

Гаврон Н.Б.,
Кучвара І.М.,
Шевчук О.С.,
Конончук О.П.,
Матвіїшин А.Й.,
Коваль Ю.Б.

Тернопільський національний
технічний університет
імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль, Україна,
E-mail:nadiiagavron@gmail.com

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ
ТРАКТОРНИХ ПРИЧЕПІВ З ПОЗИЦІЇ
МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

УДК 669.539

В статті розглядається проблема оцінки надійності тракторних причепів, досліджено зміни показників середнього наробітку на відмову сільськогосподарських транспортних засобів з позицій впливу на них тріщин, що зароджуються і розвиваються під дією експлуатаційних навантажень в тримких металоконструкціях. Обґрунтовано можливість застосування класичних підходів механіки руйнування при розрахунках довговічності з метою покращення експлуатаційних властивостей транспортних сільськогосподарських агрегатів.

Ключові слова: надійність, тракторний причеп, транспортування, несуча система причепів, середнє напрацювання на відмову, тріщини.

Актуальність проблеми. Сучасне сільськогосподарське виробництво неможливо уявити без застосування як на полях, так і на фермах високоефективних сільськогосподарських машин, знарядь та інструментів. Проблема забезпечення потрібної надійності та довговічності техніки в сільськогосподарському виробництві завжди залишається актуальною. З огляду на це потрібне уточнення основних пріоритетних напрямів розвитку підприємств сільськогосподарського машинобудування. Водночас із такими важливими завданнями, як використання новітніх матеріалів і високоякісних комплектуючих техніки, які вирішують на підприємствах і в проектно-конструкторських організаціях галузі, триває робота з розвитку сучасної елементної бази та оптимізації конструкцій робочих органів для реалізації основних виробничих процесів АПК [8 – 12].

Аналіз останніх публікацій з даної проблеми. Від безпечної, надійної і безпребійної роботи транспортних засобів, зокрема причепів, залежать експлуатаційні властивості рухомого складу автотранспортних підприємств. На транспортуванні вантажів, а також вантажно-розвантажувальних роботах використовується близько 40% загальної кількості одиниць [6 – 8].

Несучі рами обмежують довговічність мобільних машин в цілому, а отже зменшують продуктивність цілого сільськогосподарського комплексу.

Рама – це основний несучий елемент вантажного автомобіля і його причіпного агрегата. Відомо, що рама сприймає навантаження від маси вантажу, а також навантаження, що виникають під час руху. Практично у всіх причепів несуча система при напрацюванні 22-30% від терміну служби до капітального ремонту має відмови [1, 8 – 12].

Надійність може бути критерієм якості, яку має транспортний засіб. Але якість підлягає зміні з часом, тобто машина може перейти з надійного стану в непридатний до експлуатації. Цей процес не є випадковим, він закономірний і є наслідком поступових кількісних змін у транспорті. Підвищенню надійності різних машин та обладнання, у тому числі тракторів і автомобілів, у нашій країні надається винятково велике значення. Маса вантажу, що перевозиться і розподіл навантаження на осі не повинні перевищувати величин, визначених технічною характеристикою даного транспортного засобу [2].

Ефективність використання кожного агрегату значною мірою залежить від надійності його складових одиниць і деталей. У процесі експлуатації під дією різних навантажень і навколишнього середовища постійно змінюються форми робочих поверхонь деталей, збільшуються зазори в рухомих і порушуються натяги в нерухомих з'єднаннях, втрачаються пружність, намагніченість та інші властивості деталей. Внаслідок цього знижуються і погіршуються основні показники надійності агрегату.

Дослідження показників надійності тракторних причепів типів ММЗ-771Б та ММЗ-768Б проводилися з урахуванням даних експериментальних випробувань на машино-випробувальних станціях (МВС) в обсязі 2000 годин при транспортних роботах, у т.ч. 3500 циклів навантаження-розвантаження, що складає 50% напрацювання, передбаченого технічними умовами [3].

Результати досліджень показників надійності тракторних причепів представлені в таблиці 1 [8, 12].

Таблиця 1

Середній наробіток на відмову основних елементів причепів

Показник надійності досліджених типів тракторних причепів	Рама	Ходова	Підвіска	Кузов
Середній наробіток до відмови ММЗ-771Б і відсоток елементів, які відмовили (у дужках)	437 (80%)	335 (93%)	400 (53%)	284 (100%)
Середній наробіток до відмови ММЗ-768Б і відсоток елементів, які відмовили (у дужках)	753 (77%)	514 (100%)	789 (53%)	302 (100%)

За результатами досліджень можна зробити висновок, що складові, на які діють змінні навантаження (несуча система, підвіска), мають недостатній ресурс: відсоток відмов становить 50%...80%. З усіх агрегатів особлива увага приділяється тримкій рамі, вона, будучи базовим агрегатом причепа (12%...48% від маси с/г машини), лімітує довговічність причепа в цілому [4].

Розрахунок впливу втомних тріщин, що виникають під дією навантажень, на ресурсні властивості причепа. Найбільш характерними відмовами несучих систем всіх моделей транспортних с/г машин є тріщини в зварних з'єднаннях рам, деформації і тріщини дишла, лонжеронів і поперечини [1, 3, 4]. Визначення критичних розмірів тріщини дозволяє передбачити момент нестабільного руйнування.

Однак не менш важливо прогнозувати працездатність рам, ослаблених тріщинами з розмірами меншими від критичних, які під час експлуатації можуть призвести до відмови, що негативно вплине на роботу транспорту в цілому. Наявність різних дефектів в конструкції тримких рам сільськогосподарських причепів викликає необхідність дослідження процесу їх втомного розвитку. При цьому необхідно дослідити як довго буде експлуатуватися агрегат з таким дефектом і яким чином будуть розвиватися початкові тріщини до повного руйнування конструкції.

Дослідження кінематики розвитку тріщин при циклічних навантаженнях оснований на тих же принципах лінійної механіки руйнування, що й у випадку нестабільного руйнування. Оскільки напружений стан у вершині тріщини визначається коефіцієнтом інтенсивності напружень, то вважається, що швидкість поширення тріщини V залежить від величини коефіцієнта інтенсивності напружень.

Для тріщини нормального відриву цей зв'язок класично записується:

$$V = \Phi^{-1} \cdot (K_{I \min}, K_{I \max}, C_1, \dots, C_i), \quad (1)$$

де $K_{I_{\min}}$, $K_{I_{\max}}$ – мінімальне та максимальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень за цикл; C – деякі константи (характеристики тріщинотривкості) [7].

Оскільки в машинобудуванні широко використовуються тонкостінні елементи несучих систем відкритого і замкнутого профілів, завдання розрахункових досліджень компонентного складу сумарних нормальних напружень доцільно вирішити для використовуваних тонкостінних профілів.

Вирішення такої задачі на етапі проектування значно підвищує точність прогнозування ресурсу роботи [6].

Розглянемо тепер поширення втомної тріщини в тонкостінній пластині [5]. У цьому випадку тріщина буде просуватися вздовж деякої лінії, а положення її вершини у будь-який момент часу (характеризується кількістю циклів навантаження N) визначається полярними координатами:

$$\rho = \rho(N), \quad \varphi = \varphi(N). \quad (2)$$

Будемо вважати, що N дуже велике, а приріст $\Delta\rho$ та $\Delta\varphi$ за один цикл досить малий, так що величинами N , ρ та φ можна оперувати як неперервними змінними. Вважаючи, що тріщина поширюється у напрямку максимальних напружень розтягу (під кутом β до дотичної і контуру) і враховуючи (1.1), отримаємо [5]:

$$\Phi \sqrt{\left(\frac{d\rho}{dN}\right)^2 + \rho^2 \left(\frac{d\varphi}{dN}\right)^2} = 1; \quad (3)$$

$$\frac{d\rho}{dN} = \rho \frac{d\varphi}{dN} \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

при цьому параметр β визначається з виразу:

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left[K_I \cos \frac{\beta}{2} - 3K_{II} \sin \frac{\beta}{2} \right] = 0, \quad (4)$$

де K_I , K_{II} – коефіцієнти інтенсивності напружень у вершині досліджуваної тріщини.

Співвідношення (1.3) разом з початковими умовами

$$\rho(0) = \rho_0, \quad \varphi(0) = \varphi_0, \quad (5)$$

які задають координати вершини тріщини в початковий момент часу, утворюють замкнуту систему диференціальних рівнянь, що описують кінетику росту втомної тріщини. Розв'язок цієї системи дозволяє визначити невідомі функції $\rho = \rho(N)$ та $\varphi = \varphi(N)$ і, таким чином, встановити форму та розміри тріщини у будь який момент часу.

Розв'язок розглядуваної задачі значно спрощується, якщо попередньо відома траєкторія руху тріщини. Така інформація може бути отримана на основі аналізу наявних випадків руйнування рам.

Зокрема, якщо припустити, що втомна тріщина поширюється в поперечному перетині рами (що найчастіше реалізується на практиці), то в цьому випадку пошкодження сповна характеризується одним параметром – довжиною тріщини l і кінетика руйнування описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{dl}{dN} \Phi = l, \quad l(0) = l_0. \quad (6)$$

Виходячи з (1.6) можемо визначити довговічність рами з дефектом вказаної форми:

$$N = \int_{l_0}^{l_*} \Phi(l) dl. \quad (7)$$

де l_* – критичний розмір тріщини, який визначається з умови:

$$K_I(l_*) = K_{fC}, \quad (8)$$

де K_{fC} – критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень при циклічних навантаженнях.

Руйнування від втомленості проявляється у вигляді тріщин і поломок деталей від тривалої дії повторно-змінних навантажень. Спочатку утворюються мікроскопічні тріщини, які потім проникають у глибину деталі, охоплюють значну частину перерізу, і, якщо таку деталь своєчасно не замінити, настане її поломка, що може призвести до відмови всього агрегату. Зменшенню руйнування від втомленості сприяє правильне складання, співвісність вузлів і агрегатів. Особливо велике значення має виявлення початкових тріщин деталей від втомленості під час ремонту. Перші відкази нових і капітально відремонтованих агрегатів, що перебувають в експлуатації, характеризують, як правило, якість їх конструкції, технологію виробництва або якість капітального ремонту. Усі наступні відкази дають можливість робити висновок про якість технічного обслуговування і поточного ремонту.

Висновок. На основі аналізу відмов тракторних причепів досліджено проблему оцінки причин зниження надійності, зміни показника середнього наробітку на відмову сільськогосподарських транспортних засобів з позицій вивчення кінетики розвитку тріщин. Доведено раціональність застосування для обчислення показників надійності сільськогосподарських причепів класичних підходів механіки руйнування для формування пропозицій та покращення експлуатаційних властивостей транспортних агрегатів.

Література:

1. Попович П.В. Комплексний аналіз надійності несучих систем тракторних причепів при їхній експлуатації //Попович П.В, Рибак Т.І./ Механізація сільськогосподарського виробництва. - Вісник ХНТУСГ, Вип. 93 Харків, 2010. – С. 411-414.
2. ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.
3. Щурин К.В. Прогнозирование и повышение усталостной долговечности несущих систем сельскохозяйственных тракторных средств/ Диссерт. докт. техн. наук. – Оренбург: ОПИ, 1994. – 423с.
4. РТМ 23.2.75.- 82. Руководящий технический материал. Рамы сварные сельскохозяйственных машин. Конструкторско-технологическое проектирование. – М.: ВИСХОМ, 1982. – 111 с.
5. Рибак Т.І. *Пошукове конструювання на базі оптимізації* ресурсу мобільних сільськогосподарських машин: Монографія / Рибак Т.І. - Тернопіль: Збруч, 2002 - 332 с.
6. Попович П. В. Методи оцінки ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з врахуванням впливу агресивних середовищ: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук : 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва / П. В. Попович — Тернопіль, 2015. — 443 с.

7. Панасюк В. В., Андрейкив А. Е., Ковчик С. Е. Методы оценки трещиностойкости конструкционных материалов. – Киев: Наук. думка, 1977. – 277 с.
8. Попович П.В. Алгоритм оцінки базових експлуатаційних властивостей колісних сільськогосподарських транспортних засобів / Попович П., Шевчук О., Ляшук О.Л., Матвіїшин А.Й. // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2017. – Вип. № 181. – С. 198 - 203.
9. Popovych. P. V. 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-Dec 2016, Vol. 50, Issue 3, pp.39–46.
10. Popovych. P. V. Influence of organic operation environment on corrosion properties of metal structure materials of vehicles/ Popovych P.V., Lyashuk O.L., Shevchuk O.S., Tson O.P., Bortnyk I. M., Poberezhna L.Ya.// INMATEH – Agricultural Engineering. 2017, Vol. 52, Issue 2, pp.113–119.
11. Popovich P.V. Influence of Operating Media on the Fatigue Fracture of Steels for Elements of Agricultural Machines / R. A. Barna, P. V. Popovich // Materials Science . – 2014.– Vol. 50, 3. – pp. 377–380.
12. P. Popovych. The study of fatigue failure performance of vehicle metal structures used in transportation of corrosive materials //P. Popovych, L. Poberezhna, O. Tson, O. Shevchuk, O. Lyashuk/ Acta Mechanica Slovaca Faculty of Mechanical Engineering Technical University of Košice. Vol. 21, № 1. P. 48-52.

Summary

Havron N.B., Kuchvara I.M., Shevchuk O.S., Kononchuk O.P, Matviishin A.Y., Koval Yu.B. Estimation of the reliability of tractor tractor designs from the position of fracture mechanics

The article deals with the problem of assessing the reliability of tractor trailers, the changes in average performance for the failure of agricultural vehicles from the point of view of the effect on them of cracks that originate and develop under the influence of operational loads in trench metal constructions are investigated. The possibility of applying classical approaches to fracture mechanics in calculating durability in order to improve the operational properties of transport agricultural aggregates is substantiated.

Keywords: reliability, trailer trailer, transportation, bearing system of trailers, average failure rate, percentage of failures, cracks.

References

1. Popovych P.V. Kompleksnyy analiz nadiynosti nesuchykh system traktornykh prycheviv pry yikhniy ekspluatatsiyi /Popovych P.V., Rybak T.I./ Mekhanizatsiya sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva. - Visnyk KHNTUS·H, Vyp. 93 Kharkiv, 2010.-S. 411-414.
2. GOST 27.003-90 Nadezhnost' v tekhnike. Sostav i obshchiye pravila zadaniya trebovaniy po nadezhnosti.
3. Shchurin K.V. Prognozirovaniye i povysheniye ustalostnoy dolgovechnosti nesushchikh sistem sel'skokhozyaystvennykh traktornykh sredstv/ Dissert. dokt. tekhn. nauk. – Orenburg: OPI, 1994. – 423s.
4. RTM 23.2.75. - 82. Rukovodyashchiy tekhnicheskyy material. Ramy svarnyye sel'skokhozyaystvennykh mashin. Konstruktorsko-tekhnologicheskoye proyektirovaniye. – M.: VISKHOM, 1982. – 111 s.

5. Rybak T.I. Poshukove konstruyuvannya na bazi optymizatsiyi resursu mobil'nykh sil's'kohospodars'kykh mashyn: Monohrafiya / Rybak T.I. - Ternopil': Zbruch, 2002 – 332 s.
6. Popovych P. V. Metody otsinky resursu nesuchykh system prychipnykh mashyn dlya vnesennya dobrov z vrakhuvannyam vplyvu ahresyvykh seredovyshch: dysertatsiya na zdobuttya naukovoho stupenya doktora tekhnichnykh nauk: 05.05.11 – mashyny i zasoby mekhanizatsiyi sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva / P. V. Popovych — Ternopil', 2015. – 443 s.
7. Panasyuk V. V., Andreykiv A. Ye., Kovchik S. Ye. Metody otsenki treshchinostoykosti konstruktsionnykh materialov. – Kiyev: Nauk. dumka, 1977. – 277 s.
8. Popovych P.V. Alhorytm otsinky bazovykh ekspluatatsiynykh vlastyvostey kolisnykh sil's'kohospodars'kykh transportnykh zasobiv / Popovych P., Shevchuk O., Lyashuk O.L., Matviyishyn A.Y. // Visnyk KHNTUS·H. – Kharkiv, 2017. – Vyp. № 181. – S. 198 - 203.
9. Popovych. P. V. 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-Dec 2016, Vol. 50, Issue 3, pp.39–46.
10. Popovych. P. V. Influence of organic operation environment on corrosion properties of metal structure materials of vehicles/ Popovych P.V., Lyashuk O.L., Shevchuk O.S., Tson O.P., Bortnyk I. M., Poberezhna L.Ya. // INMATEH – Agricultural Engineering. 2017, Vol. 52, Issue 2, pp.113–119.
11. Popovich P.V. Influence of Operating Media on the Fatigue Fracture of Steels for Elements of Agricultural Machines / R. A. Barna, P. V. Popovich // Materials Science. – 2014. – Vol. 50, 3. – pp. 377–380.
12. P. Popovych. The study of fatigue failure performance of vehicle metal structures used in transportation of corrosive materials //P. Popovych, L. Poberezhna, O. Tson, O. Shevchuk, O. Lyashuk/ Acta Mechanica Slovaca Faculty of Mechanical Engineering Technical University of Košice. Vol. 21, № 1. P. 48-52.