

## ВІДГУК

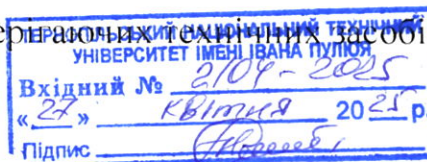
офіційного опонента, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника, завідувача відділу механіко-технологічних проблем збирання і післязбиральної обробки урожаю зернових та олійних культур Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН України **Степаненка Сергія Петровича** на дисертаційну роботу **Яропуда Віталія Миколайовича**

«Механіко-технологічні основи функціонування мехатронних систем забезпечення мікроклімату свинарських приміщень», що представлена 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

### 1. Актуальність теми дисертації

Враховуючи стратегічну важливість аграрного сектору для економіки України, яка посідає провідні позиції серед аграрних країн світу, одним із ключових завдань вітчизняної аграрної науки є розробка та впровадження інноваційних науково-технічних рішень для забезпечення максимальної ефективності виробництва продукції тваринництва. Це передбачає оптимізацію технологічних процесів утримання, годівлі та розведення тварин, розробку новітнього обладнання для тваринницьких комплексів, впровадження сучасних методів управління та використання цифрових технологій для моніторингу стану здоров'я тварин. Такі заходи дозволять підвищити продуктивність тваринництва, покращити якість продукції та забезпечити її відповідність міжнародним стандартам.

Представлена робота є своєчасною і націлена на підвищення ефективності функціонування техніко-технологічного забезпечення мікроклімату свинарських приміщень шляхом обґрунтування концепції та параметрів адаптивних мехатронних систем енергозберігаючих засобів. Розробка



мехатронних систем з адаптивною вентиляцією та енергозберігаючими засобами є актуальною науково-прикладною задачею, а її вирішення має важливе господарське значення на загальнодержавному рівні.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційна робота Яропуда В.М. виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт Вінницького національного аграрного університету, у тому числі відповідно до завдання Міністерства освіти і науки України «Розробка комплексу енергоефективного і ресурсощадного обладнання та перспективних технологій годівлі сільськогосподарських тварин АПК України» (№ ДР 0121U108589), «Розробка комплексу техніко-технологічного забезпечення енерго- та ресурсощадного виробництва продукції тваринництва у рамках ЄЗК» (№ ДР 0123U101794).

## **3. Наукова новизна одержаних результатів і їх значення для науки**

Наукова новизна дисертаційного дослідження полягає в розробці наукової концепції та обґрунтуванню адаптивних мехатронних систем забезпечення мікроклімату у свинарських приміщеннях, які поєднують функції вентиляції з очищенням повітря та його оновленням, а також використанням енергозберігаючих теплообмінників побічно-випарного типу й вертикальних ґрунтових теплообмінників.

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;

- 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;

– 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.

Набули подальшого розвитку:

– залежності ефективності видалення забруднень ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) 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.

#### **4. Практичне значення результатів, що отримані дисертантом**

Практичне значення результатів, що отримані дисертантом, полягає в розробці та виготовленні дослідних зразків мехатронної системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень.

Отримані результати теоретичних та чисельно-експериментальних

досліджень передано до ТОВ «Агромаш-Калина» (м. Калинівка, Вінницька область), ПСП «Агрофірма Нападівська» (с. Нападівка, Вінницький район), ФГ «Літагор» (с. Миколаївка, Козятинський район, Вінницька область) та ТОВ «Субекон» (смт. Сутиски, Вінницький район).

Розроблена конструкція повітряного теплообмінника побічно-випарного типу впроваджена у виробничий процес вирощування товарних свиней ТОВ «Субекон» (смт. Сутиски, Вінницький район). Розроблену конструкцію U-подібного ґрунтового теплообмінника впроваджено у виробничий процес свиновідгодівельної ферми ПСП «Агрофірма Нападівська» (с. Нападівка, Вінницький район).

Річний економічний ефект від впровадження розробленої мехатронної системи забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях в порівнянні із класичною складає 263798 грн, що становить 82,43 грн/місце.

## **5. Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Наукові положення, висновки і рекомендації є кількісно і якісно обґрунтованими. Ці положення, висновки і рекомендації сформульовані на основі проведених автором теоретичних і експериментальних досліджень з використанням типових і запропонованих здобувачем методів.

Всі наукові положення, які наведені в дисертації, підтверджені поданими у дисертації даними теоретичних та експериментальних досліджень.

Результати дисертаційної роботи викладені у висновках після кожного розділу, а також у 12 пунктах загальних висновків.

У першому висновку обґрунтовано результати аналізу сучасних систем забезпечення мікроклімату в приміщеннях для утримання свиней. Встановлено, що найпоширенішим на сьогодні рішенням є система вентиляції від'ємного тиску, яка, попри загальне поширення, має низку недоліків, пов'язаних із неефективним формуванням локального мікроклімату безпосередньо в зоні перебування тварин. У цьому контексті обґрунтовано доцільність застосування ресурсо- та енергозберігаючих технологій охолодження та нагрівання повітря, які базуються на автоматизованих і адаптивних системах керування. Особливої

уваги заслуговують конструктивні рішення із застосуванням утилізаторів теплоти витяжного повітря з рекуперативним теплообмінником, систем непрямого випарного охолодження за термодинамічним циклом Майсоценка (М-цикл) та ґрунтових теплообмінників, які визнано найбільш енергетично ефективними. На основі експериментального дослідження виробничих умов отримано переконливі дані щодо впливу типу вентиляції на якість повітря в зоні перебування тварин.

*У другому висновку* представлено обґрунтування ефективності різних типів вентиляційних систем у свинарських приміщеннях. За результатами експериментально-чисельних досліджень встановлено, що вентиляція підлогового каналу забезпечує оптимальні параметри мікроклімату: стабільні температурні режими (20–26 °С влітку, 16–20 °С взимку), коефіцієнти ефективності видалення забруднень ( $\xi = 1,27\text{--}1,37$ ) і відведення теплоти ( $\zeta = 1,12\text{--}1,14$ ). Показано, що ключовою умовою її ефективності є розташування впускного отвору поблизу зони перебування тварин, що сприяє формуванню локального мікроклімату та підвищенню продуктивності поголів'я.

*У третьому висновку* запропоновано конструктивно-технологічну схему мехатронної системи мікроклімату, яка забезпечує адаптивне регулювання повітряного потоку завдяки заслінкам із сервоприводами. Реалізовано функціональний поділ на модулі нагнітання та видалення повітря з можливістю формування локального мікроклімату в кожному станку. Рациональне використання енергоресурсів досягається завдяки поєднанню вертикального ґрунтового теплообмінника та теплообмінника побічно-випарного типу, що дозволяє не лише охолоджувати, а й зволожувати повітря.

*У четвертому висновку* викладено результати аналітичного дослідження роботи автоматизованої системи видалення забрудненого повітря у свинарських приміщеннях. На основі опрацьованих конструктивно-технологічних параметрів розроблено методику розрахунку геометричних характеристик витяжних елементів системи. Запропонований алгоритм дає змогу визначати площі отворів витяжних заслінок із сервоприводами, а також встановити закони розподілу швидкостей повітря у патрубках. Отримано аналітичні залежності зміни втрат тиску та потужності, необхідної для функціонування системи, з урахуванням ефективного діаметра повітропроводів, довжини між патрубками та їх кількості.

Встановлені залежності мають практичне значення для оптимізації енергоспоживання вентиляційних систем і забезпечення цілеспрямованого керування повітрообміном у зоні перебування тварин.

У *п'ятому висновку* наведено результати експериментальних досліджень роботи системи видалення забрудненого повітря, в межах яких встановлено кількісні залежності ключових експлуатаційних параметрів – вихідної швидкості повітряного потоку, витрат повітря, коефіцієнта зниження швидкості, умовної площі отвору заслінки ( $\sigma_{out}$ ) та споживаної вентилятором потужності – від вхідної швидкості повітря, кута повороту заслінки та діаметра повітропроводу.

У *шостому висновку* представлено результати аналітичних досліджень, спрямованих на забезпечення рівномірного розподілу повітряного потоку в системі нагнітання чистого повітря у свинарських приміщеннях. Отримано апроксимоване рівняння для визначення ширини щілини в патрубку в залежності від його висоти та ефективного діаметра, що дозволяє забезпечити стабільну подачу повітря до кожного технологічного відсіку.

За результатами аналітичного моделювання втрат тиску в системі нагнітання чистого повітря встановлено залежності зміни втрат тиску і необхідної потужності вентилятора від ширини повітропроводу, витрат повітря, довжини між патрубками та їх кількості. Результати мають важливе практичне значення для раціонального проєктування повітророзподільних систем у тваринницьких комплексах.

У *сьомому висновку* наведено результати експериментальних досліджень, які підтверджують ефективність конструктивного рішення патрубка з щілиною змінної ширини для системи нагнітання чистого повітря. Встановлено, що при такій конструкції коефіцієнт варіації швидкості повітряного потоку перебуває в межах 0,01–0,02, що свідчить про високу рівномірність повітророзподілу та підтверджує достовірність теоретичного обґрунтування.

У *восьмому висновку* встановлено, що за однакової площі поперечного перерізу канали з круглою формою забезпечують найменші втрати тиску (на 23 % менше) порівняно з квадратними та трикутними, що підтверджує їх енергоефективність у конструкції побічно-випарного теплообмінника. Отримані залежності втрат тиску і потужності від геометричних параметрів каналів мають практичне значення для оптимізації систем повітряного охолодження.

У дев'ятому висновку зазначено, що за результатами чисельного моделювання повітряного теплообмінника побічно-випарного типу в середовищі Simcenter Star-CCM+ визначено просторовий розподіл температури, швидкості повітря та абсолютної вологості в каналах різної геометрії. Отримано залежності температурної ефективності теплообмінника та питомої холодопродуктивності від параметрів повітряного потоку.

У десятому висновку представлено, що за результатами аналітичних і чисельних досліджень вертикальних ґрунтових теплообмінників двох типів (концентричного та U-подібного) встановлено, що потужність U-подібного теплообмінника вища на 0,9–1,7 %, за практично однакових втратах тиску. Побудовано залежності потужності від довжини, діаметра і витрат повітря. Моделювання температурного поля показало, що при довжині труб 32 м температура повітря влітку знижується, а взимку підвищується більше в U-подібному теплообміннику (на 8,5 °C і 9,3 °C відповідно), порівняно з концентричним (7,2 °C і 8,1 °C). Доведено, що теплоізоляція повітропроводу на глибину  $\geq 3,25$  м сприяє збереженню стабільного температурного режиму на виході.

У одинадцятому висновку наведено результати чисельного моделювання та експериментальних досліджень на основі яких побудовано рівняння регресії другого порядку, що описують залежності зміни температури повітря та ефективної теплової потужності ґрунтових теплообмінників від температури вхідного повітря і витрат повітря. Визначено раціональні витрати повітря для концентричного і для U-подібного теплообмінників. Показано, що ефективна тепла потужність U-подібного теплообмінника є на 17–24 % вищою, ніж у концентричного, що свідчить про його кращу термодинамічну ефективність при однакових вхідних умовах.

У дванадцятому висновку представлено реалізацію чисельної моделі адаптивної мехатронної системи мікроклімату для свинарських приміщень, побудованої на основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень у середовищі Simcenter Star-CCM+. Симуляційне моделювання впродовж календарного року для об'єкта з 16 станками дозволило простежити динаміку температури повітряного потоку на всіх етапах його проходження через систему. Встановлено, що температура повітря після проходження через ґрунтовий та

побічно-випарний теплообмінники відповідає зоотехнічним вимогам: охолодження до 22 °С досягається без кондиціонування, а для нагрівання до 18 °С необхідне додаткове тепlopостачання. Проведений енергетичний аналіз засвідчив, що річне споживання енергії системою становить 17528 кВт·год, що на 28,6 % менше, ніж у класичній системі (24559 кВт·год). За результатами економічного розрахунку для приміщення на 128 станків річний ефект від впровадження системи становить 263798 грн, що еквівалентно 82,43 грн на одне місце, із терміном окупності 1,82 року.

## **6. Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях**

Результати досліджень, що складають дисертаційну роботу, достатньо повно викладені в 46 наукових працях (серед яких 1 патент на винахід і 2 на корисні моделі) та апробовані шляхом представлення на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях. Наведені публікації відображають основний зміст дисертації.

## **7. Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому**

Дисертаційною роботою є рукопис українською мовою. Робота складається із вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який налічує 293 найменування, та додатків. Роботу викладено на 427 сторінках друкованого тексту, що містить 184 рисунки та 36 таблиць. Дисертація побудована згідно із вимогами. Текст автореферату дисертації повністю відображає основний зміст роботи, її наукові положення та результати. Висновки автореферату і дисертації ідентичні.

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

*У першому розділі* представлено результати всебічного аналізу сучасних технологій утримання свиней та систем мікроклімату, що застосовуються в

Україні та світі. Обґрунтовано доцільність переходу до західної безвигульної технології з використанням частково- або повністю щілинної підлоги. Визначено ключові параметри мікроклімату, що впливають на здоров'я тварин, а також перспективи впровадження енергозберігаючих адаптивних систем охолодження, нагрівання та вентиляції з використанням ґрунтових теплообмінників і М-циклу.

*У другому розділі* представлено результати експериментальних і чисельних досліджень ефективності різних систем вентиляції у свинарських приміщеннях. Встановлено переваги підлогової вентиляції за якістю мікроклімату, рівномірністю температури та ефективністю видалення забруднень. Виявлено вплив конструктивних особливостей системи на концентрацію шкідливих речовин, температурні та вологісні умови. Обґрунтовано та запропоновано конструкцію мехатронної системи з адаптивними елементами керування і використанням побічно-випарного та ґрунтового теплообміну для підвищення енергоефективності мікрокліматичного забезпечення.

*У третьому розділі* представлено результати аналітичних досліджень мехатронної системи мікроклімату, що охоплюють моделювання та оптимізацію процесів руху повітря у вентиляційних каналах свинарника. Розроблено алгоритми для розрахунку площ витяжних і нагнітальних отворів, визначено умови рівномірного розподілу повітря. Проведено аналіз втрат тиску та енергетичних витрат у системах видалення і подачі повітря, побічно-випарному та ґрунтовому теплообмінниках. Обґрунтовано конструктивні параметри повітропроводів і встановлено найефективніші геометричні рішення для зниження втрат тиску та підвищення енергоефективності системи.

*У четвертому розділі* наведені результати аналітичних і чисельних досліджень тепломасообміну в енергозберігаючих компонентах мехатронної системи мікроклімату. Побудовано фізико-математичні моделі для теплообмінників побічно-випарного типу та ґрунтових теплообмінників із урахуванням відчутного і прихованого тепла. У середовищі Simcenter Star-CCM+ проведено чисельне моделювання, що дозволило оцінити вплив форми каналів і конструктивних параметрів на ефективність роботи. Встановлено, що квадратні канали в повітряному теплообміннику забезпечують найвищу температурну ефективність ( $\eta_t = 0,97$ ), а U-подібні вертикальні теплообмінники перевищують ефективність концентричних на 17–24 %. Отримані рівняння регресії

визначають оптимальні умови експлуатації для максимального теплового та холодопродуктивного ефекту.

У *п'ятому розділі* викладено методику експериментальних досліджень, спрямованих на перевірку адекватності теоретичних висновків, встановлення функціональних залежностей технологічних процесів та обґрунтування раціональних конструктивних і режимних параметрів розробленої мехатронної системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень.

*Шостий розділ* розкриває результати експериментальної перевірки ефективності мехатронної системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. Досліджено роботу вентиляційних систем видалення забрудненого повітря та нагнітання чистого повітря, підтверджено відповідність теоретичних розрахунків експериментальним даним (коефіцієнт кореляції 0,92–0,95). Визначено оптимальні параметри роботи побічно-випарного теплообмінника та U-подібного ґрунтового теплообмінника. Отримано рівняння регресії, що характеризують динаміку температури та теплової потужності, що дозволяє використовувати результати в інженерних методиках розрахунку.

У *сьомому розділі* представлено результати інтеграції теоретичних і експериментальних досліджень у розробку алгоритму функціонування мехатронної системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень. На основі моделювання у Simcenter Star-CCM+ встановлено, що система забезпечує відповідність параметрів повітря зоотехнічним вимогам без застосування кондиціонерів. Річні енерговитрати зменшено на 28,6 % порівняно з класичною системою. Проведено дослідно-виробничі впровадження на трьох підприємствах, де досягнуто зниження енерговитрат та покращення якості повітря. Економічні розрахунки для ферми на 3200 поросят показали щорічний ефект у 263798 грн, а строк окупності - 1,82 року, що підтверджує ефективність запропонованої системи.

Матеріали докторської дисертації Яропуда Віталія Миколайовича не містять результатів його кандидатської дисертації.

## **8. Основні зауваження до дисертаційної роботи**

1. У першому розділі зроблено висновок щодо популярності системи

вентиляції від'ємного тиску. Слід зауважити, що даний висновок виглядає декларативним і недостатньо обґрунтованим. У роботі бракує розширеного порівняльного аналізу з іншими типами вентиляційних систем, зокрема у контексті сучасних підходів до адаптивного керування мікрокліматом. Отже, виникає запитання: які саме переваги та недоліки має система вентиляції від'ємного тиску порівняно з альтернативними системами в умовах різних кліматичних зон? Доцільно було б доповнити виклад порівняльними характеристиками з урахуванням енергоефективності, стабільності параметрів мікроклімату та можливостей автоматизованого регулювання.

2. У другому розділі «Експериментально-чисельні дослідження ефективності систем забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях» зазначено, що ефективність роботи вентиляційної системи залежить від віку та маси тварин, однак не розглянуто адаптивні алгоритми керування вентиляцією з урахуванням цих змінних біологічних характеристик. Виникає запитання: чи передбачає запропонована мехатронна система можливість динамічного регулювання параметрів мікроклімату залежно від вікової та вагової структури поголів'я?

3. У формулі (3.8) на сторінці 172 дисертаційної роботи використано змінні  $F$ ,  $P$ ,  $L$ , однак після подання формули відсутні їхні пояснення або розшифрування. Це ускладнює розуміння фізичного змісту виразу та перевірку правильності розрахунків. Виникає питання: що саме означають ці позначення і чому їх значення не пояснено безпосередньо після формули, як це прийнято в наукових роботах?

4. У формулі (9) на сторінці 18 автореферату бажано було б винести спільний множник за дужки, а однакові члени додати для спрощення усвідомлення даної залежності.

5. У формулі (3.25) на сторінці 177 дисертаційної роботи використано змінні  $w_i$  та  $V_i$ , однак у тексті відсутнє чітке пояснення щодо їх відмінностей. Виникає питання: який фізичний зміст цих змінних і в чому полягає їх принципова різниця? Оскільки обидва позначення можуть стосуватись швидкості потоку повітря, доцільно було б надати однозначне пояснення та уникнути можливих термінологічних непорозумінь, забезпечивши послідовність у позначеннях по всьому тексту дисертації.

6. У четвертому розділі «Моделювання процесу тепломасообміну системи забезпечення мікроклімату свинарських приміщень» побудовані математичні моделі функціонування теплообмінних елементів системи мікроклімату, однак не враховано можливу деградацію теплообмінних поверхонь у процесі тривалої експлуатації. Яким чином враховується вплив факторів, таких як накопичення пилу, мікробного нальоту чи конденсату, які можуть змінювати теплопровідність та гідродинамічні характеристики каналів і як унеможливити вплив даних факторів на функціонування теплообмінних елементів? У чисельному моделюванні ці аспекти не розглянуті, хоча вони можуть суттєво впливати на ефективність роботи системи в довгостроковій перспективі. Доцільно було б доповнити дослідження аналізом впливу експлуатаційних факторів на стабільність параметрів системи.

7. На сторінці 177 у формулі (3.26) дисертаційної роботи використовується коефіцієнт  $\alpha$  – коефіцієнт пом'якшення удару, для якого зазначено значення 0,55 для коліна постійного перерізу. Проте в роботі не уточнено, до чого саме належить це значення: чи стосується воно повітря як робочого середовища, чи якогось конкретного матеріалу каналу. Виникає запитання: що саме характеризує зазначений коефіцієнт  $\alpha$  і від чого залежить його значення? Доцільно було б уточнити фізичну природу цього коефіцієнта та умови, за яких приймається його величина, для коректного застосування у подальших розрахунках та дослідженнях.

8. На сторінці 234 наведено рисунок 4.26 – Геометричні розміри теплообмінника побічно-випарного типу і граничні умови моделювання, однак не вказано, з якої моделі чи графіка були взяті значення геометричних параметрів  $D_i = 6$  мм,  $h_k = 3,2$  мм, 2 мм, 25 мм, а також витрати повітря  $Q_1 = 300$  м<sup>3</sup>/год. Виникає запитання: чому саме ці розміри та параметри були обрані для моделювання, і чи мають вони експериментальне або теоретичне обґрунтування? Доцільно було б уточнити джерело цих значень та пояснити, яким чином їх вибір впливає на результати моделювання і загальні висновки дослідження.

9. На сторінці 235 наведено рисунок 4.28 – Залежність температури від координат у теплообміннику побічно-випарного типу. Як пояснити, що зі збільшенням координати  $X$  температура ( $t$ , °C) у сухих каналах зменшується, а у вологих – збільшується? Чи не є це суперечливим, з огляду на принцип роботи

побічно-випарного теплообмінника? Аналогічне питання стосується динаміки зміни температури за координатою Y? Чи не припущено помилки в графічному поданні або його трактуванні?

10. У дисертаційній роботі зазначено, що раціональні значення повітряного потоку становлять  $Q = 180\text{--}200 \text{ м}^3/\text{год}$ , однак на сторінці 234 для моделювання прийнято значення  $Q = 300 \text{ м}^3/\text{год}$ , а на сторінці 313 (рис. 6.15) знову використовується  $Q = 200 \text{ м}^3/\text{год}$ . Чому в різних частинах дослідження застосовуються різні значення витрат повітря, і яким чином обґрунтовано вибір саме цих величин? Доцільно було б пояснити причину такої невідповідності та узгодити параметри в межах всієї роботи для забезпечення послідовності аналізу та коректності порівняння отриманих результатів.

11. У дисертаційній роботі не розглянуто вплив можливих збоїв або відмов окремих елементів мехатронної системи на її загальну енергоефективність та стабільність функціонування. Зокрема, в моделюванні не враховано аварійні ситуації, такі як вихід з ладу сервоприводів, втрата зв'язку з системою керування чи локальне засмічення повітропроводів. Таким чином, як у межах запропонованої системи передбачається реагування на подібні технічні відмови? Доцільно було б доповнити дослідження аналізом потенційних ризиків і варіантів забезпечення надійності та відмовостійкості системи в умовах реального виробництва.

В цілому вищезазначені зауваження не знижують рівень виконаної роботи і отриманих наукових та практичних результатів досліджень.

## **9. Відповідність автореферату основним положенням дисертації**

Автореферат відображає основний зміст роботи, її наукові положення та результати. Висновки автореферату і дисертації повністю ідентичні.

## **10. Загальна оцінка дисертації та висновок щодо її відповідності вимогам МОН України**

Дисертація Яропуда В.М. «Механіко-технологічні основи функціонування мехатронних систем забезпечення мікроклімату свинарських приміщень» є

завершеним науковим дослідженням, має наукову новизну і практичне використання. Робота вирішує конкретну наукову задачу - підвищення ефективності функціонування техніко-технологічного забезпечення мікроклімату свинарських приміщень шляхом обґрунтування концепції та параметрів адаптивних мехатронних систем енергозберігаючих технічних засобів.

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні та відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, які пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 - машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва, а її автор, Яропуд Віталій Миколайович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.05.11 - машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Офіційний опонент:

д.т.н., старший науковий співробітник,  
завідувач відділу механіко-технологічних  
проблем збирання і післязбиральної  
обробки урожаю зернових та  
олійних культур Інституту механіки  
та автоматики агропромислового  
виробництва НААН України

**Сергій СТЕПАНЕНКО**

Підпис Степаненка С.П. стверджую:

Учений секретар ІМА АПВ НААН



**Михайло ГРИЦИШИН**