

В.І. Троханяк<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-8084-1568

О.В. Шеліманова<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-3321-1651

С.Є. Тарасенко<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-4829-0559

А.С. Баліцький<sup>1</sup>, студент магістр, ORCID 0009-0005-0955-8849

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України

## ДОСЛІДЖЕННЯ БІЧНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ В ПТАШНИКУ ЗА ДОПОМОГОЮ CFD

*Підтримка нормованого мікроклімату в пташнику це один із основних факторів. Саме від якісних показників параметрів повітря зрештою залежить якість виходу продукції. Птах при його утриманні потребує великих зусиль та технологічних рішень. У зв'язку з цим дослідження є удосконалення системи мікроклімату в повітряному середовищі пташника за рахунок включення витяжних вентиляторів на задній торцевій стінці нетрадиційним способом. Потужним інструментом прогнозування системи мікроклімату в пташнику є Computational Fluid Dynamics (CFD) за допомогою ANSYS Fluent як альтернатива експериментальним дослідженням.*

*За результатами CFD моделювання процесів гідродинаміки та тепломасообміну дійшли висновку, що зміни кута спойлера на 73° дозволяє подати повітря до центру пташника. При цьому перепад тиску припливних клапанів становить 70 Па, що дозволяє повною мірою забезпечити витяжний вентилятор. Швидкість повітря на вході клапанів припливу становить 11,54 м/с. Середня швидкість повітря на висоті 0,7 м від рівня підлоги становить 0,5 м/с, температура – 16,55 °С.*

*Таким чином, представлені наукові дослідження в майбутньому можна використовувати для розробки нових систем вентиляції пташників.*

**Ключові слова:** пташник, бокова вентиляція, CFD, припливний клапан, аеродинаміка

### Вступ

Розвиток нових технологій в енергетичній галузі, перехід на новий рівень енергозабезпечення об'єктів, у тому числі вентиляційних систем птахівничих комплексів, характеризується прискоренням темпів зростання всіх кількісних та якісних показників виходу продукції, а також удосконаленням усієї структури птахо виробництва.

Оцінка продуктивності нових вентиляційних систем може бути складним завданням, оскільки вона займає багато часу та досить дорога [1]. Як альтернатива польовим вимірюванням моделювання за допомогою обчислювальної гідродинаміки (Computational Fluid Dynamics (CFD)) є потужним інструментом прогнозування повітряного потоку, концентрації частинок і газу, а також теплового середовища в тваринницьких приміщеннях [2-4]. Він також використовувався для оцінки ефективності існуючих систем вентиляції та нових конструкцій [5; 6].

У дослідженні [7] оцінювалися три моделі турбулентності k-ε: стандартна k-ε, RNG k-ε та realisable k-ε для оцінки внутрішнього середовища птиці на основі вимірювань температури та швидкості повітря. Ціль цього дослідження полягала в тому, щоб визначити, яка модель турбулентності найкраще відтворює експериментальні результати з використанням CFD. Вибір відповідної моделі турбулентності є важливим, оскільки це може значно вплинути на результати. У цьому дослідженні модель k-ε RNG найкраще узгоджувалась з вимірюваннями швидкості повітря та температури, тому її використання та типові параметри рекомендуються для моделювання внутрішнього середовища пташників.

У роботі [8] було оптимізовано конструкцію повітрязбірних пристроїв для цього типового бройлерного приміщення в холодному регіоні при поперечній вентиляції на основі двох факторів, що впливають: довжини пристрою напряму потоку та напруженості потоку повітря. Оптимізовані пристрої подачі повітря допомогли покращити потік повітря в бройлерному приміщенні, тим самим змінивши фактори навколишнього середовища, такі як розподіл внутрішньої температури, розподіл швидкості повітря та розподіл вуглекислого газу. Довжина ідеального пристрою для напрямку потоку повинна бути приблизно 1 м і не більше 2 м.

Метою цієї роботи [9] є створення 3D-моделі з використанням CFD, здатної відтворити реальні умови експлуатації всередині пташника. Удосконалення полягає в інтеграції основних явних та прихованих джерел тепла відповідно до процедури, описаної в роботі [10], яка раніше застосовувалася до 2D моделі CFD. З метою дослідження типових процесів охолодження та обігріву, що спостерігаються в пташнику, були визначені та розглянуті для моделювання. Результати моделі спочатку були перевірені на основі експериментальних даних, щоб оцінити ефективність моделі для прогнозування градієнтів температури і вологості. Потім змодельоване поле швидкостей використовувалася розрахунку інтенсивності вентиляції.

З метою максимально використовувати переваги погодних умов авторами [11] у цьому дослідженні аналізується вплив природної вентиляції на динаміку внутрішнього клімату пташника з акцентом на роль зовнішніх кліматичних параметрів, крім напрямку вітру. За експериментальними даними з переважним північно-східним напрямом вітру було виділено сім періодів із стійким напрямом вітру не менше 4 годин. Три з цих періодів були обрані як типові приклади і використані для перевірки тривимірної моделі CFD для інтеграції основних елементів, внутрішній клімат: виділення тепла тваринами та водяної пари, радіаційна теплопередача та вентиляція. Потім були проаналізовані прогнози тривимірної моделі CFD з використанням концепції часу знаходження повітря для оцінки швидкості вентиляції, а також дослідження явного і прихованого теплообміну.

У дослідженні [12] авторами була розроблена модель 3D CFD для моделювання показників швидкості повітря, температури повітря, вологості та теплового стресу в комерційному пташнику-несучку. Модель була успішно підтверджена польовими вимірами у теплий, перехідний та холодний період року. За температурно-вологісним показником повітря що надходить у пташник при температурі 26,0 °C, 15,0 °C, 2,5°C інтенсивності вентиляції 85,8, 15,5 та 11,7 (повітрообміну на годину) влітку, осінню та взимку відповідно, тепловий стрес птиці був виявлений у 69,1%, 78,0% та 18,4%. Як продовження досліджень [13] автори розробили нову систему вентиляції, систему вентиляції з витісненням повітряного потоку вгору (ВППВ), яка дозволяє свіжому повітрю надходити в пташник через повітроводи, розташовані в нижній частині пташника, рухатися вгору за рахунок теплової плавучості, викликаной птицею різниці статичного тиску, викликаного витяжними вентиляторами, і зрештою виходять з приміщення через вентилятори, встановлені на даху. Результати показали, що система ВППВ призвела до підвищення ефективності повітрообміну в клітках на 46–129% та забезпечила більш однорідне теплове середовище на 9,4% меншим тепловим стресом влітку та на 68% меншим холодним стресом від холоду взимку порівняно з телевізійною системою.

У статті [14] наведено результати дослідження інтелектуальних систем управління біотехнологічними об'єктами на прикладі теплиці. Розроблено вимірювальну систему для ефективного дослідження сонячної радіації та прогнозування можливих порушень інформації. Нейронні мережі використовувалися як математичний інструмент прогнозування часових рядів температури. Надалі у роботі [15; 16] створено програмно-апаратну підсистему фітосмоніторингу в сучасній тепличній будівлі, яка забезпечується за допомогою програмного забезпечення LabVIEW та обладнання Arduino, яке тестується безпосередньо на виробництві. Для проведення експериментів автори роботи [17] розробили мобільний робот для моніторингу стану атмосфери та фітостану у захищених наземних об'єктах для формування стратегій контролю, що максимізують прибуток виробництва. Як завершальний етап авторами [18] розроблено енергоефективну систему управління електротехнологічним комплексом промислової теплиці. Оцінка якості рослинної продукції на основі використання функцій бажаності Харрінгтона. Це дозволяє визначати параметри мікроклімату (температуру рослин, температуру та вологість), максимізуючи прибуток продукції. Всі ці методи, які були задіяні для створення, аналізу та прогнозування мікроклімату в теплицях, можна великою мірою використовувати для пташників.

Авторами [19; 20] проведено дослідження модульного утримання птиці. Розроблено конструкцію модуля для вирощування птиці з інфрачервоним нагрівачем. Пропонована конструкція енергоефективна та рекомендується для встановлення у приміщеннях пташників. Проаналізовано мікроклімат у модулі. Температура повітря поблизу птиці у модулі становить 18,6 °C, а середня швидкість не перевищує 0,75 м/с.

Дана публікація є продовженням науково-практичних досліджень щодо удосконалення аеродинамічних характеристик повітряного середовища у пташнику [21, 22].

#### **Мета і завдання.**

Удосконалення системи мікроклімату в повітряному середовищі пташника за рахунок монтажу витяжних вентиляторів на бічній стінці загалом 8 шт. Як науковою складовою є дослідження процесів гідродинаміки та теплообміну в повітряному середовищі пташника з удосконаленням розташування як витяжного вентиляційного обладнання, так і спойлерів над припливними клапанами.

#### **Матеріали та методи досліджень**

Відповідно до мети роботи ми видозмінюємо розташування витяжних вентиляторів. Сутність заключається у наступному. У традиційній конструкції пташника витяжні вентилятори монтується не на задній торцевій стінці пташника, а в нашому випадку на бічній (рис. 1). по 4 шт на кожен стіну, в загальній кількості 8 шт.

На рис. 1 зображено 3D геометрію пташника для проведення моделювання CFD. Виконана у 100% масштабі, але лише половина пташника. По центру пташника встановлено граничні умови "симетрія". Інші граничні умови відображені на рис. 1. Ці заходи виконані через недостатню потужність комп'ютерного обладнання.

Розрахунки зроблено при витраті повітря 21,5 кг/с. Температура зовнішнього повітря приймається рівною +3 °C та вводиться параметр теплового випромінювання. Стіни виконані з двох сторін бетону

товщиною 60 мм та утепленим пінопластом ( $35 \text{ кг/м}^3$ ) між ними завтовшки 100 мм. Утеплена покрівля матеріалом "Izovat"  $\gamma=30 \text{ кг/м}^3$ , 100 мм. Підлога утеплена пінополістиролом  $45 \text{ кг/м}^3$  товщиною 100 мм на ширину 2 м від стіни по периметру, решта – 50 мм. У птахівничих приміщеннях птиця при підлоговому утриманні є джерелом теплоти, що становить  $+41 \text{ }^\circ\text{C}$ . Система опалення не передбачена. Для видалення повітря використовують витяжні вентилятори типу Munters EM50 1,5 HP в загальній кількості 4 шт. Припливні клапани Wlotpowietrza 3000-VFG із загальною кількістю 80 шт, які розміщені на висоті 0,21 м від перекриття (1-8 клапани) та 0,81 м для 9-40 клапана. По довжині пташника розташовано 40 припливних клапанів. Над клапанами вбудовані спойлери під кутом нахилу від вертикалі  $73^\circ$ , довжина їх становить 0,2 м для 1-8 клапана та 0,25 м для 9-40 клапана. За рекомендацією попередніх робіт авторів [23], ближні два клапани біля вентилятора не застосовуються (див. рис. 1). Таким чином не задіяні 5-6, 15-16, 25-26 та 35-36 припливні клапани. Між цими клапанами встановлені витяжні вентилятори. Решта конструктивних параметрів припливної вентиляції пташника можна отримати з таблиці 1.

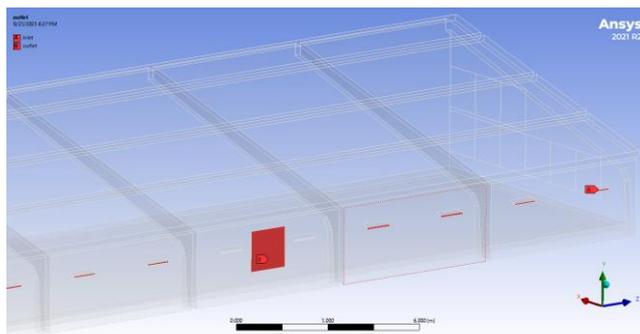


Рисунок 1 – Геометрія 3D пташника із зазначенням граничних умов та розташування четвертого витяжного вентилятора на бічній стіні

Таблиця 1 – Конструкційні параметри припливної вентиляції пташника

Параметри	Показник	
	1-8 кланани	9-40 клапани
Ширина клапана, м	0,86	0,86
Висота відкривання клапана, м	0,049	0,049
Довжина спойлера, м	0,2	0,25
Кут нахилу спойлера, $^\circ$	73	73
Висота розташування клапана від рівня перекриття, м	0,21	0,81
Довжина хвостовика клапана, м	0,04	0,04
Кількість задіяних клапанів для половини пташника, шт	6	26

Було побудовано сітка у повітряному середовищі пташника (див. рис. 2). В отворах витяжних вентиляторів та припливних клапанів сітка зменшена щодо решти площі стінки. А також поблизу підлоги, де знаходиться птиця. Подрібнення сітки проведено для точнішого розрахунку гідродинаміки та тепло-масообміну чисельним методом.

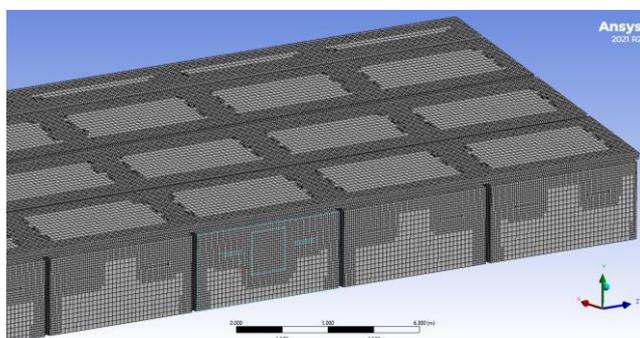


Рисунок 2 – Сітка в повітряному середовищі пташника

Використовуючи програмне забезпечення ANSYS Meshing, побудована розрахункова сітка 3D методом об'ємних елементів. Застосовано метод побудови сітки CutCell. Кількість елементів досягає 3 млн. Показник якості сітки ортогональної якості дорівнює 0,263. Мінімальний розмір елемента витяжних

вентиляторів та припливних клапанів на бічній стіні пташника 0,01 м. Більш детально можна ознайомитись у таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри будівництва сітки для птахівничого приміщення

Параметри настройки	Показник
Показчик якості сітки (orthogonal quality)	0,263
Кількість елементів, шт	3011614
Кількість вузлів, шт	2704435
Метод	CutCell
Максимальний розмір грані, м	0,16
Мінімальний розмір грані, м	0,08
Мінімальний розмір елемента припливних клапанів, м	0,08
Мінімальний розмір елемента витяжних вентиляторів, м	0,01

Модель CFD була виконана на рівняннях Navier-Stokes для конвективних течій [24-26]. У розрахунках застосовано модель випромінювання Discrete Ordinates [9; 27] і модель турбулентності Spalart-Allmaras [28; 29].

### Результати досліджень

У цьому розділі наведено результати чисельного моделювання пташника в 3D за допомогою ANSYS Fluent. Це дозволяє оцінити гідродинамічні потоки повітря в пташнику. Для проведення чисельного моделювання попередньо здійснюють побудову сітки 3D методом об'ємних елементів ANSYS Meshing.

На Рисунках 2-5 показані результати чисельного моделювання пташника на трьох ділянках по довжині приміщення – 10,25 м, 44,75 м та 85,25 м. Перша ділянка – середина 4-го припливного клапана. Друга – 2-й витяжний вентилятор (між 15-м та 16-м припливними клапанами). Третя ділянка – на середині 29-го припливного клапана.

Постійна витрата повітря 60771,5 м<sup>3</sup>/год при температурі повітря на вході +3 °С. Верхні шари повітря біля перекриття та поблизу бічної стінки температура дещо вища. Це супроводжується за рахунок радіаційного випромінювання сонця і становить від +21,5 до +24,5 °С (рис. 3). Оскільки птиця є джерелом тепла, а також у сукупності з радіаційним випромінюванням, повітря в приміщенні частково нагрівається. У центрі приміщення по всій висоті температура досягає +15-16 °С. Прохолодне повітря з температурою +3 °С прямує в центр приміщення і омиває птицю. На ділянці де припливне повітря активно переміщується з повітрям, що знаходиться в пташнику, температура повітря не перевищує +10,92 °С. З результатів моделювання спостерігаємо, як витяжний вентилятор витягує частину тепла з птиці. Що є неприпустимо. Середня температура повітря на витяжних вентиляторах +17,745637 °С.

На вході на припливних клапанах тиск становить 70,027471 Па. На витяжних вентиляторах спостерігається певне розрідження -0,660793 Па. У певних точках максимальний тиск досягає 73,2143 Па.

На рис. 4-5 показана гідродинаміка потоку повітря в пташнику. Як згадувалося вище, потік повітря спрямований гору припливними клапанами. Однак за рахунок видовженого спойлера для клапанів 9-40 на 5 см, створення надмірних тисків у цій ділянці входу у припливний клапан, швидкість на вході повітря після проходження майже всієї ширини приміщення розподіляється вниз та вгору. Тільки клапани на висоті 210 мм від перекриття (рис. 4а, 5а) плавно прямує до центру пташника. Повітря частково затримується за рахунок бетонних виступів перекриття.

Середня швидкість повітря на вході в припливних клапанів – 11,539383 м/с. У певних точках припливних клапанів пташника максимальна швидкість може досягати 12,04231 м/с. У самому центрі по ширині приміщення пташника утворюється один великий вихор (Рис. 4а, 5а). За рахунок збурення поблизу витяжних вентиляторів, по довжині пташника на 44,75 м (рис. 4б, 5б), поблизу перекриття повітря частково затримується та прямує до вентиляторів. На ділянці витяжних вентиляторів середня швидкість 3,2578597 м/с (рис. 4б, 5б). На відстані від передньої торцевої стінки пташника на 85,25 м (рис. 4в, 5в) утворюються один великий вихор. Повітря, яке прокачується через припливні клапани на висоті 810 мм, не досягає центру приміщення. Пройшовши третину приміщення, повітря направляється вниз до птиці. Таким чином, більша частина птиці є під впливом надмірних швидкостей, які перевищують 2 м/с, що може спричинити їх захворювання. Це може бути спричинене збуренням, яке відбувається за рахунок великих обсягів приміщення. А також збільшення довжини спойлера на 5 см, в порівнянні із першими восьми (див. табл. 1). Враховуючи, що припливні клапани з 9 по 40 не мають можливості бути підняті на висоту 0,21 м від перекриття, через дорогосточі монтажні роботи з перенесенням цих клапанів на відповідну висоту. Автори пропонують збільшити довжину хвостовика з 0,04 м до 0,1 м, а також зменшення довжини спойлера до 0,2 м. Це дасть змогу відрегулювати потік повітря таким чином, щоб уникнути падіння повітря на птицю.

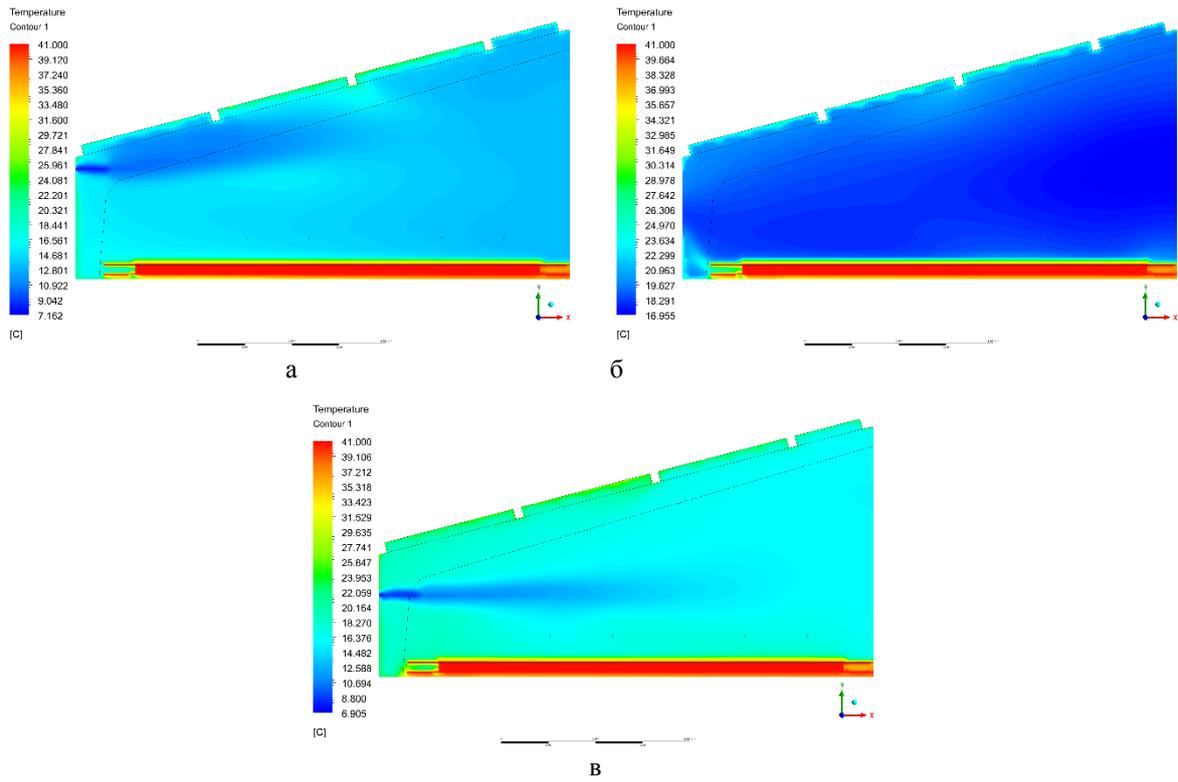


Рисунок 3 – Поле температур ( $^{\circ}\text{C}$ ) у приміщенні пташника на відстані від передньої торцевої стінки на: а – 10,25 м; б – 44,75 м; в – 85,25 м.

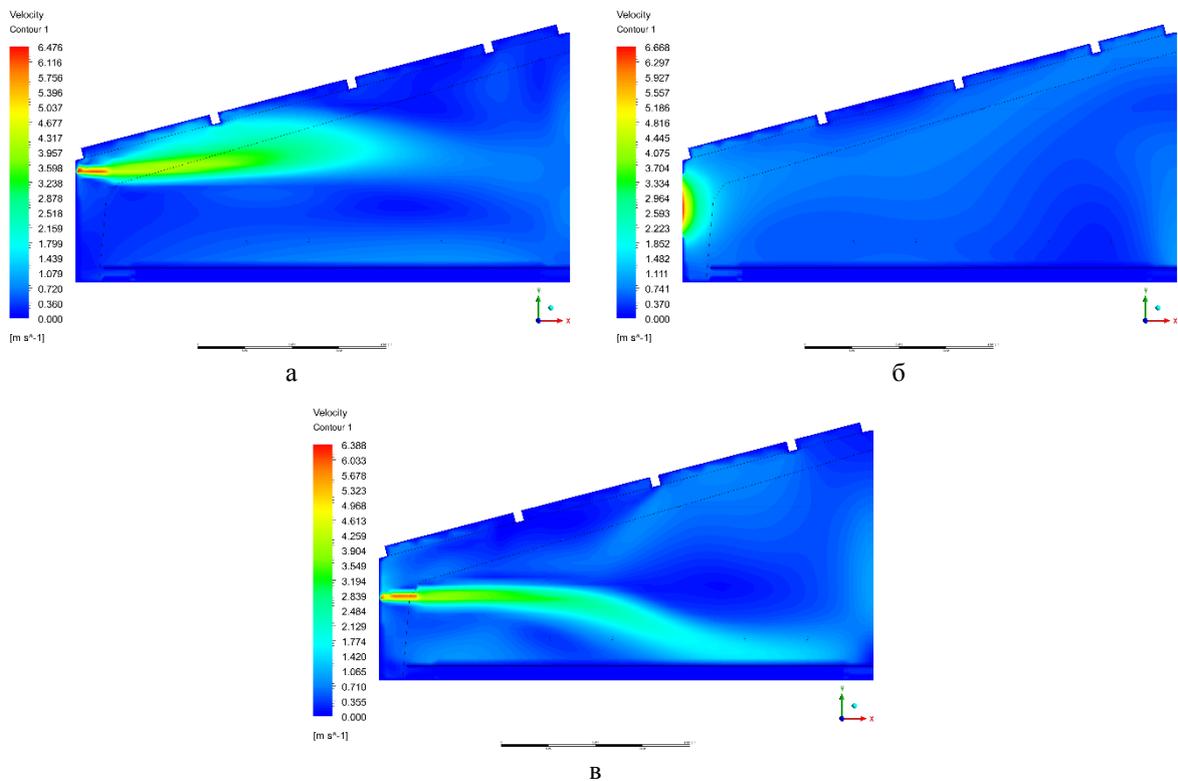


Рисунок 4 – Поле швидкостей (м/с) у приміщенні пташника на відстані від передньої торцевої стінки на:

*a – 10,25 м; б – 44,75 м; в – 85,25 м.*

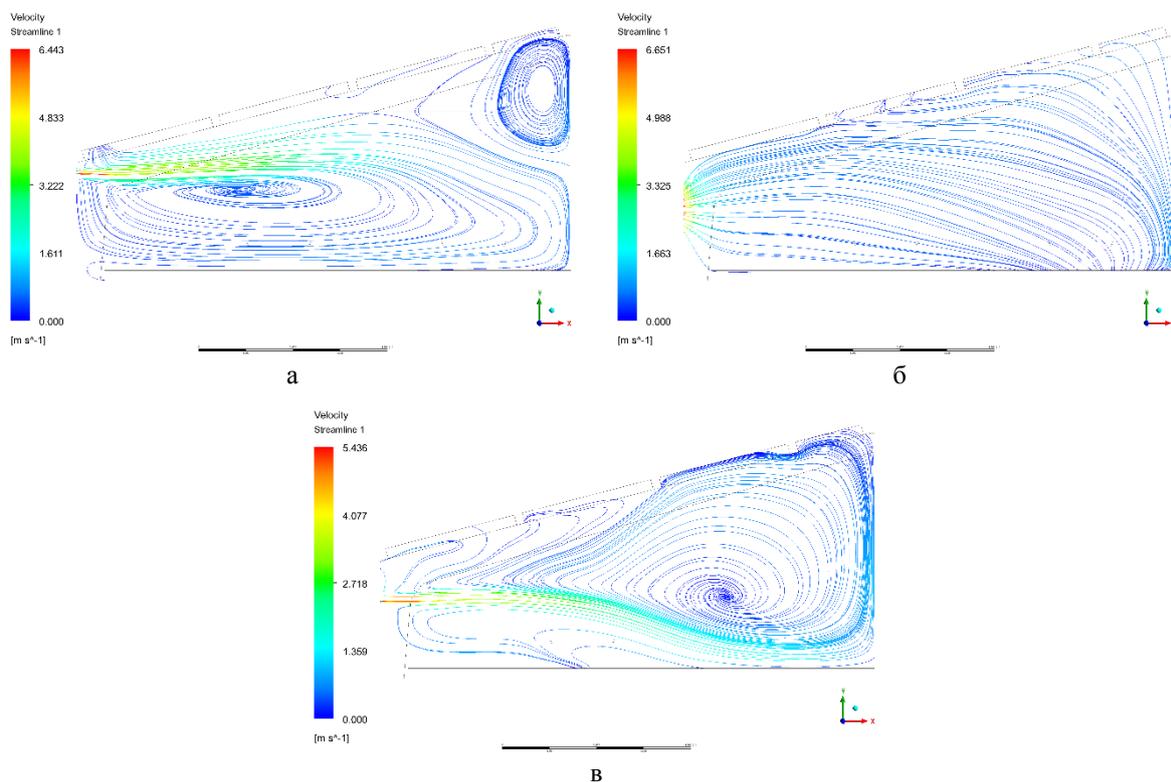


Рисунок 5 – Лінії току (м/с) у приміщенні пташника на відстані від передньої торцевої стінки на: *a – 10,25 м; б – 44,75 м; в – 85,25 м.*

На рис. 6 показано поле швидкостей та температур по площині приміщення на висоті 0,7 м. від рівня підлоги. Дані результати є найбільш цікавими, які допоможуть оцінити гідродинаміку та теплообмін повітря над птицею. Середня швидкість повітря становить 0,49924129 м/с, температура – 16,550689 °С. Лише у деяких точках швидкість дещо більше 2 м/с. Основний масив птиці не відчуватиме дискомфорту.

На рис. 7-8 представлено для пташника в 3D лінії току та візуалізація об'ємної витрати повітря в межах від 0 до 2 м/с. Наведені результати показують, що клапани розташовані на 0,81 м від перекриття працюють недостатньо ефективно. Клапани розташовані на 0,21 м, досягають своєї мети.

Детальна інформація усереднених показників повітряного середовища у пташнику в результаті проведеного чисельного моделювання представлена у таблиці 2.

З отриманих результатів CFD моделювання можна побачити, що за рахунок менших швидкостей над птицею і більш рівномірних температур якості продукції в порівнянні з традиційним розташуванням витяжних вентиляторів буде вищою. Проте представлені результати надають як позитивний, і негативний вплив на птицю загалом. Автори проаналізували всі позитивні та негативні моменти запропонованої системи вентиляції та надалі працюватимуть над усуненням недоліків.

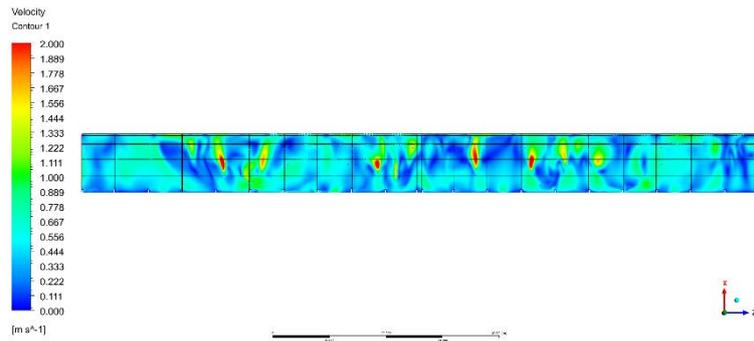
#### **Подяка**

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

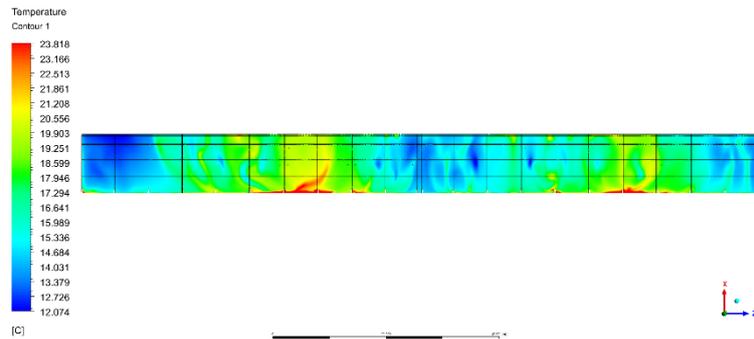
#### **Висновки**

Проведено CFD моделювання тепло-масообміну у приміщенні пташника. Для проведення CFD моделювання побудована сітка методом об'ємних елементів повітряного середовища пташника в 3D. Для побудови сітки у препроцесорі ANSYS Meshing використано метод CutCell. Максимальний розмір грані сітки 0,16 м. Кількість елементів близько 3 млн. показник якості сітки Orthogonal Quality 0,263.

Результати чисельного моделювання показали, що найбільш ефективно клапани працюють розташовані на висоті 0,21 м від перекриття. Швидкість повітря на вході припливних клапанів 11,54 м/с. Середня швидкість повітря на висоті 0,7 м від рівня підлоги становить 0,5 м/с, а температура – 16,55 °С. Зважаючи на вибір вентилятора, перепад тиску у припливних клапанів становить 70 Па, що повністю забезпечується прокачуванням повітря. Кут нахилу клапана щодо стіни становить 73°. Відкриття клапана на 49 мм. Однак із запропонованим розташуванням витяжних вентиляторів на бічній стінці пташника система вентиляції працює досить ефективно.

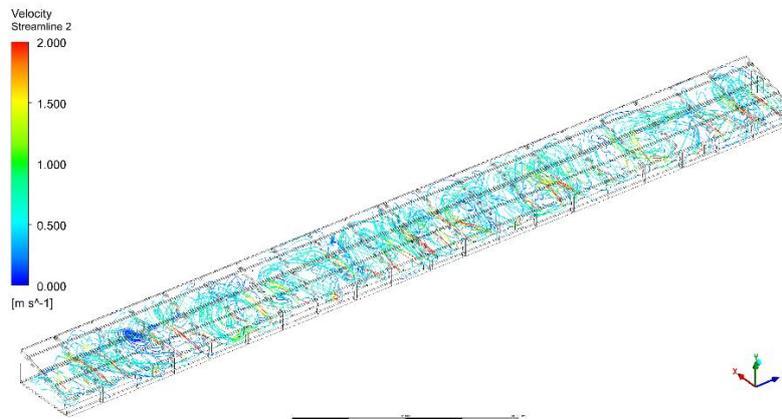


а

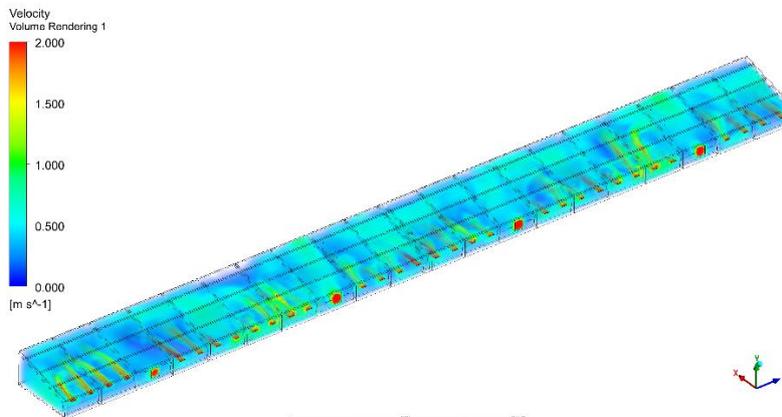


б

Рисунок 6 – Поле швидкостей, м/с (а) і поле температур, °С (б) у приміщенні пташника на висоті 0,7 м від рівня підлоги



а



б

Рисунок 8 – Візуалізація об'ємної витрати повітря пташника в межах від 0 до 2 м/с

Таблиця 2 – Середні показники повітряного середовища у пташнику

Параметр	Припливні клапани (inlet)	Витяжні вентилятори (outlet)
Витрата повітря на вході для половини пташника, кг/с	21,5	21,50118
Витрата повітря на вході для половини пташника, м <sup>3</sup> /год	60771,5	60771,5
Витрата повітря на вході для повного пташника, м <sup>3</sup> /год	121543	121543
Тиск повітря, Па	70,027471	-0,66079316
Температура повітря, °C	4,0107573	17,745637
Швидкість повітря, м/с	11,539383	3,2578597

Отримані в роботі наукові результати можуть використовуватися при розробці нових систем вентиляції для підтримки нормованого мікроклімату в приміщеннях птахівництва, що дозволяє збільшення продуктивності птахофабрик.

### Список використаної літератури

1. Modelling of ammonia emissions from naturally ventilated livestock buildings. Part 1: Ammonia release modelling / B. Vjerg та ін. *Biosystems Engineering*. 2013. Т. 116, № 5. Р. 232–245.
2. Exploring ventilation efficiency in poultry buildings: The validation of computational fluid dynamics (CFD) in a cross-mechanically ventilated broiler farm / E. Bustamante та ін. *Energies*. 2013. Т. 6, № 5. С. 2605-2623.
3. Computational fluid dynamics analysis of the thermal distribution of animal occupied zones using the jet-drop-distance concept in a mechanically ventilated broiler house / K.S. Kwon та ін. *Biosystems Engineering*. 2015. Т. 136. С. 51-68.
4. Wang K., Wang X., Wu B. Assessment of hygrothermal conditions in a farrowing room with a wet-pad cooling system based on CFD simulation and field measurements. *Transactions of the ASABE*. 2014. Т. 57, № 5. С. 1493-1500.
5. Online design aid for evaluating manure pit ventilation systems to reduce entry risk / H.B. Manbeck та ін. *Frontiers in Public Health*. 2016. Т. 4, № 2. С. 1-16.
6. Assessing the ventilation performance of a naturally ventilated livestock building with different eave opening conditions / T. Norton та ін. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2010. Т. 71, № 1. С. 7-21.
7. Küçüktopcu E., Cemek, B. Evaluating the influence of turbulence models used in computational fluid dynamics for the prediction of airflows inside poultry houses. *Biosystems Engineering*. 2019. Т. 183. С. 1-12.
8. Ma Y.X., Zou H.F. Optimized design of air inlet devices based on environmental analysis of a broiler house model. *IOP Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Т. 789. 012036.
9. ANSYS Fluent theory guide. Release 2021 R1., 2021. URL: [https://ansyshelp.ansys.com/Views/Secured/corp/v211/en/pdf/ANSYS\\_Fluent\\_Theory\\_Guide.pdf](https://ansyshelp.ansys.com/Views/Secured/corp/v211/en/pdf/ANSYS_Fluent_Theory_Guide.pdf) (дата звернення: 04.09.2023).
10. Modelling heat and mass transfer of a broiler house using computational fluid dynamics / F. Rojano та ін. *Biosystems Engineering*. 2015. Т. 136. С. 25-38.
11. Computational modelling of thermal and humidity gradients for a naturally ventilated poultry house / F. Rojano та ін. *Biosystems Engineering*. 2016. Т. 151. С. 273-285.
12. Tong X., Hong S.-W., Zhao, L. CFD modelling of airflow pattern and thermal environment in a commercial manure-belt layer house with tunnel ventilation. *Biosystems Engineering*. 2019. Т. 178. С. 275-293.
13. Tong X., Hong S.-W., Zhao, L. Using CFD simulations to develop an upward airflow displacement ventilation system for manure-belt layer houses to improve the indoor environment. *Biosystems Engineering*. 2019. Т. 178. С. 294-308.
14. Intelligent control system of biotechnological objects with fuzzy controller and noise filtration unit / A. Dudnyk та ін. *2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology* 2019. Т. 3. С. 586-590.
15. Lendiel T., Lysenko V., Nakonechna K. Computer-integrated technologies for fitomonitoring in the greenhouse. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2021. Т. 48. С. 711-729.
16. Phytomonitoring in the phytometrics of the plants / V. Lysenko та ін. *E3S Web of Conferences*. 2020. Т. 154. 07012.
17. Mobile robot with optical sensors for remote assessment of plant conditions and atmospheric parameters in an industrial greenhouse / V. Lysenko та ін. *International Society for Optical Engineering*. 2021. Т. 12040. 120400D.
18. Lysenko V., Bolbot I., Lendel T. Energy efficient system of electrotechnological complex control in industrial greenhouse. *Technical Electrodynamics*. 2019. Т. 2, № 2. С. 78-81.
19. Spodyniuk N., Lis A. Research of temperature regime in the module for poultry growing. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Т. 100. С. 451-458.
20. Experimental research and CFD modeling of modular poultry breeding / V.I. Trokhaniak та ін. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2021. Т. 65, № 3. С. 303-311.
21. Using CFD simulation to investigate the impact of fresh air valves on poultry house aerodynamics in case of a side ventilation system / V.I. Trokhaniak та ін. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2020. Т. 62, № 3. С. 155-164.

22. Investigation of the influence of exhaust fan's location on the upper line on poultry house aerodynamics with the use of CFD / V.I. Trokhaniak та ін. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2022. Т. 67, № 2. С. 425-432.
23. . Investigation of an improved side ventilation system in a poultry house using CFD / V.I. Trokhaniak та ін. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2023. Т. 69, № 1. С. 384-393.
24. Khmelnik S. Navier-Stokes equations. On the existence and the search method for global solutions. Bene-Ayish : "MiC" - Mathematics in Computer Corp, 2018. 261 с.
25. Trokhaniak V., Klendii O. Numerical simulation of hydrodynamic and heat-mass exchange processes of a microclimate control system in an industrial greenhouse. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*. 2018. Т. 11(60), № 2. С. 171-184.
26. A comparative numerical study of shell and multi-tube heat exchanger performance with different baffles configurations / S.A. Marzouk та ін. *International Journal of Thermal Sciences*. 2020. Т. 179. 107655.
27. Moreno J., Casado C., Marugán J. Improved discrete ordinate method for accurate simulation radiation transport using solar and LED light sources. *Chemical Engineering Science*. 2019. Т. 205. С. 151-164.
28. Allmaras S., Johnson F., Spalart P. Modifications and clarifications for the implementation of the Spalart-Allmaras Turbulence model. м. Melbourne, 9-12 лип. 2012 р. Melbourne, 2012. С. 9-13.
29. Simulation of airflow past a 2D NACA0015 airfoil using an isogeometric incompressible Navier-Stokes solver with the Spalart-Allmaras turbulence model / K. Nordanger та ін. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2015. Т. 290. С. 183-208.

V. Trokhaniak<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-8084-1568  
O. Shelimanova<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-3321-1651  
S. Tarasenko<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-4829-0559  
A. Balitsky<sup>1</sup>, master student, ORCID 0009-0005-0955-8849  
<sup>1</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

## RESEARCH OF THE SIDE VENTILATION SYSTEM IN THE POULTRY HOUSE USING CFD

*Maintaining a standardized microclimate in the poultry house is one of the main factors. The quality of the output ultimately depends on the quality indicators of the air parameters. Keeping a bird requires great efforts and technological solutions. In connection with this study, there is an improvement of the microclimate system in the air environment of the poultry house due to the inclusion of exhaust fans on the rear end wall in an unconventional way. Computational Fluid Dynamics (CFD) using ANSYS Fluent is a powerful tool for predicting the microclimate system in the poultry house as an alternative to experimental studies. The CFD model was performed on the Navier-Stokes equations for convective flows. The calculations use the Discrete Ordinates radiation model and the Spalart-Allmaras turbulence model.*

*The calculations were made with an air consumption of 21.5 kg/s. The temperature of the outside air is assumed equal to +3 °C and the thermal radiation parameter is entered. For air removal, Munters EM50 1.5 HP exhaust fans are used in a total number of 4 pcs. Inflow valves Wlotpowietrza 3000-VFG with a total number of 80 pcs., which are placed at a height of 0.21 m from the ceiling (1-8 valves) and 0.81 m for 9-40 valves.*

*According to the results of CFD modeling of hydrodynamics and heat and mass exchange processes, it was concluded that changing the angle of the spoiler by 73° allows air to be supplied to the center of the poultry house. The upper air layers near the ceiling and near the side wall have a slightly higher temperature. This is accompanied by radiation from the sun and ranges from +21.5 to +24.5 °C. Since the bird is a source of heat, and in combination with radiation, the air in the room is partially heated. In the center of the room along the entire height, the temperature reaches +15-16 °C. At the same time, the pressure drop of the inlet valves is 70 Pa, which allows the exhaust fan to be fully supplied. The air velocity at the inlet of the inflow valves is 11.54 m/s. The average air speed at a height of 0.7 m from the floor level is 0.5 m/s, the temperature is 16.55 °C.*

*Thus, the presented scientific research can be used in the future to develop new ventilation systems for poultry houses.*

**Keywords:** aviary, side ventilation, CFD, inlet valve, aerodynamics

### References

1. Modelling of ammonia emissions from naturally ventilated livestock buildings. Part 1: Ammonia release modelling / B. Bjerg та ін. *Biosystems Engineering*. 2013. Vol. 116, no. 5. P. 232-245.
2. Exploring ventilation efficiency in poultry buildings: The validation of computational fluid dynamics (CFD) in a cross-mechanically ventilated broiler farm / E. Bustamante та ін. *Energies*. 2013. Vol. 6, no. 5. P. 2605-2623.
3. Computational fluid dynamics analysis of the thermal distribution of animal occupied zones using the jet-drop-distance concept in a mechanically ventilated broiler house / K.S. Kwon та ін. *Biosystems Engineering*. 2015. Vol. 136. P. 51-68.

4. Wang K., Wang X., Wu B. Assessment of hygrothermal conditions in a farrowing room with a wet-pad cooling system based on CFD simulation and field measurements. *Transactions of the ASABE*. 2014. Vol. 57, no. 5. P. 1493-1500.
5. Online design aid for evaluating manure pit ventilation systems to reduce entry risk / H.B. Manbeck та ін. *Frontiers in Public Health*. 2016. Vol. 4, no. 2. P. 1-16.
6. Assessing the ventilation performance of a naturally ventilated livestock building with different eave opening conditions / T. Norton та ін. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2010. Vol. 71, no. 1. P. 7-21.
7. Küçüktopcu E., Cemek, B. Evaluating the influence of turbulence models used in computational fluid dynamics for the prediction of airflows inside poultry houses. *Biosystems Engineering*. 2019. Vol. 183. P. 1-12.
8. Ma Y.X., Zou H.F. Optimized design of air inlet devices based on environmental analysis of a broiler house model. *IOP Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 789. 012036.
9. ANSYS Fluent theory guide. Release 2021 R1., 2021. URL: [https://ansyshelp.ansys.com/Views/Secured/corp/v211/en/pdf/ANSYS\\_Fluent\\_Theory\\_Guide.pdf](https://ansyshelp.ansys.com/Views/Secured/corp/v211/en/pdf/ANSYS_Fluent_Theory_Guide.pdf) (date of access: 04.09.2023).
10. Modelling heat and mass transfer of a broiler house using computational fluid dynamics / F. Rojano та ін. *Biosystems Engineering*. 2015. Vol. 136. P. 25-38.
11. Computational modelling of thermal and humidity gradients for a naturally ventilated poultry house / F. Rojano та ін. *Biosystems Engineering*. 2016. Vol. 151. P. 273-285.
12. Tong X., Hong S.-W., Zhao, L. CFD modelling of airflow pattern and thermal environment in a commercial manure-belt layer house with tunnel ventilation. *Biosystems Engineering*. 2019. Vol. 178. P. 275-293.
13. Tong X., Hong S.-W., Zhao, L. Using CFD simulations to develop an upward airflow displacement ventilation system for manure-belt layer houses to improve the indoor environment. *Biosystems Engineering*. 2019. Vol. 178. P. 294-308.
14. Intelligent control system of biotechnological objects with fuzzy controller and noise filtration unit / A. Dudnyk та ін. *2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology* 2019. Vol. 3. P. 586-590.
15. Lendiel T., Lysenko V., Nakonechna K. Computer-integrated technologies for fitomonitoring in the greenhouse. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2021. Vol. 48. C. 711-729.
16. Phytomonitoring in the phytometrics of the plants / V. Lysenko та ін. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 154. 07012.
17. Mobile robot with optical sensors for remote assessment of plant conditions and atmospheric parameters in an industrial greenhouse / V. Lysenko та ін. *International Society for Optical Engineering*. 2021. Vol. 12040. 120400D.
18. Lysenko V., Bolbot I., Lendel T. Energy efficient system of electrotechnological complex control in industrial greenhouse. *Technical Electrodynamics*. 2019. Vol. 2, no. 2. P. 78-81.
19. Spodyniuk N., Lis A. Research of temperature regime in the module for poultry growing. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 100. P. 451-458.
20. Experimental research and CFD modeling of modular poultry breeding / V.I. Trokhaniak та ін. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 65, no. 3. P. 303-311.
21. Using CFD simulation to investigate the impact of fresh air valves on poultry house aerodynamics in case of a side ventilation system / V.I. Trokhaniak та ін. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 62, no. 3. P. 155-164.
22. Investigation of the influence of exhaust fan's location on the upper line on poultry house aerodynamics with the use of CFD / V.I. Trokhaniak та ін. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 67, no. 2. P. 425-432.
23. Investigation of an improved side ventilation system in a poultry house using CFD / V.I. Trokhaniak та ін. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2023. Vol. 69, no. 1. P. 384-393.
24. Khmelnik S. Navier-Stokes equations. On the existence and the search method for global solutions. Bene-Ayish : "MiC" - Mathematics in Computer Corp, 2018. 261 p.
25. Trokhaniak V., Klendii O. Numerical simulation of hydrodynamic and heat-mass exchange processes of a microclimate control system in an industrial greenhouse. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*. 2018. Vol. 11(60), no 2. P. 171-184.
26. A comparative numerical study of shell and multi-tube heat exchanger performance with different baffles configurations / S.A. Marzouk та ін. *International Journal of Thermal Sciences*. 2020. Vol. 179. 107655.
27. Moreno J., Casado C., Marugán J. Improved discrete ordinate method for accurate simulation radiation transport using solar and LED light sources. *Chemical Engineering Science*. 2019. Vol. 205. P. 151-164.
28. Allmaras S., Johnson F., Spalart P. Modifications and clarifications for the implementation of the Spalart-Allmaras Turbulence model. Melbourne, 9-12 July. 2012. Melbourne, 2012. P. 9-13.
29. Simulation of airflow past a 2D NACA0015 airfoil using an isogeometric incompressible Navier-Stokes solver with the Spalart-Allmaras turbulence model / K. Nordanger та ін. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2015. Vol. 290. P. 183-208.

Надійшла: 04.09.2023  
Received: 04.09.2023