

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, професора кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту Полтавського державного аграрного університету Шейченка Віктора Олександровича на дисертаційну роботу Сировицького Кирила Геннадійовича «Обґрунтування методів діагностування технічних параметрів гідравлічних розпилювачів для хімічного захисту рослин», що представлена до спеціалізованої вченої ради Д 23.073.01 Центральноукраїнського національного технічного університету на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами.

Забезпечення високої якості та екологічної безпеки хімічного захисту рослин належить до числа актуальних науково-прикладних завдань. В інтенсивних технологіях ефективність обприскування визначають не лише точністю дозування, а й стабільністю дисперсного спектра, рівномірністю розподілу крапель та дотриманням параметрів факела.

Ключовим елементом гідросистеми обприскувача є розпилювач, який у процесі експлуатації зазнає абразивного зношування й хімічної деградації. Змінення геометрії його сопла спричиняє спотворення витратних характеристик і структури факела. Зазначене негативно позначається на технологічних та екологічних показниках. Ефективність контролю за хвилинними витратами унеможливорює своєчасне виявлення дефектів розпилювання. Не вирішують проблему фізичного зношування вихідного отвору і системи, які регулюють інтегральну подачу робочого розчину.

Встановлення функціонального зв'язку між геометрією сопла та просторовим розподілом робочого розчину відповідає тенденціям науково-технічного прогресу в галузі механізації, які полягають у підвищенні рівня функціонування технічних засобів завдяки комплексній механізації, електрифікації, автоматизації й роботизації. Саме тому запропонований автором напрямок досліджень є актуальним.

Актуальність теми дисертації підтверджується і тим, що дослідження за темою дисертаційної узгоджено із загальними державними науковими програмами: Постановою Президії НААН України «Про пріоритетні напрями наукових досліджень НААН України на 2026-2030 роки»; розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 листопада 2024 р. № 1163-р «Про схвалення Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках»; НДР «Дослідження впливу технічного стану гідравлічних розпилювачів обприскувача на якість виконання технологічної операції обприскування» (ГДТ № 6-11 від 10 листопада 2023 р., Сумський НАУ, м. Суми).

Наукова новизна основних положень і одержаних результатів характеризується системним підходом і базується на досягненнях гідродинаміки дисперсних потоків, технічної діагностики та теорії надійності сільськогосподарських машин.

Цінним для науки є те, що вперше встановлено систему аналітичних залежностей між геометричними параметрами сопла та формою факела, якими враховано дисперсний склад (діаметр) крапель, їхню початкову швидкість,

коефіцієнт витрати та кут факела розпилю. Автором аналітично обґрунтовано та експериментально підтверджено вплив на характер розподілу робочої рідини змінних параметрів сопла гідравлічного розпилювача, що уможливило встановити межі його справного та працездатного станів.

Отримало подальший розвиток спосіб визначення закономірностей впливу експлуатаційних факторів на характеристики розпилення та технічний стан гідравлічних розпилювачів, який на відміну від відомих, дозволяє враховувати динаміку зміни геометричної форми сопла в процесі його деградації.

Автором удосконалено метод та системно обґрунтовано вплив експлуатаційних факторів на характеристики розпилення та технічний стан гідравлічних розпилювачів, який базується на результатах моделювання гідродинаміки факела розпилю і враховує динаміку змінення геометричної форми сопла в процесі його експлуатації. За результатами досліджень удосконалено метод експериментального визначення характеру розподілу робочої рідини по поверхні обробітки, який підвищує точність вимірювань і базується на ваговому контролі рідини на кожній елементарній ділянці поверхні.

Зокрема, здобувачем сформовано систему аналітичних залежностей між геометричними параметрами сопла та характеристиками формування факела з урахуванням ключових факторів – дисперсності крапель, початкової швидкості, коефіцієнта витрати й кута розпилювання. Значним науковим здобутком є встановлений взаємозв'язок між деградацією соплового отвору та зміною коефіцієнта варіації просторового розподілу рідини, що дозволяє вперше перейти від традиційної оцінки стану за інтегральною витратою до повноцінного функціонального критерію. Крім того, отримав подальший розвиток підхід до опису зношування розпилювачів через геометричні трансформації, удосконалено експериментальний метод оцінки розподілу рідини за допомогою локального вагового контролю та здійснено чітке параметричне розмежування технічних станів робочих органів. Отримані результати суттєво розширюють сучасні уявлення про закономірності формування граничного стану щільних гідравлічних розпилювачів і створюють надійну теоретичну основу для їх ефективного діагностування за параметрами, що безпосередньо визначають якість обприскування.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні та впровадженні комплексу технічних, методичних і програмно-імітаційних рішень, спрямованих на суттєве підвищення якості, екологічної безпеки та економічної ефективності виконання технологічної операції внесення засобів захисту рослин шляхом оперативного інструментального контролю геометрії розпилювачів. Головним практичним добутком автора є створення інноваційного лабораторно-технічного стенда та удосконаленого методу експериментального визначення розподілу робочої рідини, який завдяки впровадженню вагового контролю на кожній елементарній ділянці, забезпечує підвищену точність вимірювань і дозволив виявити осередки концентрації розчину.

На основі обґрунтованої аналітичної моделі гідродинаміки, яка комплексно враховує діаметр крапель, їхню початкову швидкість, коефіцієнт витрати і кут факела розпилю, а також верифікованої імітаційної CFD-моделі, встановлено чіткі інженерні рекомендації щодо покрокового відбракування зношених розпилювачів.

Завдяки розвитку методологічних основ, що враховують динаміку деградації форми сопла та доведеній гіперчутливості системи до зношення, визначено межі

його станів за критерієм граничного коефіцієнта варіації. Експериментально доведено неефективність способу компенсації зношення сопел шляхом змінення режимів роботи обприскувача (тиску, швидкості чи висоти штанги), що обґрунтовує обов'язковість регулярних інспекцій за розробленою та валідованою експрес-методикою аналізу 1/2 поверхні обробітку, яка суттєво скорочує час проведення контролю і повністю підтвердила свою ефективність під час польових випробувань для збереження нормативної рівномірності покриття.

Результати досліджень використовують в навчальному процесі Сумського національного аграрного університету. На основі комплексного аналізу технологічних операцій захисту рослин теоретично обґрунтовано та практично реалізовано метод оперативного діагностування щілинних гідравлічних розпилювачів, геометричні зміни сопла яких є визначальними для якості виливу і не можуть бути компенсовані налаштуваннями обприскувача. Шляхом поєднання методів обчислювальної гідродинаміки (CFD) та натурних випробувань на розробленому лабораторному стенді досліджено осередки концентрації рідини й отримано економічний ефект від впровадження розроблених рішень у СТОВ «Промінь», ФГ «РЕЇНЦІ» та ТОВ «Сі-Ен-Ейч Індастріал Україна» у розмірі 353 тис. грн поряд із повною інтеграцією результатів у навчальний процес СНАУ.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є достовірними, обґрунтованими й підтверджені практичною реалізацією. Автором проведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження з використанням розроблених та відомих методик, використані літературні джерела та патентна інформація.

Дисертаційне дослідження побудовано за логічною схемою: аналіз стану задачі, формулювання мети і завдань досліджень, загальні методики та основні методи досліджень, теоретичні основи моделювання гідродинаміки факела розпилу щілинного гідравлічного розпилювача, методика формування розмірних груп щілинних розпилювачів гідравлічного типу, обґрунтування технічних та конструкційних параметрів лабораторного стенду для дослідження щілинних розпилювачів, обґрунтування методики прискореного аналізу характеру розподілу робочої рідини по поверхні обробітку, експериментальні дослідження та перевірка адекватності математичного моделювання роботи щілинного гідравлічного розпилювача. Кожен етап досліджень ґрунтується на об'єктивних даних та закономірностях, які достатньо повно висвітлено в роботі.

Відповідно до актуальності роботи, автором визначено мету та сформульовано задачі дослідження, послідовне вирішення яких уможливило підвищити ефективність хімічного захисту рослин шляхом обґрунтування методу діагностування технічних параметрів сільськогосподарських гідравлічних розпилювачів у процесі їх експлуатації.

Висновки дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими, вони підтверджені необхідною кількістю експериментальних досліджень, котрі проведені як в лабораторних, так і в умовах тривалої виробничої експлуатації.

Перший пункт загальних висновків характеризує низьку ефективність техніко-технологічне забезпечення сучасних методів та підходів до проведення технологічних операцій захисту рослин, що унеможливило повною мірою

здійснювати управління технічним станом гідравлічних розпилювачів і відповідне підвищення економічних показників систем виробництва. Автор відмічає, що Пріоритетним напрямком виглядає розроблення та впровадження комплексу технічних, методичних і програмно-імітаційних рішень, спрямованих на суттєве підвищення якості, екологічної безпеки та економічної ефективності виконання технологічної операції внесення засобів захисту рослин шляхом оперативного інструментального контролю геометрії розпилювачів.

Висновок достовірний, про що свідчить проведений дисертантом аналіз.

Другий висновок сформульовано на підставі проведеного математичного моделювання. Автором встановлено систему аналітичних залежностей між геометричними параметрами сопла та формою факела, якими враховано дисперсний склад (діаметр) крапель, їхню початкову швидкість, коефіцієнт витрати та кут факела розпилу. Автором аналітично обґрунтовано та експериментально підтверджено вплив на характер розподілу робочої рідини змінних параметрів сопла гідравлічного розпилювача, що уможливило встановити межі його справного та працездатного станів, яку обмежує коефіцієнт варіації у 15 %.

Висновок підтверджується проведенням математичним моделюванням.

У висновку третьому наведено результати щодо удосконалення методу, обґрунтування параметрів і режимів роботи стенду для досліджень щільних розпилювачів гідравлічного типу, впровадження у якому вагового контролю на кожній елементарній ділянці, уможливило встановити чіткий взаємозв'язок між геометрією соплового отвору та якістю виконання технологічної операції захисту рослин.

Висновок достовірний, що підтверджують результати досліджень, проведені дисертантом.

Четвертий висновок сформульовано на підставі розвинутих автором методологічних основ закономірностей змінення форми сопла, доведеної чутливості системи до зношення, визначених його станів за критерієм граничного коефіцієнта варіації: область справного стану (ширини соплового отвору (a) – 0,630–0,682 мм, коефіцієнт варіації ≤ 10 %), працездатного з необхідністю заміни у короткий термін ($a = 0,682$ –0,709 мм, коефіцієнт варіації – 10–15 %), непрацездатний стан ($a > 0,709$ мм, коефіцієнт варіації > 15 %).

Висновок достовірний, що підтверджують результати досліджень, проведені дисертантом.

У висновку п'ятому наведено результати аналізу імітаційного моделювання щодо обґрунтування та експериментального підтвердження залежності розподілу робочої рідини по поверхні обробітку від геометрії соплового отвору розпилювача. Автором встановлено закономірності змінення коефіцієнта варіації розподілу рідин. За результатами перевірки адекватності імітаційного моделювання відзначено її статистичну значимість на рівні 0,05, за середньої похибки моделювання – 8,8 %, максимальної – 10,5 %.

Висновок достовірний, що підтверджують результати досліджень, проведені дисертантом.

У шостому висновку розкрито механіко-технологічні підстави забезпечення якості операції внесення засобів захисту рослин і на цій підставі експериментально доведено доцільність застосування методів діагностування 1/2 поверхні обробітку, що скоротило час проведення контролю і підтвердило ефективність за умов

дотримання нормативної рівномірності покриття. Автором визначено річний економічний ефект від впровадження технічних, методичних і діагностичних рішень для щільних гідравлічних розпилювачів під час виконання технологічних операцій захисту рослин у СТОВ «Промінь» Роменського району Сумської області – 120 тис. грн, у ФГ «РЕІНЦІ» Первомайського району Миколаївської області – 98 тис. грн, а у ТОВ «Сі-Ен-Ейч Індастріал Україна» – 135 тис. грн.

Висновок достовірний, що підтверджують результати досліджень, проведені дисертантом.

Усі пункти висновків логічно впливають із результатів досліджень, проведених автором у дисертаційній роботі.

Наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані в результаті досліджень, є достовірними. Це досягається коректним застосуванням положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії механізмів і машин. Підтвердженням цьому є також узгодженість результатів теоретичних та експериментальних досліджень, використання стандартизованих та розроблених самостійно методик досліджень, що адекватно відтворюють умови процесу, який вивчається. Експериментальні дослідження проводились на засадах системного підходу, статистичного опрацювання інформації. Тому висновки у дисертації за № 3-6 слід визнати достовірними, оскільки вони ґрунтуються на використанні апробованих методів із застосуванням сучасних приладів та обладнання.

У період 2011-2026 рр. результати наукової роботи доповідалися і отримали позитивну оцінку на наукових конференціях міжнародного і всеукраїнського значення.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 14 наукових працях, у тому числі: 7 статей у спеціалізованих наукових виданнях (з них 1 стаття у виданні, що включено до міжнародної наукометричної бази даних Scopus), 7 тез у збірниках доповідей наукових конференцій, отримано 1 патент.

Наведені публікації відображають основний зміст дисертації.

Відповідність автореферату основним положенням дисертації. Автореферат дисертації відображає основний зміст роботи, її наукові положення та результати. Висновки автореферату і дисертації повністю ідентичні.

Аналіз змісту дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 159 сторінок, у тому числі 5 додатків на 8 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 140 сторінок, 59 рисунків та 22 таблиць. Список використаних джерел нараховує 112 найменувань на 10 сторінках.

Текст дисертаційної роботи викладений чітко та в логічній послідовності. Матеріал дисертації достатньо проілюстрований схемами, рисунками, графіками і таблицями. Загальні висновки і рекомендації у дисертації впливають з проведених здобувачем досліджень та відображають основні результати роботи. Мова і стиль викладення змісту, оформлення дисертації та автореферату відповідають вимогам, які ставляться до кваліфікаційних наукових праць.

У вступі, відповідно до вимог, обґрунтовано актуальність теми дисертації, розкрита сутність і стан наукової задачі, її значущість, викладено зв'язок роботи з науковими програмами, встановлено об'єкт та предмет дослідження, відображено методи дослідження, сформульовані мета й основні завдання дослідження, визначено наукову і практичну цінність одержаних результатів.

У **першому розділі** (стор. 25-49) наведено аналіз стану задачі, огляд і аналіз досліджень вітчизняних і іноземних авторів. Дисертант відмічає що виникає необхідність у розробленні ефективної, малoresурсоемісної методики та мобільного апаратно-конструкційного забезпечення для експрес-діагностування щільних розпилювачів. Зазначене уможливить встановити чіткі взаємозв'язки між ступенем деградації соплового отвору та якістю захисту рослин і характеризувати справний і граничний стани розпилювачів (за обмеженням $CV \leq 15\%$) безпосередньо на поверхні листка в умовах реального господарства.

Другий розділ (стор. 50-94) присвячено теоретичному та імітаційному моделюванню процесу формування факела на основі багатофазної гідродинаміки. Посидання аналітичного підходу з методом скінченних об'ємів дозволило автору відтворити внутрішню геометрію розпилювача та обґрунтувати розрахункову сітку. Важливим науковим результатом є перехід від локальних параметрів до оцінювання сумарного поперечного розподілу з урахуванням перекриття факелів, що пов'язує гідродинамічну модель із коефіцієнтом варіації.

У **третьому розділі** (стор. 95-118) автором наведено методику експериментальних досліджень із використанням спеціалізованого лабораторного стенда та груп розпилювачів із різним ступенем зношення, що дало змогу верифікувати не лише сумарну продуктивність, а й просторову неоднорідність.

У **четвертому розділі** (стор. 119-138) автором наведено результати експериментів, регресійний аналіз та верифікацію CFD-моделі. Дисертантом відзначено, що квадратична модель продемонструвала високу точність (середня похибка 3,4 %, максимальна – 9,6 %), а застосування емпіричного коригувального коефіцієнта дозволило знизити ці показники до 2,0 % і 2,8 % відповідно. Польові випробування на самохідному обприскувачі Case IH Patriot 3330 підтвердили лабораторні закономірності зменшення якості покриття за умов збільшення зносу соплового отвору.

Використаний автором комплекс теоретичних, чисельних та експериментальних методів є повністю адекватним поставленим завданням

У **висновках** стисло сформульовано основні наукові та практичні результати дисертації. Висновки дисертаційного дослідження відображають сутність роботи, мають належний рівень наукової обґрунтованості та підтверджують суттєвий внесок автора у розвиток методів діагностування технічних параметрів сільськогосподарських гідравлічних розпилювачів у процесі їх експлуатації.

У **додатках** наведено акти впровадження результатів роботи у виробничий процес, опис патенту на корисну модель.

Дисертаційна робота має чітку логічну структуру та витримана в єдиному науково-технічному стилі з використанням коректної термінології у сферах агроінженерії, гідродинаміки й технічної діагностики. Текст якісно ілюстрований схемами, графіками, таблицями, результатами CFD-моделювання та лабораторних експериментів.

Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням, усі запозичення ідей та результатів супроводжуються належними посиланнями на джерела. Наявні окремі редакційні чи термінологічні похибки мають локальний характер, не знижують загального високого рівня роботи.

Зауваження щодо змісту роботи

1. У першому розділі (табл. 1.7) автором детально охарактеризовано широкий комплекс технічних компонентів обприскувача (насос, регулятор, фільтри, арматура тощо). Проте безпосередньо в основній частині досліджень фокус уваги зосереджено переважно на геометричних характеристиках сопла, тоді як вплив технічного стану інших елементів гідросистеми на загальну ефективність розпилювання залишився поза межами детального аналізу.

2. Дещо суперечливим видається різниця в геометричному представленні соплового отвору: на рис. 2.12 його подано у вигляді урізаного з двох боків еліпса, тоді як на рис. 3.4 фронтальний вид представлено прямокутником. За таких умов доцільно уточнити, яким чином відмінність у зазначених геометричних конфігураціях впливає на коректність подальшого порівняння результатів розпилювання.

3. Потребує додаткового пояснення твердження автора щодо того, як саме на основі аналізу 3D-моделі розпилювача (с. 84, рис. 2.10) зроблено висновок про суттєву зміну розмірів соплового отвору саме в його центральній області в процесі зношування.

4. Відзначаючи нелінійне зростання коефіцієнта варіації (CV) після досягнення певного рівня деградації сопла, доцільно було б математично формалізувати поняття «гіперчутливості» (наприклад, через введення показника або відносної чутливості). Зазначене уможливило не лише якісно констатувати прискорення процесу, а й кількісно визначити зону найвищої діагностичної чутливості.

5. Не зважаючи на інформативність експериментальних досліджень щодо підтвердження встановлених закономірностей, для їхньої повної кількісної валідації доцільно було б детальніше представити умови проведення дослідів (повторюваність, метеорологічні показники) та статистичну варіацію результатів між проходами. Такий підхід уможливив більш коректне розмежування внеску технічного стану розпилювача і випадкових зовнішніх факторів у кінцеві показники якості покриття.

6. Визнаючи перехід до аналізу половини поверхні раціональним кроком для зниження трудомісткості, варто зазначити, що замість емпіричного скорочення вимірювань доцільно встановити чіткий критерій мінімізації їх кількості або часу випробувань за умов заданої ймовірності правильної класифікації стану, що дозволило б розробити формалізований оптимальний діагностичний план.

Потребує уточнення алгоритм адаптування розробленої методики до реальних польових умов експлуатації машин із PWM-системами, де робочий тиск і витрати динамічно змінюються в широких межах залежно від швидкості руху агрегату та програм диференційованого внесення.

Відмічені недоліки не знижують наукової та практичної цінності дисертації і не впливають на позитивну оцінку роботи в цілому. За обсягом і змістом дисертація відповідає вимогам МОН України.

Висновок

Дисертаційна робота Сировицького Кирила Геннадійовича виконана на актуальну тему наукових досліджень, основні результати та наукові положення добре обґрунтовані і аргументовані та мають практичну цінність. У роботі успішно розв'язано важливе наукове завдання – підвищено достовірність оцінювання стану щільних гідравлічних розпилювачів завдяки встановленню закономірностей між деградацією геометрії сопла, гідродинамікою факела та рівномірністю розподілу

рідини. Системність досліджень доводить достатній науковий рівень автора та здатність до самостійного проведення наукових досліджень з використанням сучасних методів і технічних засобів. Дисертація характеризується єдністю змісту та сучасною методологією проведення досліджень. За результатами досліджень отримано об'єктивні дані, на основі яких сформульовано висновки, що мають важливе теоретичне і практичне значення. Основні результати в повній мірі опубліковано автором у провідних наукових виданнях та пройшли належну апробацію. Зазначені зауваження та побажання до дисертаційної роботи не знижують її наукової цінності.

Дисертаційна робота Сировицького Кирила Геннадійовича «Обґрунтування методів діагностування технічних параметрів гідравлічних розпилювачів для хімічного захисту рослин» являє собою завершену наукову працю, виконана на належному науковому рівні і за своїм змістом відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, яка поширюється на осіб, що продовжують здобувати науковий ступінь кандидата наук відповідно до абзацу 3 пункту 3 Постанови Кабінету Міністрів України № 567 від 27.07.2016 року, 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,
професор кафедри агроінженерії та
автомобільного транспорту,
Полтавського державного аграрного
університету**

Віктор ШЕЙЧЕНКО

01.10.2026 рік

