

## Список літератури

1. Гринченко А.С. Механическая надежность мобильных машин: Оценка, моделирование, контроль [Текст] / А. С.Гринченко. – Х.: Віровець А.П. "Апостроф", 2012. – 259 с.
2. Soong T.T., 2004, Fundamentals of Probability and Statistics for Engineers, State University of New York at Buffalo, Buffalo, New York, USA.

**Oleksandr Grynchenko, Prof., DSc., Olexsyi Alferov, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kharkov national technical University of agriculture by P. Vasilenko, Kharkov, Ukraine*

### **Stochastic modeling tribotechnical degraded processes and forecasting reliability indices**

Providing focused on improving the reliability of transport equipment Ukrainian production design requires extensive use of simulation techniques and forecasting reliability. The article is an exposition of the method of stochastic modeling of processes of accumulation of mechanical damage in the elements of machines and forecasting based on this performance mechanical reliability.

Feasibility reliability prediction requires data on the value of input parameters, statistical evaluation that can be performed through the use of discrete data with continuous monotonic random process.

The practical significance of this method of modeling and forecasting of mechanical reliability for the design phase and tests of prototypes is built on the basis of the real statistics object model reliability will reflect the whole range of operational impacts and factors affecting the degradation processes and resource allocation.

**stochastic modeling, forecasting reliability, mechanical reliability**

Одержано 06.11.15

## УДК 631.3.023

**П. В. Попович, проф., д-р техн. наук, Т. А. Довбуш, В.П. Олексюк, канд. техн. наук, В. І. Миць**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, prorovich@ukr.net*

## Аналіз впливу корозійно-експлуатаційних факторів на залишковий ресурс елементів металоконструкцій сільськогосподарських машин

Пропонується аналіз адитивних впливів експлуатації навантаженості і агресивних середовищ на металоконструкції мобільної сільськогосподарської техніки. Обґрунтовано вибір основних механізмів впливу корозійного середовища на тріщиностійкість матеріалів несучих систем мобільних машин. Вказано шляхи прогнозування залишкового ресурсу машин і обладнання аграрного виробництва.

**агресивне середовище, навантаження, тріщини**

**П. В. Попович, проф., д-р техн. наук, Т. А. Довбуш, В. П. Олексюк, канд. техн. наук, В. І. Миць**

*Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, г. Тернополь, Украина*

**Анализ коррозионно-эксплуатационных факторов на остаточный ресурс элементов металлоконструкций сельскохозяйственных машин**

Предлагается анализ аддитивных воздействий эксплуатации нагруженности и агрессивной среды на металлоконструкции сельскохозяйственной техники. Аналитически исследованы основные механизмы воздействия коррозионной среды на трещиностойкость материалов несущих систем мобильных машин. В выводах указаны пути обеспечения прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования аграрного производства.

**агрессивная среда, нагрузки, трещины**

© П. В. Попович, Т. А. Довбуш, В. П. Олексюк, В. І. Миць, 2015

**Постановка проблеми.** Корозія металоконструкцій сільськогосподарської техніки значно зменшує ресурс її надійності. Руйнування внаслідок сумісної дії корозії та експлуатаційних навантажень викликане складними факторами, які можна розділити на внутрішні та зовнішні. Внутрішні традиційно розглядають, як залежні від хімічного складу. До зовнішніх факторів відносять корозійне руйнування внаслідок зовнішнього середовища, до якого входять: атмосферний вплив, методи експлуатації і зберігання. Вплив вологи, мінеральних добрив і їх комбінацій суттєво зменшує ресурс елементів конструктивних елементів сільськогосподарських машин, особливо при пошкодженні захисного покриття. На таких поверхнях несучих вузлів металевих конструкцій утворюються корозійні пошкодження, зароджуються корозійно-втомні поверхневі тріщини, які ростуть до критичних розмірів, виникає небезпека виходу машини з ладу. Слід зазначити, що швидкість росту корозійно-втомних тріщин є набагато більша від швидкості росту втомних тріщин в таких самих металевих матеріалах. Це призводить до зменшення ресурсу (залишкового ресурсу) елементів металоконструкцій сільськогосподарських машин, що і необхідно враховувати при їх розрахунку. Необхідно дослідити вплив корозійно-агресивних середовищ (мінеральні і органічні добрива, корозійно-активні ґрунти і ін.) на втомне руйнування матеріалів і зварних з'єднань сільськогосподарських машин, а також залишковий ресурс елементів металоконструкцій [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Надзвичайно важливим є вирішення проблематики протикорозійного захисту сільськогосподарських машин сільськогосподарської техніки у аграрному виробництві, гострою є необхідність всебічних досліджень процесів корозії, корозійної втоми і корозійно-механічного зносу, про що свідчать дослідження багатьох вчених, зокрема Меламеда М. Н., Северного А. З., Севернєва М. М., Поповича П.В. та ін. У наукових працях вчених сформульовано загальні принципи системи забезпечення збереженості сільськогосподарського машинно-тракторного парку, розроблено технологічні та технічні методи виконання робіт із забезпечення протикорозійного захисту сільськогосподарської техніки [4,5], проте є недостатньо напрацювань розрахунків таких металоконструкцій при дії агресивних сільськогосподарських середовищ.

**Постановка завдання.** При внесенні органічних і мінеральних добрив, обробки полів отрутохімікатами для знищення шкідників, на поверхні конструкції осідає пил від хімікатів, який у поєднанні з вологою створює жорстке агресивне середовище, що призводить до інтенсивного корозійного руйнування. Швидкість процесів корозії залежить від степені агресивності середовища, тривалості його дії, температури повітря, стану поверхні металу (складу і структури захисної плівки), хімічного складу металу і наявності механічного напруження, а також від особливостей конструкції: наявності зварних швів, болтових і заклепочних з'єднань, поєднання окремих елементів, що створюють порожнини, щілини, в яких конденсується волога. Атмосферна корозія деталей сільськогосподарської техніки може збільшитися в рази за наявності залишків мінеральних і органічних добрив, отрутохімікатів, ґрунту. Найглибші пітінги утворюються при корозії деталей у нітрофосці, мідному купоросі. З органічних добрив найбільш корозійно активні торфові компости, найменше – екскременти корів і гній на їх основі, а також низовинний і верховий торф [4, 9]. Частинки забруднень, що залишилися після очищення машин, за наявності вологи є хімічно активними і прискорюють процеси корозії. Наявність забруднення на деталях збільшує корозію, оскільки у поєднанні з вологою вони можуть створювати активне електрохімічне середовище, що викликає інтенсивніші процеси корозії. Корозія найбільш небезпечна для деталей, які працюють при динамічних навантаженнях (пружини, пружинні лапи культиваторів, осі, вали і т. д.). Строк служби деталей внаслідок втомних руйнувань на практиці часто скорочується на 40-60%. При аналізі зломів деталей (лап культиватора,

валів тощо) встановлено, що початком багатьох руйнувань послужили виразки від корозії і пігментів. Небезпечними є руйнування тонколистової сталі, внутрішніх поверхонь ємностей для отрутохімікатів [2,3].

В нормативних документах з експлуатації металоконструкцій відсутні обґрунтовані норми допустимих значень корозійних пошкоджень, зменшення несучої здатності елементів конструкцій, що створює складнощі в обґрунтуванні нормативних термінів експлуатації та оцінці граничного стану металоконструкцій, в плануванні витрат на виробництво, ремонтно – відновлювальні роботи [11].

При розробці методів розрахунку залишкового ресурсу і залишкової міцності елементів конструкцій при корозійному і втомному руйнуванню виникає необхідність дослідження корозійної тріщиностійкості конструкційних сталей і зон зварних з'єднань металоконструкцій.

**Виклад основного матеріалу.** Основною характеристикою опору матеріалу корозійному руйнуванню є діаграма корозійного розтріскування, яка представляє собою залежність швидкості росту тріщини від коефіцієнта інтенсивності напружень і характеризує статичну і циклічну тріщиностійкість металів в корозійному середовищі.

Загальновідомо, закономірності росту корозійно-втомних тріщин визначаються системою метал-середовище, коефіцієнтом асиметрії циклу  $R$ , частотою  $f$ , формою циклу навантаження, температурою випробувань, рівнем потенціалу зовнішньої поляризації  $E_n$  і т.д. [6,7]. Для системи «низькоміцна сталь – водневе середовище» зниження частоти навантаження прискорює розвиток тріщин в діапазоні збільшених значень КІН, в той час як в припороговій області спостерігається інверсія такого впливу і зростання тріщин сповільнюється. Фактор частоти навантаження, як правило, не впливає на кінетику руйнування високоміцних сталей на повітрі, проте істотно проявляється у випадку дії корозійних середовищ. Зменшення  $f$  приводить до збільшення швидкості розвитку корозійно-втомних тріщин у низькоміцних сталях, даний ефект максимальний в області середніх рівнів КІН. Разом з тим частотна залежність порогових значень КІН в корозійному середовищі має немонотонний характер з мінімумом, що досягається при певній проміжній частоті. Важливим чинником трансформації кінетичних діаграм корозійно-втомного руйнування і утворення на них ділянок, характерних для діаграм корозійного розтріскування, є накладання катодної поляризації. Відповідно дослідженням на кінетичній кривій втомного руйнування трубної сталі в умовах катодної поляризації появляється плато, в межах якого спостерігається сталість швидкості росту тріщини  $V$ . По мірі зниження частоти навантаження плато фіксується при більш високих  $V$  і його довжина збільшується. Одна з особливостей визначення корозійно-циклічної тріщиностійкості матеріалів обумовлена специфікою електрохімічної ситуації у вершині тріщини, що розвивається, яка суттєво відрізняється від умов на поверхні випробовуваного зразка. Степінь такої відмінності для системи метал-середовище залежить від довжини тріщини, напружено-деформованого стану у вершині, часу дії середовища, потенціалу зовнішньої поляризації та інших чинників. У зв'язку з цим середовище може по різному впливати на формування зони передруйнування в вершині тріщини і тим самим створювати різний вплив на процес корозійно-втомного руйнування металу. З метою достовірного визначення необхідних характеристик циклічної тріщиностійкості матеріалу в заданому корозійному середовищі в літературних джерелах поширена модель [6], згідно якої зона передруйнування матеріалу, деформованого в водному корозійному середовищі, характеризується трьома параметрами: максимальним значенням КІН циклу  $K_{max}$ ; значеннями водневого показника середовища  $pH$ ; значеннями електродного потенціалу металу  $\varphi_B$  у вершині тріщини. Тоді швидкість зростання тріщини в металі при дії

водного корозійного середовища визначається загальновідомою з робіт Папасюка А.В., Андрейківа О., Дмитраха І. функцією (1):

$$V = f(C_i, K_{\max}, pH, \varphi_B), \quad (1)$$

де  $C_i$  – стала, яка характеризує циклічну тріщиностійкість матеріалу;  $i$  – кількість параметрів для заданої системи «матеріал-середовище».

В процесі розвитку корозійно-втомної тріщини кожному значенню швидкості росту на кінетичній діаграмі втомного руйнування цілком відповідають відповідні електрохімічні умови у вершині тріщини, залежні від початкового електрохімічного стану в момент старту початкової тріщини, а також від часу дії середовища і швидкості утворення нової поверхні [8,7]. Тому достатньою і необхідною основною умовою для отримання коректних даних про швидкість росту тріщини і корозійного середовища (інваріантних кінетичних діаграм втомного руйнування) є дотримання ідентичності електрохімічних умов у вершині тріщини по мірі її росту, тобто  $\varphi_B = const$ ,  $pH = const$ .

У реальній конструкції зміна параметрів  $pH$  і  $\varphi_B$  у зв'язку з можливим впливом випадкових експлуатаційних факторів має імовірнісний характер, отже при розрахунках довговічності виникає проблема вибору базової діаграми втомного руйнування для даної системи «метал-середовище». Ця задача розв'язується шляхом побудови інваріантних діаграм, відповідним граничним електрохімічним станам у вершині корозійно-втомної тріщини.

Вплив параметрів навантаження. Для більшості конструкційних сплавів, що піддаються сумісній дії циклічних навантажень і робочих середовищ при експлуатації, процес корозійно-втомного руйнування в залежності від конкретних умов навантаження, може відбуватися, як по механізму корозійної втоми, так і корозійно втоми під напруженням.

Вплив фізико-хімічних чинників. При дослідженні закономірностей росту корозійно-втомних тріщин в залежності від типу середовища, підкислений розчин  $NaCl$ , повітря і силіконове масло, знайдено, що поріг циклічної тріщиностійкості трьох нержавіючих сталей: аустенітна, аустенітно-феритна і мартенситна, залежить від агресивності середовища і для кожної із сталей досягає максимального значення у присутності силіконового масла. Порівняно з повітрям в маслі рівень порогового КІН зростає, оскільки збільшується розмір пластичної зони і, відповідно, ступінь прояву ЗТ. Для системи високоміцна сталь - дистильована вода виявлено, що обескиснення води прискорює ріст тріщин при середніх  $\Delta K$ , не роблячи впливу в низько- і високоамплітудних областях навантаження. Накладення зовнішньої катодної поляризації обумовило якісно такий же результат, проте в хлоридному розчині прискорення розвитку тріщин спостерігається також при низьких КІН. Важливим чинником інтенсифікації руйнування є підвищення температури випробувань в інтервалі 25..85 °С, особливо у високоамплітудній області. Ступінь прискореної дії температури випробувань на ріст тріщин істотно залежить від частоти навантаження, досягає максимуму в середньому діапазоні досліджуваних частот ( $f = 1$  Гц) [6,7].

Вплив корозійних факторів на тріщиностійкість матеріалів. Вцілому, традиційно розрізняють три основних механізми впливу корозійного середовища на тріщиностійкість конструкційних матеріалів: адсорбційний спад міцності, водневе окрихчення і хімічне розчинення. Адсорбція поверхнево активних речовин на поверхні високонапруженого матеріалу в вершині тріщини приводить до зменшення поверхневої енергії і полегшує руйнування (ефект Ребіндера). Основним процесом, що прискорює



докритичний ріст тріщини, призводить до поломок і відмов, є окрихчення малої області поблизу вершини тріщини. Атомарний водень, який завжди присутній в чистому виді, чи зв'язаний з нейтральними молекулами, в результаті дифузії здатний проникати у всі метали. Розчинність водню при нормальній температурі і тиску складає від 10 до 100 см<sup>3</sup> на 1 кг металу. Окрихчення спостерігається вже при концентрації в 2см<sup>3</sup>/1 кг металу, а при 10 см<sup>3</sup> /1 кг є небезпечним. Для металу найбільш вразливими для проникнення водню є ділянки не захищених окисною плівкою нових поверхонь [6,7].

Аналіз корозійних пошкоджень сільськогосподарської техніки показав, що внаслідок спільного впливу атмосферної корозії і механічних навантажень, з причини робочих перевантажень, внаслідок втрати міцності від корозії з ладу виходять 20 ... 25% с/г машин. Незважаючи на поширені корозійні руйнування металоконструкцій, корозійні виразки, пітинги, терміни служби агрегатів і інших складових, на сьогодні, встановлюються без урахування сумісних впливів корозійно-активних середовищ і експлуатаційної навантаженості, причому найбільш небезпечними з позиції корозійно – втомних пошкоджень є добрива та отрутохімікати.

В процесі експлуатації розкидачів добрив і с/г транспортних засобів на елементи несучих систем діють випадкові складні комбінації різно орієнтованих у просторі силових факторів, що обумовлюється випадковим характером джерел збурень. У спектрах випадкових процесів навантаженості виділяються три гармоніки з частотами в діапазонах 1,4-1,8Гц, 4-5Гц, 8-9Гц. Близько 80% енергії випадкових процесів зосереджено в діапазоні частот 1-3,5Гц. [8,10, 11].

**Висновки.** Ряд корозійної активності добрив за глибиною пітингів відрізняється від ряду активності добрив за втратою маси. Характер корозійних пошкоджень при корозії в середовищі мінеральних добрив для кожного виду добрива і матеріалу буде різним. В певних добривах корозія проходить рівномірним шляхом, в інших переважає місцева корозія з утворенням глибоких пітингів, що часто призводить до руйнування деталей при загальній незначній корозії. Найбільш корозійно-активними у обох випадках є нітрофоска та сульфат амонію.

Класичні методи розрахунково-експериментальної оцінки довговічності на стадії зародження втомних тріщин в конструктивних системах базуються на припущенні про суцільність матеріалів і недопустимість виникнення втомних пошкоджень в найбільш небезпечних перетинах елементів конструкції.

Вказані підходи, особливо при циклічних експлуатаційних навантаженнях несучих систем в агресивних середовищах, високому рівні залишкових напружень і наявності корозійних пошкоджень, які призводять до появи пітингів на ранній стадії експлуатації машин, не забезпечують адекватне прогнозування ресурсу машини. У випадках, коли ресурс конструкції визначається кінетикою розвитку корозійно-втомних тріщин, необхідно застосувати положення механіки руйнування.

## Список літератури

1. Северный А. Э. Сохраняемость и защита от коррозии сельскохозяйственной техники [Текст] / А. Э. Северный. – М:ГОСНИТИ, 1993. – 233с.
2. Похмурский В. И. Коррозия в тома металів і сплавів [Текст] / В. И. Похмурский, М.С. Хома. – Львів: Сполом, 2008. – 299 с.
3. Романив О. Н. Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов [Текст] / [ О. Н. Романив, С. Я. Ярема, Г. Н. Никифорчин, Н. А. Махутов та ін. ]. – К.: Наукова думка, 1990. – 680 с.
4. P.V.Popovich. Corrosion and Electrochemical Behaviors of 20 Steel and St.3 Steel in Ammonium Sulfate and Nitrophoska / P.V.Popovich, Z.B. Slobodyan // Materials Sciences. – 2014. – Vol. 49, 6 – P.819-826.(Scopus).
5. R.A.Barna. Influence of Operating Media on the Fatigue Fracture of Steels for Elements of Agricultural Mechines/ R.A.Barna, P.V.Popovich// Materials Sciences. – 2014. – Vol. 50, 3 – P.377-380.(Scopus).

6. Панасюк В.В. О некоторых задачах исследования циклической трещиностойкости материалов в жидких средах [Текст] / В.В. Панасюк, Л.В. Ратыч, И.Н. Дмытрах // Физико-химическая механика материалов. – 1982. – №6. – С. 42-49.
7. Романив О. Н. Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов [Текст] / [О. Н. Романив, С. Я. Ярема, Г. Н. Никифорчин, Н. А.Махутов та ін. ]. – К.: Наукова думка, 1990.– 680 с.
8. Шурин К.В. Прогнозирование и повышение усталостной долговечности несущих систем сельскохозяйственных тракторных средств/ Диссерт. докт. техн. наук. – Оренбург: ОПИ, 1994. – 423с.
9. Севернев М. М. Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / [М. М. Севернев, Г. П. Каплун, В. А. Короткевич, и др.] . – Л.: Колос, 1972. – 288 с.
10. Шурин, К.В. Прогнозирование и повышение усталостной долговечности несущих систем сельскохозяйственных тракторных средств [Текст] / дис. ... докт. техн. наук. – Оренбург: ОПИ, 1994. – 423с.
11. Попович П.В. Методи оцінки ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення добрив з врахуванням впливу агресивних середовищ [Текст] / дис. ... докт. техн. наук. – Тернопіль ТНТУ 2015. – 425 с.

**Pavlo Popovich, Prof., DSc., Taras Dovbush, Vasyl Oleksuk, PhD tech. sci.,Vasyl Myts**

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine*

#### **Analysis of corrosion - operational factors on the residual life of metal structures of agricultural machinery**

It offers an analysis of the additive effects of congestion and aggressive operating environment on metal structure agricultural machinery. Analytically studied the basic mechanisms of the impact of corrosive environment on crack resistance of materials bearing systems of mobile machine. The findings indicated the way to ensure the prediction of residual life of machinery and equipment of agricultural production.

Several corrosive action fertilizers for deep holes is different from the activity of a number of fertilizer by mass loss . The nature of the corrosion damage from corrosion in the environment of fertilizers for each type of fertilizer and the material will be different. In certain fertilizers by corrosion is uniform , the other dominated by local corrosion to form deep holes , which often leads to the destruction of small parts in general corrosion. The most corrosive in both cases is nitro phosphate and ammonium sulfate.

These approaches, especially in cyclical load bearing systems operating in aggressive environments, high residual stresses and the presence of corrosive injuries that lead to the appearance of holes early on operating vehicles.

**aggressive environment , stress, cracks**

Одержано 04.11.15

**УДК 681.518**

**В.В. Смирнов, доц., канд. техн. наук, Н.В. Смирнова, доц., канд.техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

## **Оптимальное по быстродействию управление объектом при малых значениях ошибки отклонения**

Приведено описание решения задачи реализации одного закона управления в системе управления оптимальной по быстродействию. При малых отклонениях система управления переходит в режим стабилизации и переключает закон управления с оптимального по быстродействию на ПИД или ПИ. При этом система перестает быть оптимальной по быстродействию. Задача реализации одного оптимального по быстродействию закона управления при любых значениях ошибки отклонения решена путем ведения в структуру системы управления статистического блока и блока управляемого аттенюатора, что позволило изменять значение управляющего воздействия в режиме стабилизации пропорционально значению ошибки отклонения.

**система управления, закон управления, оптимальность по быстродействию**

© В.В. Смирнов, Н.В. Смирнова, 2015