

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора, заслуженого діяча науки і техніки України, декана агротехнічного факультету Центральноукраїнського національного технічного університету Сала Василя Михайловича на дисертаційну роботу Бабія Андрія Васильович «Методи розрахунку ресурсу і вдосконалення конструкцій широкозахватних штанг сільськогосподарських обприскувачів», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

### Актуальність теми дисертаційної роботи

Удосконалення машин, які задіяні в технологічних процесах вирощування сільськогосподарської продукції, віднесено до ряду стратегічних цілей низки цільових програм та стратегій розвитку аграрного сектора економіки України. Розвинута тема дисертаційного дослідження направлена на підвищення ефективності роботи машин для хімічного захисту, а саме, штангових обприскувачів. Такі машини заслуговують особливої уваги, оскільки від їх функціональної здатності в значній мірі залежить рівень майбутнього урожаю та його екологічність. Одними з основних критеріїв роботи обприскувачів є дотримання норми внесення робочого препарату на поверхні рослин та своєчасність хімічної обробки. Проблема забезпечення надійності та якості виконання технологічного процесу такими класами машин пов'язана з функціонально-несучими елементами штанги. Низький рівень стабілізації штанги викликає її коливання, що супроводжується значними динамічними навантаженнями, зниженням якості нанесення хімічного препарату на оброблювану площу та розвитком втомних тріщин, що викликають руйнування каркасів секцій. Як наслідок, обприскувач буде простоювати на ремонті і це не дозволить вчасно здійснити технологічну операцію хімічного захисту. Причому, така проблема присутня як для вітчизняних конструкцій обприскувачів, так і для імпортних. Ще одним, не менш вагомим чинником, який має відношення до негативного процесу руйнувань металокаркасів секцій штанг обприскувачів є корозія, яка пришвидшує ріст втомних тріщин.

Суттєво покращити надійність машини в цілому, як і якість та надійність виконання нею технологічного процесу на етапі проектування можна за наявності теорії розрахунку обприскувачів в частині оцінювання ресурсу роботи металокаркасів секцій штанг, яка на даний час розвинена не достатньо. Тому необхідність розробки нових методів для здійснення такої оцінки є очевидною. До того ж розрахункові моделі методів оцінювання ресурсу роботи штанг повинні враховувати специфіку експлуатаційного навантаження, вплив робочих корозійних середовищ, початкову чи набуту дефектність каркасів штанги та вказувати на чинники, на основі яких необхідно проводити вдосконалення конструкції штанги в цілому.

Розв'язок окресленої науково-технічної проблеми **беззаперечно** має

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАНА ДУЛЯ		
Вхідний №	1128-425	
«25»	03	2021 р.
Підпис	[підпис]	

важливе народногосподарське значення і визначає актуальність даного дисертаційного дослідження. Вважаю, що розвинута тема досліджень та отримані результати дисертаційної роботи Бабія А.В. є актуальними.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність і новизна**

Розвинуті наукові положення в повній мірі відображають наукову новизну представленого дисертаційного дослідження. Вони є в основі вирішення науково-практичної проблеми, яка полягає у розвитку теоретичних основ та побудові нових методів оцінювання й прогнозування ресурсу роботи металевих каркасів секцій штанг польових обприскувачів з урахуванням специфіки навантаження та дії корозійних середовищ для підвищення точності таких розрахунків при проектуванні нових та вдосконаленні існуючих конструкцій штанг обприскувачів з метою забезпечення необхідного ресурсу роботи, а також запобігання аварійних поломок при їх експлуатації.

Наукові положення, висновки і рекомендації є достовірними, новими, та достатньо обґрунтованими, що підтверджується отриманими результатами теоретичних і експериментальних досліджень, а також експериментальними випробуваннями в польових умовах та впровадженими результатами у виробництво на підприємствах ТДВ «Львівагромашпроект», ПАТ «Рівнесільмаш», ВАТ «Коломиясільмаш». Окремі запатентовані рішення та рекомендації щодо підвищення ефективності експлуатації обприскувачів застосовують в агрофірмах ПСАФ «Нічлава», ТОВ «Україна». Частково матеріали дисертації використовуються у навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

У першому висновку наведено результати власних досліджень, на основі яких вибирають допустиму амплітуду коливання штанги, не порушуючи допустимого відхилення ( $\pm 10\%$ ) нерівномірності норми виливу робочого препарату відповідно до агротехнічних вимог.

У другому висновку вказано на те, що недостатня стабілізація штанги при роботі в експлуатаційних корозійно-агресивних середовищах пришвидшує розвиток корозійно-втомних тріщин. Тут представлені результати впливу середовища інсектициду Нурел Д та рідкого комплексного добрива КАС-32 на швидкість поширення корозії у металі каркасу секції штанги у порівнянні із швидкістю корозії у демінералізованій воді. А також результати імпедансних випробувань фарбового захисного покриття даних металокаркасів.

У третьому висновку приведені результати опору корозійно-втомному руйнуванню матеріалу каркасу штанги із сталі Ст3пс в названих вище середовищах та у порівнянні з повітрям. Представлені числові результати зниження умовної границі втоми металу та параметри циклічної тріщиноотривкості в цих середовищах.

У четвертому висновку вказано на те, що оригінальна розрахункова модель для визначення ресурсу роботи елементів широкозахватних штанг польових обприскувачів зі сталі Ст3пс, які піддані циклічним коливанням під

час виконання робочого процесу обприскувачем побудована на основі фундаментальних положень сучасної теорії втоми матеріалів та відомого енергетичного підходу в механіці заповільненого руйнування дозволяє встановити, що найбільший період росту втомої тріщини буде на ділянці, коли має місце наскрізна тріщина в стінці цього елемента. І цей період можна вважати як визначальний, що може змінювати залишковий ресурс штанги залежно від початкового розміру дефекту.

П'ятий висновок стосується можливості використання розробленого методу дослідження ресурсу роботи металоконструкції штанги для встановлення найбільш руйнівного режиму навантаження та результатів розрахунку залишкової довговічності штанги за максимальних амплітуд такого навантаження.

У шостому висновку подано основну характеристику сформульованої розрахункової моделі для визначення ресурсу роботи широкозахватної штанги польового обприскувача з урахуванням експлуатаційних силових і фізико-хімічних чинників (згинальні коливання штанги і дія корозійного середовища розчину інсектициду Нурел Д), яка базується на положеннях теорії корозійно-втомоного руйнування, а саме, електрохімічної корозії, а також енергетичного підходу в механіці заповільненого руйнування елементів конструкцій. За розробленою методикою встановлені значення ресурсу для елемента штанги конкретних розмірів та характеру навантаження.

У сьомому висновку вказано на те, що на основі розробленого методу розрахунку залишкового ресурсу широкозахватної штанги польового обприскувача при маневровому режимі навантаження та дії корозійного середовища розчину інсектициду Нурел Д, визначено, що залишковий ресурс штанги може знижуватися майже в 5 разів.

У восьмому та дев'ятому висновку наведено результати за аналізом розв'язків побудованих динамічних моделей роботи нової конструкції підвіски, яка є наслідком вдосконалення конструкції штанги, для підвищення її стабілізаційних властивостей та зменшення напруженого стану в окремих перетинах. А також основні результати дослідження можливостей виникнення близькорезонансних режимів роботи такої підвіски відповідно до експлуатаційних режимів навантаження обприскувача.

У десятому висновку вказано на побудову динамічної моделі для аналітичного дослідження згинальних коливань секцій штанги у поперечно-вертикальній площині з урахуванням особливостей конструкції розробленої підвіски штанги обприскувача та характеру навантаження на основі технічної теорії згинальних коливань призматичних стержнів, яка дозволяє визначити прогин штанги в будь-якому перетині при дії навантаження.

Одинадцятий висновок характеризує розроблений метод розрахунку для оцінювання залишкового ресурсу конструктивно покращеної штанги, яка кріпиться через гасники коливань, і знаходиться під дією корозійного середовища та маневрового режиму навантаження обприскувача. Зроблено висновки щодо зниження ресурсу за таких умов роботи для конкретних параметрів штанги та наведено рекомендації для його підвищення.

У дванадцятому висновку окреслено основні результати проведених експериментальних досліджень, виконано порівняльні оцінки та зроблено констатацію про впровадження результатів дисертаційного дослідження на виробництві.

### **Значимість одержаних результатів для науки та виробництва**

**Значимість одержаних результатів для науки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в отриманні нових експериментальних і теоретичних підходів та методів розрахунку ресурсу штанг широкозахватних сільськогосподарських обприскувачів з урахуванням експлуатаційних силових та фізико-хімічних чинників. За результатами досліджень встановлено механізми корозійного руйнування у досліджуваних системах метал каркасу секції штанги обприскувача – середовище насичених розчинів інсектициду Нурел Д і рідкого комплексного добрива КАС-32 з використанням адаптованих методів поляризаційних та імпендансних випробувань. Виконано оцінку впливу насичених розчинів інсектициду Нурел Д і рідкого комплексного добрива КАС-32 на втомну та корозійно-втомну довговічність сталі СтЗпс каркасу секції штанги, а також на характеристики її тріщиностійкості за циклічного навантаження у цих корозійно-активних середовищах. Використовуючи основні положення сучасної теорії втоми матеріалів і відомий енергетичний підхід, побудовано оригінальну розрахункову модель визначення ресурсу елементів широкозахватних штанг польових обприскувачів за циклічних експлуатаційних навантажень. Сформульовано метод розрахунку залишкового ресурсу штанги польового обприскувача за маневрового режиму навантаження на основі відомого енергетичного підходу в механіці уповільненого руйнування елементів конструкцій; запропоновано оригінальну розрахункову модель визначення ресурсу роботи широкозахватної штанги польового обприскувача за комплексного впливу експлуатаційних силових і фізико-хімічних чинників на основі положень теорії корозійно-втомного руйнування, зокрема електрохімічної корозії та енергетичного підходу втомного руйнування. сформульовано метод розрахунку залишкового ресурсу широкозахватної штанги польового обприскувача за фундаментальним енергетичним підходом уповільненого втомного руйнування та навантаженні металоконструкції при маневровому режимі з урахуванням дії корозійного середовища розчину інсектициду Нурел Д. Розроблено нову конструкцію підвіски штанги, яка підвищує її стабілізаційні властивості при збуренні коливань різними агрофонами, для якої побудовано оригінальні динамічні моделі за різних режимів навантаження обприскувача, зокрема при маневровому режимі, встановлено параметри її ефективної роботи. Отримано фундаментальні результати корозійно-механічного руйнування металевих матеріалів і елементів конструкцій на основі розробленого методу визначення залишкового ресурсу конструктивно покращеної штанги, яка кріпиться через гасники коливань, та встановлено питомі впливи нерегулярних навантажень, що виникають від нерівностей поля, на ресурс штанги в цілому.



**Значимість одержаних результатів для виробництва.** На основі розроблених методів визначення ресурсу штанг широкозахватних сільськогосподарських обприскувачів з урахуванням експлуатаційних силових і фізико-хімічних чинників сформульовані методики такого оцінювання вказаних металокаркасів, які застосовуються, найперше, при проектуванні нових конструкцій штанг та удосконаленні існуючих. Загалом такий підхід дозволить підвищити показники надійності та довговічності сільськогосподарських обприскувачів.

Проведені експериментальні дослідження на основі розроблених методик дозволили визначити ряд показників, що стосуються швидкості кородування сталі Ст3пс каркасу секції штанги у середовищах робочих розчинів, якість та довговічність захисного фарбового покриття, нанесеного в умовах виробництва, опір корозійно-втомному руйнуванню даної сталі, параметри циклічної тріщиностійкості в експлуатаційних середовищах. При проведенні лабораторних та польових досліджень різних типів обприскувачів та конструктивних виконань їх штанг отримано дійсні значення НДС елементів конструкції та низку динамічних показників, які введено в теоретичні розрахунки як вихідні дані.

На основі виконаних аналітичних та експериментальних досліджень розроблено та виготовлено нову ефективну підвіску штанги обприскувача, яка успішно пройшла польові випробування в конструкції штанги обприскувача ОПШ-3524 на полях ПП «Вікнини». Матеріали теоретичних основ, методики розрахунків та проведення експериментальних досліджень передані й використовуються конструкторським відділом ТДВ «Львівагромашпроект» – виробником обприскувачів для їх конструювання та модернізації. Розроблені методи визначення ресурсу роботи металокаркасів з урахуванням специфіки експлуатаційного навантаження передані й використовуються КБ ПАТ «Рівнесільмаш», ВАТ «Коломиясільмаш». Окремі запатентовані рішення та рекомендації щодо підвищення ефективності експлуатації обприскувачів застосовують в агрофірмах ПСАФ «Нічлава», ТОВ «Україна».

### **Оцінка змісту дисертації, повнота викладу основних наукових положень, висновків і рекомендацій в наукових працях**

Дисертаційна робота Бабія Андрія Васильовича на тему “Методи розрахунку ресурсу і вдосконалення конструкцій широкозахватних штанг сільськогосподарських обприскувачів” є закінченою науковою працею, яка направлена на вирішення важливої науково-технічної проблеми, яка у розвитку теоретичних основ та побудові нових методів оцінювання й прогнозування ресурсу роботи металевих каркасів секцій штанг польових обприскувачів з урахуванням специфіки навантаження та дії корозійних середовищ для підвищення точності таких розрахунків при проектуванні нових та вдосконаленні існуючих конструкцій штанг обприскувачів з метою забезпечення необхідного ресурсу роботи, а також запобігання аварійних поломок при їх експлуатації. Отримані результати належно теоретично

обґрунтовані та експериментально перевірені.

Результати досліджень з достатньою повнотою у встановлені терміни відображено і оприлюднено в 51 опублікованій за темою дисертації праці, з них 25 статей у фахових наукових журналах та збірниках наукових праць, у тому числі 6 публікацій у наукових виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та/або Web of Science, 13 деклараційних патентів на корисну модель, 13 тез доповідей наукових конференцій, з них 2 у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз.

Автореферат відповідає вимогам оформлення, а також змісту дисертації.

У матеріалах докторської дисертації Бабія А.В. відсутні наукові результати, положення, одержані ним в кандидатській дисертації.

Дисертаційна робота на тему «Методи розрахунку ресурсу і вдосконалення конструкцій широкозахватних штанг сільськогосподарських обприскувачів» відповідає паспорту спеціальності 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва та профілю спеціалізованої вченої ради Д58.052.02.

Дисертація складається з анотації, вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Основний зміст викладено на 356 сторінках друкованого тексту. В роботі 172 рисунки, 28 таблиць, а також 5 додатків. Список використаних джерел містить 300 найменувань. Загальний обсяг дисертації – 465 сторінок. Мова і стиль викладення, оформлення дисертації та автореферату відповідають вимогам, які ставляться до кваліфікаційних наукових праць.

**У вступі** обґрунтовано актуальність і важливість проблеми удосконалення функціонально-несучих систем штанг польових обприскувачів на основі розробки нових експериментальних і теоретичних підходів та методів розрахунку ресурсу штанг широкозахватних сільськогосподарських обприскувачів з урахуванням експлуатаційних силових та фізико-хімічних чинників, сформульовано мету та задачі досліджень, викладено зв'язок роботи з науковими програмами, визначено об'єкт та предмет досліджень, відображено методи дослідження, сформульовано наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, приведено дані про апробацію досліджень і публікації, що відображають основний зміст роботи.

**У першому розділі** на основі аналізу літературних та цифрових джерел інформації проведено дослідження способів та методів захисту рослин, зроблено уточнення їх класифікації. За виявленою ключовою роллю хімічного захисту в загальній технології захисту рослин наведено узагальнення агротехнічних вимог до обприскувачів – сільськогосподарських машин, які обслуговують даний технологічний процес.

Для забезпечення високої ефективності роботи обприскувачів з мінімальними екологічними ризиками розглянуто фактори, що впливають на технічну ефективність обприскування. Серед факторів виділено роботу розпилюючих пристроїв, розглянуто їх типи, зроблено аналіз спектру розпилу робочої рідини та встановлено взаємозв'язок між висотою їх розміщення над об'єктом обробки та можливістю осідати на цю поверхню. Крім обприскування

пестицидами, окремо розглянуто роботу обприскувачів при внесенні рідких комплексних добрив, зокрема типу КАС. Іншим фактором, що впливає на технічну ефективність обприскування є забезпечення постійності відстані між розпилювачами та об'єктом обробки, тобто вплив коливання штанги на цей процес. З цією метою розглянуто основні типи підвісок штанги, які використовуються на сучасних конструкціях обприскувачів.

Ще одним важливим фактором виділено своєчасність проведення хімічного захисту. Відхилення часового проміжку виконання цієї технологічної операції нівелює досягнуті ефекти, які вказані вище. Звідси випливає, що обприскувачі повинні мати високий коефіцієнт готовності до роботи. Виходячи з цього, зроблено аналіз дефектів, що найчастіше зазнають конструкції обприскувачів. Серед конструктивних елементів обприскувача штанга з розпилювачами має найбільшу питому вагу в переліку елементів схильних до зниження загального ресурсу машини. Проблема втомного руйнування металоконструкції каркасу секції штанги ускладнюється дією робочого середовища, що впливає на корозійні процеси та швидкість поширення тріщин, що підтверджується зібраними фактами при експлуатації обприскувачів.

На основі зібраного та проаналізованого матеріалу щодо поломок каркасів штанг та встановлених причин таких руйнувань сформульовані основні задачі дисертаційного дослідження, які вирішуються в роботі для досягнення поставленої мети.

**В другому розділі** оцінено корозійну стійкість сталі Ст3пс металокаркасу секції штанги у демінералізованій воді та насичених розчинах інсектициду Нурел Д і рідкого комплексного добрива КАС-32. Наведено результати корозійних, поляризаційних та імпедансних випробувань, встановлено механізми корозійного руйнування у досліджених системах метал-середовище. Показано, що за локального порушення пасивності поверхні металу інтенсивно утворюються корозійні пітинги, що небезпечно через можливий їх розвиток та зародження у конструкції тріщиноподібних дефектів.

Результати експериментальних випробувань використано у наступних розділах (3–5), зокрема для прогнозних розрахунків працездатності та залишкової довговічності каркаса штанги обприскувача за дії експлуатаційних навантажень.

**У третьому розділі** наведено методики та оцінено вплив експлуатаційних середовищ на втомну та корозійно-втомну довговічність сталі Ст3пс, а також на характеристики її тріщиностійкості за циклічного навантаження у повітрі та корозійно-активних середовищах. Проаналізовано фрактографічні ознаки впливу корозійно-активних середовищ на особливості втомного руйнування зразків зі сталі Ст3пс, що експлуатуються тривалий час.

Результати експериментальних випробувань використано у наступних розділах (4 та 5) дисертації, зокрема для оцінювання залишкового ресурсу широкозахватної штанги польового обприскувача за дії експлуатаційних навантажень та корозійно-активних середовищ.

**У четвертому розділі** автор встановив, що однією з основних причин виходу з ладу машин для хімічного захисту рослин є перевантаженість їх

окремих елементів в результаті недосконалості конструкції, що викликає недостатній запас втомної міцності елементів їх несучих систем.

В параграфах розділу викладені деякі із основних концепцій теорії втоми матеріалів і визначення ресурсу елементів мобільних машин.

З допомогою проведених фундаментальних досліджень в даному розділі і побудовано розрахункові моделі для визначення ресурсу (залишкового ресурсу) елементів несучих каркасів секцій штанг обприскувачів, зокрема, найбільш навантаженої семисекційної штанги обприскувача. Побудовано розрахункову модель визначення ресурсу роботи для найслабшого елемента каркасу секції штанги при циклічному його навантаженні та за максимальних амплітуд. В основі методу покладено фундаментальні положення сучасної теорії втоми матеріалів і відомий енергетичний підхід. Автором отримано залежності швидкості росту втомної тріщини, на основі яких знайдено значення розрахункового ресурсу штанги при максимальних амплітудах циклічного згину.

Розглянута задача визначення залишкового ресурсу елемента штанги, що має початковий дефект. Тут отримано математичні залежності швидкості росту тріщини на кожній із виділених стадій її поширення, аж до повного руйнування зразка.

Також в розділі сформульовано метод визначення залишкового ресурсу штанги польового обприскувача при маневровому режимі навантаження, тобто при різних амплітудах напружень елемента. Встановлено значення ресурсу для конкретних параметрів штанги.

**У п'ятому розділі** вказано на те, що на даний час існує багато різних методів протикорозійного захисту металевих конструкцій, проте вони не є ще достатньо досконалими щодо тривалої експлуатації, особливо при змінних в часі навантаженнях. В таких випадках корозійно стійкі покриття, якими захищають металеві елементи конструкцій руйнуються і корозійно активне середовище починає контактувати з основним металом. Це призводить до хімічних і електрохімічних реакцій, які спричиняють руйнування металу. Тому розробка методів прогнозування ресурсу елементів конструкцій, зокрема широкозахватних штанг польових обприскувачів, в умовах сумісної дії змінних в часі навантажень і корозійно-агресивних середовищ має важливе значення для безпечної і надійної їх експлуатації. Цим питанням і присвячений даний розділ дисертації, де викладені методи розрахунку ресурсу широкозахватних штанг за дії маневрових навантажень і корозійно-агресивних середовищ.

В розділі розглянуто основні положення теорії корозійно-втомного руйнування, зокрема електрохімічної корозії, де встановлено впливи на швидкість поширення таких тріщин. Тоді на основі енергетичного підходу в механіці уповільненого руйнування елементів конструкцій, сформульовано розрахункову модель для визначення ресурсу широкозахватної штанги польового обприскувача з урахуванням експлуатаційних силових і фізико-хімічних чинників Тут ресурс штанги представлений як сума періодів зародження й докритичного росту тріщини в найслабшому елементі штанги. При заданих можливих експлуатаційних умовах знайдено ресурс штанги та зроблені



висновки щодо його підвищення.

Інша модель розрахунку залишкового ресурсу широкозахватної штанги враховує маневровий режим навантаження та дію корозійного середовища, де за основу використано відомий раніше енергетичний підхід. При визначенні залишкового ресурсу широкозахватної штанги із СтЗпс, встановлено що при експлуатації обприскувача в таких умовах відбувається зменшення залишкового ресурсу штанги майже у 5 разів.

Також на основі досягнутих результатів теоретичного опису методів оцінювання ресурсу металевих каркасів штанг та при врахуванні дії корозійних середовищ, розроблено метод розрахунку для визначення залишкового ресурсу конструктивно покращеної штанги, яка кріпиться через гасники коливань, що практично згладжують такі коливання, а тільки враховується тут дія поодиноких поштовхів від перешкод чи нерівностей поля, де в результаті розрахунку показано, що навіть для відносно стабільного ходу штанги нерівності поля можуть також знизити її залишковий ресурс. Наведено результати та надано рекомендації для підвищення ресурсу.

**У шостому розділі** виконано ряд досліджень, що стосуються визначення нерівномірності внесення робочого препарату на ефективну оброблювану площу розпилюючими пристроями в залежності від висоти розміщення штанги над об'єктом обробки та її положенням в горизонтальній площині.

З метою підвищення стабілізації штанги розроблено нову конструкцію підвіски, складено динамічну модель її роботи на різних режимах навантаження обприскувача, зокрема при маневровому режимі, зроблено порівняльний аналіз ефективності її роботи з аналогами. Проведено дослідження можливості виникнення резонансних режимів та охарактеризовано віброізоляційні властивості даної конструкції підвіски.

На основі технічної теорії згинальних коливань призматичних стержнів побудовано модель для аналітичного дослідження згинальних коливань секцій штанги у поперечно-вертикальній площині з урахуванням особливостей конструкції розробленої підвіски штанги обприскувача.

**У сьомому розділі** описано програму та методики проведення експериментальних досліджень, які направлені на виявлення динамічних характеристик та напруженого стану штанг обприскувачів різних типів на натурних зразках. А також розроблено методику проведення напівнатурного експерименту дослідження аналогічних характеристик для розробленої підвіски штанги в лабораторних умовах на експериментальному зразку підвіски та з використанням стендового обладнання, що імітує польові нерівності при русі обприскувача.

Крім того, розроблено методики тарування тензометричного обладнання для встановлення фактичних тарувальних коефіцієнтів, проведено статистичну обробку отриманих результатів досліджень.

### **Зауваження по автореферату**

1. На сторінці 12, у формулі 1 та поясненні до неї різні позначення

- складових N і п.
2. На рисунку 14 висота встановлення штанги задана в метрах, а на зображенні значення від 8 до 92.
  3. На рисунку 17, 4 – по тексту рухома ланка, а на зображенні не рухома.
  4. На рисунках 20 та 21 інформація представлена у важко доступному для сприйняття вигляді

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. В першому розділі серед теоретичних передумов розрахунку обприскувача наведено тільки одну методику оцінювання ефективності обприскування, бажано було б навести відомості щодо ресурсних розрахунків штанг обприскувачів.

2. Встановлено, що розпилюючі робочі органи мають пряме відношення до якості нанесення робочого препарату на поверхні рослин, але в подальших моделях розрахунку ступінь їх дефектності не враховується.

3. Чому при виявленні експлуатаційних середовищ, які впливають на поширення корозії в металі каркасу секції штанги вибрані для досліджень три, а саме – демінералізована вода, інсектицид Нурел Д та рідке комплексне добриво КАС-32 .

5. Третій розділ дисертації дещо переобтяжений аналізом мікроособливостей руйнування зразків у відповідних середовищах.

6. В четвертому розділі зроблений детальний аналіз стану теоретичних засад щодо втомного руйнування елементів конструкції, які розвинуті іншими дослідниками, але не чітко виділено напрям розвитку розробленої автором теорії, на основі якої побудовані методи.

7. В роботі розглядаються моделі, в яких зароджуються тільки поверхневі тріщини, доцільно було б порівняти результати, наприклад, значень залишкового ресурсу роботи при розвитку інших видів тріщин.

8. В розрахункових моделях розділу 5 використовуються коефіцієнти інтенсивності напружень  $K_I$  і не враховано інших видів деформації, які виражаються коефіцієнтами  $K_{II}$ ,  $K_{III}$  .

9. В розділі 6 при представленні графічних залежностей на рис. 6.2-6.6 не до кінця зрозуміла методика їх побудови та визначення допустимої амплітуди коливання штанги обприскувача.

10. При проведенні експериментальних досліджень на різних типах обприскувачів чи не розглядалася можливість внесення до переліку змінних впливових факторів рівень заповнення бака робочою рідиною.

11. Значна увага в роботі приділена кількісному аналізу нерівномірності розподілу робочої рідини по ширині захвату штанги та напряму руху машини при вертикальних та горизонтальних коливаннях. Бажано було б привести інформацію щодо методики отримання числових значень представлених показників у польових умовах.

12. Висновки є достатньо інформативними, але їх можна було б подавати

в більш лаконічній формі, а окремі, як 4-й та 5-й об'єднати.

### Висновок

Дисертаційна робота Бабія Андрія Васильовича на тему «Методи розрахунку ресурсу і вдосконалення конструкцій широкозахватних штанг сільськогосподарських обприскувачів» виконана на належному науковому рівні з використанням сучасних методик проведення аналітично-емпіричних досліджень є завершеною науковою працею, вирішує важливу науково-технічну проблему, яка полягає у розвитку теоретичних основ та побудові нових методів оцінювання й прогнозування ресурсу роботи металевих каркасів секцій штанг польових обприскувачів.

Наведені зауваження не знижують наукової та практичної цінності проведених досліджень.

За своєю актуальністю, новизною, теоретичним та практичним значенням представлена робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. зі змінами і доповненнями, а її автор Бабій А.В. заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,

декан агротехнічного факультету

Центральноукраїнського національного  
технічного університету

Підпис В. Сала засвідчує,

проректор ЦНТУ з наукової роботи,

доктор економічних наук, професор



В. Сало

О. Левченко