

РЕЦЕНЗІЯ

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.

На сьогоднішній день спостерігається різка та непланомірна зміна погодних умов у нашому кліматичному поясі. Відповідно до цього продуктивність та якість сільськогосподарської продукції значно погіршується. Різкі перепади температури повітря та непрогнозована кількість опадів негативно впливають на ріст сільськогосподарських культур. Більшість фермерів почали використовувати тепличні господарства, що можуть забезпечувати вирощування рослин не зважаючи на зміни зовнішнього середовища. Для цього необхідно забезпечити теплицю ефективною системою мікроклімату, яка підтримує сталий мікроклімат в середині тепличного об'єкту.

У великих тепличних господарствах використовують автоматизовану систему керування мікрокліматом, проте при роботі такої системи неможливо врахувати всі чинники, які впливають на термодинамічні процеси теплиці. Тому для регулювання мікроклімату в середині замкненого тепличного об'єкту спочатку розглядаються процеси, які відбуваються в ній. Основними параметрами для керування мікрокліматом є вологість та температура повітря. Але для автоматизації системи керування мікрокліматом недостатньо просто цими параметрами, необхідно щоб вони підтримувались незалежно від впливу навколишнього середовища.

Актуальною задачею є створення адаптивної мехатронної системи мікроклімату, яка спроможна підтримувати параметри мікроклімату в заданому діапазоні й стабілізувати їх в умовах впливу прогнозованих добових і річних змін параметрів навколишнього середовища.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному.

Вперше було запропоновано та теоретично обґрунтовано структуру мехатронної системи керування мікрокліматом тепличного об'єкта середнього об'єму. В основі запропонованої структури лежить модель тепломасообмінних

процесів та властивості накопичення теплової енергії теплиці. Для цього проводилося дослідження по прогнозуванню дефіциту теплової потужності теплиці та дефіциту вологості повітря відповідно до наявного прогнозу погоди в одному з регіонів нашої країни.

Вперше розроблено методику визначення дефіциту потужності теплового потоку теплиці. Реалізовано дану методику шляхом комп'ютерного моделювання в програмному забезпеченні SolidWorks Flow Simulation. Дослідження проводилося в діапазоні температур від -15°C до $+30^{\circ}\text{C}$.

Вперше розроблено та реалізовано методику для визначення добового дефіциту водяної пари в середині тепличного об'єкта. Дана методика розроблена на основі зміни температури навколишнього середовища відповідно до зміни вмісту кількості водяної пари в 1 м^3 повітря, яку потрібно додати або відняти з тепличного об'єкту.

Вперше доведено, що система мікроклімату тепличного об'єкту з упереджувачим керуванням, яка включає в себе узгодження дій інженерних систем тепличного об'єкту, може забезпечити економію витрат на електроенергію до 20% на рік, через зменшення споживання енергії нагрівачами, які коливатимуться на 12-26 % в залежності від погодних умов, при цьому термін експлуатації такої теплиці складатиме від 7 до 10 місяців.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках складової частини «Ресурсоефективне та чисте виробництво (РЕЧВ)» програми "Європейський Союз для довкілля" (EU4Environment) для країн Східного партнерства під керівництвом доктора технічних наук, професора, Губарева Олександра Павловича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання розроблення адаптивної мехатронної системи мікроклімату теплиці, яка спроможна стабілізувати та підтримувати сталий мікроклімат при змінах параметрів зовнішнього середовища в визначеному діапазоні було виконано здобувачем повною мірою.

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».

Проаналізувавши 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.

Технічні питання викладені грамотно, логічно, послідовно і доступно, що свідчить про високий рівень підготовки здобувача, робота витримана у діловому стилі, але і не позбавлена певної жвавості і наочності викладу матеріалу. Графічні матеріали, наведені в дисертації доктора філософії, виконані якісно, акуратно, у відповідності до міжнародних стандартів.

Автором сформовано задачі роботи, які передбачали аналіз існуючих інженерних мереж тепличного об'єкту середнього об'єму, виконано тестування комп'ютерної моделі мікроклімату теплиці, створеної на основі математичної моделі тепломасообмінних процесів. Вказаний перелік задач говорить про розуміння автором поетапності проведення дослідження для отримання бажаного результату.

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

У вступі дисертаційної роботи здобувач висвітлив актуальність теми дослідження, а саме розробка мехатронної системи упередженого керування мікрокліматом теплиці. Визначив мету роботи, задачі, об'єкт та предмет даного дослідження, а також основні методи і підходи до наукового дослідження. Висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів дослідження.

У першому розділі проведено аналіз інженерних систем теплиць з прикладами та схемами розміщень виконавчих пристроїв. Розглянуто особливості тепличних об'єктів, а саме: матеріали огорожувальних конструкцій, типи конфігурацій. Проведений порівняльний аналіз інженерних систем для різних типів конфігурацій теплиць та визначено тип конфігурації теплиці для об'єкта дослідження. Проаналізовано склад автоматизованої системи управління мікрокліматом промислової теплиці та визначено перелік інженерних систем, якими потрібно керувати для підтримки сталого мікроклімату в середині замкненого об'єму теплиці. Розглянуто основні функції системи управління мікрокліматом та особливості сучасних методів

автоматизації управління. На основі проведеного аналізу відомих технічних рішень здобувачем визначено мету та задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі здобувачем розглянуто загальні функції та структуру тепличного господарства. Визначено, що для адаптивної системи керування мікрокліматом необхідно включити систем: вентиляції, зашторювання, обігріву, рециркуляції повітря, поливу, зволоження та автоматизованого керування. З огляду на те, що в середині теплиці відбувається безперервний тепло-масообінний процес потоків повітряних мас, автор запропонував враховувати дані процеси в новій структурі мехатронної системи керування мікрокліматом. Визначено вхідні та вихідні параметри для процесу керування, а також розроблено вимоги до системи керування. Відповідно до вимог здобувачем запропоновано розділити основні складові структури системи керування на підсистеми (вентиляція та рециркуляція, системи обігріву, система зволоження, система поливу). Для кожної підсистеми автор підібрав виконавчі пристрої, які були включені до розробленої 3-D моделі тепличного господарства середнього об'єму.

У третьому розділі викладено опис фізики процесів, які відбуваються в середині тепличного об'єкта для визначення вимог до математичної моделі об'єкту керування. Автором теоретично обґрунтовано тепло-масообмінні процеси в середині об'єкта дослідження, теплові втрати теплиці через огорожувальну конструкцію, описано визначення коефіцієнту теплопередачі та теплових втрат при нагріві припливного повітря. Також розглянуто рівняння теплового балансу Нав'є-Стокса та процесу переносу водяної пари. З огляду на результати проведеного аналізу процесів та їх математичного опису здобувачем побудовано математичну модель зміни температури та вологості повітря в середині тепличного об'єкта. На основі отриманих результатів у роботі визначено задачі та вимоги для комп'ютерного моделювання.

У четвертому розділі автором наведено комп'ютерну модель тепличного об'єкта середнього об'єму, реалізовану в середовищі SolidWorks Flow Simulation. Для моделювання тепло-масообмінних процесів в середині теплиці використано змінні величини: тиск, швидкість, температуру та вологість повітря. Геометрична модель теплиці має наступні габаритні розміри 7000x4000x1600 мм, а термін модельного дослідження охоплює одну добу. Здобувач виконав тестові випробування моделі, які підтвердили її правдоподібність. На основі отриманих результатів по перехідних процесах стабілізації температури та швидкості потоку повітряних мас визначено кількість та місце розміщення точок контролю параметрів мікроклімату. Далі у роботі висвітлено дослідження змін теплової потужності теплообміну з оточуючим середовищем, максимальна значення якої, за розрахунками, становить 5,367 кВт. При початковій температурі повітря в середині об'єкта

досліджень 20°C та змінній температурі навколишнього середовища здобувачем досліджено втрату теплової потужності через огорожувальну конструкцію та визначене середнє значення, що складає 3,5 кВт. Також у даному розділі висвітлено дослідження процесу наповнення вологістю повітря замкненого об'єму об'єкта дослідження.

У п'ятому розділі автором розроблено загальний алгоритм керування нагрівачами. Визначено, що для обігріву теплиці достатньо використовувати два нагрівачі потужністю 3 кВт та 1 кВт. Також в розділі наведено циклограму роботи нагрівачів, з якої видно, що впродовж доби 4 години не буде працювати жоден з нагрівачів. На основі побудованої циклограми здобувач розробив фрагмент коду на мові програмування ST для відпрацювання команд нагрівачами. Наступним етапом у розділі наведено розрахунок режиму роботи форсунок туманоутворення. Автором встановлено, що для забезпечення балансу вологості повітря у тепличному об'єкті достатньо встановити три форсунки продуктивністю 2 л/год. Коефіцієнт наповненості компенсуючих форсунок коливається від 0,58 до 0,9, а час їх роботи складає від 17,4 хвилин до 75 хвилин в залежності від зміни температури та вологості повітря зовнішнього середовища. Розроблено режим роботи для нагрівачів та форсунок. Наведено порівняльний аналіз ефективності мехатронної системи з упереджувачим керуванням у порівнянні з дискретним управлінням. Здобувач представив розроблений загальний алгоритм програми керування компенсуючими форсунками туманоутворення та відповідний фрагмент коду. Проведено аналіз ефективності управління нагрівачами при дискретному керуванні та при упередженому керуванні мехатронною системою мікроклімату.

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.

Під час роботи над дисертацією здобувач показала високий рівень володіння результатами досліджень, які стали основою для опублікованих статей у фахових виданнях та на конференція, що свідчить про дотримання принципів академічної доброчесності.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Водночас до роботи є декілька питань та зауважень:

1. З наведеного матеріалу не зрозуміло, чому запропонований підхід стосується тільки мехатронних систем мікроклімату для теплиць середнього об'єму і чи може він бути поширеним на інші тепличні об'єкти?
2. В отриманих результатах щодо поля розподілу тиску і швидкості вказано на певний час стабілізації, водночас в різних точках об'єму час стабілізації, судячи з ешор, є різним, чи враховано це в запропонованих методиках визначення прогнозованого дефіциту вологи і теплового потоку?
3. При розгляді системи провітрювання і рециркуляції привернуто увагу до розрахунку регулюючого пристрою в системі вентиляції, однак не наведено відомості щодо регулювання витрати в системі рециркуляції.
4. Не зрозуміло, чи враховано при розробці системи зволоження гідравлічна мережа постачання рідини до форсунок, якщо ні, то яким чином забезпечена однакова витрата через форсунки, що розташовані на різній відстані від джерела тиску.
5. В алгоритмі керування розглянуто тільки три рівні потужності нагрівачів, в той час як функція дефіциту теплової потужності має не ступінчастий, а аналоговий вигляд, не доцільно було би використати широтно-імпульсне керування задля наближення усередненої потужності нагрівачів до функції втраченої потужності теплиці.

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.

Рецензент:

Кафедри прикладної гідроаеромеханіки
і механотроніки, к.т.н, доцент

Підпис гр. Дмитро КОСТЮК

ЗАСВІДЧУЮ
Відділ кадрів та діловодства

Відділ кадрів та діловодства
пр-ще

М.П.

« ____ »

2025 року

