділянці (див. рис. 8а) складає 0,72447 м/с, а тиск $-0,385\text{ Па}$ (див. рис. 8в). Ці результати показують достатню ефективність системи вентиляції в пташнику.

Температура повітря у жаркий період року поблизу птиці не повинна перевищувати $+28\text{ }^{\circ}\text{C}$. З огляду результатів чисельного моделювання (див. рис. 8б), температура повітря, яка перевищує $+28\text{ }^{\circ}\text{C}$, займає площу не більше 0,46 %. Це показує хорошу ефективність системи охолодження пташника. По середині пташника спостерігаються дещо нижчі температури повітря, які починаються з $+24,59\text{ }^{\circ}\text{C}$. Усереднена температура по всій площі пташника на висоті 0,7 м від рівня підлоги складає $+25,6987\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рис. 9-10 показано розподіл швидкостей повітря в 3D пташнику у межах від 0 до 2 м/с.

Як бачимо, клапани працюють ефективно, подаючи свіже охолоджене повітря практично до центру пташника. Близько із середини пташника, його загальної довжини, повітря із клапанів уже не так інтенсивно подає. Спостерігається певне затухання, це супроводжується через наближення повітря до

втяжних вентиляторів. Як уже сказано вище, нижні три вентилятори затягують більшу частину охолодженого повітря. Таким чином, клапани не мають змоги подавати повітря до центру пташника.

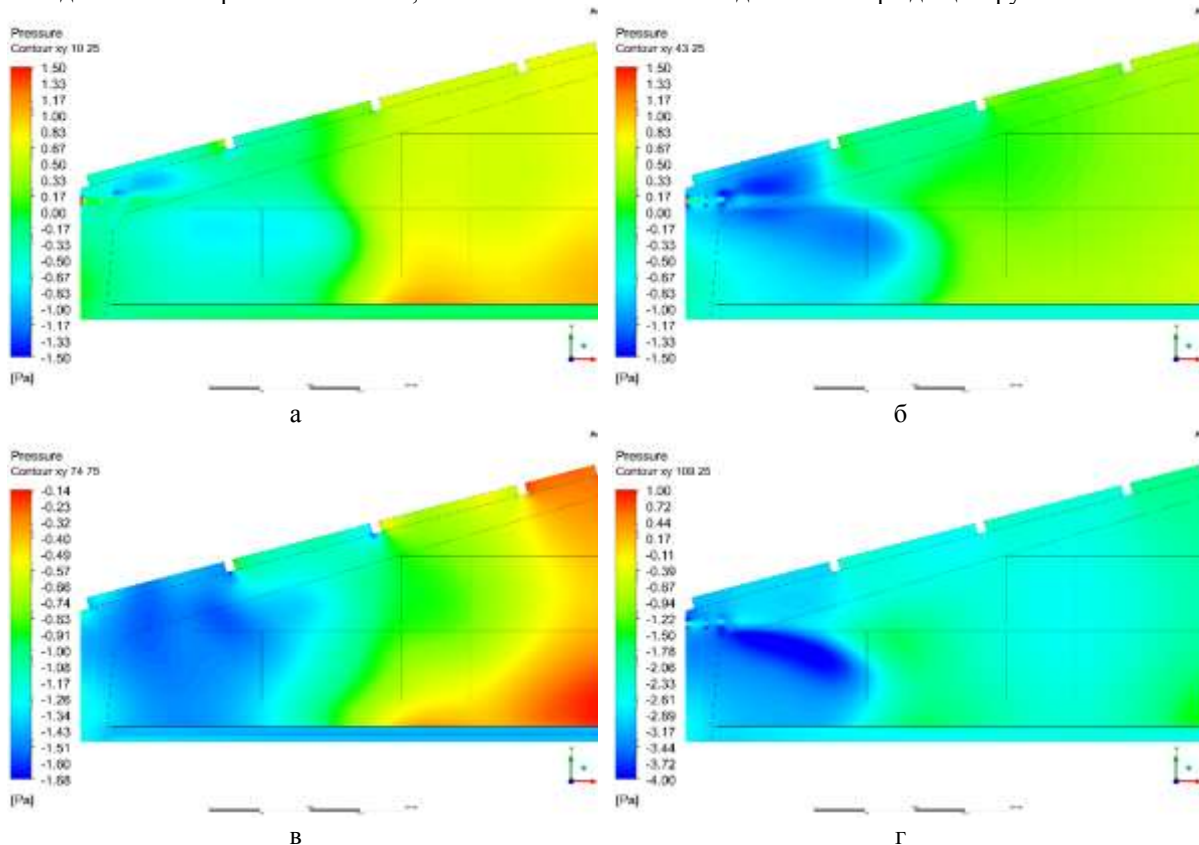


Рисунок 7 – Поле тисків (Па) у приміщенні пташника по осі ху на відстані від передньої торцевої стінки: а – 10,25 м; б – 43,25 м; в – 74,75 м; г – 109,25 м.

Подяка

Міністерству освіти та науки України за фінансову підтримку проєктів молодих вчених (Київ), № 110/1М-пр-2022.

Висновки

1. Результатом чисельного моделювання було досліджено систему охолодження у жаркий період року з температурою зовнішнього повітря +40 °С в 3D для половини пташника. Запропоновано нову систему охолодження пташників за допомогою теплообмінного обладнання, на виході температура якого буде складати +20 °С. В якості охолоджувача пропонується вода з підземних свердловин.

2. Розроблено математичну модель аеродинаміки і теплопереносу в пташнику. В результаті чисельного моделювання отримано розподіли температур, швидкостей та тисків в приміщенні пташника. В результаті проведеного аналізу поля температур в пташнику показано, що на окремих ділянках температура в середньому складає від +20 °С до +27,22 °С. Таким чином, враховуючи отримані розподіли температур і швидкостей від рівня підлоги до позначки 0,7 м, можна зробити висновок, що при запропонованій системі охолодження дискомфорт відчуватиме не більше 0,46% від загальної кількості птиці. Усереднена швидкість повітря складає 0,72447 м/с, а температура +25,6987 °С, що відповідає нормованим показникам.

3. Перевагою запропонованої системи охолодження припливного повітря у порівнянні з існуючими полягає в тому, що розподіли температур повітря в пташнику близькі до нормованих і не перевищують +28 °С у літній період року. Наступною перевагою є зменшення відносної вологості повітря в пташнику, оскільки використання касет випарного охолодження або розпилення води форсунками призводить до перевищення нормованих показників вологості повітря. Це дає змогу покращити параметри мікроклімату та підвищити продуктивність птахофабрики в цілому.

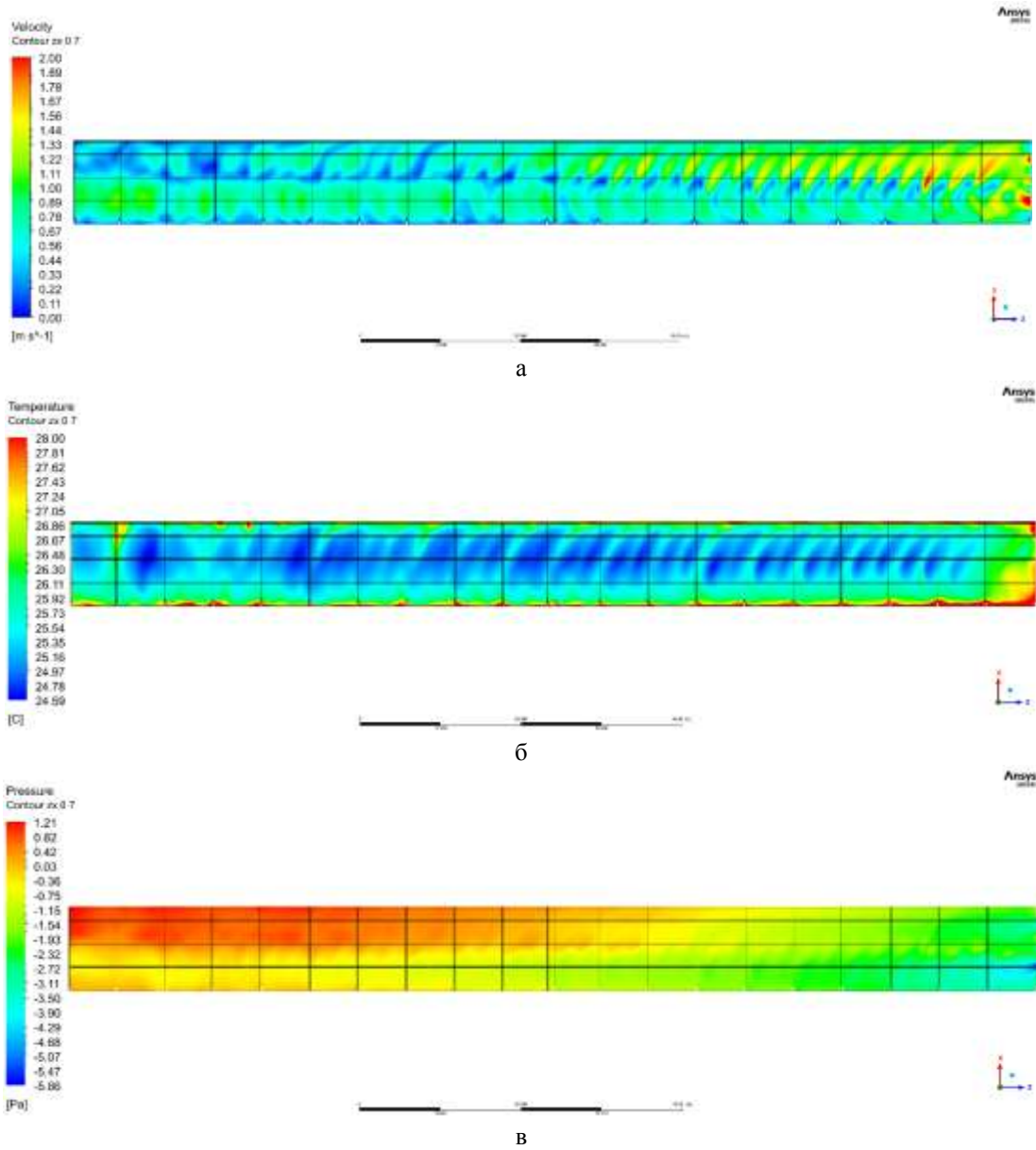


Рисунок 8 – Поле швидкостей, m/s (а), поле температур, $^{\circ}\text{C}$ (б) і поле тисків, Pa (в) у приміщенні пташника по осі zx на висоті 0,7 м від рівня підлоги

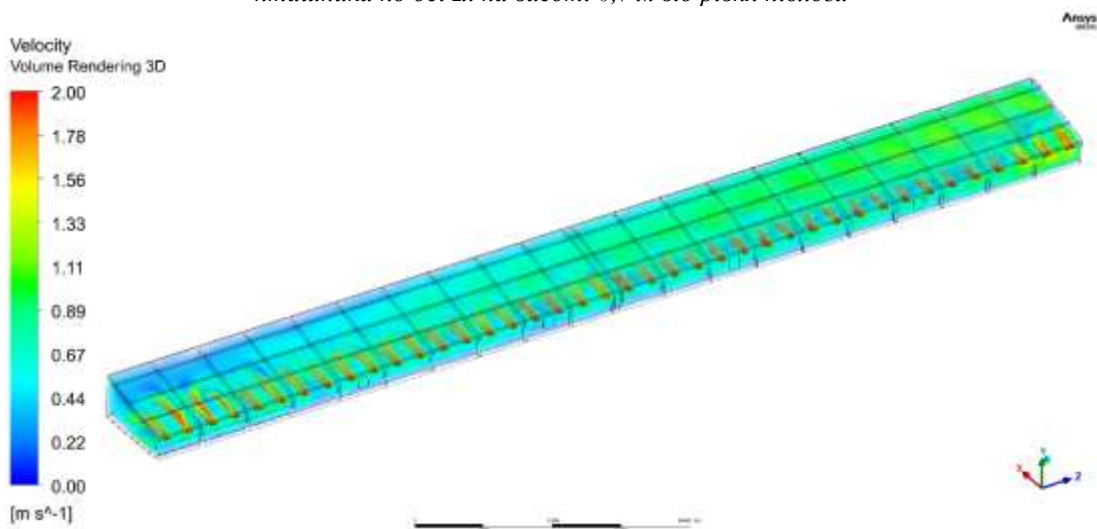


Рисунок 9 – Візуалізація швидкості повітря пташника в межах від 0 до 2 m/s

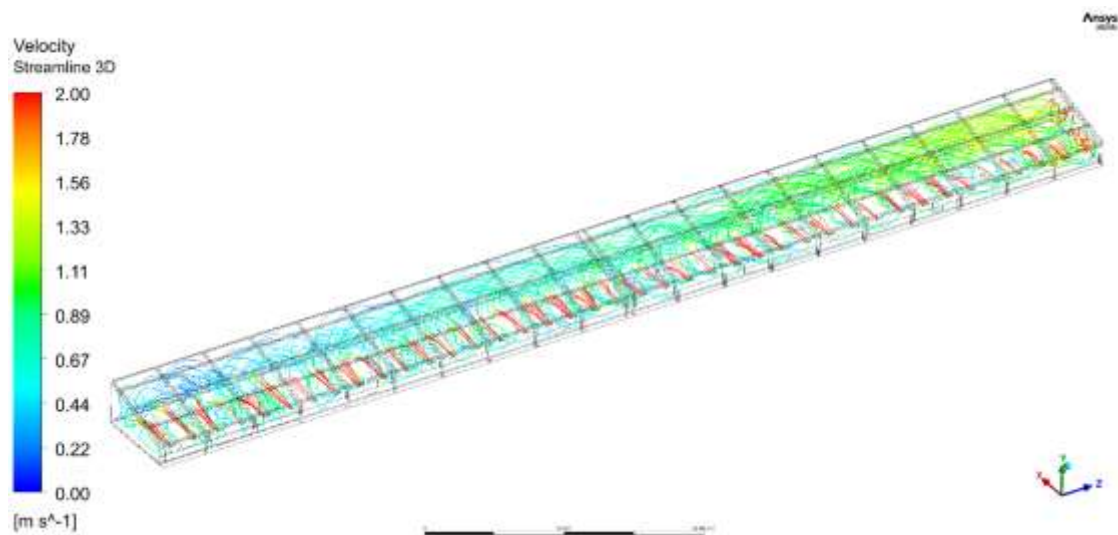


Рисунок 10 – Лінії потоку повітря пташника в межах від 0 до 2 м/с

Список використаної літератури

1. Hoff S. J. (2018). HVAC System. London : “Intech Open Limited”, 2018. 170 с.
2. Liang Y., Tabler G. T., Dridi S. Sprinkler technology improves broiler production sustainability: from stress alleviation to water usage conservation: A mini review. *Front Veterinary Sci*, 2020. Т. 7. С. 689.
3. Investigating applicability of evaporative cooling systems for thermal comfort of poultry birds in Pakistan / H. M. U. Raza та ін. *Applied Sciences*. 2020. Т. 10, № 13. 4445. <https://doi.org/10.3390/app10134445>.
4. The effect of heat stress on ovarian function of laying hens / I. Rozenboim та ін. *Poultry Science*, 2007. Т. 86, № 8. С. 1760-1765. <https://doi.org/10.1093/ps/86.8.1760>.
5. Kristensen H. H., Wathes, C. M. Ammonia and poultry welfare : a review. *World's Poultry Science Journal*. 2000. Т. 56, № 3. С. 235–245. <https://doi.org/10.1079/WPS20000018>.
6. James O. Donald. Technology of microclimate of broiler house. *Aviagen Brands*. Huntsville, USA. 2012.
7. Czarick, M., Fairchild. B. Plastic cooling pads are found to be less efficient comparing to paper cool pads, Poultry Housing Tips. *College of Agricultural and Environmental Sciences*. 2014. Т. 24, № 8. С. 64–69.
8. New control strategy against temperature sudden-drop in the initial stage of pad cooling process in poultry houses / X. Hui та ін. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2018. Т. 11, № 1. С. 66–73. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.2479>.
9. 3-D CFD analysis of relative humidity distribution in greenhouse with a fog cooling system and refrigerative dehumidifiers / K. Kim та ін. *Biosystems Engineering*. 2008. Т. 100, № 2. С. 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.03.006>.
10. Research of thermal and hydrodynamic flows of heat exchangers for different air cooling systems in poultry houses / V. Trokhaniak та ін. *Machinery & Energetics*. 2023. Т. 14, № 1. С. 68-78. <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.68>.
11. Usage of CFD for research on lateral ventilation system in poultry house / V. Trokhaniak та ін. *Engineering for Rural Development*. 2023. Т. 22. С. 582-587. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF120>.

V. Trokhaniak¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-8084-1568

T. Furkalo¹, master student, ORCID 0009-0004-4866-695X

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

INVESTIGATION OF HEAT EXCHANGE PROCESSES IN A COOLING SYSTEM IN A POULTRY HOUSE WITH SIDE VENTILATION

A new method of cooling the outside air in the ventilation systems of poultry houses is proposed, based on the use of water from underground wells and heat exchangers for cooling the supply air.

Numerical modeling of aerodynamics and heat transfer processes in poultry houses with a tunnel ventilation system was carried out. As a result of numerical calculations, the distribution of temperatures, velocities, and pressures in the air environment of the poultry house was obtained. The use of heat exchangers to cool the supply air makes it possible to maintain its temperature at +20-25 °C and reduce the moisture content in poultry houses, which is high when using cassette methods or spraying water with nozzles to cool the supply air.

As a result of the numerical studies, it is recommended to increase air flow rates by including a third exhaust fan located on the top line of the rear end wall. This will allow for a more even temperature distribution in the house.

Keywords: CFD, side ventilation system, cooling system, poultry house, heat exchanger

References

1. Hoff S. J. (2018). HVAC System. London : “Intech Open Limited”, 2018. 170 p.
2. Liang Y., Tabler G. T., Dridi S. Sprinkler technology improves broiler production sustainability: from stress alleviation to water usage conservation: A mini review. *Front Veterinary Sci*, 2020. Vol. 7. P. 689.
3. Investigating applicability of evaporative cooling systems for thermal comfort of poultry birds in Pakistan / H. M. U. Raza та ін. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, no. 13. 4445. <https://doi.org/10.3390/app10134445>.
4. The effect of heat stress on ovarian function of laying hens / I. Rozenboim та ін. *Poultry Science*, 2007. Vol. 86, № 8. P. 1760-1765. <https://doi.org/10.1093/ps/86.8.1760>.
5. Kristensen H. H., Wathes, C. M. Ammonia and poultry welfare : a review. *World's Poultry Science Journal*. 2000. Vol. 56, no. 3. P. 235–245. <https://doi.org/10.1079/WPS20000018>.
6. James O. Donald. Technology of microclimate of broiler house. *Aviagen Brands*. Huntsville, USA. 2012.
7. Czarick, M., Fairchild. B. Plastic cooling pads are found to be less efficient comparing to paper cool pads, Poultry Housing Tips. *College of Agricultural and Environmental Sciences*. 2014. Vol. 24, no. 8. P. 64–69.
8. New control strategy against temperature sudden-drop in the initial stage of pad cooling process in poultry houses / X. Hui та ін. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2018. Vol. 11, no. 1. P. 66–73. <https://doi.org/10.25165/ijabe.20181101.2479>.
9. 3-D CFD analysis of relative humidity distribution in greenhouse with a fog cooling system and refrigerative dehumidifiers / K. Kim та ін. *Biosystems Engineering*. 2008. Vol. 100, no. 2. P. 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.03.006>.
10. Research of thermal and hydrodynamic flows of heat exchangers for different air cooling systems in poultry houses / V. Trokhaniak та ін. *Machinery & Energetics*. 2023. Vol. 14, no. 1. P. 68-78. <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.68>.
11. Usage of CFD for research on lateral ventilation system in poultry house / V. Trokhaniak та ін. *Engineering for Rural Development*. 2023. Vol. 22. P. 582-587. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF120>.

Надійшла: 19.08.2024

Received: 19.08.2024