

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Цуркана Олега Васильовича на дисертаційну роботу Сировицького Кирила Геннадійовича «Обґрунтування методів діагностування технічних параметрів гідравлічних розпилювачів для хімічного захисту рослин», представлену до спеціалізованої вченої ради Д 23.073.01 на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Аналіз дисертаційної роботи Сировицького Кирила Геннадійовича дозволяє сформулювати узагальнену оцінку її актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, достовірності отриманих результатів, наукової та технічної новизни, практичного значення, повноти апробації, а також відповідності змісту роботи поставленій меті та завданням дослідження.

Актуальність теми дисертації

Підвищення якості та екологічної безпеки технологічних операцій хімічного захисту рослин належить до актуальних науково-прикладних задач сучасної агроінженерії. За інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур технологічна ефективність обприскування визначається не лише точною нормою внесення препарату, але й стабільністю дисперсного складу крапель, рівномірністю їх просторового розподілу та відповідністю параметрів факела нормативним агротехнічним вимогам.

Розпилювач є завершальним елементом гідравлічної системи обприскувача, в якому енергія потоку рідини перетворюється у кінетичну енергію дисперсного факела. У процесі експлуатації геометрія соплового отвору розпилювача змінюється під дією абразивного зношування, хімічної деградації, забруднення та нестационарних навантажень. Внаслідок цього змінюються витратні характеристики, форма факела, дисперсний склад і рівномірність нанесення робочого розчину, що призводить до зниження технологічної ефективності та погіршення економічних та екологічних показників агротехнологій. Так, здобувачем акцентовано увагу на тому, що традиційний контроль за хвилинною витратою не забезпечує раннє виявлення погіршення якості розпилювання. Тому, встановлення функціонального зв'язку між зміною геометрії сопла розпилювача та просторовим розподілом робочої рідини є актуальним завданням.

Актуальність дослідження також підсилюється поширенням автоматизованих систем керування обприскувачами, у тому числі PWM-технологій. Такі системи здатні регулювати інтегральну витрату, однак не можуть усунути фізичну деградацію соплового отвору і пов'язане з нею порушення структури факела.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення актуальної наукової задачі, пов'язаної з підвищенням достовірності діагностування робочих органів машин для хімічного захисту рослин.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Тематика дисертаційної роботи узгоджується з напрямками розвитку ресурсозберігаючих, екологічно безпечних та високоточних технологій у сільськогосподарському виробництві.

Дослідження виконувалися у відповідності до програми науково-дослідної роботи «Дослідження впливу технічного стану гідравлічних розпилювачів обприскувача на якість виконання технологічної операції обприскування», а також відповідають стратегічним напрямкам розвитку сільського господарства.

Метою роботи є підвищення ефективності хімічного захисту рослин шляхом обґрунтування методу діагностування технічних параметрів сільськогосподарських гідравлічних розпилювачів у процесі їх експлуатації. Для досягнення цієї мети сформовано комплекс взаємопов'язаних завдань, що включає аналітичне моделювання, CFD-аналіз, розроблення експериментального обладнання, лабораторну верифікацію та формування критеріїв граничного технічного стану.

Наукова новизна одержаних результатів та їх значення для науки і виробництва

Аналіз матеріалів дисертації свідчить, що наукова новизна роботи має комплексний характер і формується на перетині гідродинаміки дисперсних потоків, технічної діагностики та теорії надійності робочих органів сільськогосподарських машин.

Здобувачем встановлено систему аналітичних залежностей між геометричними параметрами сопла та характеристиками формування факела, в яких враховано значущі фактори: діаметр крапель, початкову швидкість дисперсної фази, коефіцієнт витрати та кут розпилювання.

Науковий інтерес становить встановлений взаємозв'язок між геометричною деградацією соплового отвору та зміною коефіцієнта варіації просторового розподілу рідини. Це дозволяє перейти від традиційної оцінки стану лише за інтегральною витратою до функціонального критерію, який відображає здатність розпилювача забезпечувати необхідну якість технологічного процесу.

Подальший розвиток отримав підхід до опису деградації технічного стану розпилювача через зміну його геометрії. Удосконалено експериментальний метод визначення характеру розподілу рідини за рахунок вагового контролю маси рідини на окремих елементарних ділянках поверхні. Вагомим результатом є параметричне розмежування технічних станів розпилювача.

Таким чином, отримані результати розширюють наукові уявлення про закономірності формування граничного стану щільного гідравлічного розпилювача та створюють передумови для діагностування за параметрами, безпосередньо пов'язаними з якістю технологічної операції.

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

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 159 сторінок, основний текст – 140 сторінок; наведено 59 рисунків і 22 таблиці, список використаних джерел містить 112 найменувань.

У вступі сформульовано актуальність, мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет, наведено методи досліджень, наукову новизну, практичне значення та відомості щодо апробації результатів.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану досліджень процесу розпилення, факторів їх деградації та способів оцінювання продуктивності та якості розпилення. Розглянуто критерії поперечного розподілу, дисперсності та технічного стану робочих органів обприскувачів. На підставі цього сформовано завдання досліджень.

Другий розділ присвячено теоретичному та імітаційному моделюванню процесу формування факела. Реальний газорідинний потік представлено як систему взаємопроникних фаз. Складено рівняння збереження маси та кількості руху і визначено умови взаємодії дисперсної та суцільної фаз. Ступінь деталізації дисперсної фази задається кількістю фракцій крапель, що дозволяє враховувати неоднорідність дисперсного складу.

Автором відтворено внутрішню геометрію розпилювача, досліджено вплив типу та розміру розрахункової сітки на результат моделювання.

Важливим результатом другого розділу є перехід від локальних характеристик факела до оцінювання сумарного поперечного розподілу з урахуванням перекриття сусідніх факелів. Саме такий підхід дає можливість пов'язати гідродинамічну модель із критерієм технологічної працездатності – коефіцієнтом варіації.

У третьому розділі обґрунтовано програму та методику експериментальних досліджень. Для досліджень сформовано групи розпилювачів за різною шириною соплового отвору. Створено лабораторний стенд. Значною перевагою запропонованого методу є можливість кількісно верифікувати не тільки сумарну продуктивність розпилювача, але й просторову неоднорідність осадження рідини.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень, виконано регресійний аналіз та верифікацію імітаційної моделі. При апроксимації залежності $CV = f(a)$ для порівняння брали степеневу і квадратичну моделі. Для квадратичної залежності отримано $R^2 = 0,9938$, середню похибку 3,4 % та

максимальну 9,6 %, що обґрунтовує її використання в межах дослідженого факторного простору.

Порівняння результатів CFD-моделювання з експериментом довело адекватність, а запропонований автором емпіричний коригувальний коефіцієнт дозволяє зменшити ці величини відповідно до 2,0 та 2,8 %.

Запропонований прискорений метод оцінювання за локальними зонами концентрації показав недостатню точність, тому автор не рекомендує його для безпосереднього визначення CV . Натомість метод аналізу половини поверхні продемонстрував прийнятне співвідношення між трудомісткістю та точністю.

Польова перевірка проведена на самохідному обприскувачі Case IH Patriot 3330 із застосуванням водочутливих карток. Отримані результати підтверджують лабораторно встановлену тенденцію зниження якості покриття при збільшенні геометричного розміру соплового отвору.

Використана сукупність теоретичних, чисельних та експериментальних методів є адекватною поставленим завданням. Основні висновки логічно впливають із результатів відповідних етапів дослідження.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано у 14 наукових працях, серед яких 7 статей у спеціалізованих наукових виданнях, у тому числі одна публікація у виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази Scopus, 7 матеріалів конференцій; отримано один патент на корисну модель України.

Тематика публікацій відповідає основним складовим дисертації: конструкціям розпилювачів, методам випробувань, діагностуванню технічного стану, гідродинаміці факела та імітаційному моделюванню.

Наукові публікації відповідають вимогам п. 2 Наказу МОН України від 23.09.2019 р. №1220 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук».

Основні положення роботи висвітлені в наукових фахових публікаціях та представлені на наукових конференціях.

Практичне значення і впровадження одержаних результатів дослідження

Практична цінність роботи визначається можливістю переходу від періодичного контролю лише продуктивності розпилювачів до оцінювання їх функціонального технічного стану за геометричними та гідродинамічними параметрами.

Розроблено лабораторний стенд, в якому реалізовано ваговий контроль кількості рідини на елементарних ділянках поверхні. Конструкція технічного засобу захищена патентом України на корисну модель.

Практично важливими є рекомендації щодо відбракування розпилювачів за встановленими межами технічного стану, а також розроблений прискорений метод контролю половини поверхні обробітку.

Результати роботи впроваджені у виробничу діяльність аграрних підприємств та навчальний процес СНАУ. У дисертаційній роботі наведено економічний ефект від впровадження відповідних технічних та методичних рішень.

Оцінка мови, стилю, оформлення дисертації та дотримання вимог академічної доброчесності

Дисертаційна робота структурована відповідно до логіки наукового дослідження. Стиль викладу переважно науково-технічний, термінологія відповідає предметній області агроінженерії, гідродинаміки та технічної діагностики.

Матеріал супроводжується достатньою кількістю схем, графіків, таблиць, результатів чисельного моделювання і експериментальних даних.

Робота містить результати власних досліджень, а використані ідеї, результати та тексти інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

Разом з тим у тексті зустрічаються окремі редакційні й термінологічні неточності, які не впливають на розуміння основних наукових результатів та можуть бути усунені при подальшій публікації матеріалів.

Відповідність автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату відображає основні положення дисертаційної роботи, включаючи актуальність, мету і завдання, наукову новизну, методи дослідження, теоретичні та експериментальні результати, практичне значення і сформульовані висновки.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації

1. У роботі одержано конкретні числові межі технічного стану для дослідженого типорозміру щілинного розпилювача, а польову апробацію проведено на одному типі самохідного обприскувача. Водночас фізико-хімічні властивості реальних робочих сумішей можуть суттєво відрізнятися від води за в'язкістю, густиною, поверхневим натягом та наявністю дисперсної фази.

2. Здобувачем заявлено встановлення системи аналітичних залежностей між геометрією сопла та параметрами факела. Разом із тим математичний апарат включає як авторські перетворення, так і відомі рівняння механіки багатофазних середовищ та емпіричні залежності. Наукове положення виглядало б ще переконливіше, якби у роботі була чітко виділена саме та частина математичної конструкції, яка є новим результатом здобувача, на відміну від відомих рівнянь, що використані як вихідна теоретична база.

3. Абсолютні значення $a = 0,682\text{мм}$ і $a = 0,709\text{мм}$ мають безпосередню прикладну цінність для дослідженого сопла, проте їх універсальність обмежується геометричним масштабом конкретного типорозміру. З наукової точки зору доцільно було б розглянути нормований параметр деградації, наприклад a/a_0 , відносну зміну площі соплового отвору або інший безрозмірний геометричний критерій. Це дозволило б перевірити можливість узагальнення встановлених закономірностей для сімейства щілинних розпилювачів.

4. У дисертації описується нелінійне зростання CV після досягнення певного рівня деградації сопла. Однак поняття «гіперчутливості» доцільно було б математично формалізувати. Наприклад, показником чутливості може бути $S_a = dCV/da$ або відносна чутливість $S_a^* = (a/CV) dCV/da$. Це дозволило б не лише якісно констатувати прискорення деградаційного процесу, але й кількісно визначити область найбільшої діагностичної чутливості.

5. Основним керованим фактором був геометричний розмір соплового отвору. Водночас із постановки задачі впливає, що на процес розпилювання впливають також тиск і фізико-хімічні характеристики рідини. Багатофакторний експеримент $CV = f(a, p, \mu, \sigma)$, навіть у скороченому плані, дозволив би визначити не лише окремий вплив зношування, але й ефекти взаємодії факторів та статистично оцінити стійкість встановленої границі $CV = 15\%$ до зміни режиму роботи.

6. Польові випробування підтверджують загальний характер встановлених закономірностей, проте для кількісної валідації бажано було б детальніше представити повторюваність дослідів, діапазони температури, вологості, швидкості й напрямку вітру та статистичну варіацію результатів між проходами. Особливо це важливо для розмежування внеску технічного стану розпилювача і випадкових зовнішніх факторів у кінцевий показник покриття.

7. Перехід від аналізу всієї поверхні до аналізу її половини є раціональним способом зниження трудомісткості. Доцільно було б сформулювати критерій мінімізації кількості вимірюваних елементарних ділянок або часу випробування за обмеженням на ймовірність правильної класифікації технічного стану. Така постановка могла б привести до формального оптимального діагностичного плану, а не лише до емпіричного скорочення обсягу вимірювань.

8. В завданні на роботу нічого не сказано про розробку методів діагностування та їх експериментальну перевірку.

Наведені зауваження мають переважно дискусійний і рекомендаційний характер. Вони не змінюють загальної позитивної оцінки роботи та не знижують наукової і практичної значущості одержаних результатів.

Загальний висновок та оцінка дисертаційної роботи

У цілому дисертаційна робота **Сировицького Кирила Геннадійовича** «Обґрунтування методів діагностування технічних параметрів гідравлічних

розпилювачів для хімічного захисту рослин» є завершеною самостійною науково-дослідною працею, яка містить нові науково обґрунтовані результати теоретичного та прикладного характеру. У роботі вирішено конкретне наукове завдання – підвищення достовірності оцінювання технічного стану щілинних гідравлічних розпилювачів шляхом встановлення закономірностей впливу деградації геометрії соплового отвору на гідродинамічні характеристики факела та рівномірність розподілу робочої рідини. Поставлена мета досягнута, основні завдання дослідження виконані. Теоретичні положення підтверджені чисельним моделюванням та експериментальними дослідженнями. Встановлені закономірності мають наукову новизну, а розроблені методики і технічні рішення – практичне значення для експлуатації машин хімічного захисту рослин. Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва, зокрема напряму досліджень, пов'язаному з удосконаленням робочих органів, методів їх розрахунку, оцінювання технічного стану та підвищенням ефективності технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві.

Науковий рівень та практична цінність дисертації повністю відповідають вимогам пунктів 9, 11, 12, 13 постанови Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів», яка поширюється на осіб, які продовжують здобувати науковий ступінь кандидата наук відповідно до абзацу 3 пункту 3 постанови Кабінету Міністрів України № 567 від 27 липня 2016 року, пунктам 2, 3 та 4 Паспорту спеціальності 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва, постанови ВАК України від 11.05.2005 року №22-08/4, а її автор, Сировицький Кирило Геннадійович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
директор ВСП «Ладизинський фаховий
коледж Вінницького національного
аграрного університету»



Олег ЦУРКАН