

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, декана механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України Братішка Вячеслава Вячеславовича на дисертаційну роботу **Яропуда Віталія Миколайовича** на тему:

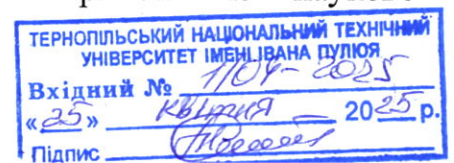
«Механіко-технологічні основи процесів забезпечення мікроклімату свинарських приміщень», яку подано до спеціалізованої вченої ради Д 58.052.02 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Актуальність теми досліджень і зв'язок з науковими планами та програмами. На сучасному етапі розвитку тваринництва як у світі, так і в Україні, найбільш технологічно перспективною вважається система утримання поголів'я свиней у капітальних приміщеннях, обладнаних частково або повністю щільною підлогою. Такі приміщення, як правило, мають чітку функціональну спеціалізацію відповідно до технологічних груп тварин та поділені на ізольовані секції. Основними ознаками цієї технології є безвигульне утримання, підлогово-станковий тип розміщення, рівномірний цілорічний цикл відтворення, трифазова система вирощування та керований мікроклімат, що забезпечується вентиляційною системою примусового типу з від'ємним тиском.

У ході аналізу параметрів мікроклімату в свинарських приміщеннях та їх впливу на фізіологічний стан тварин встановлено, що відхилення від нормативних показників негативно впливає на здоров'я свиней, погіршує їх репродуктивні функції, знижує прирости живої маси, що в підсумку призводить до зменшення рентабельності виробництва.

Враховуючи це, перспективними напрямками удосконалення мікроклімату у приміщеннях для свиней є впровадження ресурсо- та енергозберігаючих систем нагрівання та охолодження повітря, які функціонують на основі автоматизованих і адаптивних систем керування. Водночас, питання оптимізації параметрів, конфігураційного розміщення та визначення меж енергетичної ефективності таких систем залишаються недостатньо висвітленими у сучасній науково-технічній літературі.

У зв'язку з цим, розробка механіко-технологічних основ процесу забезпечення нормативного мікроклімату у свинарських приміщеннях з використанням адаптивної вентиляції та енергоощадних технічних рішень із науково



обґрунтованими параметрами є актуальним та своєчасним науковим завданням, яке відповідає потребам модернізації сучасних технологій утримання свиней.

Дослідження, що складають основу дисертації, проведено у Вінницькому національному аграрному університеті (ВНАУ) в межах виконання державних науково-дослідних робіт «Розробка комплексу енергоефективного і ресурсоощадного обладнання та перспективних технологій годівлі сільськогосподарських тварин АПК України» (№ ДР 0121U108589, 2021-2023 рр.) та «Розробка комплексу техніко-технологічного забезпечення енерго- та ресурсоощадного виробництва продукції тваринництва у рамках ЄЗК» (№ ДР 0123U101794, 2023-2024 рр.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна. Виходячи з актуальності теми, автором була поставлена мета та сформульовані основні завдання наукових досліджень. Позитивне вирішення цих завдань на основі коректно та якісно проведених теоретично-експериментальних і порівняльних виробничих досліджень дозволило автору дисертаційного дослідження розробити та обґрунтувати конструктивно-технологічну схему адаптивної мехатронної системи енергозберігаючих технічних засобів для забезпечення мікроклімату свинарських приміщень.

Наукові положення, висновки та рекомендації, які наведено в дисертаційній роботі, є достовірними, новими та належним чином кількісно та якісно науково обґрунтованими.

Ступінь обґрунтованості наукових положень базується на основі достатнього застосування методів математичного моделювання технічних систем, проведених і наведених здобувачем результатах теоретичних та експериментально-чисельних досліджень ефективності системи забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях й виробничої перевірки технічних засобів і їх відповідності встановленим вимогам.

Достовірність результатів досліджень підтверджуються теоретичними дослідженнями виконаними із застосуванням методів чисельного моделювання, основних положень теорій класичної механіки, газодинаміки, ймовірності, моделей дискретних елементів, багатофазної взаємодії, Лагранжевої багатофазності. Експериментальні дослідження мехатронної системи забезпечення мікроклімату у свинарських приміщеннях проводились з використанням математичного методу планування експерименту, методів натурних спостережень та експертних оцінок, а обробка та аналіз результатів

експериментальних досліджень здійснювались з використанням теорії ймовірності, кореляційно-регресійного аналізу, впровадженням результатів досліджень у виробництво, достатнім опублікуванням результатів дослідження у періодичних виданнях та їх апробацією та оприлюдненням на всеукраїнських і міжнародних наукових конференціях.

Основні наукові положення, які отримано автором самостійно за результатами проведеного комплексу наукових досліджень, відображено у преамбулі та 12 пунктах загальних висновків і рекомендацій.

У **преамбулі** сформульовано узагальнені результати досліджень і шляхи забезпечення мікроклімату у свинарських приміщеннях.

Перший пункт висновків присвячено оцінці ефективності сучасних систем вентиляції, що застосовуються для забезпечення мікроклімату у свинарських приміщеннях. Здійснено порівняльний аналіз типових технологічних рішень, виявлено їх переваги та обмеження в контексті забезпечення належної якості повітря в зоні перебування тварин. Обґрунтовано доцільність впровадження ресурсо- та енергозберігаючих систем охолодження й нагрівання повітря з використанням автоматизованого адаптивного керування як перспективного напрямку удосконалення вентиляційних технологій у тваринництві.

Другий пункт висновків присвячено експериментально-чисельному дослідженню теплових режимів та ефективності функціонування різних типів систем вентиляції від'ємного тиску у свинарських приміщеннях. Проведено порівняльну оцінку температурних показників, ефективності видалення забруднюючих речовин та відведення теплоти в зоні перебування тварин. Обґрунтовано переваги вентиляції з підлоговим повітроводом, яка забезпечує більш сприятливі мікрокліматичні умови, за умови оптимального розташування повітрозабірних отворів відносно тварин.

Третій пункт висновків присвячено обґрунтуванню та розробці конструктивно-технологічної схеми адаптивної мехатронної системи забезпечення мікроклімату у тваринницьких приміщеннях. Запропоноване технічне рішення передбачає використання заслінок із сервоприводами для динамічного керування напрямками повітряних потоків залежно від сезонних умов, а також для забезпечення локального мікроклімату в окремих зонах. Система поєднує засоби регулювання якісного складу повітря, використання ґрунтового теплообмінника як джерела відновлюваної енергії та побічно-випарного теплообмінника для охолодження та зволоження повітря.

Четвертий пункт висновків присвячено формалізації аналітичного підходу до проектування автоматизованої системи видалення забрудненого повітря у свинарських приміщеннях. На основі врахування конструктивно-технологічних параметрів вентиляційної мережі та концентрацій шкідливих газів у зоні перебування тварин розроблено методику розрахунку площі витяжних отворів із сервоприводами, що дозволяє здійснювати цілеспрямоване регулювання повітрообміну. Окрему увагу приділено отриманню залежностей, які визначають розподіл швидкості потоку повітря в патрубках, а також втрати тиску і необхідну потужність системи як функцію геометричних і аеродинамічних характеристик мережі.

П'ятий пункт висновків присвячено експериментальному дослідженню аеродинамічних характеристик системи видалення забрудненого повітря у свинарських приміщеннях. Встановлено функціональні залежності ключових параметрів повітряного потоку, зокрема швидкості, витрат, умовної площі отвору та споживаної потужності вентилятора, від конструктивних і керованих змінних, таких як вхідна швидкість повітря, кут повороту заслінки та діаметр повітропроводу. Проведено апробацію алгоритму автоматичного регулювання заслінок залежно від концентрацій шкідливих газів, за результатами якої встановлено, що зміна співвідношення концентрацій не чинить істотного впливу на енергоспоживання системи.

Шостий пункт висновків присвячено аналітичному обґрунтуванню геометричних параметрів елементів системи нагнітання чистого повітря з метою забезпечення рівномірного його розподілу у свинарських приміщеннях. Розроблено апроксимоване рівняння для визначення ширини щілини патрубка залежно від його висоти та ефективного діаметра. Обґрунтовано доцільність використання клиноподібної форми центрального повітропроводу як умови стабільного повітророзподілу. Отримано аналітичні залежності, що описують зміну витрат тиску та необхідної потужності вентиляційної системи залежно від геометричних і експлуатаційних параметрів, що має практичне значення для оптимізації аеродинамічних характеристик системи нагнітання.

Сьомий пункт висновків присвячено експериментальній перевірці ефективності конструктивного рішення нагнітального патрубка зі щілиною змінної ширини в системі подачі чистого повітря. З урахуванням аналізу коефіцієнта варіації швидкості повітря підтверджено достовірність теоретичних розрахунків рівномірного розподілу повітряного потоку. Також визначено залежність споживаної потужності системи нагнітання від витрат повітря, що є

важливим для оптимізації енергоспоживання вентиляційного обладнання в умовах виробництва.

Восьмий пункт висновків присвячено аналітичному дослідженню пневматичних характеристик повітряного теплообмінника побічно-випарного типу. Встановлено залежності втрат тиску та необхідної потужності для забезпечення руху повітря від середньої швидкості потоку, кількості каналів, їхньої форми та площі поперечного перерізу. Обґрунтовано, що форма каналів істотно впливає на аеродинамічну ефективність, причому найменші втрати тиску спостерігаються у випадку використання каналів круглої форми, що свідчить про доцільність їх застосування у конструкції теплообмінника.

Дев'ятий пункт висновків присвячено чисельному моделюванню процесів тепломасообміну в повітряному теплообміннику побічно-випарного типу з урахуванням геометричних особливостей його конструкції. У рамках дослідження визначено розподіл температури, швидкості та вологості повітря в каналах різної форми, а також проведено порівняльний аналіз температурної ефективності залежно від геометрії каналів. Обґрунтовано доцільність варіативного формування діаметрів отворів у пластинах теплообмінника для забезпечення рівномірного розподілу теплового потоку. Встановлено залежності теплової ефективності та питомої холодопродуктивності агрегату від вхідних параметрів повітряного потоку, що дозволяє обґрунтувати оптимальні умови його роботи з урахуванням конструктивних характеристик.

Десятий пункт висновків присвячено порівняльному аналізу характеристик вертикальних ґрунтових теплообмінників різної конструктивної схеми – концентричного та U-подібного типів. На основі аналітичних та чисельних досліджень визначено залежності зміни потужності теплообмінника від його геометричних параметрів і витрат повітря, а також виявлено особливості розподілу температурного поля в різні періоди року. Установлено, що U-подібний теплообмінник характеризується вищими показниками ефективності при близьких величинах втрат тиску.

Одинадцятий пункт висновків присвячено встановленню регресійних залежностей, що описують вплив температури вхідного повітря та витрат повітряного потоку на зміну температури та ефективну теплову потужність ґрунтових теплообмінників різних конструкцій. На основі чисельного моделювання і експериментальних досліджень визначено оптимальні параметри експлуатації, за яких забезпечується максимізація теплової ефективності системи. Проведене порівняння двох варіантів конструкцій – концентричної та

U-подібної – дало змогу встановити переваги останньої в контексті енергоефективності, що має важливе значення для вибору раціонального технічного рішення при проектуванні систем мікроклімату.

Дванадцятий пункт висновків присвячено обґрунтуванню ефективності функціонування адаптивної мехатронної системи забезпечення мікроклімату у свинарських приміщеннях на основі розробленого алгоритму керування та чисельної моделі об'єкта в середовищі Simcenter Star-CCM+. Здійснено імітаційне моделювання річного циклу роботи системи з урахуванням змін параметрів повітряного потоку на всіх етапах його проходження через елементи системи. Проведено порівняльний аналіз енергоспоживання і встановлено переваги розробленої системи в аспекті енергоефективності. Отримано позитивні результати економічного обґрунтування впровадження розробленої системи в умовах реального виробництва.

Усі пункти загальних висновків і рекомендацій є логічним наслідком отриманих результатів наукових досліджень, які приведені автором у дисертаційній роботі.

Наукова новизна роботи. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. У наукових роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать такі досягнення: експериментально-чисельні дослідження ефективності системи забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях; фізико-математична модель втрат тиску системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень; моделювання процесу тепломасообміну системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень; розробка методики, проведення і аналіз результатів експериментальних досліджень системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень; розробка алгоритму функціонування мехатронної системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень; економічна оцінка впровадження результатів досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Вперше на основі системного підходу розроблено алгоритм функціонування мехатронної системи забезпечення нормативного мікроклімату свинарських приміщень, що дозволяє керувати напрямками руху, швидкістю, температурою, вологістю та забрудненістю повітряного потоку в зоні перебування тварин в залежності від температури та вологості повітря зовнішнього середовища у зимовий, літній та міжсезонні періоди року.

2. Вперше встановлено залежності і розроблено алгоритм функціонування автоматичної системи видалення забрудненого повітря свинарника, який дозволяє розраховувати площі отворів, що утворюють витяжні заслінки, в залежності від ступеня забруднення повітря і рівномірності розподілу його швидкості по площі приміщення.

3. Вперше отримано залежності ефективності теплообмінника побічно-випарного типу (температура вихідного первинного повітряного потоку, коефіцієнт теплової ефективності і питомої холодопродуктивності) від геометричної форми його каналів, конструктивних (відношення ширини початкової частини до загальної ширини теплообмінника і діаметрів отворів переходу з вологих до робочих каналів) і режимних (температури, вологості і швидкості первинного повітря на впуску) параметрів.

4. Набули подальшого розвитку залежності ефективності видалення забруднень (CO_2 , NH_3 , H_2S) і виведення тепла від періоду року (літній, зимовий, міжсезоння) для різних систем вентиляції свинарських приміщень через підлогові, стельові та стінові канали.

5. Набули подальшого розвитку фізико-математичний апарат розрахунку конструктивних параметрів систем нагнітання чистого і видалення забрудненого повітря для забезпечення його рівномірності за швидкістю і температурою.

6. Набули подальшого розвитку залежності зміни втрат тиску, споживаної потужності, зміни температури повітряного потоку й ефективної теплової потужності U-подібного та концентричного ґрунтових теплообмінників від їх конструктивних (довжина, діаметр) і режимних (швидкість нагнітання і температури вхідного повітря) параметрів.

7. Набув подальшого розвитку фізико-математичний апарат процесу тепломасообміну в теплообміннику побічно-випарного типу, що включає диференційні рівняння енергетичного балансу з урахуванням явного та прихованого теплообміну на поверхні стінки вологого та сухого каналів.

Значущість результатів досліджень для науки. Отримані автором результати досліджень є вагомим внеском в розвиток аграрної науки як на аналітичному, так і практичному рівні. Автором розширено розуміння механіко-технологічних процесів, що впливають на мікроклімат свинарських приміщень, встановлено нові закономірності та залежності між параметрами мікроклімату та технологічними факторами, розроблено нові методи та моделі для забезпечення технологічних параметрів мікроклімату в свинарських приміщеннях. Отримані

результати аналітично-емпіричних досліджень мають загальнонаціональне значення у вигляді сформованої наукової бази даних.

Практична цінність роботи. Результати досліджень, конструкторську та технічну документацію для виготовлення дослідних зразків мехатронної системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень і проведення дослідно-виробничих випробувань впроваджено на підприємстві ТОВ «Агромаш-Калина» (м. Калинівка). На свиновідгодівельній фермі ПСП «Агрофірма Нападівська» (с. Нападівка, Вінницький район) проведені науково-дослідні роботи, результатом яких стали рекомендації щодо налагодження системи мікроклімату та монтажу U-подібного ґрунтового теплообмінника, що дозволило зменшити витрати електроенергії на забезпечення мікроклімату на 17,5 %. У свинарнику ФГ «Літагор» (с. Миколаївка, Козятинський район) надані методичні рекомендації дозволили підвищити ефективність видалення забруднень на 16-18 %. На підприємстві ТОВ «Субекон» встановлення повітряного теплообмінника побічно-випарного типу знизило температуру у приміщенні до нормованих зоотехнічних вимог.

Конструктивна новизна технічних рішень захищена патентами України на винахід (№ 127795) і корисну модель (№ 148970 та № 156824).

Результати досліджень використовуються у навчально-методичному процесі Вінницького національного аграрного університету при викладанні навчальних дисциплін «Машини та обладнання для тваринництва», «Машини та обладнання і їх використання в тваринництві» здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійними програмами «Галузеве машинобудування» та «Агроінженерія».

Повнота викладення основних результатів у наукових виданнях, особистий внесок здобувача та дотримання вимог академічної доброчесності. Результати досліджень, які отримані здобувачем, достатньо повно висвітлені та опубліковані в 46 наукових працях, серед яких: одна монографія; один розділ монографії; 16 статей у наукових фахових виданнях України (категорії Б); 10 статей у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Scopus і Web of Science; 11 матеріалів і тез у збірниках доповідей наукових конференцій; п'ять патентів України (з них один на винахід); два депоновані звіти науково-дослідних робіт, які фінансуються за рахунок коштів державного бюджету Міністерством освіти і науки України.

Наведені положення про апробацію та опублікування результатів наукових досліджень відповідають вимогам пунктів 7, 8 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1197.

Повнота викладення матеріалу дисертації відповідає вимогам до оформлення дисертацій, зміст реферату ідентичний структурі та змісту дисертації і в достатній мірі відображає основні результати роботи.

Обсяг і структура матеріалу відповідають вимогам МОН України до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук та паспорту спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Частка особистого внеску автора в колективно опублікованих працях відповідає вказаним даним, які наведено у загальній характеристиці роботи.

Вимоги академічної доброчесності дотримані – використання запозичених наукових результатів без посилань на авторів у дисертаційній роботі не виявлено.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та загальна характеристика роботи. Основний зміст дисертації викладено у вступі, семи розділах і загальних висновках та рекомендаціях. Основна частина дисертації виконана на 377 сторінках, містить 184 рисунки і 36 таблиць. Також робота має 18 додатків, список використаної літератури з 293 найменувань. Загальний обсяг роботи складає 427 сторінок.

У **вступі** (с. 38-45) обґрунтовано актуальність теми, наведено мету, завдання досліджень та загальну характеристику роботи.

У **першому розділі** «Аналіз сучасних систем забезпечення мікроклімату свинарських приміщень» (с. 46-97) розкрито сутність і стан наукової проблеми, проведено аналіз сучасних систем забезпечення мікроклімату свинарських приміщень, розглянуто нові технології утримання свиней, параметри мікроклімату та їх вплив на тварин, досліджено сучасні системи вентиляції, утилізації теплоти, кондиціонування та отримання енергії з ґрунту, а також Проаналізовано наукові дослідження для визначення перспективних напрямків оптимізації мікроклімату в свинарських приміщеннях.

У **другому розділі** «Експериментально-чисельні дослідження ефективності систем забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях» (с. 98-162) викладено результати експериментально-чисельних досліджень ефективності систем забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях,

розроблено методики експериментальних та чисельних досліджень, проведено аналіз системи вентиляції підлогового каналу, описано конструктивно-технологічну схему та принцип роботи мехатронної системи забезпечення мікроклімату та отримані результати дозволяють оцінити ефективність досліджуваних систем та розробити рекомендації щодо їх оптимізації для підвищення продуктивності свинарських господарств.

У **третьому розділі** «Фізико-математичні моделі втрат тиску системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень» (с. 162-200) представлено фізико-математичні моделі для визначення втрат тиску в системах забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. Обґрунтовано вибір вентиляційних систем для видалення забрудненого та нагнітання чистого повітря. Проведено аналітичні та теоретичні дослідження втрат тиску в обох системах вентиляції, з метою оптимізації їх роботи та підвищення енергоефективності.

Наведено дослідження втрат тиску в повітряному теплообміннику побічно-випарного типу та ґрунтовому теплообміннику. Для кожного з них розроблено відповідні математичні моделі, що дозволяють оцінити вплив різних параметрів на втрати тиску.

У **четвертому розділі** «Моделювання процесу тепломасообміну системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень» (с. 201-263) представлено моделювання процесів тепломасообміну в системі забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. Розроблено фізико-математичну модель теплообмінника побічно-випарного типу, обґрунтовано оптимальну форму його каналів та проведено чисельне моделювання. Розглянуто фізико-математичний апарат процесу нагрівання повітря у вертикальному ґрунтовому теплообміннику та проведено відповідне чисельне моделювання. Результати досліджень дозволяють оптимізувати конструктивні параметри теплообмінників для підвищення ефективності систем мікроклімату.

У **п'ятому розділі** «Методика експериментальних досліджень системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень» (с. 264-287) детально описано методику експериментальних досліджень системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. Визначено мету, задачі та програму досліджень. Розроблено методики експериментів для вентиляційних систем видалення та нагнітання повітря, повітряного та ґрунтового теплообмінників. Описано процедури вимірювання параметрів мікроклімату та статистичної обробки отриманих даних.

У шостому розділі «Результати експериментальних досліджень системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень» (с. 288-316) представлено результати експериментальних досліджень системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. Розглянуто результати досліджень вентиляційних систем видалення та нагнітання повітря, що дозволило оцінити їх ефективність та визначити оптимальні параметри роботи. Проаналізовано результати експериментів з повітряним теплообмінником побічно-випарного типу, що дозволило оцінити його теплообмінні характеристики. Також представлено результати досліджень процесу нагрівання повітря у вертикальному ґрунтовому теплообміннику, що дозволило оцінити його ефективність та визначити оптимальні умови експлуатації.

У сьомому розділі «Реалізація результатів досліджень» (с. 317-338) викладено методику інженерного розрахунку та алгоритм функціонування мехатронної системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. Описано процес впровадження результатів у виробництво, з урахуванням практичних аспектів та особливостей свинарських господарств. Проведено економічну оцінку впровадження розроблених технологій, що дозволило визначити їх ефективність та рентабельність. Розроблені рішення спрямовані на підвищення продуктивності свинарства та зниження енергоспоживання.

У додатках (с. 378-427) наведено додаткові матеріали, які доповнюють наукові результати досліджень, а також акти та довідки впровадження результатів досліджень у виробничий і навчальний процеси.

Характеризуючи результати дисертаційних досліджень, варто констатувати, що використання розроблених моделей та прийняті при цьому допущення належно обґрунтовані, а отримані результати є достовірними, мають наукову новизну та реалізовані на практиці й засвідчують переваги запропонованих техніко-технологічних рішень. Обсяг, зміст і результати дисертаційних досліджень відповідають паспорту спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва та вимогам, які висуваються до докторських дисертацій, зокрема пунктам 7-9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1197, а мова та стиль викладення змісту, оформлення дисертації та реферату відповідають вимогам, які ставляться до кваліфікаційних наукових праць.

В основних положеннях і висновках роботи не використовуються матеріали кандидатської дисертації. Зміст реферату автентичний змісту дисертації і в достатній мірі характеризує основні результати роботи.

Загальні зауваження та дискусійні положення щодо матеріалів дисертаційної роботи:

1. При обґрунтуванні актуальності обраної теми автор акцентує увагу на впливі температури, вологості та швидкості повітря на фізіологічний стан тварин. Однак відсутній аналіз взаємодії цих факторів із рівнем аміаку, вуглекислого газу, шумовим навантаженням чи світловим режимом, що також мають суттєве значення для тваринницьких приміщень. На наш погляд, це недостатньо розкрито та обґрунтовано.

2. Як зазначено у підрозділі «1.8 Аналіз наукових досліджень систем забезпечення мікроклімату свинарських приміщень», більшість існуючих досліджень стосуються конструктивної оптимізації вентиляції, однак не представлено повної моделі систем автоматизації мікроклімату свинарських приміщень, що є важливим для комплексного підходу.

3. У другому розділі дисертаційної роботи наведено порівняльні показники для літнього та зимового періодів, проте аналіз обмежується окремими температурними значеннями та швидкістю повітря. На нашу думку, доцільним було б доповнити розділ оцінкою стійкості роботи систем вентиляції в перехідні періоди (весна, осінь), коли умови нестабільні, що суттєво впливає на мікроклімат свинарських приміщень.

4. У третьому розділі «Фізико-математичні моделі втрат тиску системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень» представлено розрахунки для вертикальних ґрунтових теплообмінників, у яких на нашу думку, не враховано реальні умови ґрунтового середовища. Отримані залежності потужності U-подібного теплообмінника сформовані без урахування змінної теплопровідності ґрунту в умовах зволоження, промерзання або шаруватої структури, що може мати критичний вплив на теплову ефективність у конкретному регіоні.

5. Враховуючи те, що фізико-математична модель теплообмінника побічно-випарного типу (підрозділ 4.1) ґрунтується на « ε - N_{TU} »-підході й враховує тепло- і масообмінні процеси, проте у роботі відсутній аналіз стабільності результатів при зміні зовнішніх кліматичних умов (атмосферний

тиск та зовнішні температури), що є важливим для практичного впровадження системи в різних регіонах.

6. Результати досліджень підтверджують адекватність моделей у контрольованих виробничих умовах. Однак варто було провести валідацію для інших масштабів господарств, кліматичних зон або навантажень систем.

7. У чисельному моделюванні теплообмінника побічно-випарного типу недостатньо досліджено питання довготривалої стабільності його теплової ефективності. Хоча отримано високі значення коефіцієнта теплової ефективності, не розглянуто, як ефективність змінюється впродовж часу через фактори експлуатації: зношення, накопичення відкладень, зниження теплопередачі, тощо.

8. На рисунку 6.2 «Залежність вихідної швидкості потоку повітря V_{out} від вхідної швидкості V_{in} і кута повороту заслінки β » експериментальні дані (сині точки) наочно демонструють лінійну залежність відносно V_{in} та залежність, подібну до функції типу $\arctg$, відносно кута β . Виникає питання: чому для опису залежності V_{out} від кута повороту заслінки обрано саме функцію $\arctg$? Чи має така форма залежності теоретичне обґрунтування або підтвердження у вигляді апроксимаційної достовірності? Варто пояснити логіку вибору цієї функції та обґрунтувати її адекватність у межах фізичної моделі процесу.

9. На сторінці 317 представлено рисунок 6.19 – Графік експериментальних даних (а) і теоретичної залежності (б) зміни ефективної теплової потужності U -подібного вертикального ґрунтового теплообмінника N_E від факторів досліджень». Виникає питання щодо фізичної інтерпретації значення $N_E = -1000$ Вт при вхідній температурі $T_{in} = 10$ °С та витраті повітря $Q = 800$ м³/год. Що означає від'ємне значення теплової потужності на графіку? Чи є це результатом особливостей обчислень, умов експерименту або ж фізичним свідченням тепловтрат. Без відповідного пояснення інтерпретація такого результату є незрозумілою.

10. Автор роботи зазначає, що моделювання алгоритму функціонування системи проведено у програмному середовищі Simcenter Star-CCM+, однак бракує глибокого аналізу взаємодії між її ключовими підсистемами (вентиляцією, теплообмінниками, керуючими модулями) у змінних погодних та експлуатаційних умовах, що важливо для адаптивного управління в режимі реального часу. На нашу думку, варто деталізувати механізм взаємодії окремих елементів мехатронної системи у динамічному режимі.

11. Незважаючи на позитивні результати щодо динаміки температур і зниження забруднення, у висновках відсутній аналіз змін у продуктивності, поведінкових реакціях або захворюваності тварин після впровадження нової системи, що є ключовим критерієм її ефективності у тваринницькому виробництві.

ВИСНОВОК

1. Дисертація Яропуда Віталія Миколайовича на тему «Механіко-технологічні основи процесів забезпечення мікроклімату свинарських приміщень», яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва, є завершеною науковою працею, в якій отримано результати самостійних досліджень, які вирішують наукову проблему підвищення ефективності функціонування техніко-технологічного забезпечення мікроклімату свинарських приміщень шляхом обґрунтування концепції та параметрів адаптивних мехатронних систем енергозберігаючих технічних засобів.

2. Отримані автором результати є науково обґрунтованими і корисними, відповідно впроваджені та підтверджені необхідними й затвердженими актами і довідками.

Матеріали усіх розділів дисертації логічно пов'язані і разом формують завершене наукове дослідження, яке вирішує поставлені мету та сформульовані завдання досліджень.

Зміст, форма подачі матеріалу та стиль викладання відповідають вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Реферат дисертації повністю відповідає результатам проведеного дослідження, які наведені у дисертаційній роботі.

Викладені зауваження до змісту дисертації не знижують її наукового та практичного рівня і не впливають на загальну позитивну оцінку проведеного дослідження.

3. Виконані наукові дослідження за ступенем актуальності обраної теми, новизни та обґрунтованості наукових положень, повноти викладення результатів дослідження в наукових публікаціях, достатнього рівня апробації результатів дослідження на наукових всеукраїнських і міжнародних конференціях, відсутності порушень академічної доброчесності, теоретичного та практичного значення відповідають вимогам пунктів 7, 8 «Порядку присудження та

позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1197 із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023 р. та № 507 від 03.05.2024 р., а її автор, Яропуд Віталій Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
декан механіко-технологічного факультету
Національного університету біоресурсів
і природокористування України

Вячеслав БРАТИШКО

