

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Синициної Єлизавети Юріївни 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

Сучасні вимоги до ефективності тепличних господарств зумовлюють потребу в розробці високотехнологічних систем мікроклімату, здатних забезпечувати стабільні умови для росту рослин в умовах змінного зовнішнього середовища. Зростання експлуатаційних та енергетичних вимог вимагає вдосконалення або створення нових способів керування потоками повітря, тепла, вологи в межах об'єму теплиці.

Одним з перспективних напрямів є впровадження мехатронних систем, що поєднують пневматичні, гідравлічні й електричні виконавчі механізми з цифровим керуванням на основі ПЛК. Такі системи повинні охоплювати тепломасообмінні процеси, характерні для мікроклімату теплиці, та бути здатними до багатоканального регулювання параметрів: температури, вологості, тиску, швидкості повітря тощо.

Важливою умовою ефективної роботи є узгоджене керування всіма підсистемами — обігрівом, вентиляцією, зволоженням і поливом. Особливої актуальності набуває адаптація до погодних змін і побудова алгоритмів упереджувального регулювання на основі прогнозів, що підвищує точність керування і дозволяє економити енергію.

У контексті зростання вартості енергоносіїв, зменшення теплових втрат і оптимізація енергоспоживання стають визначальними для рентабельності тепличного виробництва. Застосування математичних моделей та алгоритмів прогнозування дозволяє досягти збалансованої роботи мехатронних систем і знизити зайве навантаження на виконавчі механізми.

Таким чином, створення моделі мікроклімату та інтегрованої мехатронної системи керування на основі тепло-масообмінних процесів є актуальним кроком до підвищення ефективності агровиробництва в сучасних умовах.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Ознайомлення з науковими публікаціями та змістом дисертаційної роботи Синициної Єлизавети Юріївни, дає підстави вважати, що усі теоретико-методологічні положення, практичні висновки та рекомендації, які сформульовані здобувачем, є достовірними. Дисертаційне дослідження ґрунтується на результатах

виконаних аналітичних та модельних досліджень. Зміст дисертації викладено чітко у зрозумілій формі. Використання ідей, результатів та текстів інших авторів мають посилання на відповідне літературне джерело.

Зокрема, результати аналітичних досліджень та комп'ютерного моделювання, отриманих за розробленою математичною моделлю теплиці середнього об'єму, яка враховує вплив змін параметрів оточуючого середовища і вплив інженерних систем теплиці, підтверджені шляхом порівняння з результатами відомих теоретичних та експериментальних даних.

Усі аналітичні та модельні дослідження виконувалися із застосуванням класичних методів знань, таких, як синтез та аналіз, індукція та дедукція, а їх реалізація здійснювалася із використанням сучасних систем комп'ютерного моделювання і проектування та іншого програмного забезпечення: SolidWorks, CoDeSys, FluidSim, Ansys Discovery тощо.

Усі наведені дослідження повністю підтверджують та частково доповнюють запропоновані автором теоретичні положення та методики і утворюють цілісну науково-практичну теорію дисертаційного дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів

Отримані в процесі дослідження наукові результати дозволили розв'язати важливу науково-технічну задачу багатопараметричної стабілізації стану внутрішнього простору теплиці середнього об'єму із використанням засобів мехатроніки для керування тепловими, повітряними та гідравлічними потоками, адаптовану до прогнозованих змін параметрів зовнішнього середовища.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) Вперше науково доведено, що адаптація системи мікроклімату теплиці до змін параметрів зовнішнього середовища може бути здійснена шляхом створення компенсаційних теплових та повітряних потоків в середині теплиці, узгоджених за потужністю та часом з прогнозованими теплообмінними процесами між теплицею та зовнішнім простором.

2) Вперше науково обґрунтовано і запропоновано використання акумулюючої спроможності теплової енергії та вологості в теплиці, разом з діапазоном допустимих змін температури і вологості в системі мікроклімату, для розробки упереджуючого алгоритму керування підсистемами обігріву та зволоження.

3) Вперше, шляхом комп'ютерного моделювання тепломасообмінних процесів в теплиці з врахуванням впливу оточуючого середовища, побудовано добові циклограми змін потужності теплообмінних потоків між поверхнею теплиці та зовнішнім простором, що надало можливість розробити методику побудови циклограм необхідної потужності нагрівачів впродовж доби для діапазону

температур оточуючого середовища $-15 \dots +22 \text{ }^{\circ}\text{C}$. з подальшим використанням залежності в алгоритмі керування

4) Вперше доведено, що з використанням добових циклограм дефіциту теплової потужності і дефіциту вологості може бути побудований алгоритм упереджуючого керування для системи мікроклімату, який узгоджує її функціонування з акумулюючими властивостями теплиці для умов середньої полоси України, що може забезпечувати до 20% заощадження енергії за рік та зниження встановленої потужності в системі обігріву на 12 ... 26%.

5) Шляхом комп'ютерного дослідження встановлено, що термін стабілізації поля швидкостей в теплиці середнього об'єму має нелінійну залежність від швидкості вхідного потоку в системі провітрювання і в діапазоні швидкостей від 0,2 до 1,06 м/с становить від 30 секунд до 6 хвилин, термін стабілізації тиску становить від 3 до 10 секунд для того самого діапазону швидкостей, розподіл вологості в об'ємі теплиці підпорядкований добовому циклу змін температури оточуючого середовища.

Наукові результати є новими, а їх апробація підтверджується переліком міжнародних наукових конференцій, де вони доповідалися та обговорювалися.

Достовірність і наукова новизна отриманих результатів дисертації забезпечуються вагомою базою літературних і інформаційних джерел та достатньо широким спектром використання наукових методів.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Синициної Єлизавети Юріївни 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 Юріївни 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.

Послідовність викладення матеріалу дисертації відповідає послідовності виконання дослідження, що полегшує її сприйняття. Побудова речень відповідає

правилам української мови, а використана термінологія є загальноприйнятою.

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

Вступ дисертації відповідає основним вимогам до дисертаційної роботи і містить такі відомості, як обґрунтування актуальності теми, мету та задачі дослідження, визначення об'єкту, предмету та методів дослідження, наукову новизну та практичну значимість результатів, відомості про особистий внесок здобувача, апробацію та публікації, а також про структуру і обсяг дисертації.

Перший розділ роботи присвячено аналізу відомих технічних рішень систем мікроклімату тепличних об'єктів, розгляду особливостей функціонування та принципів керування, особливостей технічної реалізації, аналізу принципових схемних рішень окремих підсистем, визначенню їх позитивних і негативних особливостей. Завершується цей розділ визначенням мети і постановкою задач для її досягнення.

Другий розділ присвячено формуванню теоретичного та інженерного підґрунтя для пошуку принципового рішення щодо створення мехатронної адаптивної системи мікроклімату для теплиць середнього об'єму. У межах розділу визначено ключові компоненти системи мікроклімату, проаналізовано їх структуру, функціональні особливості, діапазони регулювання параметрів та технічні варіанти реалізації. Проведено розрахунки основних експлуатаційних характеристик і розглянуто альтернативні підходи до побудови систем керування. Автором запропоновано узагальнену архітектуру мехатронної адаптивної системи, сформульовано задачі моделювання та створено просторову 3D-модель теплиці з орієнтовним розміщенням технічних підсистем. Висновки розділу логічно узгоджуються з поставленими завданнями та отриманими результатами..

Третій розділ дисертації присвячено аналізу фізичних процесів, що відбуваються в теплиці під впливом зовнішнього середовища та системи мікроклімату. Автор зазначає, що внутрішній простір теплиці є об'єктом в якому відбуваються явища теплопереноса, масопереноса, зволоження і поливу, а обмежувальні поверхні та вікна теплиці виконують роль джерел потрапляння чи відтоку теплової енергії, повітря і вологи. Для обґрунтування складу і функцій математичної моделі було розглянуто основні залежності, що зумовлюють зміни та стабілізацію параметрів в теплиці, а саме баланс теплових потоків повітря з врахуванням конвекційних потоків та впливу системи повітропроводів, явища конвекційного теплообміну та теплопровідності, тепловіддачу через витоки інфільтрованого повітря, теплообмін між водяною парою та покриттям теплиці, явище випаровування, аеродинамічні процеси за рівняннями нерозривності потоку

для стисливого середовища і рівняннями Нав'є-Стокса для газу та інші. За результатами аналізу фізичних процесів в теплиці було сформульовано задачі для комп'ютерного моделювання і модельного дослідження, а саме: тестування моделі, дослідження полів розподілу тиску, швидкості, температури та вологості по об'єму теплиці, визначення функцій змін параметрів повітря в теплиці впродовж певного терміну за прогнозованим впливом оточуючого середовища.

Четвертий розділ присвячено модельному дослідженню тепломасообмінних процесів в теплиці. Об'ємну модель теплиці і розташування інженерних мереж побудовано в програмному забезпеченні Ansys Discovery. Моделювання функціонування теплиці, відповідно до результатів виконаного аналізу фізичних процесів, реалізовано в середовищі SOLIDWORKS. На першому етапі сформовано масив вхідних даних, обґрунтовано обмеження та припущення, задано краєві умови моделювання. На другому етапі були виконані тестові випробування моделі, які засвідчили її придатність до моделювання тепло-масообмінних процесів під дією зовнішніх чинників. На третьому етапі було досліджено процес теплообміну в теплиці (розподіл температури), швидкість теплообміну та зміни тиску, час стабілізації температури, швидкості, тиску. При дослідженні було проаналізовано зміни параметрів в 36 точках контролю параметрів по об'єму теплиці. В результаті досліджень встановлено особливості стабілізації зазначених параметрів, визначено функції перехідних процесів стабілізації поля швидкостей, тиску, температури і вологості. За результатами моделювання тепло-масо-обмінних процесів в теплиці отримані функції дефіциту теплової потужності та дефіциту вологості теплиці впродовж доби та запропоновано методику їх побудови. Висновки по розділу відповідають отриманим результатам.

П'ятий розділ дисертації присвячено розробленню алгоритму та системи керування для мехатронної системи мікроклімату та оцінці ефективності запропонованого підходу упереджувачого керування. Запропонований підхід упереджувачого керування використовує акумулюючу спроможність теплиці для умовного «перерегулювання» за певними параметрами, передумовою чого є прогноз щодо наступних змін теплової потужності чи вологості. Дискретне керування нагрівачами і іншими виконавчими пристроями відбувається у терміни, визначені накопиченням дефіциту, наприклад, теплової енергії. Тобто «перерегулювання» за тепловою енергією від нагрівачів за визначений термін, зрівнюється з дефіцитом теплової енергії через теплообмінні процеси через поверхню теплиці за той самий термін. Запропонована автором діаграма керування виконавчими пристроями має вигляд ступінчатої функції з фіксованими рівнями потужності і адаптованим до прогнозу часом роботи пристрою, наприклад, нагрівача сталої потужності чи форсунок сталої витрати. Розроблений алгоритм керування проілюстровано прикладом для добового прогнозу погоди. Алгоритм реалізовано в середовищі

CoDeSys на мові програмування ST. Автором здійснено порівняння енергоспоживання двома системами мікроклімату: системою з керуванням в слідкуючому режимі, системою з упереджувачим керуванням. Обидва приклади розглянуто за умов однакового впливу зовнішнього середовища, однакових регламентованих параметрів повітря в теплиці, дискретного перемикачів нагрівачів. За отриманими діаграмами споживаної потужності впродовж доби виявлено періоди меншої потужності нагрівачів, які в сукупності знижують на 18% добове енергоспоживання у порівнянні з слідкуючою системою. Виконаний аналіз річного енергоспоживання засвідчує можливість економії до 20% енергоспоживання або розширення терміну експлуатації теплиці впродовж року. Вказано, що використання упереджувачого керування може бути застосовано як в нових теплицях, так і в існуючих тепличних об'єктах шляхом зміни алгоритму керування, що є суттєвим фактором для підвищення конкурентоспроможності тепличних господарств середнього об'єму. В цьому розділі надано достатній матеріал для розробки алгоритмів керування систем мікроклімату вказаного типу. Висновки по розділу відповідають отриманим результатам.

Загальні висновки по роботі в повній мірі відображають результати виконаного дослідження.

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 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.

Дослідження, виконані Синициною Єлизаветою в межах дисертаційної роботи, в цілому мають позитивну оцінку, однак, також є певні дискусійні положення та зауваження, зокрема, наступні:

1. За результатами аналізу функцій системи мікроклімату автором було визначено вимоги до системи керування мікрокліматом тепличного об'єкту. Наведені мінімальні та максимальні значення параметрів, зокрема щодо відносної

вологості повітря (60–90%), не мають посилань на агробіологічні характеристики рослин. Відсутність обґрунтованого пояснення походження цих меж ускладнює оцінку їх доцільності та обґрунтованості,

2. У запропонованій методиці розрахунку пневматичної системи провітрювання тепличного об'єкту відсутні чіткі пояснення принципів та критеріїв підбору заслінок. Якщо йдеться про використання стандартизованих поворотних заслінок, слід зазначити, що їхні робочі характеристики — зокрема залежність крутного моменту від кута відкриття — зазвичай наводяться виробником і не потребують експериментального визначення.

3. За наведеним прикладом використання методики розрахунку пневмогідравлічної мехатронної підсистеми мікроклімату автор пропонує обрати пневматичний циліндр CRHD-32 із шарнірним з'єднанням для керування поворотною заслінкою. Проте слід зауважити, що для такого типу задач доцільніше використовувати спеціалізований пневмопривод з поворотним валом, який конструктивно призначений саме для керування запірно-регулюючою арматурою. Такі приводи мають стандартизовані елементи кріплення (згідно з ISO 5211), що забезпечує просте та надійне з'єднання з поворотною заслінкою, мінімізує похибки монтажу та знижує ймовірність механічних збоїв у роботі системи.

4. За результатами тестової моделі швидкісного режиму автор стверджує, що спостерігається коливальний процес, який не затихає 60 секунд, з амплітудою 0,05 м/с. Але не пояснює фізичну природу цих коливань та їх вплив на процес, що робить висновки неповними.

5. За результатами тестової моделі зміни тиску автор стверджує, що час стабілізації у замкненому об'ємі теплиці становить понад 50 секунд. Такий тривалий перехідний процес видається надто довгим для порівняно невеликого об'єму. З наданого опису не зрозуміло, чи було враховано основні фізичні чинники, які впливають на динаміку розповсюдження тиску — зокрема, інерційність повітряної маси, опір тертя на стінках конструкції, геометрію вентиляційних прорізів, а також можливу рефлексивну взаємодію повітряного потоку з внутрішніми перешкодами.

6. У роботі наведено графіки (рис. 4.7, рис. 4.9), проте їх математична обробка відсутня, що не дозволяє визначити характер закономірностей (лінійної, експоненційної, коливальної) зміни показників. Така інформація допомогла б точніше оцінити динаміку процесів та обґрунтувати вибір параметрів системи керування.

7. У висновку (ст. 131) стверджується, що «Визначено необхідну кількість і розташування датчиків температури та датчиків швидкості по вертикальній площині з перерізом вхідного вікна провітрювання», хоча розділ не містить інформації про методику розрахунку кількості датчиків та критерії вибору місць встановлення.

8. У загальних висновках подано багато тверджень про ефективність та доцільність розроблених рішень, проте відсутні згадки про кількісні показники точності, похибки або адекватність результатів розроблених моделей експериментальним даним.

9. У загальних висновках відсутня інформація щодо узагальнення отриманих результатів для теплиць інших типорозмірів.

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 Юріївни 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 Юріївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор
завідувач кафедри технологічного
обладнання та комп'ютерних
технологій проектування
Національного університету
Харчових технологій



Підпис(и) Микола Якимчук
завіряю
Вчений секретар Г. Мис
Г. Мис

Микола ЯКИМЧУК

М.П.

«09» 06 2025 року