

РЕЦЕНЗІЯ

Бурлаки Сергія Андрійовича,

доктора філософії з галузевого машинобудування, доцента,

на дисертаційну роботу **Мельника Олександра Сергійовича**

«Обґрунтування раціональних конструктивних параметрів та режимів роботи гідропонної установки»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

1. Актуальність теми і зв'язок з науковими планами і програмами

Актуальними проблемами сільського господарства України та інших держав є підвищення урожайності сільськогосподарських культур, збільшення їхньої харчової цінності, покращення якості, зниження собівартості продукції та зменшення виробничих площ, що сприяє підвищенню рентабельності аграрного виробництва. У цьому контексті перспективним напрямком є впровадження гідропонних установок, які за мінімальних займаних площ, капітальних і експлуатаційних витрат забезпечують скорочення періоду цілодобового вирощування широкого спектру культур майже вдвічі, одночасно підвищуючи їхню урожайність. В Україні гідропонні технології відкривають можливості для створення малих підприємств із незначними стартовими вкладеннями, а також дозволяють існуючим підприємствам різного профілю та невеликим фермерським господарствам отримувати додатковий прибуток або цінну рослинну сировину, що посилює їхню економічну стійкість.

Останнім часом значна увага приділяється вдосконаленню гідропонних установок у напрямку підвищення ефективності підведення живильного розчину, зменшення габаритів і витрат енергії, що є важливим для створення економічно вигідних систем. Однак підвищення ефективності виробництва гідропонної продукції неможливе без розроблення науково обґрунтованої методики проектного розрахунку таких установок і вдосконалення пов'язаних

із ними робочих процесів. Тому розроблення нових конструкцій гідропонних установок і проведення теоретичних та експериментальних досліджень для визначення впливу параметрів робочих органів на їхню функціональність є актуальною задачею, що має суттєве значення для розвитку сучасного сільського господарства та вирішення ключових проблем аграрного сектору.

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

Дисертаційну роботу виконано у Вінницькому національному аграрному університеті, а основну частину одержаних результатів отримано в рамках виконання ініціативних науково-дослідних робіт: «Інтенсифікація процесів механічної обробки сільськогосподарської сировини за вібраційного впливу» (№ РК 0117U004700, період виконання 2017-2022 рр.) та «Високоєфективне обладнання для здійснення масо- та теплообмінних процесів у харчовій та переробній галузі» (№ РК 0122U002098, період виконання 2022-2026 рр.).

3. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури із 200 найменувань на 21 сторінках і 13 додатків на 17 сторінках. Основні результати роботи викладено на 177 сторінках, де містяться 87 рисунків і 9 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 219 сторінок. У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження для її реалізації. Описано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та наведено особистий внесок здобувача у проведених дослідженнях. Наведено відомості щодо апробації та опублікування результатів наукових досліджень, структуру та обсяг дисертаційного дослідження.

Вирішення даної мети зведено до розв'язання таких науково-прикладних задач: на основі аналізу відомих технологій та обладнання для гідропонного

вирощування аграрної продукції розробити схему удосконаленої багаторівневої гідропонної установки для виробництва салату та мікрозелені; розробити математичну модель записану в параметричній і операторній формі, яка описує та характеризує функціональну зміну процесу мінерального живлення рослин під час вирощування гідропонного салату в теплиці залежно від параметрів коренежиттєвого середовища; провести математичне моделювання процесу переміщення посівного матеріалу по гладкій поверхні прямокутного лотка під час вирощування гідропонного мікрозелені та визначити його раціональні параметри; розробити математичну модель роботехнічної платформи з комплексом апаратно-програмного забезпечення автоматизації виробничих процесів гідропонних установок; провести експериментальні дослідження з визначення характеру зміни: показників росту рослин салату гідропонним способом в теплиці залежно від параметрів освітлення; коефіцієнта повноти заповнення поверхні прямокутного лотка посівним матеріалом залежно від параметрів процесу його переміщення по поверхні лотка; запропонувати структурну схему і математичний опис системи автоматизованого функціонування сучасного гідропонного обладнання та методику розрахунку основних параметрів запропонованих гідропонних установок; визначити економічну ефективність застосування удосконаленої гідропонної установки в виробничих умовах.

Об'єкт дослідження – гідропонна установка та технологічні процеси гідропонного вирощування салату й мікрозелені в теплиці.

Предмет дослідження – конструктивно-технологічні параметри гідропонної установки та їх взаємний вплив на технологічні показники якості вирощування салату й мікрозелені в теплиці.

На основі проведених наукових досліджень обґрунтовано основні раціональні параметри робочих процесів вирощування гідропонного салату та мікрозелені в теплиці. Ґрунтуючись на цьому вперше розроблено: математичну модель, яка описує функціональну зміну процесу мінерального живлення

рослин під час вирощування гідропонного салату в теплиці на основі аналізу масообміну складових компонентів коренежиттєвого середовища рослини записану в параметричній і операторній формі; емпіричні моделі, які описують і характеризують зміну показників якості розвитку рослини салату в теплиці (площі листової поверхні та маси листя) залежно від параметрів їх опромінення; дістали подальший розвиток: математична модель функціонального процесу переміщення посівного матеріалу по гладкій поверхні прямокутного лотка під час вирощування мікрозелені з врахуванням обертання лотка в протилежні сторони; математичний опис системи автоматизованого функціонування сучасного гідропонного обладнання із застосуванням методів механіко–математичного моделювання та числового розв’язку задач з використанням спеціалізованого програмного забезпечення; уточнено емпіричну модель функціональної зміни коефіцієнта повноти заповнення поверхні прямокутного лотка посівним матеріалом залежно від вхідних факторів параметрів процесу.

У першому розділі наведено аналіз способів гідропонного вирощування аграрної продукції, конструкцій робочих органів гідропонних установок, а також проаналізовано відомі результати теоретично-експериментальних досліджень процесів гідропонного вирощування салату та мікрозелені.

У другому розділі наведено: опис удосконаленої гідропонної установки; теоретичний аналіз технологічних процесів мінерального живлення рослин під час вирощування гідропонного салату в теплиці залежно від параметрів коренежиттєвого середовища та переміщення посівного матеріалу по гладкій поверхні прямокутного лотка під час вирощування мікрозелені; математичну модель роботехнічної платформи з комплексом апаратно-програмного забезпечення автоматизації виробничих процесів гідропонних установок.

Пристрій для вирощування гідропонної продукції містить стрижневу конструкцію, яку виконано у формі восьмигранної призми що обертається навколо горизонтальної осі. До вершин стрижнів призми шарнірно прикріплені

перфоровані лотки із отворами для гідропонних стаканів. Внизу пристрою змонтовано ємність із розчино-збірниками для живильного розчину рослин.

Розроблена гідропонна установка є багатоярусною конструкцією, на кожному ярусі якої розташований лоток, на якому відбуваються процеси розподілу посівного матеріалу, пророщування та вивантаження вирощеної зеленої гідропонної продукції.

В процесі розробки моделі приймали, що під час мінерального живлення подача мінерального розчину до кореневої системи рослин відбувається періодично крапельним способом. Розчин, що поступає рівномірно розосереджується в поперечному перетині контейнера і рухається вертикально вниз, при цьому частина розчину поглинається (абсорбується) дисперсною твердою фазою рослинного матеріалу, а решта розчину відводиться в дренаж.

З урахуванням зроблених припущень концентрації адсорбенту в живильному розчині та в твердих фазах (кореневої системи), динаміка процесів масообміну описується системами рівнянь збереження та масообміну.

На основі запису рівнянь динаміки у приростах та віднімання рівнянь статистики й нехтуванням членами другого порядку, отримано рівняння матеріального балансу для повітря теплиці та для рослинного покриву.

Отримані системи рівнянь та передаточних функцій дозволили побудувати схему лінійної математичної моделі температурного вологісного режиму (повітряного об'єму) теплиці системи трубного опалення в приміщенні закритого ґрунту у вигляді структурної схеми.

У третьому розділі наведено програму, опис експериментальних установок і методику проведення експериментальних досліджень.

Програма проведення експериментальних досліджень процесів вирощування гідропонного салату та мікрозелені у теплиці передбачала виконання таких видів робіт: розробити роботехнічну платформу з комплексом апаратно-програмного забезпечення «Smart IR-Control Robotic Chassis v_1.0», який призначений для дистанційного керування гідропонною установкою;

розробити конструктивну схему та виготовити макетний зразок удосконаленої гідропонної установки та провести експериментальні дослідження процесу вирощування салату; виготовити конструкцію одноярусної гідропонної установки з обертовим лотком та провести експериментальні дослідження процесу її функціонування.

В загальному для реалізації експериментів було розроблено структурну схему моделі проведення експериментальних досліджень на основі базових принципів поняття «чорної скрині». Для проведення експериментальних досліджень процесу вирощування гідропонного салату було застосовано лабораторну гідропонну установку, яку виконано за принципом восьмигранної призми, до вершин якої на осях встановлено гідропонні перфоровані лотки з отворами в які встановлено гідропонні стакани.

Для обґрунтування основних параметрів і режимів роботи багатоярусної гідропонної установки провели експериментальні дослідження з визначення характеру зміни показників росту рослин салату гідропонним способом.

При цьому визначали функціональний характер зміни площі листової поверхні рослини, яку позначили індексом (см^2) та маси листя (г) залежно від встановлених факторів.

В якості вхідних факторів було використано – час опромінення (фотоперіод) на трьох рівнях: $T_0 = 8; 16; 24$ години на добу, а також величину опромінення $E_0 = 10; 20; 30 \text{ Вт/м}^2$, тобто реалізовано двофакторний експеримент на трьох рівнях варіювання факторами ПФЕ 32.

Для проведення експериментальних досліджень процесу вирощування гідропонного салату було застосовано лабораторну установку з обертовим лотком. Експериментальна установка являє собою одноярусну конструкцію, встановлену на жорсткому каркасі з тягою та приводним механізмом.

Для обґрунтування основних параметрів і режимів роботи експериментальної установки провели експериментальні дослідження з визначення характеру зміни коефіцієнта повноти заповнення поверхні лотка

посівним матеріалом залежно від встановлених факторів.

Змінними вхідними факторами під час проведення експериментальних досліджень приймали: вологість зерна (посівного матеріалу) %; кут відхилення лотка, град.; кількість коливань лотка, разів.

Контрольовані показники якості, або показники параметрів оптимізації визначали згідно з стандартними методиками, за результатами яких формували порівняльну таблицю.

Методика проведення експериментальних досліджень базувалася на основі наукових методів планування та реалізації планованих факторних експериментів з метою отримання рівнянь регресії параметру оптимізації.

Обробку експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методами розрахунку з використанням методик регресійного та кореляційного аналізу.

У четвертому розділі наведено результати реалізації програми експериментальних досліджень.

В основу розробки роботехнічної платформи з комплексом апаратно-програмного забезпечення «Smart IR-Control Robotic Chassis v_1.0» закладено принцип збільшення вепольності системи за рахунок відокремлення частини функцій блока адаптивного керування, а саме прийому, структуризації та первинної обробки вхідної інформації отриманої в результаті моніторингу та покладення їх виконання на апаратну частину, що змонтована на мобільному шасі.

Підґрунтям для функціонування перелічених інструментів є спеціалізоване програмне та апаратне забезпечення.

На основі обробки експериментального масиву даних отримано рівняння регресії, які описують функціональну зміну: площі листової поверхні та маси листя рослин салату; коефіцієнта заповнення лотка зерном сочевиці.

Встановлено, що за зміни часу опромінення та інтенсивності опромінення рослин відповідно, в діапазоні від 8 до 24 год. та від 10 до 30

Вт/м² площа листової поверхні рослин салату збільшується в середньому в 1,7...3,2 рази.

Значне збільшення площі листової поверхні рослин салату (майже в 1,6 рази – від 500 до 850 см²) спостерігається за дози опромінення, яка більша за значення 350 Вт год./м², при цьому в межах зміни дози опромінення 480 – 720 Вт год./м² приріст площі листової поверхні рослин салату незначний – в середньому на 40...50 см².

Значне збільшення маси листя рослин салату (майже в 3 рази – від 5 до 15 г) спостерігається за дози опромінення, яка більша за значення 350 Вт год./м², при цьому в межах зміни дози опромінення 480 – 720 Вт год./м² приріст маси листя рослин салату незначний – в середньому на 1,5...2,0 г.

Встановлено, що за зміни кута нахилу лотка в діапазоні від 10 до 30 град. та кількості коливань лотка в діапазоні від 1 до 5 раз коефіцієнт заповнення площі лотка зерном сочевиці збільшується в середньому в 1,2...1,5 рази.

Функціональна зміна вологості зерна в межах збільшення від 14 до 18 % призводить до зменшення коефіцієнта заповнення площі лотка зерном сочевиці, але суттєво не впливає на зміну значення коефіцієнта заповнення. При цьому коефіцієнт заповнення зменшується: при 1 раз в середньому на 0,2; при 3 рази в середньому на 0,2; при 5 раз в середньому на 0,3.

У п'ятому розділі наведено шляхи подальшого удосконалення робочих процесів і робочих органів гідропонних установок і розрахований економічний ефект від застосування удосконаленої гідропонної установки.

Висновки сформульовані чітко, вони повністю висвітлюють отримані в роботі результати. За своїм рівнем висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список використаних джерел достатньо повно охоплює предметну галузь та відображає опрацювання автором значної кількості патентних матеріалів та іноземних джерел.

Додатки до роботи містять матеріали досліджень, що не увійшли в основну частину роботи.

4. Наукова новизна одержаних результатів

До найбільш суттєвих і науково нових результатів дисертаційної роботи, на мою думку, можна віднести те, що уперше:

- розроблено математичну модель, яка описує функціональну зміну процесу мінерального живлення рослин під час вирощування гідропонного салату в теплиці на основі аналізу масообміну складових компонентів коренежиттєвого середовища рослини записану в параметричній і операторній формі;

- розроблено емпіричні моделі, які описують і характеризують зміну показників якості розвитку рослини салату в теплиці (площі листової поверхні та маси листя) залежно від параметрів їх опромінення.

Новизна технічних рішень підтверджена патентом України на корисну модель № 153587 «Пристрій для вирощування гідропонної продукції».

5. Достовірність отриманих результатів і висновків

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректною постановкою задачі, мети та завдань дисертаційного дослідження, які розв'язуються послідовно та аргументовано. Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується відповідністю методології дослідження поставленої науково-технічної задачі, повнотою розгляду на теоретичному та експериментальному рівнях об'єкта дослідження, застосуванням комплексу методів, адекватних предмету дослідження.

6. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що з використанням удосконаленої конструкції та обґрунтуванням раціональних

параметрів гідропонної установки суттєво покращується урожайності та показники якості вирощування аграрної продукції.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень щодо розробки структури та алгоритмів роботи автоматизованої системи керування режимними параметрами гідропонної установки використовуються у навчальному процесі Вінницького національного аграрного університету при викладанні навчальних дисциплін «Мехатроніка і мобільна робототехніка» та «Система точного землеробства». Удосконалена багатоярусна гідропонна установка проходила виробничу перевірку на базі ПСП «Агрофірма Нападівська» (с. Нападівка, Вінницький район, Вінницька область). Дослідження проводили на гідропонних модулях, розділених світлонепроникними екранами, які не дозволяють проникати світлу в сусідні секції але забезпечують циркуляцію повітряних потоків, в лабораторному приміщенні без природного освітлення. За результатами досліджень встановлено функціональні залежності розвитку рослин салату від зміни дози опромінення та обґрунтовано, що значне збільшення маси листя рослин салату (майже в 3 рази – від 5 до 15 г) спостерігається за дози опромінення, яка більша за значення 350 Вт год./м^2 , при цьому в межах зміни дози опромінення $480 - 720 \text{ Вт год./м}^2$ приріст маси листя рослин салату незначний – в середньому на 1,5...2,0 г. Таким чином результати досліджень підтвердили технологічну ефективність застосування удосконаленої багатоярусної гідропонної установки в виробничих умовах під час вирощування салату в теплиці. Підприємство ТОВ «Агромаш-Калина» (м. Калинівка, Вінницька область) отримало конструкторську і технологічну документацію для виготовлення дослідних зразків гідропонних установок для виробничих випробувань і серійного виробництва.

7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в

опублікованих працях

Дисертація має логічну структуру. Основні висновки і рекомендації логічно витікають із результатів, які наведено у розділах роботи.

Проведено перевірку дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Усі основні положення та найбільш важливі результати дисертації, подані до захисту, опубліковані в необхідному обсязі у фахових виданнях України та закордонних виданнях. Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 11 наукових працях, у тому числі 6 статей наукових фахових виданнях України (категорії Б), 1 патент України на корисну модель, 1 свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір, 3 тези у збірнику доповідей наукових конференцій. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

8. Недоліки та зауваження щодо змісту дисертаційної роботи

8.1. В першому розділі недостатньо обґрунтовано наукову новизну запропонованих математичних моделей та конструкції гідропонної установки, зокрема бракує чіткого порівняння з наявними аналогами для демонстрації їхньої унікальності. Наприклад, не вказано, чи є восьмигранна призма принципово новим рішенням, чи це лише модифікація відомих багатоярусних систем.

8.2. Конструкція восьмигранної призми (сторінки 75-79) описана з точки зору функціональності, але не враховується зручність її обслуговування (наприклад, доступ до лотків, заміна стаканів чи чищення системи).

8.3. У моделі мінерального живлення (сторінки 79-93) згадується крапельна подача поживного розчину, але не вказано його хімічний склад, концентрація чи частота подачі.

8.4. У розділі 4 (сторінки 126-143) наведено результати експериментів, зокрема залежність площі листової поверхні та маси листя від часу й інтенсивності опромінення, а також коефіцієнта заповнення від кута нахилу та коливань лотка. Однак інтерпретація цих даних зводиться до констатації числових змін (наприклад, "збільшується в 1,7...3,2 рази") без пояснення біологічних чи фізичних причин таких ефектів.

8.5. Загальні висновки зосереджуються на раціональних параметрах роботи установки, але не торкаються питань її масштабування для промислового використання чи адаптації до різних культур, окрім салату та мікрозелені.

8.6. На сторінці 217 (Таблиця 2, «Експериментальні значення площі листової поверхні $S_{\text{ле}}$, маси листя M_{ac} та кількості листків z_{ac} ») наведено значення, наприклад, $S_{\text{ле}}=150 \text{ см}^2$, але не вказано похибки вимірювань чи кількість повторів експерименту. Це знижує достовірність результатів, оскільки неясно, чи значення є статистично значущими.

9. Висновки до дисертаційної роботи

Представлена дисертація є цілком завершеною самостійною науково-дослідною роботою, яка містить науково обґрунтовані результати. У дисертації розв'язано актуальну науково-прикладну задачу підвищення урожайності та показників якості вирощування аграрної продукції шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування раціональних параметрів гідропонної установки, яка має важливе значення для галузі знань 13 Механічна інженерія. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

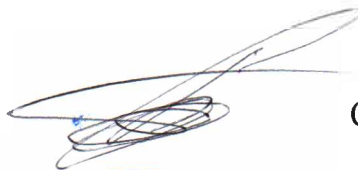
Відмічені зауваження не мають принципового характеру, суттєво не впливають на практичну і наукову значимість проведених досліджень.

Усе викладене вище дозволяє стверджувати, що з огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну та практичну цінність, повноту викладу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної

обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, має теоретичне та практичне значення і повністю відповідає усім вимогам. Представлена робота повністю відповідає вимогам 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 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами) та наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами), і може бути представлена для офіційного захисту в разовій спеціалізованій вченій раді, а її автор – Мельник Олександр Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

Рецензент

доктор філософії з галузевого машинобудування, доцент кафедри інженерної механіки та технологічних процесів в АПК Вінницького національного аграрного університету



Сергій БУРЛАКА

Підпис Бурлаки С.А. засвідчую:

Вчений секретар



Тетяна КОРПАНЮК