

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри механічної інженерії та технології машинобудування Поліського національного університету **Кухарця Савелія Миколайовича** на дисертаційну роботу **Яропуда Віталія Миколайовича** «Механіко-технологічні основи функціонування мехатронних систем забезпечення мікроклімату свинарських приміщень», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

На відгук представлені дисертація, реферат, копії опублікованих наукових праць.

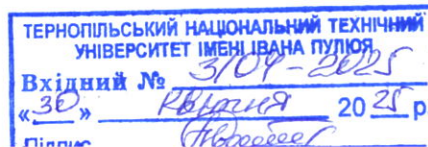
1. Актуальність теми дисертаційної роботи та її зв'язок з науковими програмами, планами, темами

Значний рівень споживання енергії у тваринницьких комплексах викликає стурбованість з приводу нераціональної витрати енергетичних ресурсів в Україні, зокрема та у всьому світі, загалом. Значне споживання енергії тваринницькими комплексами спричинено такими факторами, як зростання чисельності поголів'я тварин та підвищення вимог до забезпечення мікроклімату в приміщеннях.

Значна частка енергозатрат тваринницьких приміщень припадає на забезпечення нормативних параметрів мікроклімату, зокрема на підігрівання припливного вентиляційного повітря. В опалювальний період теплогенеруючі пристрої цих приміщень споживають за різними оцінками від 40 до 90 % від сукупних затрат паливно-енергетичних ресурсів. Тому, зниження цих енергозатрат призведе до суттєвого скорочення загальних затрат на виробництво продукції тваринництва.

Ефективним способом скорочення витрат енергії тваринницьких приміщень є використання теплоти вентиляційних викидів для підігрівання припливного вентиляційного повітря. Складність використання теплоти повітря вентиляційних викидів полягає в тому, що витяжне (забруднене) повітря є низькопотенційним джерелом теплової енергії.

Найбільш перспективними способами використання теплоти



вентиляційних викидів є застосування теплообмінників (теплоутилізаторів). Теплоутилізатори вентиляційних викидів завдяки своїй ефективності знаходять значне розповсюдження, як в житлових та адміністративних приміщеннях, так і в спорудах промислового призначення. Застосування теплообмінників вентиляційних викидів в системах забезпечення мікроклімату тваринницьких приміщень дозволить орієнтовно скоротити затрати енергії на підігрівання припливного повітря до 85 %.

За останні два десятиліття для цілей обігрівання в приміщеннях тваринницьких ферм впроваджено лінійку нових пристроїв на основі відновлюваної енергії: промислові установки рекуперації теплоти, теплові насоси, сонячні колектори та багато інших. Однак, як свідчить практика, пристрої на основі поновлюваних джерел енергії, які до цього часу не набули широкого застосування для охолодження тваринницьких приміщень. Це зокрема, зумовлено деякими факторами.

До факторів, які викликають труднощі утилізації теплоти вентиляційних викидів тваринницьких приміщень належать: значна запиленість повітря (до 6 мг/м^3); висока вологість повітря в приміщенні, яка при дотриманні нормативних параметрів повітряного середовища досягає 80 %; наявність в повітрі високої концентрації агресивних газів: аміаку - до 20 мг/м^3 , сірководню - до 10 мг/м^3 , вуглекислого газу - до 0,28 %; неприйнятність для більшості тваринницьких приміщень навіть часткової рециркуляції витяжного повітря; значна кількість технологічного обладнання, що є характерним для сучасних тваринницьких приміщень та зумовлена цим схема організації повітрообміну.

Таких складних умов для застосування теплообмінників, як в сільськогосподарському виробництві, не існує в жодній галузі народного господарства. Тому, створення працездатних і економічно ефективних систем забезпечення мікроклімату для тваринницьких приміщень, здатних агрегатуватись з комплектом вентиляційного обладнання є складною науковою та інженерною задачею.

Враховуючи вище зазначене, тема дисертації, яка спрямована на підвищення ефективності функціонування техніко-технологічного забезпечення мікроклімату свинарських приміщень шляхом обґрунтування концепції та параметрів адаптивних мехатронних систем енергозберігаючих технічних засобів є актуальною.

Тема дисертаційної роботи пов'язана з планами науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт Вінницького національного аграрного університету (ВНАУ): «Розробка комплексу енергоефективного і ресурсощадного обладнання та перспективних технологій годівлі сільськогосподарських тварин АПК України» (№ ДР 0121U108589, 2021–2023

рр.), «Розробка комплексу техніко-технологічного забезпечення енерго- та ресурсоощадного виробництва продукції тваринництва у рамках ЄЗК» (№ ДР 0123U101794, 2023–2024 рр.).

Все це також підкреслює актуальність теми дисертації, яка спрямована на нове вирішення науково-технічної проблеми.

2. Наукова новизна одержаних результатів і їх значення для науки та виробництва

В роботі 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.

Вперше встановлено залежності і розроблено алгоритм функціонування автоматичної системи видалення забрудненого повітря із приміщення свинарника, що дозволяє розраховувати площі отворів, утворені витяжними заслінками, в залежності від ступеня забруднення повітря і рівномірності розподілу швидкості повітря об'ємом приміщення.

Вперше отримано залежності показників 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.

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

Все це вперше дало можливість підтвердити висунуту наукову гіпотезу, згідно з якою застосування мехатронних систем для забезпечення мікроклімату свинарських приміщень із адаптивною системою видалення забрудненого і нагнітання чистого повітря та енергозберігаючими теплообмінниками побічно-випарного типу й вертикальними ґрунтовими теплообмінниками із раціонально-обґрунтованими параметрами дозволить підвищити ефективність існуючих технологій утримання свиней.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз сучасних систем забезпечення мікроклімату свинарських приміщень та на основі виробничих умов визначити ефективність цих систем з використанням експериментально-чисельних методів досліджень.
2. Розробити конструктивно-технологічну схему адаптивної мехатронної системи енергозберігаючих технічних засобів для забезпечення мікроклімату свинарських приміщень.
3. Виконати аналітичні дослідження автоматичної системи видалення забрудненого повітря в свинарнику та розробити методику й алгоритм її функціонування.
4. Встановити емпіричні залежності процесу функціонування системи видалення забрудненого повітря з свинарських приміщень та обґрунтувати її раціональні конструктивно-режимні параметри.
5. Виконати аналітичні дослідження автоматичної системи нагнітання чистого повітря в свинарнику і розробити методику та алгоритм її розрахунку.
6. Встановити емпіричні залежності процесу функціонування системи нагнітання чистого повітря і обґрунтувати її раціональні конструктивно-режимні параметри.
7. Провести аналітичні дослідження повітряного теплообмінника побічно-випарного типу і обґрунтувати його раціональні конструктивні параметри.
8. Виконати чисельне моделювання та експериментальні дослідження процесу тепломасообміну в теплообміннику побічно-випарного типу та отримати характерні закономірності його функціонування.
9. Виконати аналітичні дослідження вертикальних ґрунтових теплообмінників і обґрунтувати їх раціональні конструктивні-технологічні параметри.
10. Виконати чисельне моделювання та експериментальні дослідження

процесу тепломасообміну у вертикальних ґрунтових теплообмінниках та отримати характерні закономірності його функціонування.

11. Розробити методику інженерного розрахунку мехатронної системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень і визначити техніко-економічну ефективність застосування результатів досліджень.

Практичне значення одержаних результатів, перш за все, полягає в розробці конструкторської та технічної документації для виготовлення дослідних зразків мехатронної системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень і проведення дослідно-виробничих випробувань. Розроблені рекомендації щодо налагодження системи мікроклімату та монтажу U-подібного ґрунтового теплообмінника. Надані методичні рекомендації щодо підвищення ефективності видалення забруднень зі свинарських приміщень. 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».

3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки і рекомендації є кількісно та якісно обґрунтованими. Ці положення, висновки і рекомендації сформульовані на основі проведених автором необхідних, в достатніх кількості та об'ємі теоретичних і експериментальних досліджень з використанням типових і запропонованих здобувачем методах.

Усі наукові положення, які наведені в дисертації, підтверджені представленими теоретичними та експериментальними дослідженнями, а також результатами виробничих випробувань.

Результати дисертаційної роботи викладені у висновках після кожного розділу, а також у дванадцяти пунктах загальних висновків.

У першому пункті висновків зазначено, що проаналізовані сучасні системи мікроклімату свинарських приміщень вказують на домінування вентиляції від'ємного тиску, хоча вона має обмеження у забезпеченні локального комфорту тварин. Обґрунтовано перспективність впровадження адаптивних ресурсо- та енергозберігаючих систем охолодження та нагріву. Розглянуто доцільність використання ґрунтових теплообмінників і систем непрямого випарного охолодження як енергоефективних рішень.

Підтверджено, що вентиляція підлогового типу забезпечує кращі параметри газового складу у зоні перебування тварин.

У другому пункті висновків представлено результати експериментально-чисельних досліджень температурного режиму при різних типах вентиляції. Встановлено, що підлогова вентиляція має вищі показники ефективності видалення забруднень і теплоти. Акцентовано на важливості локалізації впуску повітря поблизу зони перебування тварин для забезпечення стабільного мікроклімату. Наголошено на необхідності досягнення високої ефективності тепловідведення для збереження здоров'я тварин та їх продуктивності.

У третьому пункті висновків вказано, що розроблена конструктивно-технологічна схема мехатронної системи забезпечення мікроклімату дозволяє адаптувати вентиляційні режими до сезонних змін. Обґрунтовано автоматизоване керування витяжними та нагнітальними заслінками з можливістю формування локального мікроклімату. Сказано, що передбачено інтеграцію ґрунтового теплообмінника і теплообмінника побічно-випарного типу для підвищення енергоефективності, що дозволяє комплексно регулювати як температуру, так і вологість повітря.

У четвертому пункті висновків сказано, що на основі теоретичних розрахунків створено алгоритм для визначення площ витяжних отворів у системі видалення забрудненого повітря. В алгоритмі враховано розподіл концентрацій газів і параметри потоку газів, що дозволило сформувати адаптивну геометрію повітроводів. Сказано, що побудовано залежності для визначення швидкостей повітря у патрубках та втрат тиску в системі. Вказано, що запропоновано методику, що забезпечує точне керування вентиляційними процесами на основі параметрів забруднення.

У п'ятому пункті висновків акцентовано, що експериментальні дослідження підтвердили ефективність алгоритму керування витяжними заслінками. Встановлено залежності швидкості потоку та витрат повітря від положення заслінки і геометричних параметрів повітропроводу. Зроблено висновок про те, що слабкий вплив концентрації газів на споживану потужність вентилятора дозволив застосовувати спрощену модель енергоспоживання для оптимізації роботи системи.

У шостому пункті висновків вказано, що теоретичне обґрунтування геометрії патрубків системи нагнітання повітря виконано з метою забезпечення рівномірного розподілу потоку. Зазначено залежності ширини щілини і бокового кута центрального повітропроводу від його параметрів. Сказано, що клиноподібна форма повітропроводу забезпечує стабільний розподіл витрат повітря. Сказано, що запропоновані аналітичні залежності дали змогу прогнозувати втрати тиску та необхідну потужність нагнітання повітря.

У цьому пункті висновків зазначено, що результатами експериментів підтверджено ефективність геометричних рішень для нагнітальних патрубків. Сказано, що коефіцієнт варіації швидкості повітря був найменшим при використанні щілини змінної ширини, що засвідчило про досягнення рівномірності подачі повітря. Зазначено, що встановлена залежність споживаної потужності вентилятора від обсягу повітря, що подається, дозволила зробити висновок про підвищення енергетичної ефективності роботи системи.

У восьмому пункті висновків представлено аналітичне моделювання теплообмінника побічно-випарного типу, що дозволило оцінити втрати тиску для різних геометричних форм каналів. Зазначено, що круглі канали забезпечують мінімальні втрати тиску за інших рівних умов. Запропоновано моделі, що дали змогу враховувати геометрію і пневмодинаміку каналів при проектуванні, що дали змогу конструкційно оптимізувати параметри теплообмінника.

У дев'ятому пункті висновків вказано, що чисельне моделювання у середовищі Simcenter Star-CCM+ дозволило встановити теплові і пневмодинамічні характеристики побічно-випарного теплообмінника. Зазначено, що квадратна форма каналів мала найвищу температурну ефективність. Описано встановлені залежності теплових характеристик від геометричних і термодинамічних параметрів повітряного потоку, які дозволили оптимізувати розмір отворів та форму каналів для досягнення максимального охолоджуючого ефекту.

У десятому пункті висновків зазначено, що в результаті дослідження ґрунтових вертикальних теплообмінників визначено їх гідравлічні та теплові характеристики. Порівняння концентричної і U-подібної схем показало перевагу останньої за рівнем теплової ефективності. Вказано, що проведено моделювання, що відображає зміну температури повітря протягом року. Рекомендовано теплоізолювати ділянку повітропроводу на глибині до 3 м для запобігання втратам тепла.

У одинадцятому пункті висновків конкретизовано, що розроблені рівняння регресії описують залежність теплової ефективності теплообмінників від температури і витрат повітря. Зазначено оптимальні параметри для кожного типу теплообмінника з урахуванням енергоефективності. Сказано, що U-подібний теплообмінник має кращі показники на 17–24 % у порівнянні з концентричним. Вказано, що знайдені параметри та встановлені показники є основою моделювання та вибору найбільш раціональної конструкції теплообмінника при проектуванні систем мікроклімату.

У дванадцятому пункті висновків відображено, що розроблена мехатронна система мікроклімату пройшла верифікацію через повноцінне

чисельне моделювання та симуляцію. Зазначено річний профіль температур і енергоспоживання системи з урахуванням сезонних коливань. Сказано, що система забезпечує відповідність мікроклімату зоотехнічним вимогам з меншою витратою енергії. Зазначено, що проведена економічна оцінка підтвердила доцільність впровадження мехатронної системи.

Всі пункти висновків ґрунтуються на результатах досліджень приведених автором в матеріалах дисертаційної роботи.

4. Повнота відображення результатів дисертації в опублікованих працях

Результати досліджень, поданих автором в дисертаційній роботі апробовані на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях і в достатньому обсязі відображені в 46 наукових працях, у тому числі: 1 монографія; 1 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; 5 патентів (з них 1 на винахід); 2 депоновані звіти науково-дослідних робіт, які фінансуються за рахунок коштів державного бюджету Міністерством освіти і науки України.

5. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертація Яропуда В.М. представляє собою завершену наукову працю і складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 293 найменувань та 18 додатків.

Повний обсяг роботи викладено на 427 сторінках комп'ютерного тексту (основна частина 377 сторінок), містить 184 рисунків, 36 таблиць.

У вступі, відповідно до вимог, обґрунтовано актуальність теми, розкрита сутність і стан наукової проблеми, її значущість. Показано зв'язок роботи з науковими програмами, встановлено об'єкт та предмет дослідження, відображено методи досліджень, сформульовані мета й основні задачі дослідження, висунуто наукову гіпотезу, визначено наукову і практичну цінність одержаних результатів.

У першому розділі здійснено комплексний аналіз сучасних систем забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях. Розглянуто новітні технології утримання свиней як основу для формування вимог до мікрокліматичних систем. Проаналізовано параметри мікроклімату, що визначають комфорт та продуктивність тварин. Надано характеристику сучасних систем вентиляції, утилізації теплоти, кондиціонування повітря, а

також інноваційних рішень з використання енергії поверхневих шарів ґрунту. Проведено оцінку ефективності існуючих систем забезпечення мікроклімату та здійснено огляд наукових досліджень у цій галузі. Узагальнення отриманих результатів дозволило окреслити напрями подальших наукових розвідок і технічного вдосконалення систем мікроклімату у свинарстві.

У другому розділі представлено експериментально-чисельні дослідження ефективності систем забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях. Сформульовано постановку дослідницьких задач, що охоплюють вивчення характеристик традиційних і вдосконалених систем мікроклімату. Наведено методику проведення експериментів та чисельного моделювання із застосуванням сучасних інструментів інженерного аналізу. Представлено результати експериментально-чисельної перевірки працездатності систем, зокрема системи вентиляції підлогового каналу, що відіграє важливу роль у підтриманні повітрообміну на рівні зони перебування тварин. Окрему увагу приділено опису конструктивно-технологічної схеми та принципу дії розробленої мехатронної системи забезпечення мікроклімату, яка є ключовим елементом подальших інженерних рішень у дослідженні.

У третьому розділі розроблено фізико-математичні моделі втрат тиску в елементах системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. Сформульовано постановку задачі щодо дослідження аерогідродинамічних процесів у вентиляційних каналах і теплообмінних пристроях. Обґрунтовано принципи побудови систем видалення забрудненого та нагнітання чистого повітря, що відповідають вимогам ефективного повітрообміну. Проведено аналітичні й теоретичні дослідження втрат тиску в основних елементах систем, зокрема у вентиляційних каналах, повітряному теплообміннику побічно-випарного типу та ґрунтовому теплообміннику. Отримані моделі є основою для інженерного розрахунку та оптимізації конструктивних параметрів системи забезпечення мікроклімату.

У четвертому розділі представлено моделювання процесів тепломасообміну в елементах системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. Побудовано фізико-математичну модель роботи повітряного теплообмінника побічно-випарного типу, що дозволяє описати процеси охолодження та осушення повітря. Обґрунтовано оптимальну геометрію каналів теплообмінника для забезпечення ефективного тепломасообміну в умовах тваринницьких приміщень. Наведено результати чисельного моделювання, які підтверджують працездатність і ефективність розробленої конструкції. Окрему увагу приділено побудові фізико-математичного апарату для опису процесу нагрівання повітря у вертикальному ґрунтовому теплообміннику. Представлено результати чисельного моделювання цього

процесу, які слугують основою для подальшої оптимізації роботи системи з використанням відновлюваних джерел енергії.

У п'ятому розділі викладено методiku проведення експериментальних досліджень системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. Визначено мету, сформульовано основні задачі та представлено програму досліджень. Детально описано методики експериментального дослідження окремих елементів системи, зокрема вентиляційних підсистем видалення забрудненого та нагнітання чистого повітря, повітряного теплообмінника побічно-випарного типу, а також вертикального ґрунтового теплообмінника. Особливу увагу приділено вибору вимірювального обладнання, умовам проведення досліджень та способам реєстрації параметрів. Представлено методiku статистичної обробки експериментальних даних, що забезпечує достовірність отриманих результатів та можливість їх використання для верифікації математичних моделей і подальшої оптимізації системи.

У шостому розділі представлено результати експериментальних досліджень ключових елементів системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. Зокрема, наведено дані щодо ефективності вентиляційної системи видалення забрудненого повітря та системи нагнітання чистого повітря, що дозволило оцінити якість повітрообміну та стабільність параметрів мікроклімату. Розкрито результати досліджень роботи повітряного теплообмінника побічно-випарного типу, що підтверджують його здатність забезпечувати інтенсивний тепло- та масообмін при мінімальних енерговитратах. Представлено дослідження процесу нагрівання повітря у вертикальному ґрунтовому теплообміннику, результати якого підтверджують доцільність використання геотермальної енергії в системах мікроклімату.

У сьомому розділі висвітлено практичну реалізацію результатів досліджень, спрямованих на підвищення ефективності систем забезпечення мікроклімату у свинарських приміщеннях. Розроблено методiku інженерного розрахунку та алгоритм функціонування мехатронної системи, що забезпечує автоматизоване керування мікрокліматичними параметрами з урахуванням змін зовнішніх та внутрішніх умов. Наведено приклади впровадження запропонованих технічних рішень у виробничих умовах, що підтверджують їх практичну придатність та ефективність. Проведено економічну оцінку впровадження, яка засвідчила доцільність використання розробленої системи з огляду на зменшення енерговитрат і загальне покращення виробничих показників.

Дисертація і реферат написані діловою українською мовою з дотриманням наукового стилю. Оцінюючи зміст дисертації в цілому слід відзначити, що матеріали усіх розділів логічно пов'язані і разом складають

закінчену наукову роботу, яка вирішує наукову проблему відповідно до мети і сформованих задач. Зміст, форма подачі матеріалу відповідають вимогам до докторських дисертацій. В роботі мають місце стилістичні і друкарські недоліки, які істотно не впливають на кінцевий результат і не знижують наукової цінності дисертації. Основні положення, що наведені у рефераті, співпадають з дисертацією.

6. Дискусійні питання та зауваження щодо дисертації

Повний аналіз дисертаційної роботи дозволяє вказати на деякі дискусійні питання та зауваження:

1. У першому розділі дисертаційної роботи подано широкий огляд сучасних систем забезпечення мікроклімату у свинарських приміщеннях, що охоплює технології утримання тварин, параметри мікроклімату, вентиляцію, утилізацію теплоти, кондиціонування повітря та використання ґрунтової енергії. Проте виникає зауваження щодо структури розділу: підрозділи 1.1–1.6 фактично є тематичними напрямками, які логічно повинні завершуватися інтегрованим аналітичним узагальненням. Водночас підрозділи 1.7 і 1.8 дублюють загальні функції узагальнення без чіткого розмежування. Виникає питання: чим відрізняється аналітичне наповнення підрозділів 1.7 та 1.8, і чи не доцільно було об'єднати їх в один узагальнюючий підрозділ для уникнення повторів та покращення логічної послідовності викладеного матеріалу.

2. У підрозділі 2.4 «Результати експериментально-чисельних досліджень систем забезпечення мікроклімату» (стор. 121–144) використано середні значення ефективності видалення забруднень (ξ) та ефективності відведення теплоти (ζ) у різних точках відбору проб. Проте не пояснено, чому ці показники подані як безрозмірні величини. Це викликає питання щодо фізичного змісту наведених коефіцієнтів і методики їх розрахунку. Доцільно було б надати чітке обґрунтування безрозмірності зазначених показників та уточнити, які фізичні процеси вони описують, а також як вони можуть бути інтерпретовані в контексті аналізу ефективності роботи систем мікроклімату.

3. На сторінці 186 представлено рисунок 3.13 – «Залежність бокового кута клина θ центрального повітропроводу системи нагнітання чистого повітря від відстані між суміжними перерізами L_0 , ширини центрального повітропроводу на його початку a_N та кількості патрубків для нагнітання N ». Згідно з графіком, діапазон кута становить від 0° до $0,4^\circ$. У зв'язку з цим виникає питання: чи має практичне значення настільки малий кут у формуванні потоку повітря, і як саме він впливає на рівномірність розподілу повітря по

патрубках? Доцільно було б уточнити значущість цього параметра для ефективності функціонування системи в реальних умовах.

4. У висновках до розділу 3, присвяченого фізико-математичним моделям втрат тиску в системі забезпечення мікроклімату свинарських приміщень, відсутні конкретні числові значення, хоча у самому розділі вони наведені. Це створює враження неповної узагальненості результатів, оскільки висновки мають відображати не лише якісні, а й кількісні підсумки дослідження.

5. У четвертому розділі «Моделювання процесу тепломасообміну системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень» на рисунках 4.9-4.11 (стор. 221–222), наведені конкретні значення геометричних параметрів каналів (квадратні, круглі, трикутні) - крок 20 мм і 23 мм, товщина стінки 2 мм. Однак у тексті відсутнє пояснення, яка саме математична залежність або розрахункова модель покладена в основу визначення цих значень. Це викликає питання щодо обґрунтованості вибору параметрів конструкції теплообмінника, які суттєво впливають на ефективність тепломасообміну. Доцільно було б більш детально обґрунтувати прийняті значення з посиланням на відповідні розрахунки, моделі або результати чисельного моделювання.

6. У дисертаційній роботі недостатньо чітко пояснено, яка саме модель або графічна залежність використана для визначення чисельних значень, наведених на рисунку 4.43 – Загальний вигляд розрахованої сітки і конструктивно-технологічні параметри концентричного та U-подібного вертикальних ґрунтових теплообмінників), а також яким чином ці дані були обґрунтовані. Зокрема, викликає питання вибір окремих конструктивних параметрів, наприклад: чому довжина теплообмінника прийнята саме як 1 м, а наприклад не 1,2 м? Варто детальніше обґрунтувати вибір конкретних значень, що представлені у графічних матеріалах, з посиланням на відповідні моделі, розрахунки або експериментальні дані.

7. На стор. 274 наведено рисунок 5.4 – 3D-модель теплообмінника побічно-випарного типу із прийнятими геометричними розмірами (в мм). Проте у тексті відсутнє обґрунтування вибору конкретних геометричних параметрів моделі, зокрема 285 мм, 70 мм, 120 мм. Якими критеріями або розрахунками керувалися при виборі саме цих розмірів, і чи мають вони експериментальну або теоретичну основу?

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Дисертація **Яропуда Віталія Миколайовича** є закінченою, самостійно виконаною науково-дослідною роботою, яка містить нові наукові положення, обґрунтовані технічні рішення, нове вирішення наукової проблеми механіко-технологічних процесів у тваринництві, має теоретичне і практичне значення. Актуальність теми, наукова новизна, закінченість досліджень в межах сформульованих мети і задач досліджень, обґрунтованість і достовірність висновків заслуговують позитивної оцінки.

Зміст дисертації, її структура відповідають паспорту наукової спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

За актуальністю розглянутої проблеми, науковим рівнем її вирішення, загальним обсягом досліджень, теоретичною і практичною цінністю отриманих результатів дисертація повністю відповідає пунктам 7, 8 «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. за № 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, завідувач кафедри механічної інженерії та технології машинобудування Поліського національного університету

Савелій КУХАРЕЦЬ

