**Яропуд В.М.**

Д.Т.Н., доцент

**Вінницький національний  
аграрний університет****Yaropud V.**

Ph.D., Associate Professor

**Vinnitsia National Agrarian  
University****УДК 628.84:636.4****DOI: 10.37128/2306-8744-2025-2-1**

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПІДЛОГОВОГО КАНАЛУ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ УТРИМАННЯ СВИНЕЙ**

Забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях для утримання свиней є однією з ключових умов підвищення продуктивності тварин, збереження їхнього здоров'я та зниження негативного впливу на довкілля. Особливе значення має вентиляція підлогових каналів, у яких відбувається інтенсивне накопичення та виділення аміаку, сірководню, вуглекислого газу та водяної пари. Недостатня ефективність вентиляційних систем призводить до погіршення гігієнічних умов утримання, підвищення захворюваності тварин, зниження їх приростів і продуктивності, а також до зростання енерговитрат на підтримання допустимих параметрів мікроклімату.

У даній роботі представлено результати комплексного дослідження системи вентиляції підлогового каналу, що включало як чисельне моделювання, так і експериментальні випробування у виробничих умовах. Для моделювання використано тривимірні CFD-моделі, побудовані з урахуванням турбулентного руху повітря, теплообміну, багатокомпонентного складу газової суміші та впливу сили тяжіння. Застосовано «k-ε» модель турбулентності та осереднені за Рейнольдсом рівняння Нав'є-Стокса. Геометрія приміщення та підлогових каналів відтворювала реальні конструктивні параметри. Для підвищення точності розрахунків у зонах із малими геометричними розмірами застосовувалася адаптивна сітка з локальним уточненням.

Експериментальні дослідження проводилися у приміщеннях для відгодівлі свиней із використанням сучасних приладів для моніторингу концентрацій  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  і  $\text{CO}_2$ , температури, відносної вологості та швидкості повітря на різних висотах. Отримані дані порівнювалися з результатами чисельного моделювання, що дозволило провести валідацію CFD-моделей та уточнити параметри фізичних процесів.

Встановлено, що застосування вентиляції з відсмоктуванням повітря безпосередньо з підлогових каналів сприяє зниженню пікових концентрацій аміаку у зоні перебування тварин у 1,5–2 рази порівняно з традиційними системами загальнообмінної вентиляції. Оптимізація режимних параметрів (швидкості повітрообміну, розташування витяжних каналів, частки відсмоктування з підлоги та приміщення) дозволила досягти балансу між ефективністю видалення шкідливих газів і енергоефективністю роботи вентиляторів.

Практична значущість роботи полягає у



можливості використання отриманих результатів для розроблення рекомендацій щодо проєктування та експлуатації систем вентиляції підлогових каналів, спрямованих на поліпшення мікроклімату, зменшення негативного впливу на здоров'я тварин та обслуговуючого персоналу, а також підвищення екологічної безпеки свинарських комплексів.

**Ключові слова:** свинарство; вентиляція; підлоговий канал; мікроклімат; CFD-моделювання; експериментальні дослідження; аміак; сірководень; вуглекислий газ; енергоефективність.

**Вступ.** Сучасні тенденції розвитку свинарства вимагають створення оптимальних умов мікроклімату у тваринницьких приміщеннях, оскільки вони безпосередньо впливають на продуктивність тварин, збереження їх здоров'я та ефективність виробництва. Одним із ключових елементів технології утримання свиней є вентиляція, яка забезпечує видалення надлишкової вологи, тепла, шкідливих газів (аміаку, сірководню, вуглекислого газу), а також пилу та мікроорганізмів із повітряного середовища. Особливої уваги потребує організація вентиляції у підлогових каналах, де відбувається накопичення гною та інтенсивне виділення газоподібних продуктів розкладу органічних речовин [1, 2].

Недостатня або нераціонально організована система вентиляції може призвести до погіршення гігієнічних умов, підвищення захворюваності поголів'я, зниження приростів та економічної ефективності виробництва. Тому дослідження роботи вентиляційних систем підлогових каналів має важливе практичне значення для забезпечення екологічної безпеки, енергоефективності та дотримання вимог сучасних стандартів утримання свиней.

У наукових публікаціях останніх років [3–6] значна увага приділяється питанням оптимізації конструктивних параметрів вентиляційних систем, моделюванню повітряних потоків, а також оцінці впливу різних схем повітрообміну на мікроклімат тваринницьких приміщень. Однак специфіка роботи підлогових каналів та їх роль у формуванні якісного повітряного середовища потребують подальших досліджень.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У сучасних роботах [7–8] з мікроклімату тваринницьких приміщень підкреслюється визначальна роль правильно організованої вентиляції для зниження концентрацій аміаку ( $\text{NH}_3$ ), сірководню ( $\text{H}_2\text{S}$ ), вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) та пилу, а також для відведення надлишкового тепла і вологи. Більшість авторів сходяться на тому, що саме підпідлогові канали (гноєзбірники під щільними підлогами) є головним джерелом газових викидів, а тому стратегія відсмоктування повітря

безпосередньо з каналу забезпечує кращу санітарно-гігієнічну ситуацію у зоні перебування тварин порівняно з традиційними схемами загальнообмінної вентиляції.

Значний пласт праць [9–12] присвячено чисельному моделюванню аеродинаміки та масообміну у приміщеннях для свиней. Використовуються підходи CFD на базі рівнянь RANS ( $k$ – $\epsilon$ ,  $k$ – $\omega$  SST) та, рідше, LES для відтворення турбулентних структур і конвективного переносу домішок. В оглядах відзначається, що точність CFD-розрахунків істотно залежить від коректної постановки граничних умов (реалістичний профіль надходження повітря, теплові та газові джерела), параметрів турбулентності та дискретизації щільності підлоги (ефективна пористість/локальна модель щільності). У низці робіт виконано порівняння схем подачі/видалення (стельова подача з відсмоктуванням із каналу, бокова подача, рециркуляційні варіанти), що показало високу чутливість картини потоків до геометрії каналу, висоти шару гною, температурних градієнтів і зовнішніх кліматичних умов.

Експериментальні дослідження [13–15], як правило, проводяться у двох форматах: (1) лабораторні стенди зі зменшеним масштабом із трасувальними газами ( $\text{SF}_6$ ,  $\text{CO}_2$ ) та/або димовими візуалізаторами для валідації CFD; (2) повномасштабні випробування у виробничих приміщеннях із безперервним моніторингом  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ , температури, відносної вологості та швидкості повітря на різних висотах. Показано, що застосування локального відсмоктування з підлогового каналу зменшує пікові концентрації  $\text{NH}_3$  у зоні дихання тварин і персоналу, водночас потребує ретельного балансування витрат повітря, аби уникнути протягів і надмірних енерговитрат.

Окремий напрям робіт [16–17] стосується енергоефективності та керування. Запропоновано алгоритми попиту-керованої вентиляції (DCV) з використанням датчиків  $\text{CO}_2/\text{NH}_3$  як проксі-навантаження, адаптивні регулятори (PID/MPC) із сезонною переналаштуваністю, а також комбіновані системи з рекуперацією тепла. Встановлено, що гнучке керування співвідношенням між

загальнообмінним і «каналним» відсмоктуванням дозволяє одночасно утримувати концентрації газів нижче гігієнічних порогів і скорочувати споживання електроенергії вентиляторами.

У публікаціях [18–19] з екологічної безпеки розглядаються моделі утворення й десорбції  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{S}$  із рідкої фракції гною, вплив pH, температури, швидкості масообміну на межі «рідина–повітря» та турбулентну дифузію в каналі. Наголошується на важливості інтеграції кінетики емісій у CFD-моделі, адже сталі «джерела маси» спрощують фізику процесу й можуть занижувати або завищувати прогнози концентрацій у зоні тварин.

Таким чином, актуальним є поєднання чисельного моделювання високої роздільної здатності з повномасштабною експериментальною перевіркою для отримання перевірених критеріїв проєктування та керування системами вентиляції підлогових каналів. У цій роботі зроблено крок у цьому напрямі: виконано CFD-аналіз різних схем відсмоктування з каналу, проведено експериментальні вимірювання показників мікроклімату та газових концентрацій, а також визначено діапазони оптимальних режимних параметрів з урахуванням гігієнічних та енергетичних критеріїв.

**Мета та завдання дослідження.**

Виконати чисельне моделювання та експериментальні дослідження системи вентиляції підлогового каналу приміщення для утримання свиней з метою оцінки її ефективності, визначення особливостей формування повітряних потоків та встановлення оптимальних режимних параметрів роботи, які забезпечують покращення мікроклімату, зниження концентрації шкідливих газів та підвищення енергоефективності вентиляції.

**Викладення основного матеріалу.**

Перший етап досліджень, а саме чисельне моделювання системи вентиляції підлогового каналу приміщення для утримання свиней проведено в програмному пакеті Simcenter Star-CCM+. Сформовано 3D-моделі областей, у яких відбувається рух теплових та повітряних потоків. Для побудови сіткових структур використано генератор багатограних комірок у поєднанні з генератором поверхневої сітки. Базовий розмір комірки прийнято 1 м. Для конструктивних елементів із розмірами менше 0,1 м розмір комірки зменшували до 4 % (0,04 м), а для елементів із розмірами менше 0,02 м – до 1 % (0,01 м). Геометричні параметри елементів, їх опис та сіткові моделі приміщення для свиней наведено на рис. 1.

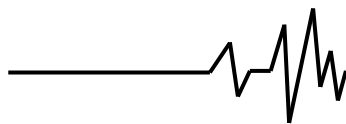


**Рис. 1. Сіткова модель приміщення для утримання свиней із підлоговою системою вентиляції**

Під час побудови фізичних моделей повітряного середовища застосовано тривимірне моделювання з урахуванням багатокomпонентного нерегулюючого ідеального газу, роздільної течії та наявності градієнтів. Рух середовища розглядався як турбулентний, з використанням «к-ε» моделі турбулентності, осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є–Стокса, а також рівняння енергії для визначення температурного поля. Вплив сили тяжіння враховувався, розрахунки виконувалися із застосуванням нестационарного неявного вирішувача.

Для моделювання стін приміщення використано тривимірний підхід із припущенням суцільного середовища постійної щільності. Теплопередача описувалася рівнянням енергії для твердого тіла з урахуванням градієнтів, розрахунки також проводилися за допомогою нестационарного неявного вирішувача.

Матеріалом стін приміщення обрано



керамзитобетон із такими властивостями: щільність –  $1200,0 \text{ кг/м}^3$ ; питома теплоємність –  $840,0 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ; коефіцієнт теплопровідності –  $0,36 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ .

Склад газового середовища включав два компоненти. Першим компонентом було повітря з характеристиками: молярна маса –  $28,9664 \text{ кг/кмоль}$ ; динамічна в'язкість –  $1,85508 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коефіцієнт теплопровідності –  $0,0260305 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ ; питома теплоємність –  $1003,62 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ . Другим компонентом виступав водяний пар із такими параметрами: молярна маса –  $18,0153 \text{ кг/кмоль}$ ; динамічна в'язкість –  $8,8871 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коефіцієнт

теплопровідності –  $0,620271 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ ; питома теплоємність –  $4181,72 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ .

Початкові умови моделювання були такими: атмосферний тиск –  $101,3 \text{ кПа}$ ; вектор сили тяжіння –  $(0,0; 0,0; -9,81) \text{ м/с}^2$ ; температура повітря –  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Початкова відносна вологість становила  $70 \%$ , що відповідає абсолютній вологості  $16 \text{ г/м}^3$ .

На рис. 2 наведено розподіл температур приміщень, які отримані за результатами чисельного моделювання. Також на рис. 2 відмічені площини перерізів, які досліджувалися більш детально.

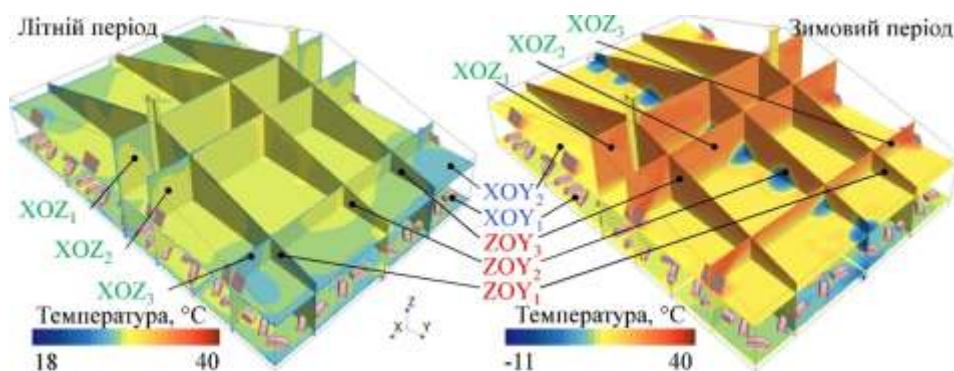


Рис. 2. Розподіли температури в приміщеннях свинарників

Отримані візуалізації надають можливість візуально оцінити розподіл температури (рис. 2), швидкості повітря (рис. 3)

та рівня вологості (рис. 4) в приміщенні, де застосовується система вентиляції з використанням підлогового каналу.

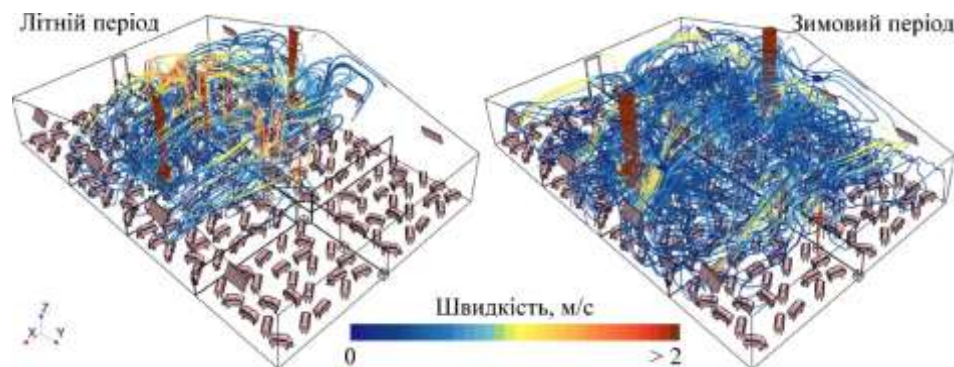


Рис. 3. Лінії потоку повітря в приміщеннях свинарників

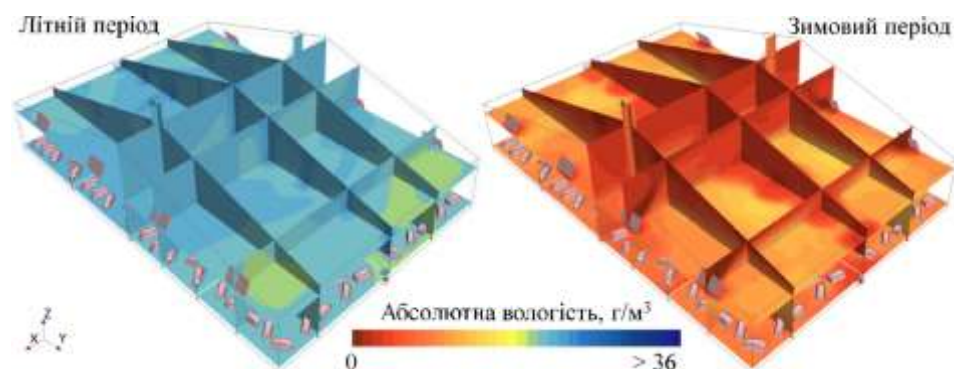
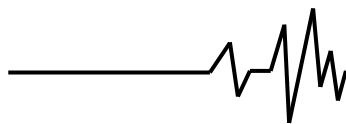


Рис. 4 Розподіл абсолютної вологості в середині приміщень свинарників



На другому етапі, а саме експериментальних досліджень, розширено обсяг досліджень на всю будівлю для утримання свиней, де впроваджено систему вентиляції з підлоговим каналом.

Параметри мікроклімату приміщення

для утримання поросят на дорошуванні досліджувалися в умовах фермерського господарства «Літагор». Зовнішній вигляд і проєкт приміщення та елементів системи вентиляції наведено на рис. 5.

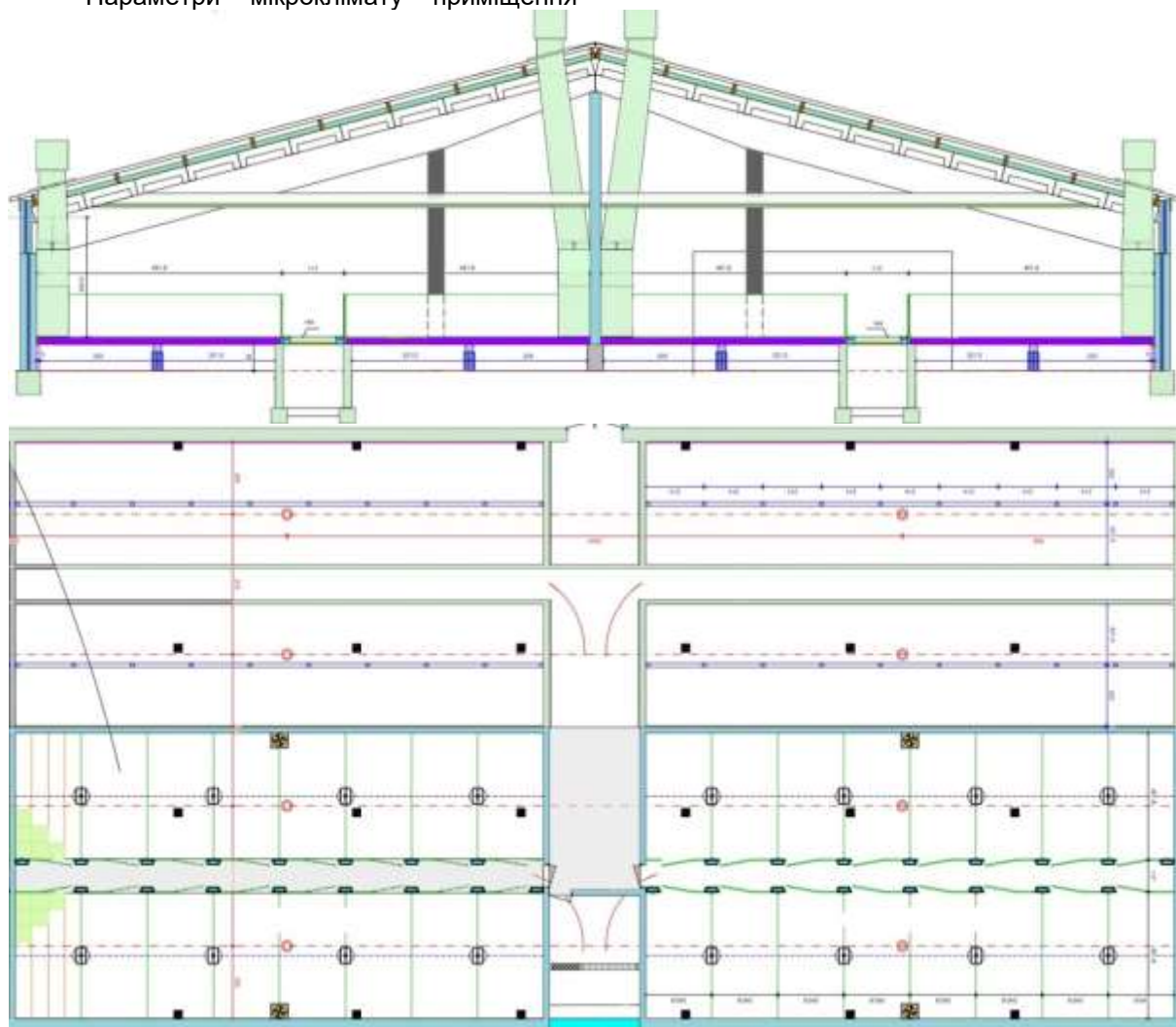


Рисунок 5 – Проєкт приміщення із системою вентиляції з підловим каналом для утримання свиней на дорошуванні

У приміщенні діє система вентиляції, яка створює від'ємний тиск. Ця система забезпечує регулювання мікроклімату в приміщенні за такою схемою: повітря з навколишнього середовища надходить через регульовальні отвори, розташовані на одному боці приміщення, і потім рухається під проходами. У проходах розміщені однаково віддалені один від одного отвори, через які повітряний потік надходить в приміщення. Витяжні шахти розташовані з боків секцій. Вони призначені для відведення повітря з приміщення в навколишнє середовище. При цьому створюється від'ємний тиск.

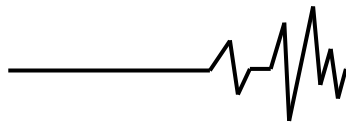
Дослідження проводились в літній період, а саме в липні, коли температура

навколишнього середовища досягала 35–38 °С.

Проведені вимірювання вказаних параметрів на різних висотах над підлогою (0,3 м, 0,7 м, 1,6 м) у зоні перебування тварин кожного станку. Додатково, також вимірювалася температура на шкірі тварини на загривку, а також температури поверхонь суцільної і щільної підлог.

Здійснено вимірювання температури повітря у 16 різних точках (групових станків). На основі отриманих даних складений графік, який демонструє залежність температури повітря від розташування групового станка (рис. 6).

У таблиці 1 наведені граничні і середні значення та їх відхилення.



Таблиця 1 – Температура повітряного потоку в приміщенні для утримання порослят

| Розташування     | Max, °C | Min, °C | Mean, °C | Δ, °C |
|------------------|---------|---------|----------|-------|
| Суцільна підлога | 22,9    | 21,3    | 22,1     | 0,5   |
| Щілинна підлога  | 26,2    | 24,4    | 25,3     | 0,5   |
| 0,3 м            | 22,7    | 18,7    | 20,7     | 1,2   |
| 0,7 м            | 23,6    | 19,6    | 21,6     | 1,2   |
| 1,6 м            | 23,6    | 19,6    | 21,7     | 1,3   |
| Шкіра тварини    | 37,2    | 36,0    | 36,6     | 0,4   |

З таблиці 1 видно, що найтепліше повітря спостерігається на висоті від 160 см від підлоги. Це може пояснюватись тим, що тепле повітря має тенденцію підніматись вгору, оскільки воно легше за холодне. З рис. 6 видно, що з 13 групового станка температура повітря в зоні перерубування тварин (висота 30 см від підлоги) не відповідає рекомендованим межах. Це вказує на необхідність удосконалення системи регулювання температури в приміщенні, особливо з огляду на комфорт та здоров'я свиней.

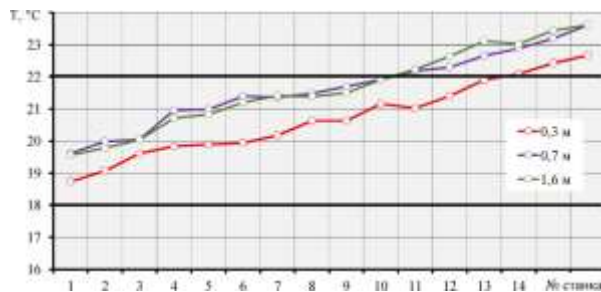


Рис. 6. Графік зміни температури повітря в групових станках

У групових станках проведено вимірювання відносної вологості повітря, яка знаходилась в діапазоні від 60,6 % до 95,2 %, в залежності від висоти над підлогою. Отримані дані зазначені в табл. 2 та на рис. 7. Відносна вологість збільшується із зниженням висоти. Це можна пояснити розташуванням каналів для гною та виділенням вологи з підстилки. Провівши порівняння отриманих даних із рекомендованими, встановлено, що на висоті 0,3 м вологість повітряного потоку є більше норми, оскільки рекомендований діапазон відносної вологості знаходиться в межах 60–80 %.

Таблиця 2 – Вологість повітряного потоку в приміщенні для утримання порослят

| Місце | Max, % | Min, % | Mean, % | Δ, % |
|-------|--------|--------|---------|------|
| 0,3 м | 95,2   | 80,8   | 88,4    | 3,4  |
| 0,7 м | 88,1   | 69,3   | 77,8    | 4,1  |
| 1,6 м | 76,6   | 60,6   | 68,7    | 3,5  |

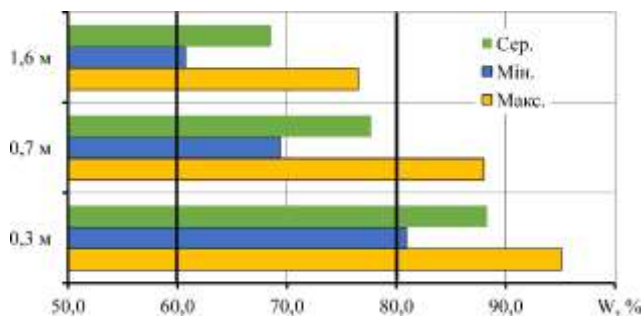


Рис. 7. Залежність вологості повітряного потоку від висоти

В приміщенні проведено вимірювання швидкості повітря, які коливались в діапазоні 0,12–0,81 м/с, в залежності від висоти розміщення датчика для вимірювання. Отримані результати наведені в табл. 3 та

представлені на рис. 8. На висоті 0,30 м середня швидкість потоку повітря в цілому знаходиться в межах допустимих значень, не перевищуючи 0,2 м/с.

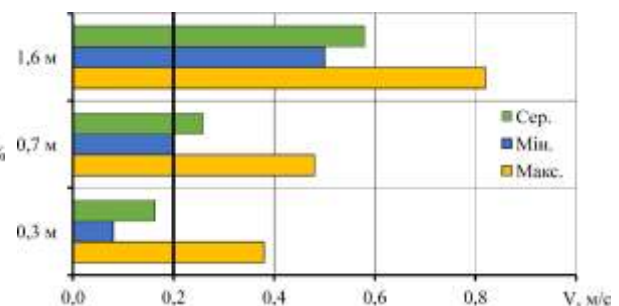
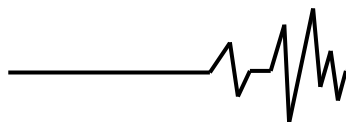


Рис. 8. Залежність швидкості повітряного потоку від висоти



Таблиця 3 – Розподіл швидкості повітряного потоку в свинарнику

| Місце | Max, м/с | Min, м/с | Mean, м/с | Δ, м/с |
|-------|----------|----------|-----------|--------|
| 0,3 м | 0,42     | 0,12     | 0,22      | 0,12   |
| 0,7 м | 0,53     | 0,21     | 0,31      | 0,11   |
| 1,6 м | 0,81     | 0,53     | 0,64      | 0,12   |

В приміщенні для утримання поросят використовується система вентиляції з від'ємним тиском. З вентиляційних каналів, які розташовані під проходами, свіже повітря надходить до приміщення, що сприяє його негайному впливу на поголів'я та зміні температури в нижній частині приміщення. Зі збільшенням висоти в приміщенні збільшується і швидкість потоку повітря. Це зумовлено тим, що через витяжні шахти витяжний потік повітря відводиться у верхній частині приміщення, а нижню частину приміщення затримують перепони, що створюють опір для руху повітря.

Таблиця 4 – Розподіл концентрації аміаку в приміщенні для утримання поросят

| Місце | Max, мг/м <sup>3</sup> | Min, мг/м <sup>3</sup> | Mean, мг/м <sup>3</sup> | Δ, мг/м <sup>3</sup> |
|-------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| 0,3 м | 16,4                   | 10,4                   | 12,7                    | 1,1                  |
| 0,7 м | 13,5                   | 7,7                    | 10,4                    | 1,4                  |
| 1,6 м | 9,6                    | 5,5                    | 7,5                     | 1,3                  |

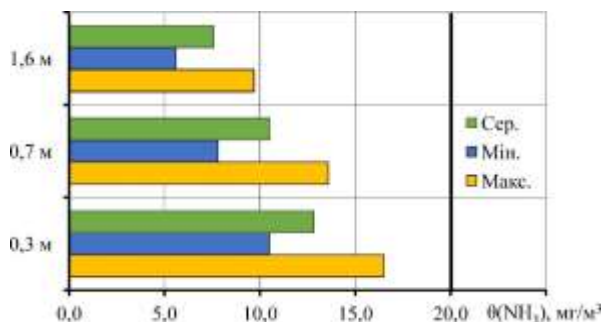


Рис. 9. Залежність концентрації аміаку в приміщенні для утримання поросят від висоти

У приміщенні концентрація аміаку в повітрі коливалась в діапазоні 5,5–16,4 мг/м<sup>3</sup>, в залежності від висоти розміщення датчика вимірювання. Можливо допустима норма концентрації аміаку в приміщенні становить 20 мг/м<sup>3</sup>. Зі зменшенням висоти в повітрі зростає концентрація аміаку. Це пояснюється наявністю гнойових каналів та продуктів життєдіяльності свиней, які сприяють викиду аміаку в повітря. Результати вимірювань в повітрі концентрації аміаку наведені в табл. 4 та представлені на рис. 9.

Концентрація вуглекислого газу в повітрі приміщення коливалась в діапазоні 0,11–0,42 %, в залежності від висоти розміщення датчика вимірювання. Можлива допустима норма концентрації вуглекислого газу в приміщенні становить 0,2 %. Зі зменшенням висоти в повітрі зростає концентрація вуглекислого газу. Це може бути пояснено розташуванням джерел викиду газу на вищих рівнях приміщення. Результати вимірювань в повітрі концентрації вуглекислого газу наведені в табл. 5 та представлені на рис. 10.

Таблиця 5 – Розподіл концентрації вуглекислого газу в приміщенні для утримання поросят

| Місце | Max, % | Min, % | Mean, % | Δ, % |
|-------|--------|--------|---------|------|
| 0,3 м | 0,24   | 0,11   | 0,18    | 0,03 |
| 0,7 м | 0,36   | 0,17   | 0,26    | 0,05 |
| 1,6 м | 0,42   | 0,31   | 0,34    | 0,04 |

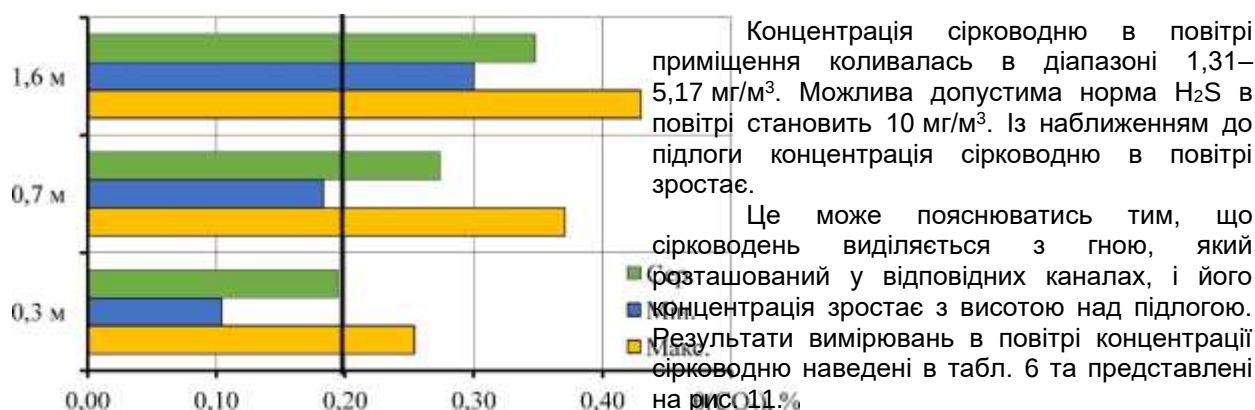
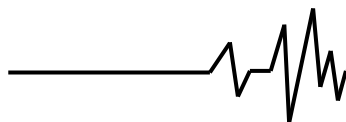


Рис. 10. Залежність концентрації вуглекислого газу в приміщенні для утримання поросят від висоти

Таблиця 6 – Розподіл концентрації сірководню в приміщенні для утримання поросят

| Місце | Max, мг/м³ | Min, мг/м³ | Mean, мг/м³ | Δ, мг/м³ |
|-------|------------|------------|-------------|----------|
| 0,3 м | 5,17       | 3,35       | 4,66        | 0,42     |
| 0,7 м | 4,11       | 2,01       | 3,01        | 0,53     |
| 1,6 м | 2,81       | 1,31       | 1,60        | 0,21     |

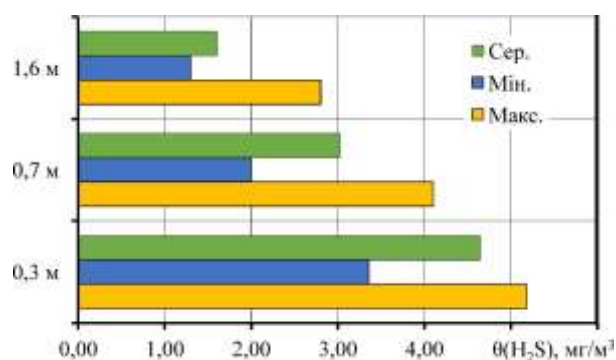


Рис. 11. Залежність концентрації сірководню в приміщенні для утримання поросят від висоти

Таблиця 7 – Розподіл концентрації кисню в приміщенні для утримання поросят

| Місце | Max, % | Min, % | Mean, % | Δ, % |
|-------|--------|--------|---------|------|
| 0,3 м | 21,1   | 20,1   | 20,9    | 0,12 |
| 0,7 м | 21,2   | 20,2   | 20,8    | 0,11 |
| 1,6 м | 21,1   | 20,5   | 20,7    | 0,13 |

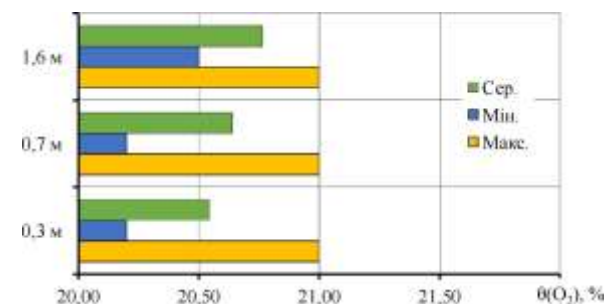
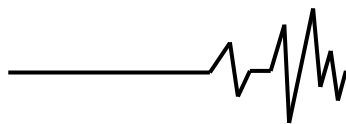


Рисунок 12 – Залежність концентрації кисню в приміщенні для утримання поросят від висоти

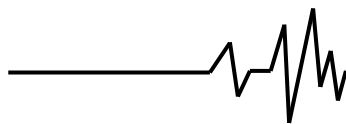


Більшість показників складу повітря (вміст  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  та  $\text{O}_2$ ) в зоні перебування тварин знаходиться в межах норми.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** За результатами виробничого обстеження приміщення для утримання свиней на дорошуванні із системою вентиляції підлогового каналу встановлено, що більшість показників (швидкість потоку повітря 0,21–0,53 м/с, вміст аміаку ( $\text{NH}_3$ ) 7,7–13,5 мг/м<sup>3</sup>, вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) 0,17–0,36 %, сірководню 2,01–4,11 ( $\text{H}_2\text{S}$ ) мг/м<sup>3</sup>, кисню ( $\text{O}_2$ ) 20,2–21,2 %) знаходиться в межах норми. Водночас температура повітря в приміщенні не відповідає рекомендованим нормам і близька до 30°C. При цьому температура повітря нерівномірна по довжині приміщення, що пов'язано з нерівномірним нагнітанням повітря з вентиляційних отворів. Відносна вологість повітря на висоті, де перебувають тварини, перевищує рекомендовану норму і наближається до 95 %. За результатами перевірки приміщень для вирощування поросят із підлоговими каналними системами вентиляції з від'ємним тиском встановлено, що необхідно поліпшити систему охолодження повітря та перепроєктувати канали системи вентиляції для забезпечення рівномірного потоку повітря.

#### Список використаних джерел

1. Калетнік Г.М. Перспективи підвищення енергетичної автономії підприємств АПК в рамках виконання енергетичної стратегії України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Вип. 4. С. 90–98.
2. Mykhalko, O., Kharuta, G., Derkach, M., et al. The influence of the ventilation system in the room for rearing pigs and the type of feeding on the indicators of microclimate and productivity of pigs. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2024. Vol. 23, Issue 1. P. 401–410. URL: [https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.23\\_1/Art48.pdf](https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.23_1/Art48.pdf)
3. Алієв Е.Б., Яропуд В.М., Білоус І.М. Обґрунтування складу енергозберігаючої системи забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 2 (97). С. 129–137. DOI: 10.37128/2306-8744-2020-2-14
4. Lee, S.-y., Choi, L.-y., Park, J., Daniel, K. F., Hong, S.-w., Kwon, K., Hwang, O. Evaluation of actual ventilation rates and efficiency in research-scale pig houses based on ventilation configurations. *Animals*. 2023. Vol. 13, Article 2451. DOI: 10.3390/ani13152451.
5. Купчук І.М., Яропуд В.М., Телекало Н.В., Граняк В.Ф. Перспективи та передумови впровадження автономних систем електрозабезпечення агропромислових підприємств. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. № 3 (110). С. 51–63. DOI: 10.37128/2520-6168-2020-3-5
6. Wei, M., Zhang, J., Groot Koerkamp, P., Aarnink, A., Sun, C. Modeling and Optimal Control of Thermal Environment in Pig Houses. *arXiv preprint*. 2025. arXiv:2506.00502.
7. Яропуд В.М., Алієв Е.Б. Результати обстеження стану забезпечення мікроклімату в свинарнику із системою вентиляції від'ємного тиску. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 2 (113). С. 168–177. DOI: 10.37128/2520-6168-2021-2-17
8. Khaowdang, S., Wicha, S., Rodchompoo, C. Application of internet of things technology for ventilation to improve hydrogen sulfide and ammonia removal in pig housing. *Computers*. 2025. Vol. 7, Issue 6, Article 165. DOI: [10.3390/computers7060165].
9. Zong, C., Zhang, G., Bjerg, B., Svidt, K. Evaluation of RANS turbulence models for predicting airflow and contaminant dispersal in a room with a partially mixed ventilation system. *River Publishers*. 2014. 188 p. ISBN 978-87-93237-31-5. URL: [https://www.riverpublishers.com/pdf/ebook/RP\\_97\\_8-87-93237-31-5.pdf](https://www.riverpublishers.com/pdf/ebook/RP_97_8-87-93237-31-5.pdf)
10. Калетнік Г.М., Яропуд В.М. Результати чисельного моделювання геотермального охолодження у вентиляційній системі тваринницьких приміщень. *Вібрації в техніці і технологіях*. 2022. № 3 (106). С. 5–12. DOI: 10.37128/2306-8744-2022-3-1
11. Benhammou, A., Moula, N., Lebeau, F. The application of computational fluid dynamics (CFD) in the ventilation of agricultural buildings: A review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2022. Vol. 19(2). P. 152–166. DOI: 10.19026/rjaset.19.152
12. Калетнік Г.М., Яропуд В.М. Експериментальні дослідження ефективності функціонування систем забезпечення мікроклімату від'ємного тиску в тваринницьких приміщеннях. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2023. Вип. 53. С. 66–84. DOI: [10.32515/2414-3820.2023.53.66-84](https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.66-84)
13. Яропуд В.М. Дослідження ефективності процесу функціонування мехатронної системи забезпечення мікроклімату тваринницьких приміщень. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2024. № 1 (124). С. 56–72. DOI: 10.37128/2520-6168-2024-1-7
14. Kim, K. Y., et al. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *Journal of Environmental*



Management. 2008. Vol. 88, Issue 2. P. 195–202. DOI: 10.1016/j.jenvman.2007.02.003.

15. Michael J. Hansen, Lise B. Guldborg, Anders Feilberg, Effect of slurry funnels with partial pit ventilation on emissions from pig houses, *Biosystems Engineering*, Volume 229, 2023, Pages 200–208, ISSN 1537-5110. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.03.021>.

16. Kaletnik H., Yaropud V., Lutkovska S., Aliiev E. Studying the air flow heating process in the vertical type ground heat exchanger. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2024. Vol. 100 (10). P. 46–54. DOI: <https://doi.org/10.15199/48.2024.10.08>.

17. Wei, M., Zhang, J., Groot Koerkamp, P. D. W., Aarnink, A. J. A., Sun, C. Modeling and Optimal Control of Thermal Environment in Pig Houses. *arXiv preprint*. 2025. arXiv:2506.00502.

18. Hempel, S., Vu, H., Amon, T., Janke, D. *The Influence of pH Dynamics on Modeled Ammonia Emission Patterns of a Naturally Ventilated Dairy Cattle Building*. *Atmosphere*. 2023. Vol. 14, Issue 10, Article 1534. DOI: 10.3390/atmos14101534.

19. Rumsey, I. C., Aneja, V. P., Lonneman, W. A., Arnts, R. R., Isom, B. Modeling surface pH and emissions of hydrogen sulfide from a swine waste lagoon. *Biosystems Engineering*. 2014. Vol. 121. P. 12–21. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.01.005

## References

1. Kaletnik H.M. (2019). Perspektyvy pidvyshchennia enerhetychnoi avtonomii pidpriemstv apk v ramkakh vykonannia enerhetychnoi stratehii ukraïny. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*. №4 (104). S. 90–98. [in Ukrainian].

2. Mykhalko O., Kharuta G., Derkach M., et al. (2024). The influence of the ventilation system in the room for rearing pigs and the type of feeding on the indicators of microclimate and productivity of pigs. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. Vol. 23, Issue 1. P. 401–410. [in English].

3. Aliiev E.B., Yaropud V.M., Bilous I.M. (2020). Obgruntuvannia skladu enerhozberihaiuchoi systemy zabezpechennia mikroklimatu v svynarskykh prymishchenniakh. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. № 2 (97). S. 129–137. DOI: 10.37128/2306-8744-2020-2-14. [in Ukrainian].

4. Lee S.-y., Choi L.-y., Park J., Daniel K. F., Hong S.-w., Kwon K., Hwang O. (2023). Evaluation of actual ventilation rates and efficiency in research-scale pig houses based on ventilation configurations. *Animals*. Vol. 13, Article 2451. DOI: 10.3390/ani13152451. [in English].

5. Kupchuk I.M., Yaropud V.M., Telekalo N.V., Hraniak V.F. (2020). Perspektyvy ta peredumovy vprovadzhennia avtonomnykh system elektrozabezpechennia ahropromyslovykh pidpriemstv. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. № 3 (110). S. 51–63. DOI: 10.37128/2520-6168-2020-3-5. [in Ukrainian].

6. Wei M., Zhang J., Groot Koerkamp P., Aarnink A., Sun C. (2025). Modeling and Optimal Control of Thermal Environment in Pig Houses. *arXiv preprint*. arXiv:2506.00502. [in English].

7. Yaropud V.M., Aliiev E.B. (2021). Rezultaty obstezhennia stanu zabezpechennia mikroklimatu v svynarnyku iz systemoiu ventyliatsii vidiemnoho tysku. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. № 2 (113). S. 168–177. DOI: 10.37128/2520-6168-2021-2-17. [in Ukrainian].

8. Khaowdang S., Wicha S., Rodchompoo C. (2025). Application of internet of things technology for ventilation to improve hydrogen sulfide and ammonia removal in pig housing. *Computers*. Vol. 7, Issue 6, Article 165. DOI: [10.3390/computers7060165]. [in English].

9. Zong C., Zhang G., Bjerg B., Svidt K. (2014). Evaluation of RANS turbulence models for predicting airflow and contaminant dispersal in a room with a partially mixed ventilation system. *River Publishers*. 188 p. ISBN 978-87-93237-31-5. [in English].

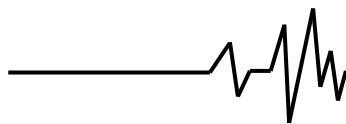
10. Kaletnik H.M., Yaropud V.M. (2022). Rezultaty chyselnoho modeliuvannia heothermalnoho okholodzhennia u ventyliatsiïni systemi tvarynnytskykh prymishchen. *Vibratsii v tekhnitsi i tekhnolohiiakh*. № 3 (106). S. 5–12. DOI: 10.37128/2306-8744-2022-3-1. [in Ukrainian].

11. Benhammou, A., Moula, N., Lebeau, F. (2022). The application of computational fluid dynamics (CFD) in the ventilation of agricultural buildings: A review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. Vol. 19(2). P. 152–166. DOI: 10.19026/rjaset.19.152. [in English].

12. Kaletnik H.M., Yaropud V.M. (2023). Eksperymentalni doslidzhennia efektyvnosti funktsionuvannia system zabezpechennia mikroklimatu vidiemnoho tysku v tvarynnytskykh prymishchenniakh. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*. Vyp. 53. S. 66–84. [in Ukrainian].

13. Yaropud V.M. (2024). Doslidzhennia efektyvnosti protsesu funktsionuvannia mekhatronnoi systemy zabezpechennia mikroklimatu tvarynnytskykh prymishchen. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. № 1 (124). S. 56–72. DOI: 10.37128/2520-6168-2024-1-7. [in Ukrainian].

14. Kim K.Y., et al. (2008). Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *Journal of Environmental*



Management. Vol. 88, Issue 2. P. 195–202. DOI: 10.1016/j.jenvman.2007.02.003. [in English].

15. Michael J. Hansen, Lise B. Guldberg A. Feilberg. (2023). Effect of slurry funnels with partial pit ventilation on emissions from pig houses. *Biosystems Engineering*. Volume 229. P. 200–208, ISSN 1537-5110. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.03.021>. [in English].

16. Kaletnik H., Yaropud V., Lutkovska S., Aliiev E. (2024). Studying the air flow heating process in the vertical type ground heat exchanger. *Przeglad Elektrotechniczny*. Vol. 100 (10). P. 46–54. DOI: <https://doi.org/10.15199/48.2024.10.08>. [in English].

17. Wei M., Zhang J., Groot Koerkamp P. D. W., Aarnink A. J. A., Sun C. (2025). Modeling and Optimal Control of Thermal Environment in Pig Houses. arXiv preprint. arXiv:2506.00502.

18. Hempel S., Vu H., Amon T., Janke D. (2023). The Influence of pH Dynamics on Modeled Ammonia Emission Patterns of a Naturally Ventilated Dairy Cattle Building. *Atmosphere*. Vol. 14, Issue 10, Article 1534. DOI: 10.3390/atmos14101534. [in English].

19. Rumsey I.C., Aneja V.P., Lonneman W.A., Arnts R.R., Isom B. (2014). Modeling surface pH and emissions of hydrogen sulfide from a swine waste lagoon. *Biosystems Engineering*. Vol. 121. P. 12–21. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.01.005. [in English].

#### RESEARCH RESULTS ON THE FLOOR CHANNEL VENTILATION SYSTEM IN A PIG HOUSING FACILITY

*Ensuring optimal microclimate parameters in pig housing facilities is one of the key conditions for improving animal productivity, maintaining their health, and reducing the negative environmental impact. Of particular importance is the ventilation of underfloor channels, where intensive accumulation and release of ammonia, hydrogen sulfide, carbon dioxide, and water vapor occur. Insufficient efficiency of ventilation systems leads to the deterioration of hygienic conditions, increased incidence of diseases, reduced growth and productivity of animals, as well as higher energy consumption required to maintain*

*permissible microclimate parameters.*

*This study presents the results of a comprehensive investigation of the floor channel ventilation system, which included both numerical modeling and experimental tests under production conditions. For modeling, three-dimensional CFD models were developed, taking into account turbulent airflows, heat transfer, the multicomponent composition of the gas mixture, and the influence of gravity. The k-ε turbulence model and Reynolds-Averaged Navier–Stokes (RANS) equations were applied. The geometry of the facility and the underfloor channels reproduced the actual structural parameters. To improve calculation accuracy in areas with small geometrical dimensions, an adaptive mesh with local refinement was used.*

*Experimental studies were carried out in pig finishing facilities using modern instruments for continuous monitoring of NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, and CO<sub>2</sub> concentrations, air temperature, relative humidity, and air velocity at different heights. The obtained data were compared with the results of numerical modeling, which enabled validation of the CFD models and refinement of the physical process parameters.*

*It was found that the application of ventilation with direct air extraction from underfloor channels reduced peak ammonia concentrations in the animal-occupied zone by 1.5–2 times compared with traditional general ventilation systems. Optimization of operational parameters (air exchange rate, location of exhaust ducts, proportion of extraction from the floor channels and the room) made it possible to achieve a balance between the efficiency of harmful gas removal and the energy efficiency of fan operation.*

*The practical significance of the study lies in the possibility of using the obtained results for developing recommendations on the design and operation of floor channel ventilation systems aimed at improving the microclimate, reducing the negative impact on the health of animals and staff, as well as increasing the environmental safety of pig production facilities.*

**Keywords:** swine production; ventilation; underfloor channel; microclimate; CFD modeling; experimental studies; ammonia; hydrogen sulfide; carbon dioxide; energy efficiency.

#### Відомості про автора

**Яропуд Віталій Миколайович** - доктор технічних наук, доцент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: [yaropud77@gmail.com](mailto:yaropud77@gmail.com)).

**Yaropud Vitalii** - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: [yaropud77@gmail.com](mailto:yaropud77@gmail.com)).