

## ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

Паламарчука Ігоря Павловича

на дисертаційну роботу **Мирончук Анни Олегівни «Інтенсифікація масообміну в живильних середовищах шляхом гідродинамічного**

**оброблення»**, поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії галузі знань 14 – електрична інженерія за спеціальністю 144 – теплоенергетика

На розгляд подано дисертаційну роботу, що складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Основний зміст дисертації викладено на 185 сторінках друкованого тексту, який містить 30 рисунків та 18 таблиць; список використаних джерел складається із 100 найменувань, серед яких 90 надруковано у закордонних виданнях та лише 4 опубліковані у минулому сторіччі; 2 додатки розміщені на 8 сторінках.

### **1. Актуальність теми дисертації**

Технології гідропоніки є одними із найбільш ефективних та екологічно безпечних при вирощуванні сільськогосподарських культур, що забезпечують керованість живлення, стабільність урожайності та можливість організації замкнених виробничих циклів. Недостатня стабільність та низька якість живильних середовищ можуть призводити до втрат урожайності та підвищення ризиків мікробіологічного забруднення, що в умовах зростання попиту на якісні продукти харчування становить суттєву проблему.

Інтенсифікація даних процесів, зокрема, при застосуванні гідродинамічної дії, дискретно-імпульсних методів технологічного впливу, гідродинамічної кавітації, турбулентного зсуву та імпульсної мікрофільтрації; дають можливість досягти глибокої гомогенізації середовищ без додаткового використання хімічних стабілізаторів; підвищити ефективність живильного середовища за рахунок зменшення енерговитрат і втрат поживних компонентів.

Враховуючи, що підвищення ефективності агропромислового виробництва при одночасному збереженні екологічної безпеки, раціональне використання водних і мінеральних ресурсів у технологіях вирощування рослин у досліджуваних гідропонних системах; становлять стратегічні задачі України за умов нашого сьогодення, то вирішення таких завдань безумовно є *актуальними* та має широкі *перспективи* до розвитку та впровадження.

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

Виконана робота відповідає Закону України від 12 жовтня 2010 р. №2623 – 14 «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», основні положення її були викладені у межах держбюджетної тематики 0120U103391 за 2020-2024 рр «Синергетичний ефект імпульсного впливу в гідродинамічних і тепломасообмінних процесах технологій диспергування та гомогенізації» Доробки дисертанта складають проведення та опрацювання результатів експериментальних досліджень.

### **3. Загальна характеристика роботи.**

Хочу відзначити наявність у дисертації глибокого та ґрунтовного експериментального аналізу досліджуваних процесів гідродинамічної дискретно-імпульсної обробки та обладнання для його реалізації.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, наведено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, зазначений особистий внесок здобувача, представлені апробації результатів досліджень.

*До зауважень при викладенні вступу можна віднести наступне:*

➤ у меті для досягнення результату, а саме, інтенсифікації масообміну у живильному середовищі також використовувались методи експериментального та теоретичного аналізу;

➤ поставлені у вступі завдання повинні відповідати пунктам основних висновків;

➤ у 1 пункті наукової новизни має місце констатація фактів, краще було б вказати на теоретичне обґрунтування окремих параметрів досліджуваного процесу;

**Перший** розділ роботи містить достатньо глибокий критичний аналіз існуючих методів оброблення живильних середовищ та обладнання для їх реалізації у сільськогосподарському виробництві та переробці, що дозволяє оцінити результати впливу на мікроорганізми, клітини та їхні структури, використовуючи їх для удосконалення обробки живильних середовищ та розвитку біотехнологій. Систематизація даної інформації дозволила розробити класифікацію досліджуваних процесів і обладнання.

Проведений аналіз особливостей реалізації технологій гідродинамічного оброблення для впливу на мікроорганізми та клітини, дозволив обґрунтувати напрями експериментальних та теоретичних досліджень з метою підвищення ефективності процесів стерилізації та активізації біологічних функцій; зменшення мікробного навантаження; визначення обмеження щодо досягнення концентрацій забруднювачів порівняно із гранично допустимими значеннями. Було обґрунтовано, що потенціал технологій гідродинамічних технологій дозволяє регулювати фізико-хімічні властивості живильних середовищ, зокрема активацію молекулярного кисню для покращення умов розмноження мікроорганізмів та підвищення ефективності процесів біоекстракції та перетворення органічних сполук при менших енергетичних витратах порівняно з традиційними методами обробки.

*До зауважень при викладенні 1 розділу можна віднести:*

➤ часто прослідковується просто констатація фактів щодо визначення ультразвукових хвиль (стор.50), кавітації (стор.51);

➤ зважаючи на детальний опис існуючих технологій та обладнання для створення та підтримання функціонування живильних середовищ, було б доцільно при формуванні їх класифікації додати технології із засобами

*інтенсифікації, хоча і була показана загальна класифікація фізичних методів дії на рідке середовище;*

*➤ висновки до 1 розділу переважно показані у вигляді звіту щодо проведеного аналізу, а не результатів дослідження: було б більш компактно та інформаційно представити висновки окремими пунктами*

У **другому** розділі традиційно представлені дослідне оснащення та експериментально-вимірвальна база досліджень, показані основні методологічні аспекти оцінки головних факторів досліджуваних процесів, зокрема, визначення динаміки змін рН та окисно-відновного потенціалу у реальному часі; оцінка як макропараметрів середовища, так і структурних змін у біоплівках та осадах, що утворювались на стінках циркуляційної системи; визначення вмісту ключових макроелементів та побічних метаболітів для прослідковування змін їх концентрацій під впливом імпульсної дії; обґрунтовані модельні живильні середовища, склад яких відповідає типовим гідропонним живильним розчинам для салатних культур і зелені; представлені методи обробки результатів досліджень із використанням критерію Кохрена для забезпечення статистичної однорідності серій експериментів.

Дослідження технічних параметрів використаної роторно-пульсаційної установки дозволило обґрунтувати робочі режими для забезпечення ефективності використання гідродинамічного оброблення гідропонних живильних середовищ за допомогою дискретно-імпульсного введення енергії, зокрема для надання необхідних швидкості та напруги зсуву рідкої маси. Результати апробації розробленої лабораторної установки замкненого циркуляційного типу дозволила моделювати умови функціонування промислових гідропонних систем із можливістю варіювання частоти й інтенсивності імпульсних навантажень в умовах безперервного моніторингу фізико-хімічних характеристик середовища, забезпечуючи високу відтворюваність і точність вимірювань у різних режимах оброблення.

*До зауважень при викладенні 2 розділу можна віднести:*

*➤ традиційно даний розділ потрібно розпочинати формулюванням програми проведення теоретичних та експериментальних досліджень, що дало би змогу системно підійти до вирішення поставлених у дисертації завдань;*

*➤ було б доцільно представити методологічні аспекти використаного у дисертації математичного моделювання.*

У **третьому** розділі дисертантка представляє результати математичного моделювання процесу гідродинамічного оброблення живильних середовищ із застосуванням методу дискретно-імпульсного введення енергії.

Розроблена математична модель представлена у вигляді системи модифікованих рівнянь Нав'є–Стокса, доповнених складовими Брінкмана та Дарсі; що дозволило представити закономірності руху інертного носія у пористому середовищі та врахувати вплив граничних умов, нелінійних законів опору і ефективної в'язкості живильного середовища. Графо-аналітичний

аналіз моделі дозволив виявити закономірності падіння тиску та швидкості при проходженні інертного носія крізь систему, найбільші зміни яких спостерігаються у приповерхневих областях, що дозволило адекватно прогнозувати розподіли основних гідродинамічних параметрів у робочих об'ємах системи та здійснити оптимізацію режимних параметрів системи.

*До зауважень при викладенні 3 розділу можна віднести:*

➤ *не розтлумачені окремі параметри, що входять у представлені на стор.91 модифіковані рівняння Нав'є-Стокса, хоча показані основні його структурні блоки;*

➤ *важко зрозуміти з представленої моделі склад інерційної та пружної підсистем, які необхідні для забезпечення пульсаційного руху;*

➤ *висновки після 3 розділу містять багато загальних фраз, хоча повинні достатньо лаконічно окреслювати результати теоретичних досліджень, яка при можливості представляється у вигляді цифрової інформації, зокрема, при описі рис.3.1 та 3.2.*

У **четвертому** розділі достатньо ґрунтовно представлені результати експериментальних досліджень стосовно виявлення закономірностей зміни мікробіологічних та фізико-хімічних параметрів живильного середовища за гідропульсаційного технологічного впливу.

В умовах гідродинамічної пульсаційної обробки виявилось, що відбувається підвищення біодоступності макро- та мікроелементів, таких як фосфати, калій, кальцій і залізо; зменшення агрегування частинок у середовищі та зниження йонної нестабільності, що підвищує степінь засвоєння елементів живлення кореневою системою вирощуваних рослин; деактивації небажаних сполук вторинного метаболізму рослин і мікроорганізмів. Аналіз фізико-хімічних параметрів живильного середовища показав, що гідропульсаційна дія нормалізує величину рН до оптимальних значень, що знижує ризики локального окислення або лужного стресу; істотне зниження концентрації розчиненого кисню, що створює умови для сталого аеробного середовища у кореневій зоні.

Порівняльний аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень за основними фізико-хімічними параметрами, зокрема, концентрацією розчиненого кисню, рівнем рН, окисно-відновлювального потенціалу гідропонних живильних середовищ виявив високу ступінь кореляції за змінних умов гідродинамічного пульсаційного оброблення як інструмента інтенсифікації масообміну у гідропонних системах.

*У якості зауваження до 4 розділу можна представити те, що інформація щодо кількості мікроорганізмів та бактерій у живильному середовищі на рис.4.1, 4.2, 4.3; зміни показника живильного середовища рН на рис 4.9; зміни окисно-відновлювального потенціалу гідропонних живильних середовищ на рис 4.10; зміни рівня розчиненого кисню живильного розчину на рис 4.11 представлена досить дрібно, що утруднює їх аналіз.*

У п'ятому розділі було показано результати аналізу соціальної та техніко-економічної ефективності від впровадження процесу гідродинамічного дискретно-імпульсного оброблення живильних середовищ, реалізації розробленої технології у виробничих умовах.

На основі експериментальних даних було розроблено адаптивну технологію приготування гідропонного живильного розчину з урахуванням фізико-хімічних характеристик водного середовища, що передбачає використання органічних дигестатів як альтернативних джерел, що відповідає сучасним запитам сталого агровиробництва. Розроблені методики розрахунку інтенсивності турбулентності, частоти імпульсного введення енергії, рівня окисно-відновлювального потенціалу гідропонних живильних середовищ та вмісту розчиненого кисню дозволили сформулювати практичні рекомендації для промислового впровадження результатів дослідження з урахуванням масштабування систем гідропоніки, що забезпечують не лише підвищення продуктивності, але й зменшення ризику фізіологічного стресу рослин.

Техніко-економічний аналіз приведених у дисертації розробок показав, що витрати на модернізацію систем окупаються протягом 1,5–2 років внаслідок зниження обсягів водоспоживання, зменшення втрат поживних речовин, підвищення врожайності та поліпшення якісних характеристик продукції. Соціальні ефекти та екологічна безпека продемонстрували високий рівень адаптивності розробленої технології до умов промислового вирощування.

*До зауважень при викладенні 5 розділу можна віднести те, що оцінка технологічних, соціальних та технологічних ефектів у висновках до розділу не підкріплена цифровою інформацією, якої прослідковується достатньо.*

**Основні висновки** до дисертації містять узагальнені наукові та практичні результати, отримані автором у процесі виконання дисертаційної роботи. Усі поставлені задачі чітко прослідковуються в основних висновках, як кількісно, так і якісно.

*До зауважень при викладенні основних висновків можна віднести наступне:*

➤ *аналітичний матеріал не достатньо повно підкріплений цифровою інформацією, яку дисертант реально отримав у численних експериментальних дослідженнях;*

➤ *пункти основних висновків повинні бути максимально лаконічними, а представлена інформація переважно показує перелік проведених досліджень, а не аналіз їх результатів: відчувається нестача якісної інтерпретації отриманих результатів.*

**Мова дисертації** українська, стиль викладення логічний, послідовний, з використанням загальноприйнятої науково-технічної термінології.

Дисертація оформлена відповідно до вимог ДАК України.

## **5. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових досліджень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Дисертація є логічною і аргументованою науковою працею, яка виконана з урахуванням сучасного рівня технологій вирощування рослинної продукції в умовах гідродинамічного оброблення живильних середовищ, розробленої відповідної техніки для їх реалізації.

Мета роботи та задачі для її досягнення повністю відповідають представленим результатам досліджень. Висновки і рекомендації, що сформульовані дисертантом, підтверджуються матеріалами експериментальних досліджень, публікаціями у наукових виданнях, у тому числі й закордонних. На підставі вищевикладеного обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, які містяться в дисертації, не викликає сумнівів.

## **6. Достовірність та новизна наукових положень, отриманих у дисертації**

*Достовірність і обґрунтованість результатів* досліджень та отриманих висновків забезпечена використанням сучасного вимірювального оснащення, розробленої експериментальної установки для реалізації процесу гідродинамічного дискретно-імпульсного оброблення живильних середовищ вирощуваної рослинної продукції; методик досліджень, методів математичного моделювання та статистичної обробки експериментальних даних з використанням комп'ютерних програм; що підтверджені апробацією отриманих результатів на наукових конференціях різних рівнів.

*Наукова новизна отриманих результатів* полягає у наступному:

➤ на основі результатів експериментальних досліджень встановлено закономірності зміни основних параметрів процесу формування живильних середовищ для гортензії, самшиту, ірису, кабачка за умов гідроімпульсної технологічної дії, зокрема, швидкості зсуву потоку, напруження зсуву потоку, часу оброблення, що впливають на зміну мікробіологічних показників гідропонних середовищ.

➤ теоретично доведено та експериментально підтверджено, що під час гідродинамічного оброблення при напруженнях зсуву 185-190 Па досягається зниження чисельності мікроорганізмів у 2,5–3 рази; при швидкостях зсуву потоку  $3,55-3,8 \times 10^5 \text{c}^{-1}$  відбувається істотна зміна фізико-хімічних параметрів гідропонних розчинів.

➤ на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що оброблення гідропонних розчинів із застосуванням методу дискретно-імпульсного введення енергії призводить до зниження розчиненого кисню на 60%, що впливає на зміну мікробіологічних показників.

## **7. Практичне значення результатів дисертаційної роботи**

Практичну цінність даної роботи відображають наступні чинники:

➤ розроблено енергоощадну технологію отримання живильних середовищ, яка дозволяє скоротити споживання енергії на 20% порівняно з традиційною;

➤ застосування розробленого методу гідродинамічного дискретно-імпульсного оброблення живильних середовищ вирощуваної рослинної продукції дозволяє зменшити потребу у додаткових реагентах та економії води до 90 % та відповідно скоротити використання сировинних ресурсів на 55-65 %;

➤ за результатами фітотестування розроблена технологія гідропоніки дає можливість підвищити продуктивність рослин на 20–30%;

➤ дослідження були апробовані у виробничих умовах, що підтверджено актами випробувань на підприємстві ТОВ АГРОСВІТ-ЖИТОМИР.

## **8. Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.**

За матеріалами дисертації Мирончук А. О. опубліковано 16 наукових робіт, у тому числі: 3 статті у наукових фахових виданнях України; 1 стаття представлена у виданні, яке включено до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS; 12 тез доповідей у збірниках матеріалів 11 міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій.

Вважаю, що вказані публікації повністю відображують дисертаційну роботу та відповідають її змісту.

## **9. Основні загальні зауваження до змісту дисертаційної роботи**

За змістом та оформленням дисертаційної роботи поданих для опонування, можна відзначити наступні зауваження.

1. Зауваження до окремих розділів представлено у загальній характеристиці роботи.

2. При складанні висновків до основних розділів дисертаційної роботи переважно прослідковується перебіг проведених досліджень замість лаконічного викладення їх результатів та наслідків.

3. Методика виконання реалізованих у дисертації методів математичного моделювання не показана ні у 2 методичному розділі, ні у 4 розділі, де має місце викладення результатів моделювання.

4. Представлені основні висновки містять великий обсяг загального матеріалу та достатньо не супроводжуються цифровим обґрунтуванням.

5. У тексті спостерігаються орфографічні та технічні похибки та неточності.

## **Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам**

Дисертаційна робота Мирончук Анни Олегівни на тему «Інтенсифікація масообміну в живильних середовищах шляхом гідродинамічного оброблення», відповідає паспорту спеціальності 144 – теплоенергетика.

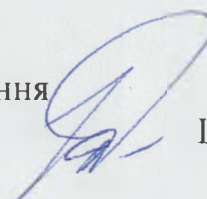
Наведені у відгуку зауваження не зменшують загальне позитивне враження про виконану автором роботу.

Представлена дисертаційна робота Мирончук А. О. є самостійною завершеною науковою працею, яка містить нові науково обґрунтовані результати стосовно поліпшення екологічної безпеки, підвищення енергоефективності процесу гідродинамічного дискретно-імпульсного оброблення живильних середовищ при вирощуванні рослинної продукції.

За актуальністю обраної теми, обсягом та змістом виконаних досліджень, ступенем обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірністю і новизною, а також повнотою їх викладення в опублікованих працях дисертаційна робота відповідає необхідним вимогам МОН та ДАК України, зокрема, наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», вимогам чинного законодавства України, пунктів 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, а її авторка, *Мирончук Анна Олегівна*, заслуговує на присвоєння їй наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 14 – електрична інженерія за спеціальністю 144 – теплоенергетика.

**Офіційний опонент –**

доктор технічних наук,  
професор кафедри процесів і обладнання  
переробки продукції АПК Національного  
університету біоресурсів і природокористування  
України Міністерства освіти і науки України



І.П. Паламарчук

02.10.2025

