

ISSN 2307-5732  
DOI 10.31891/2307-5732

**Науковий журнал**

---



# **ВІСНИК**

**Хмельницького національного  
університету**

---

***Технічні науки***

---

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

4.2024

---

# ВІСНИК

**Хмельницького  
національного  
університету**

**Технічні науки**

---

**Technical sciences**

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2024, Issue 2, Volume 333, Part 2

Хмельницький

# Редакційний штат

## Головний редактор

### Микола СКИБА

д. т. н., професор, голова Вченої ради Хмельницького національного університету, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, Україна

Профіль Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204934613>

## Заступник головного редактора

### Олег СИНЮК

д. т. н., професор, проректор з наукової роботи Хмельницького національного університету, професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем, м. Хмельницький, Україна.

Профіль Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57196153541>

## Відповідальний секретар

### Сергій ГОРЯЩЕНКО

#### Горященко С. Л.

к.т.н., доцент, доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем, заслужений винахідник України, керівник Лабораторії енергозберігаючих технологій Хмельницького національного університету, м. Хмельницький, Україна.

Профіль Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55855469200>

## Члени редколегії серії «Технічні науки»

ISSN 2307-5732

ISSN (online)

**Журнал включено до наукометричних баз:**

[Google Scholar](#)

[CrossRef](#)

[Index Copernicus](#)

[Журнал розміщено на сайті НБУ ім. В.І. Вернадського](#)

**Видавництво:** Хмельницький національний університет (Україна)

**Періодичність:** 6 разів на рік

**Галузь знань:** технічні

**Мови рукопису:** змішаними мовами: українська, англійська

**Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ:** Серія КВ № 24922-14862ПР (12.07.2021).

**Умови ліцензії:** автори зберігають авторські права та надають журналу право першої публікації разом з твором, який одночасно ліцензується за ліцензією Creative Commons Attribution International CC-BY, що дозволяє іншим ділитися роботою з підтвердженням авторства роботи та первинної публікації в цьому журналі.

**Заява про відкритий доступ:** видання «**Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки**» забезпечує негайний відкритий доступ до свого змісту за принципом, що надання вільного доступу до досліджень для громадськості підтримує більший глобальний обмін знаннями. Повнотекстовий доступ до наукових статей журналу представлений на офіційному веб-сайті в розділі Архіви.

**Адреса:** Науковий журнал «**Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки**», Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016, Україна.

**Тел .:** +380984772799

**Електронна адреса:** [visnyk.khnu@khmnu.edu.ua](mailto:visnyk.khnu@khmnu.edu.ua)

**Веб-сайт:** <https://heraldes.khmnu.edu.ua>

## ЗМІСТ

ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПЛАНУВАННЯ МАКСИМ ХОРКАНІН	11-14
ОХОРОНА ПРАЦІ ПРАЦІВНИКІВ ЛЕГКОЇ ТА ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ АНАТОЛІЙ НЕСТЕР, ОЛЬГА РОМАНШИНА, КОСТЯНТИН ПАРШЕНКО	15-18
ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА З НЕВИЗНАЧЕНІСТЮ ДАНИХ ОЛЕКСАНДР ПЕНЯ, ЄВГЕНІЯ СУЛЕМА	19-22
МОДЕЛЮВАННЯ КОМУНІКАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ВЕБ-САЙТУ ДЛЯ HR-КОНСАЛТИНГУ АННА ШЛІНГ, АНАСТАСІЯ ПАСЬКО	23-27
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФАСУВАННЯ ГУСТИХ ПРОДУКТІВ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ РОЗМІРНОСТЕЙ І КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ІГОР БЕЗБАХ, ОЛЕКСАНДР ВСЕВОЛОДОВ, ІГОР ЯРОВИЙ, СЕРГІЙ БЕЗБАХ, ВЯЧЕСЛАВ ПЕТРОВСЬКИЙ	28-34
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФІНАНСОВОГО АНАЛІЗУВАННЯ АНДРІЙ БЕРКО, МИКОЛА ОДРЕХІВСЬКИЙ, МАКСИМ ЯРОМИЧ	35-42
ПАРАЛЕЛЬНИЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ВИПАДКОВИМ ПЕРЕМІКАННЯМ КАНАЛІВ ГЕННАДІЙ БОРТНИК, СЕРГІЙ БОРТНИК, МИХАЙЛО БРИЛЬ, ОЛЕКСАНДР БОРТНИК	43-48
ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ЗНИЖЕНОМУ СТРУМІ ЧЕРЕЗ ВУЗОЛ ОБЛІКУ СВЯТОСЛАВ ВАСИЛЕЦЬ, КАТЕРИНА ВАСИЛЕЦЬ, ВОЛОДИМИР ІЛЬЧУК	49-54
БЕЗГЛЮТЕНОВИЙ ХЛІБ НА ОСНОВІ БОРОШНА РИСОВОГО З ДОБАВКОЮ ЧАЮ МАТЧА МАРІЯ ВОРОБЕЦЬ, ОЛЕКСАНДРА ЗАХАРОВСЬКА	55-58
СПОСІБ ОЦІНКИ ЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА АНАЛІЗОМ ЗОБРАЖЕНЬ З КРУГОВИМ ГРАДІЄНТОМ КОЛЬОРУ У ЗАДАЧІ ВИМІРЮВАННЯ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ВУСАТИЙ НІКІТА ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ПАСІЧНИК ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ, МАНЗЮК ЕДУАРД АНДРІЙОВИЧ, СКРИПНИК ТЕТЯНА КАЗИМИРІВНА	59-63
АЛГОРИТМ ПРОТИДІЇ ФОНОВОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ ПІДВИЩЕНОЇ НАДІЙНОСТІ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ, СТВОРЮВАНОВОГО БАКТЕРИЦИДНИМ ОПРОМІНЮВАЧЕМ ЮРІЙ ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ, ВОЛОДИМИР ЛІПКА	64-71
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АДСОРБЕНТУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДНЮ ТУРБОГЕНЕРАТОРА АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ СЕРГІЙ ЗАЙЦЕВ, ВІКТОР КИШНЕВСЬКИЙ	72-79

СИНТЕЗ ТА АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО МЕХАНІЗМУ З ДВОМА СТУПЕНЯМИ РУХОМОСТІ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ МАРК ЗАЛЮБОВСЬКИЙ, ІГОР ПАНАСЮК, ГАННА КОШЕЛЬ, ОЛЕКСАНДР КОШЕЛЬ	80-90
ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ ДОЗУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ ВОЛОДИМИР РУТКЕВИЧ, ВАЛЕРІЙ ОСТАПЕНКО, МАКСИМ КАЖУРО	91-96
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ДЛЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТА ОПЕРАТИВНОГО ІНФОРМУВАННЯ МИКИТА ФАБРИКАТОР, ПЕТРО ЯГАНОВ	97-101
ПІДХОДИ ДО ВИБОРУ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ В СТРУКТУРІ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕРЕЖЕВИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МИХАЙЛО ФЕДІРКО, ОЛЬГА ЗАВИТІЙ, РОМАН ГОЛОВКО, МАТВІЙ ЧОРНИЙ	102-109
МЕТОДОЛОГІЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МАГНІТОЕНЦЕФАЛОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НАПІВКЕРОВАНОГО НАВЧАННЯ АНДРІЙ ХОМ'ЯК	110-114
ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ЧАСТОТНОГО ВІДГУКУ ОЛЕКСАНДР ШПАЧУК	115-121
ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДУМОВ РОЗРОБКИ СЕРВІСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АРІ НАТАЛІЯ КОТЕНКО, ТЕТЯНА ЖИРОВА, ОЛЬГА РУДЕНКО, АНДРІЙ АЛЕКСАНДРОВ	122-126
ЛОКАЛІЗАЦІЯ ТЕХНІКИ ТА ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД НА ЗОБРАЖЕННІ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ОЛЕГ БАСИСТЮК, ЗОРЯНА РИБЧАК, ОЛЕГ БУРАВЕНКО	127-129
СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ КОНОПЛЯНОЇ СИРОВИНИ В ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ВИРІШЕННЯ ГАЛИНА БОЙКО; ГОЛОВЕКО ТЕТЯНА МИКОЛАЇВНА (ПЕРЕКЛАДАЧ); ГИЧ ОЛЬГА АНАТОЛІВНА	130-136
УЗАГАЛЬНЕННЯ НЕКОМУТАТИВНОГО ПРОТОКОЛУ УЗГОДЖЕННЯ КЛЮЧА РОМАН ПОПОВИЧ	137-141
АГРАРНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ В УКРАЇНІ: ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ РОЗВИТКУ МАКСИМ ШАРАПАТЮК	142-147
РОЗРОБКА НАДІЙНОЇ ДІАЛОГОВОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ТА АНАЛІЗУ СТАНДАРТІВ ФІНАНСОВОГО ОБЛІКУ: КОНЦЕПЦІЇ ТА ВИКЛИКИ ЮРІЙ ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ, ПАВЛО ПРОХОРОВ, МИКОЛА ПРОХОРОВ	148-153

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗРІЗУВАНОВОГО ШАРУ КІНЦЕВОЮ РАДІУСНОЮ ФРЕЗОЮ ОЛЕКСІЙ ОСИПЧУК, БОГДАН ДЗЮМАН, ОЛЕКСАНДР ОХРІМЕНКО	154-159
МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ МАЛОПОТУЖНИХ ПРИСТРОЇВ ІОТ СЕРГІЙ ВОЛОЩУК, ВОЛОДИМИР САВІНОВ	160-164
МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ПІДХОДІВ МИКИТА КОВАЛЬЧУК, СТЕФАНІЯ БОНДАРЕНКО	165-168
ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФОРСУВАННЯ ВОДНОЇ ПЕРЕШКОДИ БРОНЕТРАНСПОРТЕРАМИ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ АНАТОЛІЙ КОВТУН, СЕРГІЙ КУПІН, ВАДИМ ЯРМОЛЮК, ВОЛОДИМИР СУХОРУКОВ	169-175
ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ АРТЕФАКТІВ ДОКУМЕНТАЛЬНОЇ СПАДЩИНИ ГАЛИНА ЛИПАК, ТАРАС ЛИПАК, НАТАЛІЯ КУНАНЕЦЬ	176-182
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЗА ДОРОЖНІМ РУХОМ ЄВГЕНІЙ ПОСТРЕЛКО	183-192
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ: ВПЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ ТА ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ СТЕФАН ТАЛАПА, МАР'ЯНА ПОЛЯК	193-200
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АТОМНОЇ ЕНЕРГІЇ В МИРНИХ ЦІЛЯХ МИКОЛА ТАРАСЕНКО, КАТЕРИНА КОЗАК	201-206
АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЄКТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ РОЗКРОЮ МАТЕРІАЛІВ ПРЯМОКУТНОЇ ФОРМИ НА ДЕТАЛІ ГАЛАНТЕРЕЙНИХ ВИРОБІВ ВІКТОР ЧУПРИНКА, БОГДАН НАУМЕНКО, НАТАЛІЯ ЧУПРИНКА	207-215
АСПЕКТИ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ КОМПОЗИТИВНА ОСНОВІ ВУЛКАНІЧНИХ ПОРІД ОЛЕГ ШНИРУК, ЛЮБОВ МЕЛЬНИК, ЛЕВ ЧЕРНЯК	216-221
РОЗРАХУНОК ВІДНОСНОЇ ПЛОЩІ РЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ ВОЛОДИМИР ДЗЮРА, ВОЛОДИМИР СЕМЕГЕН	222-229
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОХОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СПОЖИВАЧА ВІД ВДЕ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ ІРИНА ГУНЬКО	230-234
АНСАМБЛЕВИЙ ПІДХІД У МУЛЬТИМОДАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ ДАНИХ НА ОСНОВІ GOOGLE API ОЛЕГ БАСИСТЮК, НАТАЛІЯ МЕЛЬНИКОВА, ІРИНА ДУМИН, АНДРІЙ ДУМИН	235-238

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЛИБИНИ КВАНТОВОЇ СХЕМИ ІВАН КИРИЛОВ, ВІКТОР ШЕВЧЕНКО	239-245
КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ТА БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ ВІТАЛІЙ ЧУЄНКО, ВАЛЕРІЙ ТАЗЕТДІНОВ	246-250
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НАГНІТАННЯ ЧИСТОГО ПОВІТРЯ ВІТАЛІЙ ЯРОПУД	251-258
ТЕХНОЛОГІЇ БПЛА ДЛЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА СЕРГІЙ БУРЛАКА, АНАТОЛІЙ ДАЛЕКА	259-264
ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЗАХИСТ ПРОТИ КОРОЗІЇ СЕРГІЙ БУРЛАКА, НАЗАРІЙ ЧУБЕНКО	265-268



## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НАГНІТАННЯ ЧИСТОГО ПОВІТРЯ

Мікроклімат визначається сукупністю температури, відносної вологості, хімічного і механічного складу повітря. Кожен з перерахованих показників окремо має суттєвий вплив на продуктивність тварин і повинен підтримуватися в строгих рамках, обумовлених фізіологічними потребами і можливостями тварин.

У тваринництві під мікрокліматом розуміють перш за все клімат приміщень, який визначають як сукупність фізичного стану повітряного середовища, його газової, мікробної і пилової забрудненості з урахуванням стану самої будівлі і технологічного обладнання. Іншими словами, мікроклімат - це метеорологічний режим закритих приміщень для тварин, в поняття якого входять температура, вологість, хімічний склад і швидкість руху повітря, запиленість, освітленість. Оптимальний мікроклімат сприяє збільшенню продуктивності тварин, зниження витрат кормів на отримання одиниці продукції, позитивно впливає на збереження здоров'я тварин. Мікроклімат в приміщеннях залежить від місцевого (зонального) клімату та пори року, термічного та вологісного опору огорожувальних конструкцій будівель, стану вентиляції, ступеня освітлення та опалення приміщень, стану каналізації і якості прибирання гною, технології утримання тварин, їх видового та вікового складу.

За результатами експериментальних досліджень вентиляційної системи нагнітання чистого повітря встановлено, що коефіцієнт варіації швидкості повітря є нижчим для змінної ширини щілини нагнітального патрубку (0,01–0,02), що підтверджує вірність теоретичних досліджень.

За результатами розрахунку експериментальних даних отримана залежність споживаної потужності  $N$  системи нагнітання чистого повітря, яка реалізована у виробничих умовах, від витрат повітря. Порівнюючи результати експериментальних досліджень із результатами теоретичних розрахунків наочно видно, що теоретичні дані знаходяться в межах похибки. Згідно коефіцієнту кореляції 0,94 результати теоретичних розрахунків є адекватними і можуть бути використані у методиці інженерного розрахунку.

Ключові слова: мікроклімат, температура, вологість, тваринництво, вентиляція, повітря, нагнітання, обладнання, енергоефективність.

YAROPUD VITALII

Vinnytsia National Agrarian University

### EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE VENTILATION SYSTEM CLEAN AIR INJECTION

Microclimate is determined by the combination of temperature, relative humidity, chemical and mechanical composition of the air. Each of the listed indicators separately has a significant impact on the productivity of animals and must be maintained within strict limits determined by the physiological needs and capabilities of animals.

In animal husbandry, microclimate is primarily understood as the climate of premises for animals, which is defined as a combination of the physical state of the air environment, its gas, microbial and dust pollution, taking into account the condition of the building itself and technological equipment. In other words, microclimate is the meteorological regime of closed premises for animals, the concept of which includes temperature, humidity, chemical composition and speed of air movement, dustiness, lighting. An optimal microclimate contributes to increasing animal productivity, reducing feed costs per unit of production, and has a positive effect on the preservation of animal health. The microclimate in the premises depends on the local (zonal) climate and the season, the thermal and moisture resistance of the building enclosures, the state of ventilation, the degree of lighting and heating of the premises, the state of the sewage system and the quality of manure removal, the technology of keeping animals, their species and age composition.

According to the results of experimental studies of the ventilation system of injection of clean air, it was established that the coefficient of variation of the air speed is lower for the variable width of the gap of the injection nozzle (0.01–0.02), which confirms the validity of theoretical studies.

According to the results of the calculation of experimental data, the dependence of the consumed power  $N$  of the clean air injection system, which is implemented in production conditions, on the air consumption was obtained. Comparing the results of experimental studies with the results of theoretical calculations, it is clearly visible that the theoretical data are within the margin of error. According to the correlation coefficient of 0.94, the results of theoretical calculations are adequate and can be used in the engineering calculation method.

Key words: microclimate, temperature, humidity, animal husbandry, ventilation, air, injection, equipment, energy efficiency.

### Постановка проблеми

Одним з чинників, що впливає на ефективність тваринництва є умови утримання тварин, у яких забезпечення оптимального мікроклімату має важливе значення. Мікроклімат визначається сукупністю температури, відносної вологості, хімічного і механічного складу повітря. Кожен з перерахованих показників окремо має суттєвий вплив на продуктивність тварин і повинен підтримуватися в суворих рамках, обумовлених фізіологічними потребами і можливостями тварин.

Мікроклімат має суттєвий вплив на ефективність виробництва свинини. Зміна складу і властивостей повітря в приміщеннях, може впливати на реакції організму. Тому для покращення здоров'я і підвищення продуктивності тварин, а також для захисту від багатьох хвороб потрібно враховувати зміни, що відбуваються у повітрі, їх вплив на організм та методику контролю й поліпшення умов повітряного

середовища. Недотримання умов призводить до порушення температурного гомеостазу, зниження продуктивності, опірності організму, захворювання й навіть загибелі тварин.

Так, згідно попередніх досліджень, продуктивність тварин на 5-8 % визначається мікрокліматом приміщень [1]. Усі відхилення від нормативних умов повітряного середовища негативно впливають на розвиток тварини та її продуктивність. У свою чергу відомо, що традиційне забезпечення оптимального мікроклімату для тварин з метою отримання від них високої продуктивності пов'язано з великими витратами теплової та електричної енергії, на що витрачається до 15 % коштів виробників [1, 2].

Тому питання вдосконалення автоматизованих енергозберігаючих систем дотримання оптимальних умов мікроклімату в тваринницьких приміщеннях є актуальними і потребують наукового обґрунтування.

#### Аналіз останніх джерел

За результатами аналізу сучасних технологій утримання свиней [1–3] в світі і Україні встановлено, що найбільш перспективною є нова (західна) технологія, яка характеризується тим, що все поголів'я утримують на частково або повністю щільній підлозі в капітальних приміщеннях, приміщення спеціалізовані для різних технологічних груп, розділені на ізольовані секції, при цьому система утримання – безвигульна, спосіб утримання – підлогово-станковий, спосіб відтворення – цілорічно-рівномірний, спосіб вирощування – трифазний.

За результатами аналізу параметрів мікроклімату в свинарських приміщеннях та їх впливу на здоров'я свиней [4–6], їх відтворювальні функції та природи визначено, що їх відхилення призводить до погіршення здоров'я тварин, зменшення їх чисельності та, як результат, до зниження рентабельності господарств. За результатами літературного огляду [7–8] досліджень зміни фізіологічного стану свиней від параметрів мікроклімату визначено, що найбільший вплив чинять вологість, температура та швидкість руху повітря в приміщенні для їх утримання.

Аналіз сучасних систем забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях [9–11] дозволив встановити, що найпопулярніша на сьогодні є система вентиляції від'ємного тиску. Це пов'язано з тим, що система вентиляції від'ємного тиску є більш простою при експлуатації, обслуговуванні і споживає менше енергії, ніж системи примусової вентиляції. Однак ці системи мають проблеми, пов'язані з тривимірною вентиляцією та подачею повітря тваринам.

Вентиляційна система нагнітання чистого повітря (рис. 1) у кожному станку містить патрубку для нагнітання повітря із встановленими нагнітальними заслінками із сервоприводами [12, 13].

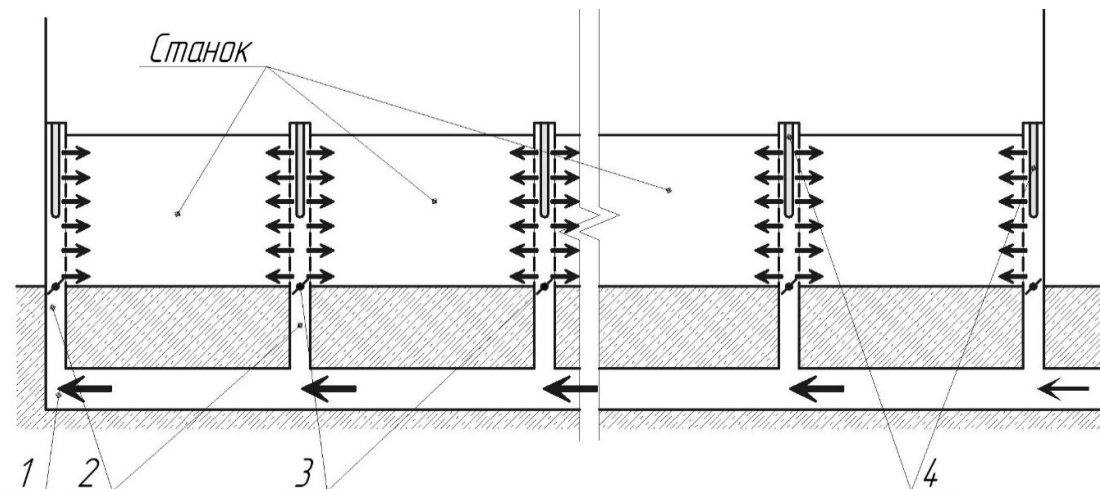


Рис. 1. Технологічна схема вентиляційної системи нагнітання чистого повітря:  
1 – центральний повітропровід для нагнітання повітря; 2 – патрубку для нагнітання повітря;  
3 – нагнітальні заслінки із сервоприводами; 4 – нагрівальні елементи

Вентиляційна система нагнітання чистого повітря у кожному станку містить патрубку для нагнітання повітря із встановленими нагнітальними заслінками із сервоприводами. Для забезпечення стабільного атмосферного тиску в області станка необхідно, щоб кількість витяжного повітря дорівнювала кількості припливного повітря за одиницю часу [14, 15].

**Мега роботи:** обґрунтувати конструктивні і режимні особливості вентиляційної системи нагнітання чистого повітря за результатами експериментальних досліджень.

#### Матеріали і методи досліджень

Вентиляційна система нагнітання чистого повітря складається з двох елементів центрального повітропроводу для нагнітання повітря і окремих патрубків для нагнітання повітря із заслінками з сервоприводами.

Схема і загальний вигляд лабораторного стенду для дослідження патрубків для нагнітання повітря представлені на рис. 2. До одного кінця повітропроводу під'єднано витяжний вентилятор, продуктивність якого регулювалась з використанням димера. Димер підключено до мережі 220 В через електрорічильник, функцією якого є визначення споживаної потужності витяжного вентилятора.

У верхній частині модуля встановлений фітінг повітропроводу (трійник або кутник), на нижню частину якого приєднано заслінку із сервоприводами. Кут повороту заслінки встановлювався з використанням сервоприводу і плати керування Arduino MEGA 2560. У фітінг вмонтовано модернізовану трубку Прандтля на базі датчика тиску MPX5100DP, аналоговий датчик температури LM35 і датчик газу MQ-2. Зчитування інформації з датчиків тиску, температури і датчика газу виконували з використанням плати керування Arduino MEGA 2560, яка підключена до персонального комп'ютера зі встановленим програмним середовищем Arduino IDE. В середовищі Arduino IDE використана функція осцилографа для визначення середнього значення величин і їх середньоквадратичного відхилення.

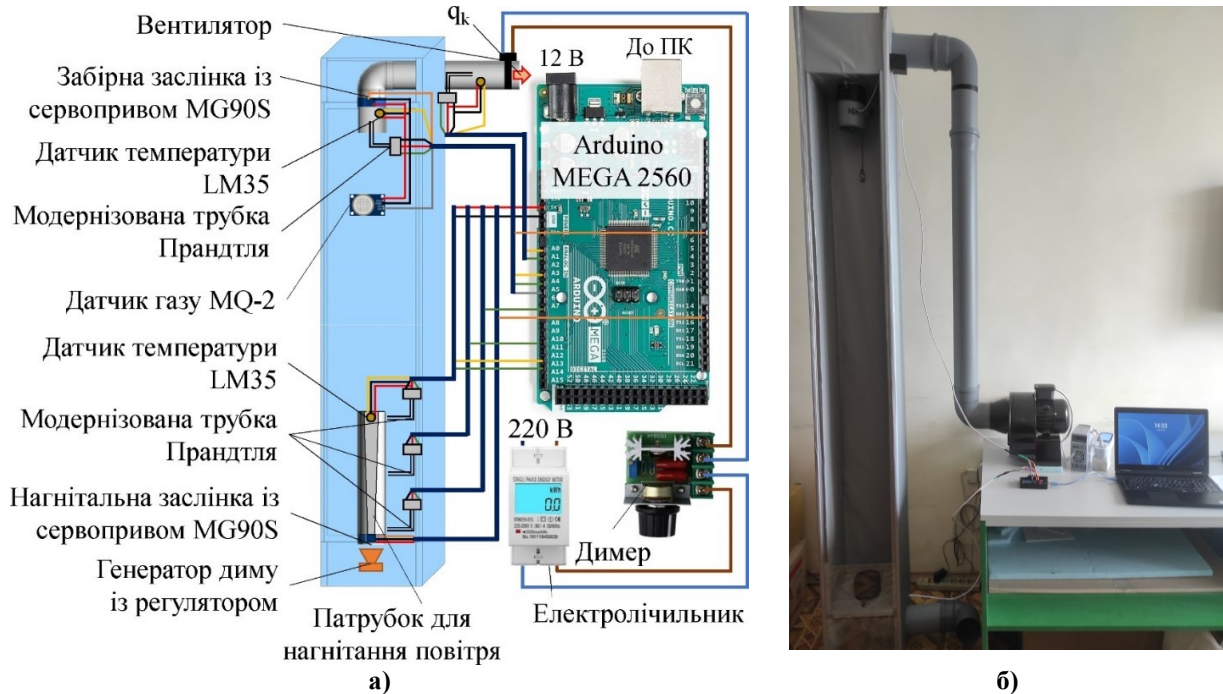


Рис. 2. Схема (а) і загальний вигляд (б) лабораторного стану для дослідження патрубків для нагнітання повітря

У нижній частині модуля встановлений патрубок для нагнітання повітря із повздовжньою щілиною. Патрубок довжиною 1000 мм і діаметром 110 мм представлений у двох виконаннях: 1 варіант – щілина із постійною шириною  $\delta_y = 9,5$  мм, 2 варіант – щілина зі зміною шириною.

Для визначення величини розподілу зниження тиску і швидкості потоку повітря на трьох рівнях навпроти щілини патрубка для нагнітання встановлені три модернізовані трубки Прандтля на базі датчика тиску MPX5100DP і аналоговий датчик температури LM35. Усі датчики були підключені до Arduino MEGA 2560.

Знизу патрубка для нагнітання встановлена нагнітальна заслінка із сервоприводом. Кут повороту нагнітальної заслінки дорівнював куту повороту забірної заслінки і встановлювався з використанням сервоприводу і плати керування Arduino MEGA 2560.

Для візуального спостереження за потоком повітря в нижній частині модуля встановлений генератор диму із регулятором його потоку.

Факторами досліджень обрано:

- варіант виконання патрубка для нагнітання повітря із повздовжньою щілиною;
- швидкість потоку повітря  $V$  (або витрати повітря  $Q_{in} = 100\text{--}500$  м<sup>3</sup>/год), що створює витяжний вентилятор.

За критерії досліджень обрано швидкості потоку повітря  $V$  на трьох рівнях повздовжньої щілини і споживана потужність витяжного вентилятора  $N$ .

Для визначення рівномірності розподілу повітря використовували коефіцієнт варіації  $\chi_v$  для швидкості потоку повітря за довжиною повздовжньої щілини.

#### Виклад основного матеріалу

За результатами експериментальних досліджень вентиляційної системи нагнітання чистого повітря у лабораторних умовах визначені швидкості потоку повітря  $V$  на трьох рівнях повздовжньої щілини патрубка для нагнітання (діаметр – 0,11 м) в динаміці у моменти підвищення частоти обертання двигуна вентилятора (рис. 3).

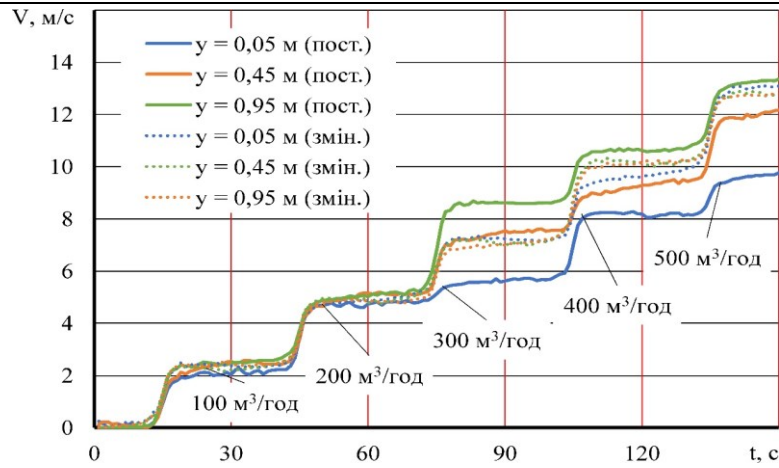


Рис. 3. Динаміка зміни швидкості потоку повітря  $V$  на трьох рівнях поздовжньої щілини у двох варіантах виконання

З рис. 3 видно, що зі збільшенням витрат повітря для варіанту нагнітального патрубку із постійною шириною щілини (9,5 мм) різниця швидкості повітря на різних висотах збільшується і може досягати до  $3,65 \pm 0,05$  м/с. Також для варіанту зі змінною шириною щілини (від 4 мм до 15 мм) збільшення витрат повітря майже не призводить до зміни швидкості повітря по висоті нагнітального патрубку (до  $0,09 \pm 0,02$  м/с).

Провівши додаткові вимірювання швидкості повітря з використанням пристрою Solomat MPM 500E на різних висотах (крок 0,1 м) навпроти щілини нагнітального патрубку встановлені відповідні гістограми розподілу, які наведені на рис. 4.

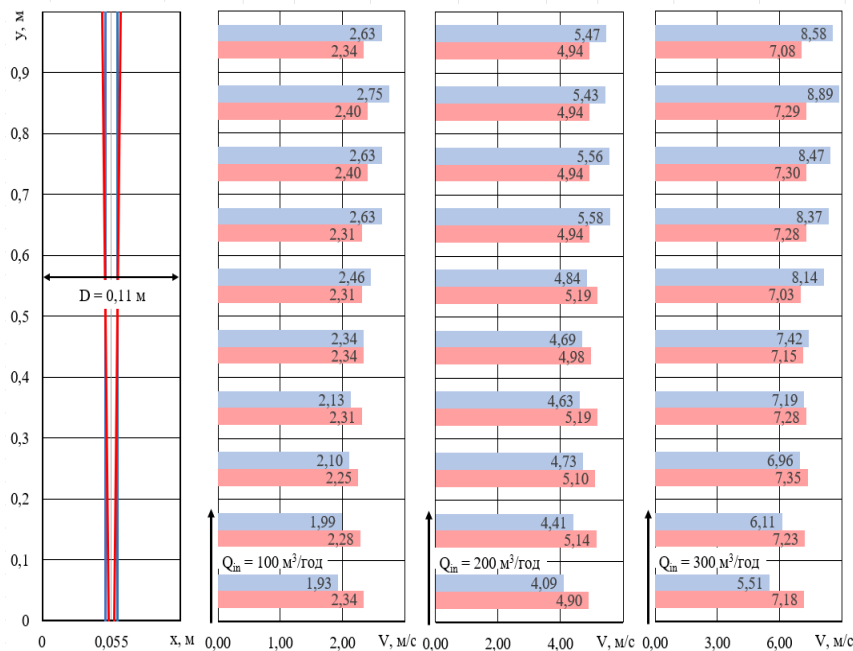


Рис. 4. Гістограми розподілу швидкості потоку повітря  $V$  вздовж щілини постійної ширини нагнітального патрубку для різних витрат повітря на вході

Аналізуючи рис. 4 видно, що для варіанту нагнітального патрубку із постійною шириною щілини (сині стовпчики) швидкість повітря збільшується до певного значення (наприклад, для  $500$  м³/год – до  $14,41 \pm 0,06$  м/с) на висоті 0,9 м. Однак в кінці щілини (1 м) спостерігається зниження швидкості до  $13,26 \pm 0,05$  м/с, що спричинено зворотнім рухом повітря в нагнітальному патрубку через відбиття його від торцевої площини. Для змінної щілини нагнітального патрубку (червоні стовпчики) швидкість повітря є майже однаковою. Для більш точної оцінки рівномірності розподілу розраховані середні значення, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації, які зведені в таблицю 1.

Аналіз таблиці 4 показує, що коефіцієнт варіації швидкості повітря є нижчим для змінної ширини щілини нагнітального патрубку (0,01–0,02), що підтверджує правильність теоретичних досліджень.

Для перевірки адекватності теоретичних розрахунків і визначення споживаної потужності витяжного вентилятора були проведені дослідження у виробничих умовах на свинофермі ПСП «Агрофірма Нападівська» (Вінницька область). Швидкість повітря визначалася з використанням пристрою Solomat MPM 500E на різних висотах (крок 0,1 м). Продуктивність вентилятора змінювалась з використанням частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC51, який має змогу визначати споживану потужність. Процес

проведення досліджень представлений на рис. 5.

Таблиця 1

**Статистична оцінка розподілу потоку повітря на виході з щілини різної конфігурації патрубку для нагнітання (D = 0,11 м)**

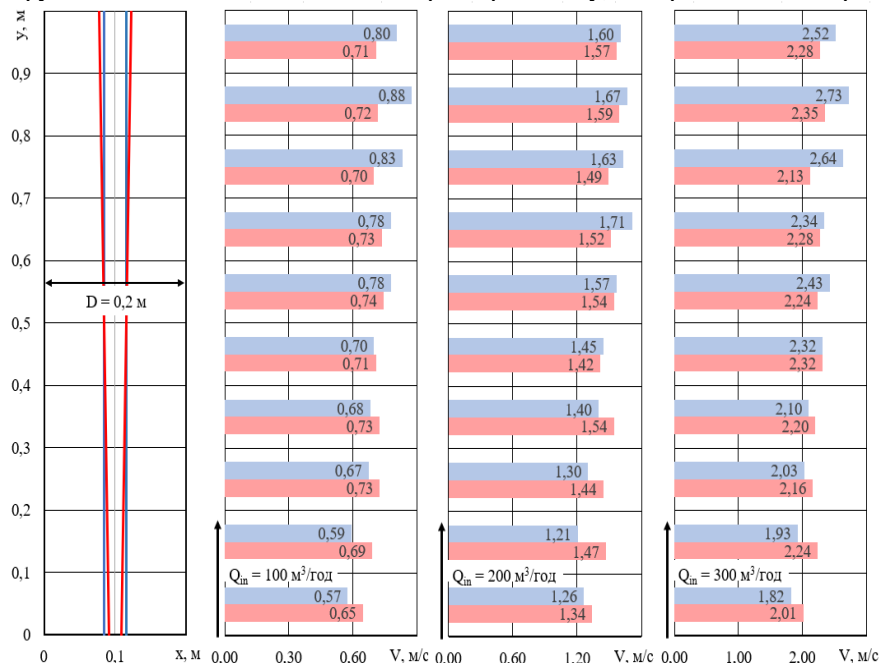
Показник	Витрати повітря $Q_{in}$ , м <sup>3</sup> /год				
	100	200	300	400	500
Постійна ширина щілини $\delta_y = 9,5$ мм					
Середня швидкість $V_{сер}$ , м/с	2,36	4,94	7,57	9,90	12,21
Середньоквадратичне відхилення швидкості $\sigma_v$ , м/с	0,30	0,53	1,13	1,24	1,57
Коефіцієнт варіації $\chi_v$	0,13	0,11	0,15	0,13	0,13
Змінна ширина щілини $\delta(0\text{ м}) = 4$ мм $\rightarrow$ $\delta(1\text{ м}) = 15$ мм					
Середня швидкість $V_{сер}$ , м/с	2,33	5,02	7,22	10,04	12,68
Середньоквадратичне відхилення швидкості $\sigma_v$ , м/с	0,05	0,12	0,11	0,24	0,17
Коефіцієнт варіації $\chi_v$	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01



**Рис. 5. Процес проведення досліджень вентиляційної системи нагнітання чистого повітря у виробничих умовах**

Система вентиляції в приміщенні для утримання свиней на відгодівлі ПСП «Агрофірма Нападівська» була реалізована із підземним каналом із повітропроводами, які знаходилися у кожному станку. Для досліджень були замінені базові повітропроводи на патрубки нагнітання (D = 0,2 м) із щілинами у двох варіантах виконання.

Провівши вимірювання швидкості повітря на різних висотах (крок 0,1 м) навпроти щілини нагнітального патрубку встановлені відповідні гістограми розподілу, які представлені на рис. 6.



**Рис. 6. Гістограми розподілу швидкості потоку повітря V вздовж щілини змінної ширини нагнітального патрубку для різних витрат повітря на виході**

Аналізуючи рис. 6 можна зробити аналогічні висновки, що і по рис. 4: для варіанту нагнітального патрубку із постійною шириною щілини (сині стовпчики) швидкість повітря збільшується до певного значення (наприклад, для 500 м<sup>3</sup>/год – до 4,26±0,04 м/с) на висоті 0,9 м, а в кінці щілини (1 м) спостерігається зниження швидкості до 4,11±0,03 м/с. Так само, як і в лабораторних дослідженнях для змінної щілини нагнітального патрубку (червоні стовпчики) швидкості повітря є майже однаковою. Для більш точної оцінки рівномірності розподілу розраховані середні значення, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації, які зведені в таблицю 2.

Таблиця 2

**Статистична оцінка розподілу потоку повітря на виході з щілин різної конфігурації патрубку для нагнітання (D = 0,2 м)**

Показник	Витрати повітря Q <sub>in</sub> , м <sup>3</sup> /год				
	100	200	300	400	500
Постійна ширина щілини δ <sub>y</sub> = 9,5 мм					
Середня швидкість V <sub>сеп</sub> , м/с	0,73	1,48	2,28	3,01	3,74
Середньоквадратичне відхилення швидкості σ <sub>v</sub> , м/с	0,10	0,18	0,31	0,40	0,46
Коефіцієнт варіації γ <sub>v</sub>	0,14	0,12	0,13	0,13	0,12
Змінна ширина щілини δ (0 м) = 4 мм → δ (1 м) = 15 мм					
Середня швидкість V <sub>сеп</sub> , м/с	0,71	1,49	2,22	2,92	3,73
Середньоквадратичне відхилення швидкості σ <sub>v</sub> , м/с	0,03	0,08	0,10	0,11	0,24
Коефіцієнт варіації γ <sub>v</sub>	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06

Аналіз таблиці 2 показує, що коефіцієнт варіації швидкості повітря є нижчим для змінної ширини щілини нагнітального патрубку – 0,04–0,06 проти 0,12–0,14 для постійної ширини щілини.

Також з табл. 2 видно, що швидкість потоку повітря є достатньо високою – 3,73±0,49 м/с. Однак при віддаленні датчика швидкості Solomat MPM 500E від щілини нагнітального патрубку спостерігається значне зменшення швидкості: на відстані більше 0,8 м швидкість повітря в зоні перебування тварин складає 0,56±0,12 м/с, що відповідає зоотехнічних вимогам.

За результатами розрахунку експериментальних даних отримана залежність споживаної потужності системи нагнітання чистого повітря, яка реалізована у виробничих умовах (рис. 7).

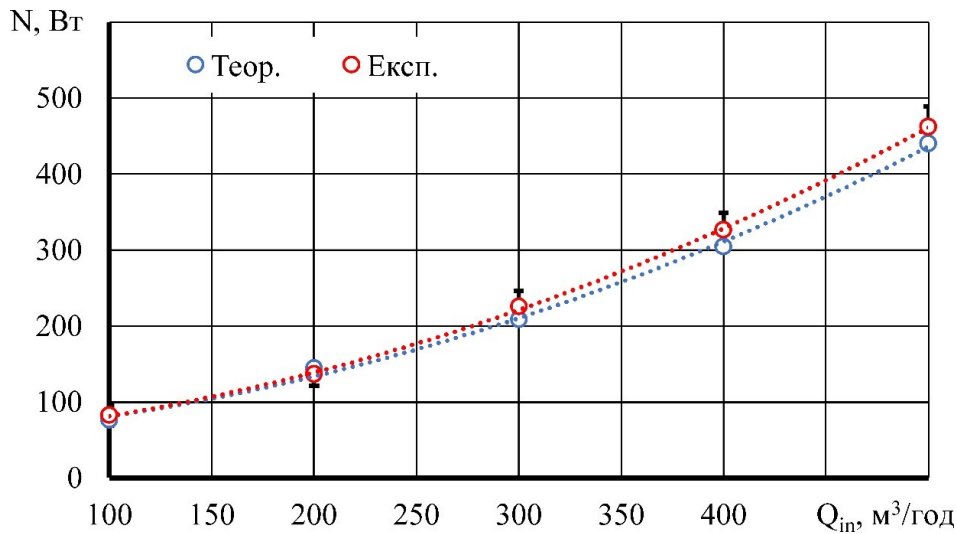


Рис. 7. Залежність споживаної потужності N системи нагнітання чистого повітря від витрат повітря Q<sub>in</sub>

Порівнюючи результати експериментальних досліджень із результатами теоретичних розрахунків наочно видно, що останні знаходяться в межах похибки. Згідно коефіцієнту кореляції 0,94 результати теоретичних розрахунків є адекватними і можуть бути використані в методиці інженерного розрахунку.

**Висновки**

За результатами експериментальних досліджень вентиляційної системи нагнітання чистого повітря встановлено, що коефіцієнт варіації швидкості повітря є нижчим для змінної ширини щілини нагнітального патрубку (0,01–0,02), що підтверджує вірність теоретичних досліджень.

За результатами розрахунку експериментальних даних отримана залежність споживаної потужності N системи нагнітання чистого повітря, яка реалізована у виробничих умовах, від витрат повітря Q<sub>in</sub>. Порівнюючи результати експериментальних досліджень із результатами теоретичних розрахунків наочно видно, що теоретичні дані знаходяться в межах похибки. Згідно коефіцієнту кореляції 0,94 результати теоретичних розрахунків є адекватними і можуть бути використані у методиці інженерного розрахунку.

## Література

1. Повод М., Бондарська О., Лихач В., Жижка С., Нечмілов В., Дудін В. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства : навчальний посібник. Київ: Науково-методичний центр ВФПО. 2021. 360 с.
2. Лихач В.Я., Лихач А.В. Технологічні інновації у свинарстві : монографія. Київ : ФОП Ямчинський О.В., 2020. 291 с.
3. Zhang Y., Barber E. M., Ogilvie J. R. Commissioning livestock buildings: The needs and challenges. *Trans. ASAE*. 2001. 44 (1). P. 129–136.
4. Дудін В. Ю., Романюха І. О., Кіряцев Л. О., Гаврильченко О. С., Повод М. Г. Удосконалення процесу проектування свиноферм в сучасних умовах. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2013. № 2. С. 72–75.
5. Самохіна Є.А., Повод М.Г., Милостивий Р.В. Параметри мікроклімату в свинарських приміщеннях влітку за різних систем вентиляції та їхній вплив на продуктивність лактуючих свиноматок і ріст підсисних поросят. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво*. 2018. Вип. 2. С. 218–223.
6. Жижка С., Повод М. Відтворювальні якості свиноматок залежно від систем мікроклімату впродовж року. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво*. 2019. Вип. 4(39). С. 85–91.
7. Ткачук О. Д. Вплив мікроклімату на основні показники резистентності свиней. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 2. С. 136–140. <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2010/02/136.pdf>
8. Collin A., Vaz M. J., Le Dividich J. Effects of high temperature on body temperature and hormonal adjustments in piglets. *Reprod. Nutr. Dev.* 2002. 42. P. 45–53. DOI: 10.1051/rnd:2002005
9. Vranken E. Analysis and optimisation of ventilation control in livestock buildings. PhD Diss. № 392. Leuven, Belgium: Catholic University Leuven, Laboratory for Agricultural Buildings Research. 1999.
10. Шульга М.О., Алексахін О.О., Шушляков Д.О. Теплогазопостачання та вентиляція: навч. посібник. Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. ХНУМГ, 2014. 191 с.
11. Duan Z., Changhong Z., Zhang X., Mustafa M., Alimohammadisagvand B., Hasan A., Zhao X. Indirect evaporative cooling: Past, present and future potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16. P. 6823–6850. DOI: 10.1016/j.rser.2012.07.007
12. Калетнік Г.М., Яропуд В.М. Мехатронна система забезпечення мікроклімату тваринницьких приміщень. Пат. № 148970 UA, МПК А01К 1/00, F24F 3/00, F24F 3/044, F24F 3/14, F24F 6/12, F24F 7/007; № u 202102133; заяв. 22.04.2021; опубл. 05.10.2021, Бюл. № 40. 7 с.
13. Калетнік Г.М., Яропуд В.М. Мехатронна система забезпечення мікроклімату тваринницьких приміщень. Пат. № 127795 UA, МПК (2023.01) А01К 1/00, F24F 3/00, F24F 3/044 (2006.01), F24F 3/14 (2006.01), F24F 6/12 (2006.01), F24F 7/007 (2006.01), F24F 11/00; № а 2021 02134; заяв. 22.04.2021; опубл. 03.01.2024, Бюл. № 1.
14. Калетнік Г.М., Яропуд В.М. Фізико-математична модель вентиляційної системи нагнітання чистого повітря у тваринницьких приміщеннях. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 3 (114). С. 4–15.
15. 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.

## References

1. Povod M., Bondarska O., Lykhach V., Zhyzhka S., Nechmilov V., Dudin V. Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii svynarstva : navchalnyi posibnyk. Kyiv: Naukovo-metodychnyi tsentr VFPO. 2021. 360 s.
2. Lykhach V.Ia., Lykhach A.V. Tekhnolohichni innovatsii u svynarstvi : monohrafiia. Kyiv : FOP Yamchynskiy O.V., 2020. 291 s.
3. Zhang Y., Barber E. M., Ogilvie J. R. Commissioning livestock buildings: The needs and challenges. *Trans. ASAE*. 2001. 44 (1). P. 129–136.
4. Dudin V. Yu., Romaniukha I. O., Kiriatsiev L. O., Havrylchenko O. S., Povod M. H. Udokonalennia protsesu proektuvannia svynoferm v suchasnykh umovakh. *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu*. 2013. № 2. S. 72–75.
5. Samokhina Ye.A., Povod M.H., Mylostyvyi R.V. Parametry mikroklimatu v svynarskykh prymishchenniakh vlitku za riznykh system ventyliatsii ta yikhnyi vplyv na produktyvnist laktuiuchykh svynomatok i rist pidsysnykh porosiat. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Tvarynnytstvo*. 2018. Vyp. 2. S. 218–223.
6. Zhyzhka S., Povod M. Vidtvoriuvalni yakosti svynomatok zalezno vid system mikroklimatu vprodovzh roku. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Tvarynnytstvo*. 2019. Vyp. 4(39). S. 85–91.
7. Tkachuk O. D. Vplyv mikroklimatu na osnovni pokaznyky rezystentnosti svynei. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2010. № 2. С. 136–140. <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2010/02/136.pdf>
8. Collin A., Vaz M. J., Le Dividich J. Effects of high temperature on body temperature and hormonal adjustments in piglets. *Reprod. Nutr. Dev.* 2002. 42. P. 45–53. DOI: 10.1051/rnd:2002005
9. Vranken E. Analysis and optimisation of ventilation control in livestock buildings. PhD Diss. № 392. Leuven, Belgium: Catholic University Leuven, Laboratory for Agricultural Buildings Research. 1999.
10. Shulha M.O., Aleksakhin O.O., Shushliakov D.O. Teplohozopostachannia ta ventyliatsiia: navch. posibnyk. Khark. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova. KhNUMH, 2014. 191 s.
11. Duan Z., Changhong Z., Zhang X., Mustafa M., Alimohammadisagvand B., Hasan A., Zhao X. Indirect evaporative cooling: Past, present and future potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16. P. 6823–6850. DOI: 10.1016/j.rser.2012.07.007
12. Kaletnik H.M., Yaropud V.M. Mekhatronna systema zabezpechennia mikroklimatu tvarynnytskykh prymishchen. Pat. № 148970

---

UA, MPK A01K 1/00, F24F 3/00, F24F 3/044, F24F 3/14, F24F 6/12, F24F 7/007; № u 202102133; zaiav. 22.04.2021; opubl. 05.10.2021, Biul. № 40. 7 s.

13. Kaletnik H.M., Yaropud V.M. Mekhatronna systema zabezpechennia mikroklimatu tvarynnytskykh prymishchen. Pat. № 127795 UA, MPK (2023.01) A01K 1/00, F24F 3/00, F24F 3/044 (2006.01), F24F 3/14 (2006.01), F24F 6/12 (2006.01), F24F 7/007 (2006.01), F24F 11/00; № a 2021 02134; zaiav. 22.04.2021; opubl. 03.01.2024, Biul. № 1.

14. Kaletnik H.M., Yaropud V.M. Fyzyko-matematychna model ventyliatsiinoi systemy nahnitannia chystoho povitria u tvarynnytskykh prymishchenniakh. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. 2021. № 3 (114). S. 4–15.

15. Aliiev E.B., Yaropud V.M., Bilous I.M. Obgruntuvannia skladu enerhozberihaiuchoi systemy zabezpechennia mikroklimatu v svynarskykh prymishchenniakh. *Vibratsii v tekhniatsi ta tekhnologiiakh*. 2020. №2 (97). S. 129–137.