

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Синициної Єлизавети на тему «Гідропневматична система об'єкту тепличного господарства середнього об'єму», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Актуальність теми дисертації

Системи мікроклімату мають широке застосування в сучасних тепличних господарствах. Це викликано гарантованим збільшенням виробництва сільськогосподарських продуктів, зокрема овочів, фруктів та зелені, а також безпосередньо пов'язано з поширенням тепличних господарств і продовженням терміну їх ефективного використання впродовж року. Зокрема, автоматизовані системи провітрювання, зволоження, зашторювання, обігріву та інші, які в сукупності утворюють системи мікроклімату, дозволяють забезпечувати стабілізовані значення температури, вологи, освітлення та повітрообміну при змінах параметрів оточуючого середовища впродовж експлуатаційного періоду. Однак, вказані системи потребують удосконалення, оскільки вони здебільшого відслідковують актуальні зміни зовнішнього середовища, і не використовують передбачення цих змін. Враховуючи, що характер змін параметрів має річний та добовий цикл, його врахування створює потенціал для додаткового підвищення продуктивності, ефективності та якості продукції. Застосування подібного підходу до теплиць середнього об'єму, в яких не можливе регулювання клімату за локальними значеннями параметрів і не ефективна стабілізація параметрів у всьому об'ємі, сприяють поширенню тепличних господарств на прибудинкові ділянки та віддалені поселення, а також на невеликі площі в густо населених районах.

Основними показниками ефективності систем мікроклімату, за умов стабілізації параметрів повітря в середині теплиці, є термін вирощування продукції, об'єм енергоспоживання. Використання адаптивних систем мікроклімату, на основі мехатронної системи для теплиць середнього об'єму з пневмо-гідравлічними виконавчими пристроями, дозволяє зменшити вартість експлуатації теплиці та має потенційні можливості для розширення періоду експлуатації та підвищення ефективності роботи.

Актуальною задачею є розроблення адаптивної мехатронної системи мікроклімату теплиць середнього об'єму, яка спроможна стабілізувати та підтримувати параметри мікроклімату з врахуванням змін параметрів зовнішнього середовища у визначеному діапазоні.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше науково обґрунтовано і запропоновано мехатронну систему мікроклімату теплиці середнього об'єму в якій застосовано упереджуюче

керування змінами температури і вологості, з використанням акумулюючої спроможності теплиці, на основі прогнозованого дефіциту потужності теплового потоку і прогнозованого дефіциту вологості повітря впродовж доби.

2. Вперше розроблено і реалізовано засобами моделювання методику, яка дозволяє побудувати критеріальну функцію прогнозованого дефіциту вологості в теплиці на основі змін температури оточуючого середовища та доданої чи вилученої кількості пари через системи провітрювання та зволоження, та методику, що дозволяє визначати критеріальну функцію прогнозованого дефіциту потужності теплового потоку з врахуванням зовнішнього впливу температури повітря, енергії випромінювання та тепломасообмінного процесу в системі провітрювання в експлуатаційному діапазоні температур $-15 \dots +22$ °C.

4. Доведено, що упереджуюче керування в мехатронній системі мікроклімату теплиці середнього об'єму, яка охоплює підсистеми провітрювання, рециркуляції, зволоження, поливу і обігріву, може забезпечувати до 20% заощадження енергії за рік та зниження встановленої потужності в системі обігріву на 12 ... 26% для умов середньої полоси України.

5. Встановлено, шляхом модельного дослідження тепломасообмінних процесів, що термін стабілізації поля швидкостей руху повітря в теплиці середнього об'єму має нелінійну залежність від швидкості вхідного потоку і для теплиці площею $10\text{м} \times 3\text{м}$ в діапазоні швидкостей від 0,2 м/с до 1,06 м/с становить від 30 секунд до 6 хвилин.

Обґрунтованість отриманих наукових результатів підтверджується результатами аналізу стану досліджень в заявленій предметній області, коректною постановкою задач, застосуванням відомих методик та математичного апарата, який традиційно використовуються для опису тепломасообмінних процесів в обмеженому об'ємі, логічним обґрунтуванням структури математичної моделі, її підтвердження адекватністю та використанням відомих інструментів моделювання, відомих підходів до побудови алгоритмів керування в гідропневматичних системах. Достовірність наукових результатів підтверджено на основі їх порівняння з відомими результатами моделювання і експериментальними даними.

Отже, поставлене наукове завдання дисертаційної роботи виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Синициної Єлизавети повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 131 – Прикладна механіка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Прикладна механіка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Розвиток сучасних засобів автоматизації та підвищення ресурсоефективності виробництва».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна

робота Синициної Єлизавети є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Матеріал дисертаційної роботи представлено у відповідності до логіки проведених досліджень, що забезпечує досягнення визначеної мети. Стиль мовлення є доступним для розуміння з використанням загальноприйнятої термінології. Деякі текстові частини роботи, за потребою, додатково ілюстровано схемами та графіками з відповідними поясненнями.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 168 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, вказано про зв'язок з існуючими науковими програмами, сформульовано мету і задачі дослідження, наведено об'єкт, предмет та методи дослідження, представлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів, публікації, структуру і обсяг дисертації. Наведене дає стисле і достатнє уявлення про дисертаційну роботу.

У першому розділі представлені результати аналітичного огляду відомих технічних рішень щодо автоматизованих систем мікроклімату тепличних господарств. Розглянуто конструктивні і експлуатаційні особливості систем мікроклімату та їх складових, а також набір контрольованих і керованих параметрів та принципи і системи керування з акцентом на основні фактори, які визначають ефективність використання систем мікроклімату. Це дозволило здобувачу сформулювати мету і задачі дослідження.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню та розробці структури мехатронної системи мікроклімату. Розглянуто окремі підсистеми та їх основні параметри, що визначають їх функціонування, а також визначено можливі шляхи технічної реалізації та запропоновано принципові схеми. В основу взаємодії підсистем покладено врахування тепломасообмінних процесів в теплиці, та теплиці із зовнішнім середовищем, яке може бути представлено прогнозованими змінами температури та вологості. Встановлено діапазони можливих змін параметрів повітря в середині та зовні теплиці. Більш глибоке розуміння процесів, що створюють мікроклімат, дозволило визначити взаємозв'язок між структурою мехатронної системи і функціонуванням окремих підсистем, що може бути покладено в основу алгоритму керування. Зроблено припущення, що акумулюючі властивості теплиці щодо теплової енергії та вологості, можуть бути використані при стабілізації температури і вологості в теплиці і мають бути враховані в алгоритмах керування. Зроблено розрахунки підсистем, визначено діапазони їх функціонування, враховано характеристики засобів керування і параметри зовнішнього середовища. В результаті аналізу роботи та структури підсистем адаптивної системи мікроклімату теплиці було розроблено загальну структуру теплиці та її 3-D модель з розташуванням основних інженерних

систем. Вказано, що для побудови алгоритму керування необхідним є визначення взаємозв'язків між параметрами повітря в об'ємі теплиці, параметрами зовнішнього середовища та функціями систем провітрювання, зволоження, поливу, рециркуляції і підігріву, на основі чого побудовано структуру моделі об'єкту дослідження. Для визначення вказаних характеристик обрано модельне дослідження та аналітичне обґрунтування. Зміст і висновки другого розділу відповідають його назві. Однак, на мій погляд, складається враження, що розділ є структурно і інформативно перевантаженим. Наприклад, частину, яка стосується побудови підсистеми провітрювання, викладено включно до аеродинамічних характеристик регулюючого органу, на відміну від системи поливу, яка розглянута суто як об'єкт дискретного керування, але наведено розрахунок і здійснено підбір обладнання. Можливо, особливості технічної реалізації, краще було б винести в окремий розділ або в додатки.

У третьому розділі представлено дослідження тепломасообмінних процесів в середині тепличного об'єкту. Дослідження спрямоване на визначення залежностей змін теплового обміну між теплицею та оточуючим повітряним та рідинним середовищем, а також інших параметрів об'єкту дослідження у часі, з врахуванням прогнозованих змін параметрів оточуючого середовища. На початковому етапі було проаналізовано фізичні процеси, що відбуваються в середині теплиці, та сформульовано вимоги до математичної моделі теплиці. Обґрунтування моделі тепломасообмінних процесів в теплиці базується на балансі теплових потоків повітря з врахуванням конвекційних потоків та впливу системи повітропроводів. Під час аналізу робочих процесів в теплиці використано рівняння теплового балансу, рівняння теплообміну з оточуючим середовищем, рівняння стаціонарного енергетичного балансу, рівняння Нав'є-Стокса для аеродинамічних процесів та інші залежності і рівняння, що визначають тепломасообмінні процеси під час функціонування теплиці. За результатами виконаного аналізу було сформовано вимоги до комп'ютерної моделі теплиці та поставлено задачі моделювання.

Четвертий розділ присвячено дослідженню тепломасообмінних процесів в теплиці середнього об'єму шляхом комп'ютерного моделювання. Комп'ютерна модель побудована в середовищі SolidWorks за результатами попереднього аналізу фізико-тепло-масообмінних процесів в теплиці з припущеннями та обмеженнями, що стосуються особливостей експлуатації об'єкту дослідження. На першому етапі виконано тестові випробування моделі, які мали на меті підтвердження коректності. Було промодельовано процеси стабілізації полів швидкості, температури та тиску в теплиці при фіксованому впливі збуджуючого фактору. Тестові експерименти були спрямовані на визначення часу перехідних процесів за параметрами швидкості, температури і тиску. Другим етапом було дослідження теплообміну теплиці з навколишнім повітряним та рідинним середовищем. Третім етапом було дослідження стабілізації температури в середині теплиці при заданому добовому прогнозі погоди. Четвертим етапом було дослідження теплопередачі через огорожувальну конструкцію теплиці у навколишнє повітряне і рідинне середовище. На п'ятому етапі виконано дослідження розподілення водяної пари в середині замкненого об'єму

тепличного об'єкта у часі. В результаті досліджень було визначено тривалість перехідних процесів під дією збуджуючих факторів, що складає по швидкості до 60 секунд з подальшими коливаннями до 5%, по тиску до 3 ... 5 секунд з подальшою стабілізацією впродовж 50 секунд. Дослідження полів розподілу швидкості, тиску, температури і вологості дозволило визначити необхідну кількість і розташування датчиків для контролю параметрів повітря. На основі моделювання тепло-масо-обмінних процесів в моделі теплиці отримані функції витрати теплової потужності та дефіциту вологості теплиці впродовж доби, які є вихідними даними для побудови упереджуючого алгоритму керування гідропневматичною системою мікроклімату, що враховує акумулюючі спроможності теплиці.

У п'ятому розділі викладено підхід до побудови адаптивної системи керування мехатронною системою мікроклімату та наведено упереджуючий алгоритм керування виконавчими пристроями. В основу алгоритму покладено апроксимацію добових циклограм дефіциту теплового потоку та потоку водяної пари доданими потоками сталої потужності нагрівачів та сталої витрати рідини. Алгоритм керування реалізовано в пакеті CoDeSys мовою ST. Оцінка ефективності запропонованого упереджуючого керування виконана шляхом порівняння базового варіанту, який відслідковує вихід температури в теплиці за встановлені межі, з варіантом з дискретним упереджуючим керуванням, коли сигнал на увімкнення формується до зниження температури нижче регламентованого рівня на основі балансу вхідного і вихідного потоків з використанням акумулюючої спроможності теплиці. В результаті порівняння двох варіантів керування визначено економію споживання енергії системою обігріву, що склала 18%. Виконані також розрахунки для інших умов експлуатації (з підвищеним захмаренням, ясною погодою, різні пори року) показали від 12% до 26% зменшення енерговитрат, що є суттєвим фактором для зростання конкурентоспроможності тепличних господарств середнього об'єму.

Висновки, наведені в кінці роботи, ґрунтуються на проведеному дослідженні і в повному обсязі узагальнюють отримані результати.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 3 наукових публікаціях здобувача, серед яких 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на 7 наукових фахових міжнародних конференціях.

Наукові публікації здобувача повністю відповідають темі дисертації, висвітлюють основні наукові результати дисертації та мають високий науковий рівень, про що свідчать їх представлення у фахових виданнях України категорії Б.

Ознак порушення здобувачем принципів академічної доброчесності в дисертації та публікаціях не виявлено.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

При загальній позитивній оцінці наукового і практичного значення результатів дисертаційної роботи, слід зазначити наступні зауваження до її змісту.

1) В наведеному аналізі особливостей відомих технічних рішень систем мікроклімату тепличних об'єктів, в розділах 1 і 2, та під час розробки мехатронної системи і її моделі, в розділі 3, було виділено клас теплиць середнього об'єму, але не вказано за якими критеріями цей клас визначено.

2) При побудові загальної структури мехатронної системи, в розділі 2, автором окремо вказано підсистеми вентиляції, зашторювання, обігріву, рециркуляції, поливу та зволоження, але при подальшому дослідженні, без достатнього обґрунтування, розглянуто тільки системи вентиляції, обігріву, поливу і зволоження, що звужує можливості використання запропонованого підходу упереджуючого керування.

3) При визначенні кількості форсунок і їх розташування, та розрахунку необхідної продуктивності форсунок (підрозділ 2.5), не врахована послідовна схема під'єднання форсунок до гідравлічної мережі, а це, ймовірно, впливатиме на рівень тиску на вході до форсунок і викликатиме різні за величиною витрати, що може впливати на ефективність зволоження при розташуванні форсунок вздовж теплиці.

4) В роботі не висвітлено варіанти впливу розташування вікон провітрювання на формування розподілу полів швидкості повітря та температури в об'ємі теплиці (розділ 4), також не наведено аналіз можливості комбінованого використання вікон провітрювання як засобу скорочення часу стабілізації температури і вологості, хоча комбіноване використання вікон провітрювання може бути використано для підвищення ефективності системи мікроклімату.

5) Для отриманих в результаті досліджень залежностей, у розділі 4 (параграф 4.2), не наведено обґрунтування вибору координат точок контролю тиску та швидкості, що могло впливати на розраховане середнє значення та визначення часу перехідного процесу.

6) У роботі, на наведених функціях стабілізації температури у часі (рис. 4.12, рис. 4.13), присутній локальний мінімум тривалістю близько 20 ... 30 секунд, який не відповідає загальній тенденції наведених характеристик, а тому бажано було би надати пояснення або тлумачення виникнення такого локального мінімуму.

7) В роботі є певні текстові неузгодженості, наприклад, в назвах рисунків (рис. 2.9, рис. 4.11), та на сторінках 105 і 109.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Синициної Єлизавети на тему «Гідропневматична система об'єкту тепличного

господарства середнього об'єму» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для механічної інженерії. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Синицина Єлизавета заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Офіційний опонент:

Проректор
з науково-педагогічної роботи
та організації освітнього процесу,
професор кафедри технологій та
автоматизації машинобудування
Вінницького національного
технічного університету,
кандидат технічних наук, доцент



Олександр ПЕТРОВ

« 09 » 06 2025 року

Вчений секретар ВнТУ
к.т.н., доц.



Ліна ВІСЕСТАК