

## ВІДГУК

**офіційного опонента, професора, доктора технічних наук, декана факультету сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету Сала Василя Михайловича на дисертаційну роботу Поповича Павла Васильовича «Методи оцінки ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з врахуванням впливу агресивних середовищ», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва**

### **1. Актуальність теми дисертаційної роботи.**

Розвиток вітчизняного машинобудування є базовою передумовою подолання кризових явищ в економіці країни. Імплементация угоди про зону вільної торгівлі з Європейським Союзом потребує переведення промисловості, зокрема сільськогосподарського виробництва, за рахунок необхідного рівня технічного і технологічного забезпечення на якісно новий рівень господарювання. Зміни, які відбулися в Україні за час незалежності призвели до знищення багатьох машинобудівних підприємств. Однією з вагомих причин втрати позицій при створенні конкурентної сільськогосподарської техніки є відсутність системних напрацювань з проблематики надійності та довговічності несучих металоконструкцій сільськогосподарської техніки. Спрацьованість матеріально-технічної бази сільськогосподарських підприємств та використання фізично і морально застарілої техніки є одним з основних чинників втрат врожаїв. Відомо, внаслідок сумісного впливу атмосферної корозії і механічних навантажень виходить з ладу значна кількість деталей машин, в яких частка поломок від робочих перевантажень внаслідок втрати міцності від корозійних пошкоджень переважає, причому одними із найнебезпечніших чинників, які призводять до відмов сільськогосподарської техніки, є корозійно - механічні руйнування базових вузлів сільськогосподарської техніки протягом їхньої роботи на полях та при зберіганні, враховуючи сезонність роботи.

Підвищення вимог для забезпечення показників продуктивності, металоємності, надійності машин для внесення добрив пов'язане з забезпеченням міцності і довговічності їхніх систем, вузлів і агрегатів. Необхідність скорочення термінів проектування нової техніки, високі витрати на проведення експериментальних досліджень підвищують значення розрахунково - експериментальних методів з оцінки міцності конструкцій. Незважаючи на існуючі дослідження впливів процесів корозії на зниження надійності сільськогосподарських машин, в даній галузі наукових досліджень залишається велика кількість проблем, які потребують поглибленого вивчення, зокрема, недостатньо вивчено проблематику розвитку корозійно - втомних пошкоджень в середовищах добрив. На сьогодні можливості методів оцінки ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з врахуванням агресивно - експлуатаційних факторів використовуються не в повній мірі.



Розробка аналітичних основ і розрахунково експериментальних методів оцінки ресурсу несучих систем машин вказаного класу з врахуванням впливу агресивних середовищ є складним науковим завданням, яке вимагає поглибленого аналізу питань теорії розрахунків на міцність несучих систем машин, обґрунтування нових розрахункових моделей, розробку і вдосконалення математичних методів, що в сукупності є значною науково - технічною проблемою, яка має важливе наукове та народногосподарське значення, а тема дисертації є цілком актуальною.

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

Основні наукові положення повністю відображають наукову новизну одержаних результатів. Наукові положення мають високий рівень новизни і є теоретичними основами вирішеної в дисертаційній роботі наукової проблеми оцінки і підвищення ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з урахуванням впливу агресивно - експлуатаційних факторів, що дало змогу отримати результати, які, в основному, вирішують дану проблему.

Наукові положення, висновки і рекомендації є достовірними, новими, та достатньо обґрунтованими, що підтверджується одержаними результатами теоретичних і експериментальних досліджень, а також експериментальними випробуваннями та впровадженням у виробництво на підприємствах ПАТ «Ковельсьільмаш», ПАТ «Рівнесільмаш», ВАТ «Коломиясьільмаш».

У першому висновку на основі проведених досліджень запропоновано методи розрахунку ресурсу несучих систем мобільної сільськогосподарської техніки з позицій механіки корозійно - втомного руйнування під впливом агресивно - експлуатаційних факторів

У другому висновку зазначено, що розроблено нову модель процесів корозії у тріщинах несучих систем розкидачів добрив, яка описує нестационарний потік водню в метал як функцію концентрації іонів в електроліті, навантаженості та стандартного електродного потенціалу металу.

У третьому висновку наводиться інформація про побудову на основі першого закону термодинаміки нерівноважних станів моделі для визначення періоду докритичного росту корозійно-механічних наскрізних тріщин в тонкостінних елементах конструкцій при сумісній дії статичних навантажень і агресивних середовищ з адаптацією до двох видів корозійного впливу робочого середовища – для неефективних та ефективних анодних процесів.

Четвертий висновок стосується розробки аналітичної моделі для визначення залишкового ресурсу тонкостінних елементів металоконструкцій з наскрізними тріщинами при дії циклічної навантаженості і агресивних середовищ добрив на основі положень термодинаміки нерівноважних процесів і механіки втомного поширення тріщин.

У п'ятому висновку вказано, що одержано сукупність математичних співвідношень у вигляді нелінійного диференціального рівняння в часткових похідних з початковими і кінцевими умовами, які дозволяють визначати ресурс роботи елементів несучих систем з поверхневими тріщинами при дії циклічних навантажень і корозійно-експлуатаційних середовищ.



Шостий висновок інформує про базові положення методики визначення ресурсу тонкостінних несучих систем розкидачів добрив за умов їх експлуатації, розкриває застосування методики на прикладах циклічного згину несучих елементів на повітрі, в розчині нітрофоски і змішаній гноївці у залежності від корозійно - експлуатаційних факторів.

У сьомому висновку вказано, що на основі розробленого нового ефективного методу обчислення КІН при довільному навантаженні поверхневих тріщин, проведено розрахунок ресурсу основних елементів закритих профілів металоконструкцій розкидачів при циклічному згині, побудовано залежності ресурсу прямокутної і круглої труб від величини зовнішнього навантаження з урахуванням особливостей зародження корозійно - втомних тріщин.

У восьмому висновку приведено методику і результати польових досліджень фактичного НДС несучої металоконструкції причіпного розкидача добрив ПРТ – 10.

У дев'ятому і десятому висновках узагальнено результати експериментальних досліджень впливу агресивних середовищ добрив на характеристики циклічної тріщиностійкості та втомної міцності матеріалів тримких елементів розкидачів добрив.

У одинадцятому, дванадцятому і тринадцятому висновках приведено результати досліджень електрохімічної і корозійної поведінки якісних сталей і звичайних в агресивних середовищах мінеральних і органічних добрив, дощівки.

Чотирнадцятий і п'ятнадцятий висновки присвячені результатам розрахунково – експериментальних досліджень довговічності несучої системи розкидача добрив РТД – 9 і її модернізації, а також впровадження у виробництво результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

Зауваження до висновків:

Окремі висновки доцільно було б об'єднати, як приклад, результати досліджень електрохімічної і корозійної поведінки сталей можна представити у одному висновку.

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

**Значимість одержаних результатів для науки.** Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що на основі проведеного комплексу наукових досліджень вперше розроблено теорію процесів руйнувань несучих систем причіпних розкидачів добрив в умовах дії експлуатаційних циклічних навантажень і корозійно - агресивних середовищ.

На основі законів термодинаміки нерівноважних станів розроблено розрахункову модель визначення періоду докритичного росту наскрізних тріщин в тонкостінних елементах конструкцій при сумісній дії статичних навантажень і корозійно - агресивних сільськогосподарських середовищ для двох видів корозійних впливів: для випадку ефективних та неефективних анодних процесів. Розроблено аналітичну модель для визначення залишкового ресурсу тонкостінних несучих систем розкидачів добрив з наскрізними тріщинами при дії циклічних навантажень і корозійно - агресивних середовищ,



яка базується на законах термодинаміки і положеннях механіки втомного поширення тріщин. Отримано сукупність математичних співвідношень у вигляді нелінійного диференціального рівняння в часткових похідних з обґрунтованими початковими і кінцевими умовами для визначення ресурсу при дії корозійно - експлуатаційних сільськогосподарських середовищ на елементи конструкцій з поверхневими тріщинами у трьохвимірних тілах, запропоновано ефективний метод розв'язку вказаної задачі. Сформульовано основні положення методики оцінки ресурсу несучих металоконструкцій розкидачів добрив при експлуатаційних умовах з адаптацією для застосування при визначенні залишкового ресурсу типових для с/г машинобудування відкритих профілів в робочих середовищах. Розроблено методику обчислення довговічності несучих елементів замкнутих профілів металоконструкцій розкидачів добрив з урахуванням особливостей зародження корозійно - втомних тріщин на поверхнях при циклічному навантаженні в агресивних середовищах добрив. За результатами досліджень запропоновано наукову концепцію розрахунково - експериментального прогнозування і оцінки ресурсу несучих систем причіпних розкидачів добрив з врахуванням фактичних експлуатаційних умов.

**Значимість одержаних результатів для виробництва.** Запропоновані методи та отримані результати мають прикладне значення і дають змогу виконати оцінку ресурсу з визначенням раціональних параметрів та матеріалів несучих систем причіпних машин для внесення добрив при урахуванні впливу агресивно - експлуатаційних факторів, що дає змогу покращити показники міцності і довговічності, підвищити корозійну стійкість розкидачів. Отримані наукові і практичні результати, методики і рекомендації впроваджено на ПАТ «Ковельсьільмаш», ПАТ «Рівнесільмаш», ВАТ «Коломиясьільмаш».

#### **4. Оцінка змісту дисертації.**

Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, загальних висновків, переліку посилань із 322 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертації – 443 сторінки (основний текст – 360 машинописних сторінок, 133 рисунки, 50 таблиць). Мова і стиль викладення, оформлення дисертації та автореферату відповідають вимогам, які ставляться до кваліфікаційних наукових праць.

**У вступі** обґрунтовано актуальність і важливість проблеми розробки теоретичних основ і розрахунково - емпіричних методів оцінки ресурсу причіпних машин для внесення добрив з урахуванням впливу агресивно - експлуатаційних факторів, 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** проведено аналіз стану проблеми, огляд і аналіз



літературних джерел. Досліджена проблематика надійності несучих систем мобільних сільськогосподарських машин. Визначено особливості корозійних пошкоджень металоконструкцій сільськогосподарської техніки. Проаналізовано вплив корозійно - експлуатаційних факторів на ресурс елементів металоконструкцій машин для внесення добрив. Встановлено, що при спільних впливах на несучу здатність агресивних робочих середовищ і експлуатаційної навантаженості внаслідок корозійних руйнувань з ладу виходять значна частина мобільних с/г машин. Показано, що недоліками оцінки експлуатаційної надійності і довговічності розкидачів добрив є неврахування впливу агресивних середовищ добрив. Встановлено, що на сьогодні за діючою нормативною документацією не визначено критерії та не розроблено ефективних методик оцінки ресурсу роботи машин для розкидання добрив з урахуванням впливу експлуатаційної корозійно - втомної дефектності. Незважаючи на значний об'єм досліджень, закономірності зародження і розвитку дефектності в несучих системах сільськогосподарських машин з урахуванням агресивних робочих середовищ, фізичної природи відмов, розвитку втомних дефектів при фактичних експлуатаційних навантаженнях вивчені недостатньо. У розділі доведено, що дослідження процесів зародження і розвитку корозійно - втомних пошкоджень розширюють коло питань, пов'язаних з нормуванням показників надійності і довговічності, допустимої дефектності в металоконструкціях несучих структур розкидачів добрив. За результатами аналізу досліджень оцінено стан проблеми та сформульовано мету і завдання дисертації.

Зауваження до першого розділу:

розділ перевантажено загальною інформацією (п. 1.1. Тенденції...);  
доцільною була б класифікація несучих систем досліджуваних машин.

**Другий розділ** розкриває суть проведених експериментальних досліджень корозійної стійкості ряду вуглецевих сталей в середовищах мінеральних та органічних добрив. В даному розділі проаналізовано втрати від корозійних пошкоджень сільськогосподарської техніки, досліджено особливості атмосферної корозії сільськогосподарських машин і агрегатів та проблематики зберігання сільськогосподарських машин з позицій їх корозійного пошкодження. Обґрунтовано матеріали та методики досліджень електрохімічної і корозійної поведінки машинобудівних сталей у робочих середовищах органічних і мінеральних добрив.

Визначено особливості корозійної і електрохімічної поведінки сталей звичайної якості та якісних у робочих агресивних середовищах мінеральних (у кристалічному стані та в розчинах) і органічних добрив, дощовій воді.

Зауваження до другого розділу:

не зайвим було б дослідити леговані сталі з точки зору можливої доцільності їх використання в якості матеріалу для відповідальних елементів несучих систем;

методика досліджень є стандартизована і її можна було б не настільки детально описувати.

**Третій розділ** стосується експериментальних досліджень впливу



агресивних середовищ добрив на втомне руйнування і характеристики циклічної тріщиностійкості сталей металокопструкцій сільськогосподарських машин. У розділі обґрунтовано режими експериментальних досліджень циклічної тріщиностійкості і втомного руйнування матеріалів несучих систем розкидачів добрив в середовищах. Обґрунтовано вибір матеріалів і режимів випробувань, також методика втомних і корозійно - втомних досліджень матеріалів несучих структур машин для внесення добрив та методика визначення характеристик циклічної корозійної тріщиностійкості матеріалів елементів розкидачів добрив. Представлено результати проведених металографічних і фрактографічних досліджень механізмів руйнувань елементів металокопструкцій розкидачів. Визначено вплив робочих агресивних середовищ добрив на втомне руйнування матеріалів несучих систем розкидачів. Встановлено особливості впливу мінеральних і органічних добрив на циклічну тріщиностійкість матеріалів металокопструкцій сільськогосподарських машин.

Зауваження до третього розділу:

опис стандартизованого обладнання (рис. 3.12 – 3.15) можна приводити в більш скороченому вигляді;

в розділі, п. 3.6, встановлено серпоподібний фронт поширення корозійного дефекту, проте у подальших дослідженнях тріщина такої форми не вивчається;

в табл. 3.4 представлена загальна інформація, яка не використовується в обчисленнях.

У четвертому розділі автором розроблено теоретичні основи аналітично - експериментального моделювання впливу агресивних середовищ на залишковий ресурс елементів металокопструкцій сільськогосподарських машин і механізмів. Проведено аналіз ґрунтів за корозійною активністю і впливом на довговічність матеріалів металокопструкцій сільськогосподарських машин. Для випадку найбільш агресивного типу корозії матеріалів несучих елементів розкидачів добрив з метою коректного математичного опису її кінетики і оцінки пошкодженості матеріалів обґрунтовано базові аспекти визначення основних параметрів корозії.

На основі першого закону термодинаміки розроблено розрахункову модель для визначення періоду докритичного росту наскрізних тріщин в тонкостінних елементах копструкцій при сумісній дії довготривалих статичних навантажень і корозійно - агресивних середовищ. Модель адаптовано до двох видів корозійного впливу середовищ: неефективні анодні процеси - корозійно-механічна тріщина рухається з відносно великою швидкістю, та ефективні анодні процеси – «затуплення» вершини тріщини, яка розвивається з постійною швидкістю. Розроблено розрахункову модель визначення залишкового ресурсу тонкостінних елементів металокопструкцій з наскрізними тріщинами при дії циклічних навантажень і корозійно-агресивних середовищ.

Для випадку дії циклічних навантажень і корозійно-агресивних середовищ на елементи металокопструкцій з поверхневими тріщинами отримано сукупність математичних співвідношень у вигляді нелінійного диференційного рівняння в часткових похідних, та початкових і кінцевих умов для визначення залишкового ресурсу. Запропоновано ефективний метод



наближеного розв'язку вказаної задачі. Продемонстровано реалізацію даної математичної моделі.

Зауваження до четвертого розділу:

у роботі вказано, що процеси поширення тріщин моделюються при дії циклічних навантажень, хоча реально застосовується максимальне навантаження циклу;

при моделюванні не використано коефіцієнти інтенсивності напружень  $K_{II}$  і  $K_{III}$ ;

на розрахунковій схемі (рис. 4.5) не позначено зусилля навантаження;

**У п'ятому розділі** обґрунтовано положення методики визначення ресурсу несучих елементів металоконструкцій розкидачів добрив з урахуванням експлуатаційно - агресивних факторів. Застосування даної методики в повному об'ємі продемонстровано на прикладі циклічного згину тонкостінних відкритих профілів в середовищах добрив. Проведено адаптацію створеної методики для визначення залишкового ресурсу при циклічному згині балкових елементів відкритих профілів на повітрі, в розчині нітрофоски і змішаній гноївці. На цій основі визначено ресурс несучих елементів: швелера, Z – подібного і  $\Omega$  - подібного профілів, а також побудовано залежності довговічності від параметрів навантаженості. На основі розробленої методики обчислено ресурс основних несучих елементів закритих профілів металоконструкцій причіпних машин для внесення добрив при циклічному згині. Досліджено особливості зародження корозійно - втомних тріщин на поверхнях квадратної та круглої труб, побудовано залежності ресурсу труб від зовнішнього навантаження.

Зауваження до п'ятого розділу:

при визначенні довговічності розглядається одна тріщина, не розглянуто наявність системи тріщин і їх взаємовпливу, як це є у реальних конструкціях;

не досліджено зародження і розвиток кутових тріщин в тонкостінному профілі металоконструкції розкидача добрив;

у розділі прийнято два припущення при моделюванні для визначення КІН тріщин в тонкостінних перетинах несучих систем машин для внесення добрив, проте бажано було б мати інформацію про можливі значення похибки при розрахунках.

**У шостому розділі** для оцінки фактичної навантаженості несучих металоконструкцій причіпних розкидачів добрив на основі модифікованого методу мінімуму потенціальної енергії деформації плоских просторово навантажених несучих систем побудовано розрахункову модель для визначення НДС причіпного розкидача добрив типу ПРТ. Запропоновано методику і проведено польові експериментальні дослідження причіпного розкидача добрив ПРТ – 10, встановлено частотний і компонентний склад напружень при експлуатаційних режимах роботи.

Зауваження до шостого розділу:

в розділі не доведено доцільність застосування при моделюванні НДС рами розкидача саме методу мінімуму потенціальної деформації;

чому експериментально визначалися тільки нормальні напруження?



У цьому розділі обґрунтовано аналітично - експериментальні методи оцінки ресурсу несучих систем машин для внесення добрив в експлуатаційних середовищах. Досліджено застосування методики для оцінки ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з урахуванням агресивно - експлуатаційних факторів, що є основою для розробки несучих структур мобільної с/г техніки для внесення органічних, а також мінеральних добрив. На основі результатів застосування розроблених методів запропоновано модернізацію несучої системи причіпного розкидача добрив РТД - 9 при якій забезпечено рівномірний за величиною з суттєвим зменшенням, до 25%, розподіл напружень у перетинах за контуром несучої системи, також покращено показники довговічності і корозійної стійкості з одночасним зменшенням металоємності. Результати теоретичних і експериментальних досліджень передано та впроваджено в ПАТ «Рівнесільмаш», ПАТ «Ковельсільмаш», ВАТ «Коломиясільмаш».

Зауваження до цього розділу:

не чітко обґрунтовано, як отримані у роботі результати теоретичних і експериментальних досліджень сприяють покращенню довговічності несучої металоконструкції розкидача добрив.

в роботі і авторефераті зустрічаються деякі неточності у формулюванні термінів, опечатки.

## **5. Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях.**

Результати досліджень, що складають дисертаційну роботу достатньо повно викладені в 44 працях, з яких 26 статей у фахових наукових журналах та збірниках наукових праць, у тому числі 7 публікацій у наукових виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз, з яких 5 мають імпаکت - фактор, 3 патенти на винаходи, 15 тез доповідей наукових конференцій, з них 2 у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз з імпакт - фактором. Аналіз зазначених публікацій показав, що вони відповідають змісту дисертації в достатній мірі відображають її основні положення, висновки і рекомендації.

## **6. Відповідність дисертації встановленим вимогам.**

Дисертаційна робота Поповича Павла Васильовича на тему «Методи оцінки ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з урахуванням впливу агресивних середовищ» є закінченою науковою працею, яка направлена на вирішення важливої науково - технічної проблеми оцінки і підвищення ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з урахуванням впливу агресивно - експлуатаційних факторів. Результати, одержані у дисертаційній роботі, теоретично обґрунтовані, підтверджені експериментально та пройшли виробничу перевірку.

Автореферат відповідає змісту дисертації, ідентично відображає наукові положення та результати і дає повну уяву про виконану дисертаційну роботу.



Зауваження до автореферату:

за одним позначенням  $t$  наводяться різні фактори – час (ст.16), період докритичного росту тріщини (ст.18), товщина (ст. 21);

використане скорочення КІН (ст.17) в авторефераті не має пояснення його суті;

розміри і якість окремих ілюстративних матеріалів (рис. 1, 5, 6, 10) ускладнюють їх сприйняття, розуміння і аналіз.

Наукові положення та результати, одержані в кандидатській дисертації у матеріалах докторській дисертації відсутні.

### Висновок

Дисертаційна робота Поповича Павла Васильовича «Методи оцінки ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з врахуванням впливу агресивних середовищ» є завершеною науковою роботою, в якій наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково - практичної проблеми розробки теоретичних основ та методів оцінки і підвищення ресурсу причіпних машин для внесення добрив з урахуванням впливу агресивно – експлуатаційних факторів.

Представлені зауваження ні в якій мірі не знижують наукової та практичної цінності проведених досліджень.

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні, відповідає паспорту спеціальності та вимогам п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., а її автор Попович Павло Васильович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
декан факультету сільськогосподарського  
машинобудування  
Кіровоградського національного  
технічного університету



В.М.Сало

Підпис Сала В. М. засвідчую,  
проректор з наукової роботи  
Кіровоградського національного  
технічного університету,  
д.е.н., професор



О.М. Левченко