

## PREDICTION OF SERVICE LIFE OF REPAIRED PART SURFACE

S. Khomych\*, I. Tsiz, V. Satsiuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

---



### ABSTRACT

*Agricultural machinery parts have a life expectancy that depends on operating conditions and quality service. Eventually, parts fail and need to be rebuilt. Repair work makes it possible to extend the function of the part for a certain period of time. When repairing parts, it is necessary to predict the period of their further operation. It is quite problematic to restore the defective parts because the repair technologies are outdated. The use of non-traditional repair technologies requires an assessment of the quality of the repaired product, which includes the determination of the maximum period of its future operation. In general, the durability of repaired parts depends on the correct choice of restoration method, the quality of the work performed, the accuracy of the tool, the qualifications of the workers, etc. The article discusses the method of predicting the state of the coupling based on allowable values during diagnosis. This makes it possible to determine the period of further operation of the coupling until the next inspection, if the period of operation is known. Prediction methods based on calculated permissible parameter values and special tables are also used to determine repair dates. The most common method of processing information to predict the remaining life of parts is the use of nomograms. Nomograms are created on the basis of the results of calculations based on empirical equations that relate the remaining life to the initial value of the measured parameter, the number of kilometers travelled since the start of operation, the value of the measured parameter at the current time and the limit value of the parameter. The improved method of predicting the service life of the repaired part allows you to assess the condition of the repaired part by determining the service life indicators in percent according to the selected influencing factors. By using previously known influencing factors and applying an advanced prediction method, it is possible to determine the service life of a part even before repair work is carried out.*

#### **Key words:**

predicting of part serviceability,  
part repair,  
repair of equipment,  
durability of parts,  
work resource

#### **Article history:**

Received 14.05.2023

Accepted 18.06.2023

#### **\*Corresponding author:**

smhh@ukr.net

---

DOI: 10.36910/acm.vi49.1061

#### **To cite this article:**

Khomych, S., Tsiz, I., & Satsiuk, V. (2023). Prediction of service life of repaired part surface. *Agricultural Machines*, 49, 105-110. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1061>

УДК 631.3:629.08

**ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕРМІНУ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВІДРЕМОНТОВАНОЇ  
ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ****С.М. Хомич\*, І.Є. Цизь, В.В. Сацюк***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АНОТАЦІЯ**

Деталі сільськогосподарських машин мають певний термін працездатності, який залежить від умов експлуатації та якісного сервісного обслуговування. Деталі спрацьовуються та потребують відновлення. Ремонтні роботи дозволяють продовжити функціонування деталі на певний період. Під час ремонту деталей необхідно прогнозувати термін їх подальшої експлуатації. Відновлювати спрацьовані деталі досить проблематично, оскільки технології ремонту є застарілі. Однак, застосування нетрадиційних технологій відновлення вимагає оцінювання якості відремонтованого виробу, що передбачає визначення максимального терміну його експлуатації в майбутньому. Загалом довговічність відремонтованих деталей залежить від правильного вибору методу їх відновлення, якості виконаної роботи, точності інструменту, кваліфікації працівників тощо. Для визначення термінів ремонту використовують методика прогнозування за обчисленими допустимими значеннями параметрів та спеціальні таблиці. Найпоширенішим способом оброблення інформації для прогнозування залишкового ресурсу роботи деталей є застосування номограм. Номограми побудовані за результатами обчислень за емпіричними рівняннями, які пов'язують залишковий ресурс із початковим значенням вимірювального параметра, пробігом з початку експлуатації, значенням вимірювального параметра в поточний момент, а також з граничним значенням параметра. Запропонована у статті методика прогнозування терміну працездатності відремонтованої деталі дозволяє оцінити її стан шляхом визначення показників довговічності за показниками, що впливають на неї. Користуючись заздалегідь відомими факторами впливу та застосувавши запропонований метод прогнозування можна визначити термін працездатності деталі, ще до проведення ремонтних робіт.

**Ключові слова:**

прогнозування  
працездатності деталі,  
ремонт деталей,  
ремонт техніки,  
довговічність деталей,  
ресурс роботи

**Історія публікації:**

Отримано 14.05.2023

Затверджено 18.06.2023

**\*Автор для листування:**

smhh@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi49.1061

**Цитувати цю статтю:**

Хомич, С. М., Цизь, І. Є., & Сацюк, В. В. (2023). Прогнозування терміну працездатності відремонтованої поверхні деталі. *Сільськогосподарські машини*, 49, 105-110. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1061>

## СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Деталі всіх сільськогосподарських машин мають певний термін працездатності, який залежить від умов експлуатації та якісного сервісного обслуговування. З часом деталі спрацьовуються та потребують відновлення. Ремонтні роботи дозволяють продовжити функціонування деталей на певний період. Під час ремонту деталей необхідно прогнозувати термін їхньої подальшої експлуатації, щоб забезпечити «життєвий цикл» всієї системи механізму та машини в цілому.

На універсальні ремонтні підприємства сільськогосподарських машин надходить техніка з різними несправностями, що спричинені завершенням робочого ресурсу машини. На сьогодні в Україні понад 65% сільськогосподарської техніки закордонних зразків (*Дослідження ринків, 2020*). Хоча ця техніка вважається «ною» та ресурс її роботи майже вичерпаний. Відновлювати спрацьовані деталі досить проблематично, оскільки технології ремонту є застарілі. Потрапляння у виробничі майстерні несправних вузлів та деталей машин з індивідуальними методами відновлення на сьогодні складає 50% від загальної кількості потужності підприємства. Застосування нових, нетрадиційних технологій відновлення деталей вимагає оцінювання якості відремонтованих виробів, що передбачає визначення максимального терміну їхньої експлуатації в майбутньому.

Довговічність відремонтованих деталей залежить від правильного вибору методу їх відновлення, якості виконаної роботи, точності інструменту, кваліфікації працівників (*Михлин, 1984*). Невідповідність вибраного способу відновлення властивостям деталі спричиняє втрати її функціональних можливостей та унеможлиблює післяремонтне використання (*Гранкін та ін., 1998*). Правильний вибір технологічного процесу відновлення деталей з неякісним його виконанням на застарілому обладнанні спричиняє повторне руйнування та спрацьовання деталей в тому ж місці (*Сковородин & Тишкин, 1985*). Це може зумовити навіть більш катастрофічні наслідки, оскільки спричинить вихід з ладу всієї системи механізму.

Отже, після виконання ремонтних робіт виріб обов'язково необхідно випробувати та проводити контроль для виявлення недоліків і

дефектів. Перевіряти якість ремонту деталей та прогнозувати термін їх працездатності необхідно із використанням сучасних методик. Для цього ремонтні підприємства потребують постійної модернізації.

У працях (*Сковородин & Тишкин, 1985; Овчаров, 1990; Тамразян, 2012*) висвітлено методику прогнозування стану спряження деталі за допустимими значеннями під час діагностування. Це дозволяє встановити термін подальшої експлуатації спряження до наступної перевірки, за умови, що термін напрацювання є відомим. Для застосування методики необхідно знати допустиме значення коефіцієнта використаного ресурсу.

Пропонується за значеннями коефіцієнта залишкового ресурсу та періодичністю перевірок стану спряження оцінювати межі допустимих значень параметра спрацювання. Якщо відомо, що граничним значенням коефіцієнта використаного ресурсу є одиниця, а періодичність перевірок  $t$ , тоді має виконуватися умова:

$$1 = at^{\alpha}. \quad (1)$$

Залежність між коефіцієнтом залишкового ресурсу  $R_{зал.}$  та тривалістю роботи має вигляд:

$$R_{зал.} = 1 - at^{\alpha}. \quad (2)$$

Отже, виконавши обчислення можна прогнозувати термін роботи спряження.

Проводити громіздкі обчислення під час діагностування спряжень незручно, тому використовують спеціальні таблиці, в яких подані результати обчислень для типових спряжень з урахуванням часу напрацювання деталей. Традиційна методика прогнозування забезпечує експлуатацію спряження, що діагностувалося, від планового до наступного діагностування.

Для визначення термінів ремонту також використовують методики прогнозування за обчисленими допустимими значеннями параметрів і спеціальні таблиці (*Мозгалеvський & Гаскаров, 1975; Погорельий, 1981*). Методи досить подібні між собою, на їх основі проводять порівняння одержаних значень параметрів із допустимими значеннями або значення коефіцієнта використаного ресурсу з напрацюванням. Ці значення отримують з довідкових таблиць, які складені на основі

багаторічних спостережень, випробувань та експериментів. Цей метод є простим для визначення залишкового ресурсу деталі у випадку діагностування однотипних деталей. Однак, для ремонту індивідуальних деталей або ж деталей підвищеної складності подібних таблиць немає. Тому точність прогнозування не дуже висока, оскільки табличні значення не враховують фактичного напрацювання до ремонту. Значення, які подаються в таблиці, є середніми та наближеними.

Найпоширенішим способом оброблення інформації для прогнозування залишкового ресурсу роботи деталей є застосування номограм. Номограми, що побудовані за результатами обчислень за емпіричними рівняннями, які пов'язують залишковий ресурс із початковим значенням вимірювального параметра, пробігом з початку експлуатації, значенням вимірювального параметра в поточний момент, а також з граничним значенням параметра (Аулін та ін., 2015):

$$t_{\text{зал.}} = t \left( \alpha \sqrt{\frac{D_{\text{lim}} - D_0}{D - D_0}} - 1 \right), \quad (3)$$

де  $D_0$ ,  $D_{\text{lim}}$ ,  $D$  – відповідно, початкове, граничне та фактичне значення параметра;  $t$  – термін напрацювання деталі;  $\alpha$  – показник степеня.

Користуватися номограмами досить зручно, швидко та легко, а створення нових номограм для визначення залишкового ресурсу спряжень деталі потребує додаткових обчислень та досліджень.

Сучасна сільськогосподарська техніка для оброблення ґрунту передбачає раціональні режими роботи для захисту робочих органів від швидкого спрацювання. Обґрунтовуються ці режими роботи техніки за результатами експериментальних досліджень взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з певним типом ґрунту (АГРОБІЗНЕС, n.d.). Переважно досліджується вплив абразивності ґрунту на спрацювання поверхні робочого органа. Відповідно, рекомендовані режими роботи не дозволяють оцінити довговічність деталі, оскільки вона може тріснути від навантажень і коливань, втратити пружні властивості, отримати пошкодження від удару тощо. Отже, актуальним завданням є розроблення нових методів прогнозування терміну працездатності деталей після ремонту.

**Мета дослідження** – удосконалення методики розрахунку терміну працездатності відремонтованої поверхні деталі.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Під час розроблення методики розрахунку терміну працездатності поверхні деталі після ремонту використовувалися загальновідомі методики розрахунку цього показника та математичне планування експерименту за планом Бокса-Бенкіна.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Прогнозування ресурсу роботи деталі, вузла, механізму чи сільськогосподарської машини після ремонту досить складний процес та передбачає необхідність врахування умов роботи машини під час її експлуатації. Спрацьована деталь будь-якої машини, що є ремонтпридатною, після відновлення знову повертається до початкового стану. Перед її видаванням замовнику ремонтне підприємство має надати талон з зазначеним гарантійним терміном експлуатації. Як правило, цей термін є однотипним для виконаних ремонтних робіт та досить коротким (мінімальним), оскільки під час його визначення урахується можливий ризик майбутніх незапланованих витрат підприємства. Цей термін не вказує тривалість максимального можливого періоду роботи відремонтованої деталі, а лише гарантує стабільність роботи упродовж вказаного періоду (Амиров и др., 1990). Однак, відремонтована поверхня деталі потребує точних прогнозів максимального терміну працездатності та показників довговічності її експлуатації. Такі прогнози необхідно виконувати перед початком ремонтних робіт, щоб переконатися в доцільності проведення ремонтних робіт і, відповідно, витрачання часу на відновлення. Бо, можливо, краще замінити спрацьовану деталь на нову.

Прогнозування максимального терміну працездатності відремонтованої поверхні можна здійснити, використавши математичний метод розрахунку, який створений на основі методики Бокса-Бенкіна (Адлер и др., 1986). Для проведення обчислень доцільно на основі цієї методики у програмному середовищі Mathcad 14 створити шаблон для показників відновлення та умов використання деталі. Створений шаблон можна використовувати

для прогнозування терміну працездатності відновлених деталей різної складності. Показники, які необхідно враховувати під час розрахунку, мають характеризувати стан деталі та якість виконаної роботи з її відновлення. Рекомендується, щоб кількість показників, за якими буде оцінюватися термін працездатності деталі після ремонту, була щонайменше – три. Методика розрахунку передбачає визначення значущості цих показників, базуючись на результатах якого відбуватиметься прогнозування подальшого терміну працездатності відновленої деталі. За результатами обчислень буде отримана поверхня відгуку, яка дозволить визначити значення шуканої величини.

За базовий період працездатності деталі необхідно прийняти термін ресурсного використання виробу до потрапляння на ремонт. До показників довговічності виробу необхідно обов'язково віднести значення граничного параметру зношення, а також інші, від яких залежить довговічність. Інтенсивність спрацювання деталей залежить від показників: геометричних; температурних; режимних (робочого навантаження, швидкості, пікового навантаження, згинальних напружень, частота обертання, потужності, згинального зусилля, зусилля кручення, коливань, вібрації тощо); якості ремонту (параметри міцності, твердості, однорідності матеріалу деталі, гартування, напилення, накатування тощо); агресивного середовища, за умов якого працювала деталь чи працюватиме (параметри тертя, мащення, забруднення тощо).

Для переведення значень показників, що впливають на прогнозований термін роботи деталі після ремонту, у безрозмірні величини проводиться їх кодування (Котеленец и др., 2003; Воробьев, 2004). Наприклад, вирази для  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  кодованих параметрів матимуть вигляд:

$$x_1 = \frac{a - a_0}{\varepsilon_1}, x_2 = \frac{b - b_0}{\varepsilon_2}, x_3 = \frac{c - c_0}{\varepsilon_3}, \dots, \\ x_n = \frac{z - z_n}{\varepsilon_n}, \quad (4)$$

де  $a, b, c, \dots, z$  – розмірні значення показників;  $a_0, b_0, c_0, \dots, z_0$  – розмірні допустимі значення показників;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n$  – інтервали варіювання показників.

Значення терміну працездатності деталей після ремонту за різних комбінацій вибраних параметрів (відповідно до плану-матриці плану Бокса-Бенкіна) визначаються з довідників або експериментальним шляхом. Обчислюються коефіцієнти рівняння регресії відповідно до методики (Венецкий & Венецкая, 1974; Герасимович, 1983; Адлер и др., 1986). Після обчислення значень коефіцієнтів рівняння регресії визначається їх значущість. За отриманим рівнянням регресії будуються поверхні відгуку та визначається шуканий параметр (термін працездатності деталі).

## ВИСНОВКИ

Удосконалена методика прогнозування терміну працездатності відремонтованої деталі дозволяє оцінити стан відремонтованої деталі шляхом визначення показника довговічності. Користуючись відомими параметрами впливу, а також застосувавши удосконалений метод прогнозування можна визначити термін працездатності деталі, ще до проведення ремонтних робіт.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- АГРОБІЗНЕС. (n.d.). *Раціональний підхід до обробітку ґрунту (A rational approach to soil cultivation)*. Retrieved April 03, 2023, from <https://agrobusiness.com.ua/>
- Адлер, Ю. П., Маркова, Е. В., & Грановский, Ю. В. (1976). *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий (Planning an experiment in the search for optimal conditions)*. М.: Наука.
- Амиров, Ю. Д., Алферова, Т. К., Волков, П. Н. и др. (1990). *Технологичность конструкции изделия: Справочник (Manufacturability of product design: Reference book)*. М.: Машиностроение.
- Аулін, В. В., Каліч, В. М., Голуб, Д. В., & Гриньків, А. В. (2015). Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом (*Forecasting the residual life of components and vehicles agriculture for their technical state*). *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 45(2), 28-36.
- Венецкий, И. Г., & Венецкая, В. И. (1974). *Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе (Basic mathematical and statistical concepts and formulas in economic analysis)*. М.: Статистика.
- Воробьев, В. Э. (2004). *Прогнозирование срока службы электрических машин (Predicting the life of electrical machines)*. СПб.: СЗТУ.

- Герасимович, А. И. (1983). *Математическая статистика (Math statistics)*. Минск: Вышэйш. школа.
- Гранкін, С. Г., Малахов, В. С., Черновол, М. І., & Черкун, В. Ю. (1998). *Надійність сільськогосподарської техніки (Reliability of agricultural technology)*. К.: Урожай.
- Дослідження ринків. (2020). *Аналіз ринку сільськогосподарської техніки України і Росії. 2020 рік (Market analysis of agricultural machinery in Ukraine and Russia)*. Retrieved April 05, 2023, from <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/rynok-selskochozyajstvennojtehniki-ukrainy-i-rossii-2020-god>
- Котеленец, Н. Ф., Акимова, Н. А., & Антонов, М. В. (2003). *Испытание, эксплуатация и ремонт электрических машин (Testing, operation and repair of electrical machines)*. М.: Издательский центр «Академия».
- Михлин, В. М. (1984). *Управление надежностью сельскохозяйственной техники (Agricultural machinery reliability management)*. М.: Колос.
- Мозгалеvский, А. В., & Гаскаров, Д. В. (1975). *Техническая диагностика (непрерывные объекты) (Technical diagnostics (continuous objects))*. М.: Высшая школа.
- Овчаров, В. В. (1990). *Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве (Operating modes and continuous diagnostics of electrical machines in agricultural production)*. Киев: Изд-во УСХА.
- Погорелый, Л. В. (1981). *Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин (Engineering testing methods for agricultural machines)*. К.: Техника.
- Сковородин, В. Я., & Тишкин, Л. В. (1985). *Справочная книга по надежности сельскохозяйственной техники (Reference book on the reliability of agricultural machinery)*. Л.: Лениздат.
- Тамразян, А. Г. (2012). Расчет элементов конструкций при заданной надежности и нормальном распределении нагрузки и несущей способности (*Design of structural elements in the event of the preset reliability, regular load and bearing capacity distribution*). *Вестник МГСУ*, 10, 109-115.