

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ СКЛАДОВОЇ ЧАСТИНИ МАШИНИ

Доктор технічних наук Посвятенко Е.К.
кандидат технічних наук Сушко О.В.

Показано, що похибка методу прогнозування оптимального залишкового ресурсу складової частини машини складає за зумовлює середньою квадратичною погрешністю 350–430 мото-год. Це призводить до невиправданого підвищення середніх питомих витрат на ремонт. Описана запропонована авторами методика визначення статистичної оцінки фактичного середнього ресурсу. Це дозволяє адекватно описати реальні процеси зміни ресурсних параметрів у залежності від напрацювання та розробити метод визначення залишкового ресурсу складової частини мобільної техніки, похибка якого не перевищує 15–20%.

It is shown that the error of method of prognostication of optimal remaining resource of component part of machine after the average square error is 350-430 hours. It results in the unjustified increase of average specific expences on repair. The methodology of determination of statistical estimation of actual average resource offered by authors is described. It allows to describe adequately the real processes of change of resource parameters in dependence of work and work out the method of determination of remaining resource of component part of vehicle, the error of which does not exceed 15-20%.

Постановка проблеми. Відомо, що основою усякого наукового прогнозування є математична модель зміни прогнозованої величини в залежності від заданих показників (частіш за все, від часу та напрацювання). Похибка прогнозування суттєво залежить від ступеня адекватності такого описання відповідному реальному процесу. У свою чергу, точність моделі можна виявити шляхом експериментальної перевірки правомірності допущень та припущень, зроблених при побудові цієї моделі.

Таким чином, для встановлення точності існуючих методів індивідуального прогнозування технічного стану агрегатів машин необхідно мати великий статистичний матеріал у вигляді ансамблів реалізацій діагностичних параметрів. Така інформація, яку було отримано нами, наведена в роботі [1]. В результаті її обробки виявилось, що цілий ряд припущень, на яких заснований існуючий метод прогнозування, у багатьох випадках недостатньо підтверджується. Тому виникла потреба в розробці більш загальної моделі зміни ресурсного параметра в залежності від напрацювання та отримання на її основі функції умовного розподілу залишкового ресурсу.

Аналіз досліджень. Відомі методи прогнозування стану технічних пристроїв було проаналізовано, на підставі чого зроблено висновок, що меті нашої роботи задовольняє класифікація стратегій ремонту, яка передбачає такі стратегії відновлення ресурсу: за потребою після відмови; регламентована за напрацюванням; за фактичним станом [2,3]. При обробці статистичного матеріалу найбільш зручним є метод Монте-Карло, який доцільно використовувати для побудови імітаційної моделі, що передбачає як процеси зміни технічного стану агрегатів та вузлів машини за весь строк служби, так і процес обслуговування її ремонтними роботами згідно зі стратегією, яку необхідно перевірити [4]. При розробці спеціальної моделі для вирішення задач даного дослідження необхідно враховувати ряд сучасних досягнень, які наведені в роботах [5,6,7].

Метою дослідження є визначення похибки існуючого методу прогнозування залишкового ресурсу складової частини машини та представлення основних положень розробленої методики визначення статистичної оцінки фактичного середнього ресурсу з метою розробки загальної моделі зміни ресурсного параметра в залежності від напрацювання.

Результати дослідження. Найбільш достовірну перевірку існуючого методу прогнозування $t_{зап}$, заснованого на моделі, що дозволяє визначити функцію розподілу залишкового ресурсу, можна здійснити на основі відомих статистичних критеріїв узгодження теоретичних і емпіричних розподілів [2,3]. Однак, навіть при використанні більш потужного критерію ω^2 необхідно мати, згідно ГОСТ 11.006-74, не менше 50 фактичних значень ресурсу. Оскільки нам необхідно отримати умовну функцію розподілу, то це означає, що 50 і більше реалізацій діагностичного параметра повинні проходити через одну точку з коор-

динаміки (t_k, u_k) або в безпосередній близькості від неї. Вивчення зібраних експериментальних даних з динаміки параметрів технічного стану вузлів і деталей машин [1] показало, що, у кращому випадку, не більш третини усіх наявних реалізацій задовольняють вказаній умові. Отже, для виконання такої перевірки необхідно мати більше ніж 150 реалізацій, кожна з яких повинна містити по 4–6 фактичних значень параметра аж до граничного. Вочевидь, виконати таке завдання стосовно ресурсних параметрів практично неможливо. Оскільки оцінка математичного очікування набагато більш статистично стійка, ніж емпіричні частоти [2], було вирішено здійснювати статистичну оцінку середнього залишкового ресурсу. У численних у наших дослідженнях встановлено, що розподіл ресурсу агрегатів добре узгоджується із законом Вейбулла, причому коефіцієнт варіації ресурсу у більшості випадків знаходиться в діапазоні від 0,3 до 0,5. Тоді для забезпечення відносної точності оцінки показників надійності $\delta = 0,2$ при довірчій вірогідності $\beta = 0,8$ необхідно мати 3–8 об'єктів спостережень згідно ГОСТ 17510–79 для плану [NUN]. Отже, з урахуванням вищевикладеного, потрібно отримати ансамблі по 9–24 реалізацій ресурсних параметрів технічного стану вузлів і агрегатів для достовірної перевірки існуючого методу прогнозування [4, 5].

Таким чином, отримано досить широкий експериментальний матеріал з динаміки діагностичних параметрів основних вузлів і агрегатів. Використання цих даних для визначення погрішності існуючого методу прогнозування середнього ресурсу складової частини, який розраховують згідно [7], представлено [уявляти] нижче.

Розроблена наступна методика статистичної оцінки фактичного середнього залишкового ресурсу.

При деякому фіксованому значенні u_k слід вибрати таку величину напрацювання t_k , щоб у інтервалі біля неї довжиною $\pm 15\%$ від t_m (міжконтрольного напрацювання) знаходилося не менше 5 реалізацій. Графічно це означає, що 5–7 реалізацій перетинають рівень u_n при напрацюванні $t_k \pm 15\%$ від t_m . Потім треба

підрахувати фактичний залишковий ресурс $\hat{t}_{зал_i}$ кожного i -го агрегату, який відповідає одній з вказаних реалізацій, згідно загальноприйнятому методу:

$$\hat{t}_{зал_i} = t_{n_i} - t_k, \quad i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

де t_{n_i} — напрацювання, при якому зміна параметра i -го агрегату дорівнює u_n .

Оцінку середнього фактичного залишкового ресурсу $\hat{t}_{зал}^{cp}$ розраховуємо для кожної з вибраних вищевказаним способом точок (t_k, u_k) як середнє арифметичне всіх m отриманих за формулою (1) значень. Визначивши вибіркоче середнє квадратичне відхилення $\hat{\sigma}_{зал}$, слід знайти довірчий інтервал середнього залишкового ресурсу $t_{зал}^{cp}$ при довірчій вірогідності $\beta = 0,8$ за формулою [2]:

$$\hat{t}_{зал}^{cp} - t_{\beta m-1} \frac{\hat{\sigma}_{зал}}{\sqrt{m}} < t_{зал}^{cp} < \hat{t}_{зал}^{cp} + t_{\beta m-1} \frac{\hat{\sigma}_{зал}}{\sqrt{m}} \quad (2)$$

де $t_{\beta m-1}$ — квантиль розподілу Ст'юдента з числом ступенів свободи $\kappa = m-1$.

Результати розрахунку за деякими діагностичними параметрами (таблиця 1) показали, що відносна погрішність визначення середнього залишкового ресурсу в середньому складає від 14 до 25 %, іноді досягаючи 45–50% і залежить істотно від розташування фактичної точки (t_k, u_k). Приблизно в половині всіх випадків значення $t_{зал}^{cp}$ не потрапило в довірчий інтервал фактичного середнього залишкового ресурсу при $\beta = 0,8$. Не підтвердився факт прямої пропорційної пропорціональної залежності між середнім залишковим ресурсом і напрацюванням до моменту контролю, який витікає з формули (7) [4]. Таким

чином, аналіз результатів застосування вживання існуючого методу прогнозування середнього залишкового ресурсу показав, що його необхідно уточнити.

Зібраний статистичний матеріал дозволив також розрахувати погрішність статистичної оцінки показників, від яких залежить, згідно [4], умовна вірогідність відмови $Q\{t_{\text{зал}}/u(t_k) = u_k\}$. Завдяки цьому можна знайти середньоквадратичну погрішність існуючого методу прогнозування оптимального залишкового ресурсу $t_{\text{зал}}^{\text{opt}}$. З цією метою скористаємося відомим з теорії вимірювань «законом складання помилок» [3], який полягає у підсумовуванні квадратів незалежних складових погрішності, які визначаються за допомогою апарату часткових похідних, тобто за формулою:

$$y_{t_{\text{зал}}^{\text{opt}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial t_{\text{зал}}^{\text{opt}}}{\partial a_i} \sigma a_i \right)^2}, \quad (3)$$

де $\frac{\partial t_{\text{зал}}^{\text{opt}}}{\partial a_i}$ – чутливість $t_{\text{зал}}^{\text{opt}}$ до зміни показника a_i ;

y_{a_i} – середня квадратична похибка оцінки показника a_i ;

k – кількість показників.

Таблиця 1

Похибка визначення середнього залишкового ресурсу існуючим методом

Діагностичний параметр	Трактор	Значення параметра в момент контролю, u_k	Напрацювання до моменту контролю мото-год, t_k	Середній залишковий ресурс, мото-год.			
				Фактичний		За ГОСТ 21571-92	
				значення	довірчий інтервал, $\beta=0,8$	значення	відносна похибка, %
Кількість газів, що прориваються в картер	МТЗ-82	0,6	750 ± 100	640	570 – 710	500	21,9
			1150 ± 100	740	660 – 820	770	– 4,1
	ДТ-75	0,4	1100 ± 150	1030	920 – 1140	930	9,7
			1500 ± 150	1100	930 – 1220	1260	–14,5
Висота ґрунтозацепів протектора	МТЗ-82	0,6	1000 ± 100	850	750 – 950	400	52,9
			1500 ± 150	720	600 – 840	600	16,7
Осьовий зазор в підшипниках опірних катків	ДТ-75	0,5	1250 ± 120	1140	990 – 1290	880	22,8
			1500 ± 120	950	900 – 1160	1060	–11,6

Найбільший вплив на величину $Q(t_{\text{зал}})$ дає відносна середня похибка прогнозування y_n . Методика її розрахунку побудована таким чином, що похибка статистичної оцінки інших впливових показників (тобто α , u_k , t_k) призводить до відповідного збільшення цієї характеристики. Автори даного методу припускають, що величина y_n не залежить, ні від напрацювання t_k , ні від значення параметра u_k , ні від залишкового ресурсу $t_{\text{зал}}$. Проте розрахунки на основі наявних даних по динаміці діагностичних параметрів показали, що при зміні $t_{\text{зал}}$ у 2 рази (від $0,5t_M$ до t_M) у більшості випадків статистична оцінка y_n зменшується на 35–68%, а в середньому – на 51%. Пояснюється тлумачить це тим, що в 76% всіх випадків не підтверджується припущення гадка про пряму пропорційну пропорціональну залежність між абсолютною погрішністю прогнозування і математичним очікуванням чеканням прирощення параметра за однаковий період. В результаті встановлено установлений, що середня квадратична погрішність оцінки величини лежить в межах від 0,24 до 0,57 для різних параметрів і в середньому складає 0,39.

Економічні характеристики ремонту також істотно впливають на формування середньої квадратичної погрішності оптимального залишкового ресурсу $t_{зал}^{opt}$. Можливий діапазон зміни втрат від простою з технічних причин великий, проте точно його важко розрахувати. Враховуючи приведені дані [7], можна в першому наближенні прийняти середньоквадратичну погрішність величини A_0 рівною $y_{A_0} = 0,20$.

Чутливість оптимального залишкового ресурсу до зміни вказаних характеристик розраховується за універсальними таблицями [2], входами яких служать величини u_k/u_n , σ_n , A_0 , α . Оскільки вони незалежні через свою фізичну природу, то можна використовувати формулу (3). У результаті отримуємо оцінку знизу середньоквадратичної погрішності:

$$y_{t_{зал}^{opt}} = \sqrt{\left(\frac{\partial t_{зал}^{opt}}{\partial y_n} \cdot y_n\right)^2 + \left(\frac{\partial t_{зал}^{opt}}{\partial A_0} \cdot y_{A_0}\right)^2} = \sqrt{(0,33 \cdot 0,39)^2 + (0,027 \cdot 0,20)^2} = 0,13 \quad (4)$$

Оскільки в таблицях [2] значення $t_{зал}^{opt}$ нормовані в частках напрацювання до моменту контролю i_k , то в тих же одиницях виходить оцінка $y_{i_{зал}^{opt}}$, тобто середня квадратична погрішність прогнозування оптимального залишкового ресурсу складає близько 13% від t_k . Напрацювання агрегатів сучасних тракторів до ресурсного діагностування, за результатами якого ухвалюють рішення про залишковий ресурс до їх капітального ремонту в межах наступного міжконтрольного інтервалу, складає в середньому 2700–3300 мото-год. При цьому середній залишковий ресурс знаходиться в межах 700–1000 мото-год. Отже, середня квадратична погрішність $y_{t_{зал}^{opt}}$ дорівнює 350–430 мото-год., або 42–50%. Якщо прийняти $A_0 = 1,5$, то така погрішність визначення призводить до збільшення питомих витрат на 20% при $u_k = 0,9$ і на 13% при $u_k = 0,6$, а в середньому – на 16 %.

Висновки і перспективи. Таким чином, існуючий метод прогнозування оптимального залишкового ресурсу обумовлює зумовлює середню квадратичну погрішність не менше 350–430 мото-год., що призводить до підвищення середніх питомих витрат на ремонт на 16%. Це доводить необхідність побудови шикунання адекватного дійсності описання реального процесу зміни діагностичного параметра та розробки на цій основі точнішого і достовірнішого методу визначення залишкового ресурсу складової частини.

Література

1. Сушко О.В. Підвищення ефективності ремонту дизелів транспортних засобів оптимізацією ремонтно-обслуговуючих дій / О.В. Сушко. – Дисс. канд. техн. наук. – К.: 2007. – 178 с.
2. ГОСТ 21571–92. Система технического ремонта и обслуживания техники. Методы определения допускаемого отклонения параметра технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса составных частей агрегатов машин. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 76 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
4. Посвятенко Е.К. Аналіз методів індивідуального прогнозування технічного стану мобільної техніки / Е.К. Посвятенко, О.В. Сушко // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2010. – Вип.21. – Ч.2. – С.423–426.
5. Сушко О.В. Методика визначення граничних значень основних техніко-економічних параметрів двигунів з метою підвищення ефективності ремонту транспортних засобів. Свідоцтво № 15864, Україна. / О.В. Сушко. – Заявлено 10.01.06, зареєстровано 01.03.06 № 15927.
6. Сушко О.В. Описання імітаційних моделей, які використовуються для дослідження системи технічного обслуговування та ремонту машин / О.В. Сушко // Праці ТДАТУ – Випуск 9. – т. 4. – Мелітополь. – 2010 р. – С. 37 – 41.
7. Методические указания по прогнозированию технического состояния машин. М.: ОНТИ ГОСНИТИ, 1972. – 215 с.