

УДК 669.539

## ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЧЕПА

Гаврон Н.Б., Грицай Ю.В., КовальЮ.Б.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

*У статті досліджено оцінку надійності несучих конструкцій сільськогосподарських причепів з позицій моделювання залишкового ресурсу роботи металоконструкцій. Представлено результати експлуатаційних досліджень фактичної завантаженості причепа типу ПТС - 4.*

На сучасному рівні розвитку с/г техніки, можливостей розвитку технічних засобів та відповідного програмного забезпечення, актуальним є розвиток нових методів обґрунтування експлуатаційної надійності мобільних машин. Основна вимога, що ставиться до надійності с/г машин та їх несучих систем, передбачає високу довговічність, рівну ресурсу машини до капітального ремонту або списання. Оцінка втомної довговічності металоконструкції несучої системи мобільного с/г причепа, що працює в складних експлуатаційних умовах при циклічних навантаженнях, пов'язана з вирішенням ряду основних завдань: оцінкою параметрів експлуатаційного навантаження; визначенням характеристик опору втомі натурних вузлів рамної конструкції; розрахунком довговічності, а також аналітичних досліджень формування складних напружено-деформованих та граничних станів, критеріїв деформацій та руйнування. Характерною особливістю є те, що граничні стани з достатньою точністю ідентифікуються на етапі проектування при певному досвіді експлуатації аналогічних об'єктів, але є важко ідентифікованими для малосерійних об'єктів [2, 3]. В цілому, граничним станом є технічний стан даного об'єкта, при якому його подальша експлуатація недопустима. Для характеристик умов і моменту настання граничного стану, контролю показників надійності встановлюються критерії відказів і граничних станів, які є базою розрахункової оцінки показників надійності технічних систем, особливо з урахуванням впливів агресивних робочих сільськогосподарських середовищ, зокрема органічних і мінеральних добрив, які погіршують механічні властивості металевих матеріалів сільськогосподарської техніки. [1, 2, 4, 6, 7]. Критеріальна оцінка міцності і прогнозування ресурсу роботи металоконструкцій сільськогосподарських причепів складається з теоретичної та експериментальної частин [3]. Складність вироблення критеріїв оцінки міцності і прогнозування ресурсу роботи полягає перш за все у різнопрофільному наборі складових елементів цих конструкцій та специфіки їх

з'єднань між собою. Оптимізувати такі конструкції складно через відсутність фактичних характеристик їх циклічної дефектостійкості зі структурною зміною матеріалу в зоні біля шва у відповідності до конкретної технології виготовлення, особливо, складних зварних стикових з'єднань. Методика вироблення критеріїв оцінки міцності і прогнозування ресурсу роботи конструкцій включає одержання аналітичних залежностей для визначення критеріїв локального руйнування, в даному випадку відкритих або замкнутих тонкостінних профілів [3]: - критичне значення коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН)  $K_{Ic}$ ,  $K_{IIc}$ ,  $K_{IIIc}$ ; - критичне розкриття берегів тріщини в її вершині  $\delta_c$ ; - густину енергії руйнування або ефективну поверхневу енергію  $\gamma_e$  – роботу, яку необхідно затратити на утворення одиниці вільної поверхні.

Також з метою кількісної оцінки опору розвитку тріщини застосовують поняття інтенсивності вивільнення енергії деформації  $G_{Ic}$ ,  $J$  - інтеграл.

Так як тонкостінні елементи тримких конструкцій сільськогосподарських машин часто працюють при дії сил розтягу і згинальних моментів, то їх руйнування частіше всього відбувається шляхом розвитку тріщин нормального відриву. Основні характеристики тріщиностійкості зв'язані наступним співвідношенням [1]:

$$2 \cdot \gamma_e = \sigma_0 \cdot \delta_c = \frac{1-\nu^2}{E} \cdot K_{Ic}^2 = G_{Ic} = J_{Ic} . \quad (1)$$

У сільському господарстві поширеними є металоконструкції тримких рам мобільних машин, які виготовляються з гнutoго чи гарячекатаного швелера, тонкостінних труб. Оскільки для швелера ймовірніше місце зародження тріщин – вершина його полицок, КІН визначається у вершині тріщини при дії на швелер відповідного зовнішнього силового фактору. Рішення аналогічної задачі теорії тріщин пов'язане із значними труднощами, які виникають з причини складної для даних розрахунків конфігурації швелера. Для розв'язання такої задачі застосовується інтерполяційний метод Нейбера. КІН вершини тріщини довільної величини аналітично описується:

$$K_I = \frac{M}{I} \cdot \left[ \frac{1.985 \cdot (\varepsilon \cdot (H + 2 \cdot b))^{0.5}}{\left[ 1 + (H + 2 \cdot b) \cdot \frac{(1 + 7.993 \cdot \varepsilon)}{(1 - \varepsilon) \cdot h} \right]^{0.5}} \right] \times \left[ \left( \frac{H}{2} \right)^{0.5} - \left( \frac{h}{2} \right)^{0.5} + \left( \frac{h^3}{2 \cdot (h - \varepsilon \cdot (H + 2 \cdot b))^2} \right)^{0.5} \right]^2 \quad (2)$$

де  $K_I$  – коефіцієнт інтенсивності напружень вершини тріщини;

$M$  – величина згинального моменту;

$I$  – осьовий момент інерції поперечного перетину;

$$\varepsilon = \frac{l}{H + 2 \cdot b} - \text{безрозмірний параметр;}$$

$b$  – ширина полиці швелера/

$$h = H + 2 \cdot b, \quad (3)$$

де  $H$  – висота швелера;

$l$  – довжина тріщини.

Для знаходження величини розкриття тріщини, яка виходить з вершини полиці швелера, що виникає під дією згинального моменту у залежності від її розмірів, доцільним є застосування відомого методу еквівалентних станів.

У результаті отримаємо:

$$\delta_l = 6,394 \cdot \frac{\sigma_T}{I^2 \cdot E} \cdot \ln \left( \sec \left( \frac{\pi \cdot \sigma_{(0)}}{2 \cdot \sigma_T} \right) \right) \times$$

$$\frac{\left( \left( 1 - \frac{l}{H + 2 \cdot b} \right) \cdot l \cdot h \right)}{\left( \left( 1 - \frac{l}{H + 2 \cdot b} \right) \cdot h + ((H + 2 \cdot b) + 7,99 \cdot l) \right)}$$

$$\left[ \left( \frac{H}{2} \right)^{0,5} - \left( \frac{h}{2} \right)^{0,5} \cdot \left( 1 - \frac{h}{h - l} \right) \right]^4,$$

де  $\delta_l$  – величина розкриття тріщини;

$\sigma_{(0)}$  – напруження якими розтягується пластина;

$\sigma_T$  – межа текучості металу швелера;

$E$  – модуль пружності першого роду.

Отже, для проведення повної і ефективної оцінки несучої рами с/г причепа необхідним є визначення силових факторів, які діють у найбільш небезпечних перетинах. Оптимальним є встановлення силових факторів при проведенні тензометричних досліджень напруженості тримкої рами машини в реальних умовах експлуатації.

Для зменшення трудомісткості експериментальних досліджень причепа тракторного 2ПТС – 4, при збереженні допустимої точності результатів вимірів, застосовано наступні методичні прийоми:

- для тензометрування вибрали типові для даної машини операції;

- для попереднього аналізу і обґрунтування режиму випробувань опрацювали інформацію для тих типових варіантів експлуатації, при яких амплітуди напружень можуть перевищувати межі витривалості деталей. При транспортних роботах довжина гону становила 900 м.;

- на підставі досліджень літературних джерел [5] кількість тензорезисторів, наклеєних на несучу металоконструкцію причепа, була обмежена;

- датчики встановлюються в місцях з одновісним напруженим станом,

отже вимірювання напружень є можливим за допомогою одного тензорезистора, наклеєного вздовж осі дії сили, так як причеп має вісь симетрії, тензорезистори наклеювалися з правої сторони рами.

Для проведення експериментальних досліджень у польових умовах використано 5 тензорезисторів КФ5П1 – 1-200, які розміщувались у найбільш навантажених місцях з високою концентрацією напружень (рис. 1) [6]. Стабільність режиму досліджень контролюється дотриманням швидкості руху, завантаження причепа, тиском у шинах коліс.

Випробування причепа проводились з використанням універсальної вимірювальної системи (УВС) [4], яка працює у автономному режимі через вбудований мікрокомп'ютер з реєстрацією інформації на зовнішній ПК при з'єднанні через LPT-порт. Універсальність системи характеризується можливістю підключення різноманітних датчиків, що забезпечується вимірювальними модулями з універсальними вимірювальними каналами (1-8).

Перед дослідженнями проведено тарування датчиків та тензометричних каналів реєструючої системи.

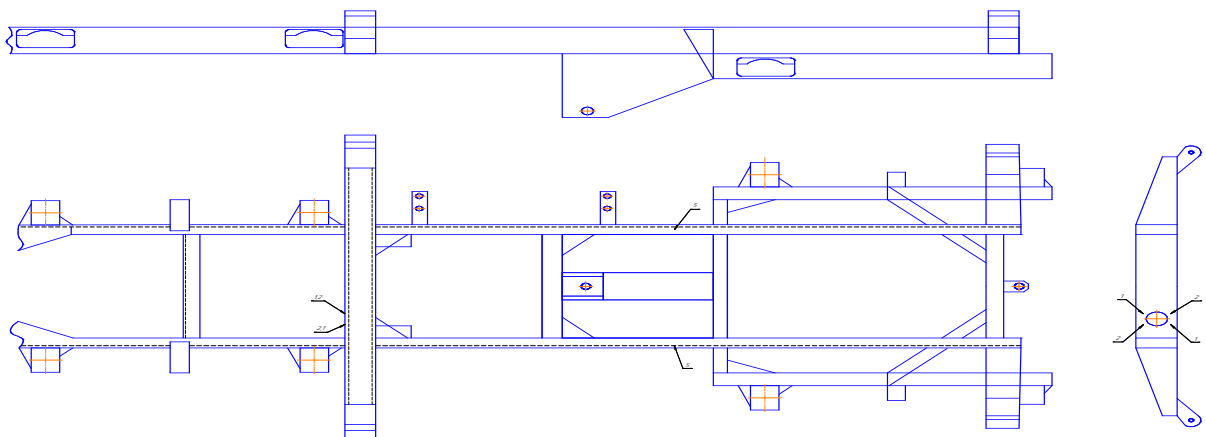


Рисунок 1 – Схема розміщення тензорезисторів на несучій системі причепа 2ПТС – 4

Польові тензометричні випробування проводилися з урахуванням пробігів тракторних причепів різними типами доріг [6]: пробіг асфальтовими дорогами становить, в середньому, 40%; загальний пробіг ґрунтовими дорогами різних категорій становить до 60%; навантаження причепа – 4400 кг (вище від номінального на 10%) при рівномірному розміщенні вантажу на платформі кузова; тиск у шинах – 3,5 атм.; швидкість змінювалася у залежності від режиму транспортування: на ґрунтовій дорозі – 20 км/год., при русі по полю, поперек борін – 8 км/год. Дослідження проведено при агрегуванні причепа з трактором МТЗ – 50, результати відображено у табл.1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень несучої системи сільськогосподарського причепа 2ПТС – 4

№ п/п	№ датчик	Ґрунтова дорога: V=20 км/год, довжина гону – 800 м, тиск у шинах – 3,5 атм., навантаження– 4,4 т			Рух полем поперек борін: V=8 км/год, довжина гону 400 м, тиск у шинах 3,5 атм., навантаження– 4.4 т		
		Ампліт. макс. напруж. Аmax, МПа	Ампліт. середн. напруж. Асер. МПа	Ампліт. мін. напруж. Amin, МПа	Ампліт. макс. напруж. Аmax, МПа	Ампліт. середн. напруж. Асер. МПа	Ампліт. мін. напруж. Amin, МПа
	I	89	62	35	135	64	37
	II	66	50	34	90	56	32
	III	129	69	31	186	78	30
	IV	95	60	34	188	77	31
	V	120	49	32	190	81	39

**Висновок.** В даній статті досліджено критерії оцінки надійності несучих конструкцій сільськогосподарських причепів з позицій моделювання залишкового ресурсу роботи металоконструкцій. Проведено випробування причепа, дані результатів експериментальних досліджень несучої рами причепа типу ПТС – 4 представлені в таблиці 1.

### Список літератури

1. РД 50-650-86. Методические указания. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований к надежности.- М.: Изд-во стандартов, 1988.-22с.

2. P. V. Popovych. Corrosion and Electrochemical Behaviors of 20 Steel and St.3 Steel in Ammonium Sulfate and Nitrophoska / P. V. Popovich, Z. B. Slobodyan // Journal of Mathematical Sciences. – 2014.– Vol. 49, 6. – P. 819-826.

3. Методика ускоренных прочностных испытаний несущих систем машин на полигоне КубНИИТиМ//Всесоюзное объединение „Союзсельхозтехника” Совета Министров СССР.- Новокубанск: КубНИИТиМ, 1968.-213с.

4. P. V. Popovych. The service life evaluation of fertilizer spreaders undercarriages// P. V., Popovych; O. L., Lyashuk; I. S., Murovanyi; V. O., Dzyura; O. S., Shevchuk; V. D., Myndyuk/ INMATEH - Agricultural Engineering . Sep-Dec2016, Vol. 50 Issue 3, p39-46.

5. Щурин К.В. Прогнозирование и повышение усталостной

долговечности несущих систем сельскохозяйственных тракторных средств / Диссерт. докт. техн. наук. – Оренбург: ОПИ, 1994. – 423с.

6. Попович П.В. Методи оцінки ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з врахуванням впливу агресивних середовищ / Диссерт. доктора техн. наук. – Тернопіль: ТНТУ, 2015.

7. P.V. Popovych. Influence of Organic Fertilizers on the Corrosion-Electrochemical Characteristics of Low-Carbon Steels / P. V. Popovych, L. A. Mahlatyuk, R. B. Kupovych // Journal of Mathematical Sciences. – 2014. – Vol. 50, 2– P. 284 –289.

## Аннотация

### Оценка эксплуатационной надежности несущей системы сельскохозяйственного прицепа

Гаврон Н.Б., Грицай Ю.В., Коваль Ю. Б.

*В статье исследованы оценки надежности несущих конструкций сельскохозяйственных прицепов с позиций моделирования остаточного ресурса работы металлоконструкций. Представлены результаты эксплуатационных исследований фактической загруженности прицепа типа ПТС - 4*

## Abstract

### Evaluation operation reliability of carrying agricultural trailers

N. Havron, Y. Hrytsay, Y. Koval

*In the article investigated assessments of the reliability of load-bearing structures of agricultural trailers from the positions of modeling the residual life of the metalwork. The results of operational studies of the actual loading of a trailer of type PTS - 4 are presented*