

УДК 631.3.004

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ НОВОГО МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН МАШИНИ

Сушко О.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Лодяков С.І., к.т.н.

Національний транспортний університет

Тел. (061) 42-13-54

Анотація – в роботі визначені умови застосування розробленого методу прогнозування залишкового ресурсу складових частин машини з метою зменшення погрішності та підвищення достовірності визначення значень в порівнянні з існуючим методом. Отримані залежності для практичного використання для розрахунку характеристик залишкового ресурсу.

Ключові слова – імітаційні моделі, методи прогнозування, ресурсні параметри, технічний стан, методи побудови моделей прогнозування, залишковий ресурс.

Постановка проблеми. В результаті обробки потужного статистичного матеріалу у вигляді ансамблів реалізацій діагностичних параметрів технічного стану агрегатів машин [1, 2] виявилось, що цілий ряд припущень, на яких заснований існуючий метод прогнозування, у багатьох випадках виконується лише частково, а іноді не виконується зовсім. Встановлено, що 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 будівництві цієї моделі [3]. Була розроблена більш адекватна модель зміни ресурсного параметра в залежності від напрацювання та на її основі отримана функція умовного розподілу залишкового ресурсу [4].

У зв'язку з цим виникла потреба виявлення умов застосування розробленого нами нового методу визначення умовної функції розподілу залишкового ресурсу складової частини машини з метою зменшення погрішності та підвищення достовірності визначення значень у порівнянні з існуючим методом.

Аналіз останніх досліджень. Попередніми дослідженнями встановлено, що існуючий метод прогнозування оптимального залиш-

кового ресурсу обумовлює середню квадратичну погрішність не менше 350 - 430 мото-год., що призводить до підвищення середніх питомих витрат на ремонт [2,3]. Це довело необхідність побудови більш адекватного дійсності описання реального процесу зміни діагностичного параметра та розробки на цій основі точнішого і достовірнішого методу визначення залишкового ресурсу складової частини [4]. Отримана умовна функція розподілу залишкового ресурсу складових частин мобільної техніки, яка добре узгоджується з трьохпараметричним розподілом Вейбулла та дозволяє знайти вірогідність відмови. Порівняння середнього залишкового ресурсу, визначеного за отриманою нами формулою з відповідними фактичними значеннями діагностичних параметрів показало їх близьку відповідність. Встановлено, що практично всі значення середніх залишкових ресурсів знаходяться в межах встановленого за експериментальними даними довірчого інтервалу [5].

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є виявлення умов застосування розробленого нового методу визначення умовної функції розподілу залишкового ресурсу складової частини машини.

Основна частина. Перш за все доцільно з'ясувати, за рахунок чого розроблений нами метод дозволяє значно зменшити погрішність і підвищити достовірність визначення залишкового ресурсу в порівнянні з тим методом, що існує, крім того факту, що він побудований на адекватнішій дійсності моделі процесу зміни параметра.

Аналіз показав, що при визначенні характеристик ресурсу за існуючим методом вважається, що апріорна вірогідність «попадання» фактичних значень діагностичних параметрів в різні точки (t_k, u_k) площини tOU розподілена рівномірно, хоча насправді це зовсім не так. У розробленому методі вказана нерівномірність враховується шляхом використання функції розподілу ресурсу по параметру. За рахунок використання функцій розподілу як показника середньої швидкості V , так і перерізів випадкового процесу $Z(t)$ вдається врахувати можливість того, що величина Z_k у момент контролю не дорівнює 0 (існуючий метод прогнозування заснований на протилежному твердженні). Знаменник функції (16, [5]) якраз і виражає умовну середню величину $Z(t_k)$ за умови, що $u(t_k) = u_k$. У фізичному плані суть відмінності розробленого методу від того, що існує полягає в тому, що перший забезпечує врахування взаємозалежності між сусідніми значеннями складових процесу зношення конкретного об'єкту і його взаємозв'язку з характеристиками процесу зміни параметра сукупності однорідних об'єктів. Переваги розробленого методу перед існуючим пояснюється рисунком, де для наочності показані два варіанти максимальної відмінності між отриманими за їх допомогою результатами (рисунок 1).

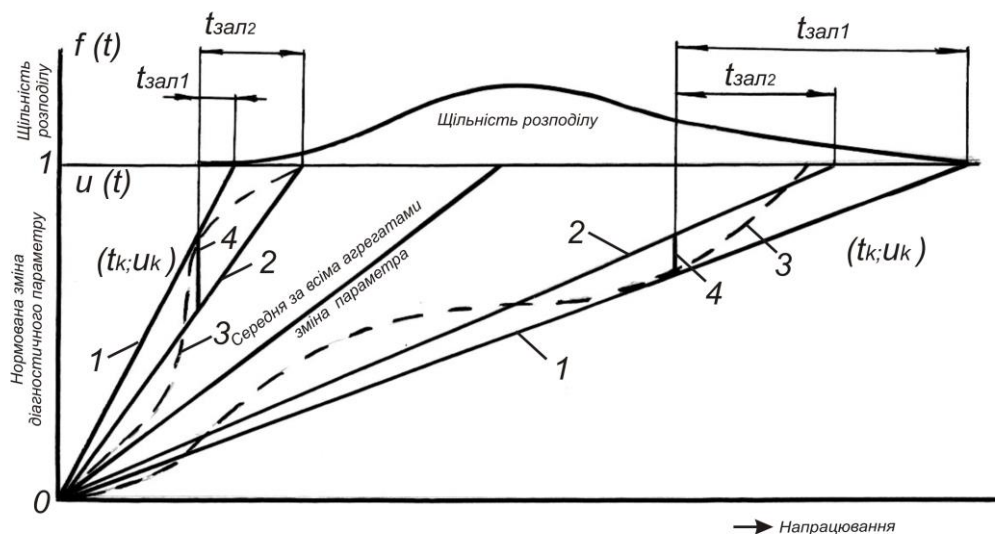


Рисунок 1 – Схема визначення середнього залишкового ресурсу агрегату існуючим та розробленим методами при двох варіантах результатів діагностування експериментальних точок (t_k, u_k)

t_k – напрацювання до моменту контролю;

u_k – нормована зміна параметру, отримана за результатами діагностування;

- 1 – умовна середня зміна параметру за існуючим методом ($t_{зал1}$ – отриманий при цьому середній залишковий ресурс);
- 2 – умовна середня зміна параметру за розробленим методом ($t_{зал2}$ – отриманий при цьому середній залишковий ресурс);
- 3 – фактична зміна діагностичного параметру;
- 4 – умовне середнє значення процесу $Z(t)$ в момент контролю при розробленому методі.

Численні розрахунки середнього і оптимального ресурсів обома методами дозволили встановити, що у ряді випадків їх результати виявляються близькими (таблиця 1). Дослідження отриманих значень показало, що існуючий алгоритм забезпечує відносну погрішність визначення середнього залишкового ресурсу порядку 10-12 % і оптимального залишкового ресурсу - не більше 20 % (це цілком прийнятно для вирішення практичних завдань) при виконанні хоч би однієї з наступних умов:

1. Варіація ресурсу V достатньо велика – більше 0,8, що на практиці зустрічається рідко.

2. Величина V функції зміни параметра конкретної складової частини не більше ніж на $\pm 15\%$ відрізняється від генерального середнього значення V_0 .

3. Прогнозування здійснюється не на весь можливий діапазон зміни залишкового ресурсу від 0 до t_m , а на вузький інтервал, який охоплює ту величину міжконтрольного напрацювання, на основі якого розрахована відносна погрішність прогнозування σ_n .

Таблиця 1 – Порівняльна розрахункова характеристика існуючого та розробленого методів визначення залишкового ресурсу

Значення вихідних показників динаміки та ресурсу	Напряцювання до моменту контролю t_k , тис. мото-год.	Величина зміни діагностичного параметра, u_k	Середній залишковий ресурс $t_{зал}^{cp}$, тис. мото-год.				
			За розробленим методом			За існуючим методом	
			Точно за формулою (17, [5])	Приблизно за ф-лою (1)	Відносна погрішність, %	Значення	Відносна погрішність, %
$\alpha = 0,8$ $\sigma_z = 0,05$ $T_0 = 4$ тис. мото-год. $V = 0,4$	3	0,5	3,304	3,240	2,0	4,130	-25,2
	4	0,7	1,976	1,925	2,6	2,247	-13,7
	6	0,9	0,717	0,757	5,6	0,845	-17,9
$\alpha = 0,8$ $\sigma_z = 0,10$ $T_0 = 4$ тис. мото-год. $V = 0,4$	2	0,6	2,031	2,004	1,3	1,785	12,1
	3	0,8	1,764	1,103	5,2	0,965	17,1
	5	0,9	0,670	0,653	2,5	0,704	-5,1
$\alpha = 1,0$ $\sigma_z = 0,15$ $T_0 = 4$ тис. мото-год. $V = 0,4$	2	0,6	2,231	2,214	0,8	1,333	40,2
	3	0,7	1,887	1,783	5,5	1,286	31,9
	4	0,7	1,983	1,865	6,0	1,714	13,6
	5	0,8	1,513	1,472	2,7	1,250	17,4
$\alpha = 1,0$ $\sigma_z = 0,13$ $T_0 = 4$ тис. мото-год. $V = 0,4$	4	0,6	3,004	2,909	3,2	2,667	11,2
	4	0,8	1,248	1,193	4,4	1,000	19,9
	6	0,8	1,730	1,532	11,4	1,500	13,3
$\alpha = 1,5$ $\sigma_z = 0,08$ $T_0 = 4$ тис. мото-год. $V = 0,4$	3	0,9	0,253	0,242	4,3	0,218	13,8
	4	0,5	2,113	2,161	2,3	2,350	-11,1
	5	0,5	2,417	2,584	-6,9	2,937	-21,5
	6	0,7	1,409	1,482	-5,2	1,611	-14,3

Коротко кажучи, існуючий метод має задовільну точність тільки для «середніх» елементів, тобто приблизно в 42-55 % всіх можливих випадків, в решті ситуацій рекомендується використовувати розроблений метод. З цією метою розроблена спеціальна програма, за допомогою якої розраховані універсальні й спеціальні таблиці оптимального ресурсу та залишкового ресурсу із заданою вірогідністю безвідмовної роботи. Входами універсальних таблиць є показники σ_z , A_0 , T_{cp} , V , а також нормовані величини t_k , u_k . Крок дискретизації по кожній з цих характеристик вибирався з таким розрахунком, щоб, з урахуванням можливої інтерполяції, максимальна погрішність вихідної величини не перевищувала 10 %.

Для агрегатів найбільш поширених тракторів, по яких були встановлені всі вказані показники, розраховані таблиці оптимального залишкового ресурсу в абсолютних одиницях. Ці таблиці призначені для безпосереднього використання в умовах експлуатації машин.

Отримана функція розподілу залишкового ресурсу (17, [5]) добре узгоджується з трьохпараметричним законом Вейбулла. Враховуючи це, в програму, призначену для обчислення характеристик, був введений блок для визначення параметрів розподілу Вейбулла, який апроксимує фактичну функцію (16, [5]). На основі аналізу розрахунків, проведених за допомогою цієї програми, за допомогою відомих формул розкладання в ступеневі ряди і з урахуванням висловлених вище якісних міркувань про відмінність двох методів, були отримані наближені формули для визначення середнього залишкового ресурсу, його коефіцієнта варіації і параметра зсуву його функції розподілу:

$$t_{зал}^{cp} = t_k \left[\left(\frac{u_n}{u_k} \right)^{1/\alpha} - 1 \right] \cdot K_t; \quad K_t = 1 + t_m^\alpha \left(\frac{u_k}{u_n t_k^\alpha} - \frac{1}{\sqrt{\alpha \cdot T_{cp}^\alpha}} \right) \sqrt{1 - \frac{u_k}{u_n}} \left(4\delta \frac{\sigma_z}{u_n} - 0,5 \right); \quad (1)$$

$$V_{зал} = \frac{3,3\sqrt[3]{\sigma_z^2} \cdot u_k}{\sqrt[4]{\alpha} \sqrt[3]{u_n^5}} n p u t_k \leq T_{cp}; \quad V_{зал} = \frac{3,3\sqrt[3]{\sigma_z^2} \cdot u_k}{\sqrt[4]{\alpha} \sqrt[3]{u_n^5}} \cdot \sqrt{\frac{t_k}{T_{cp}}} n p u t_k > T_{cp}; \quad (2)$$

$$C_{зал} = \left(a_2 - \sqrt{a_2^2 - a_1(u_n - u_k)^2} \right) a_1, \quad (3)$$

$$\text{де } a_1 = \left[\frac{\alpha(u_k + 2,5\sigma_z)}{t_k} + 2,5\sigma_z \right]^2 + 6,25\sigma_z^2;$$

$$a_2 = \frac{\alpha(u_k + 2,5\sigma_z)}{t_k} (u_n - u_k) + 2,5\sigma_z(u_n - u_k + 2,5\sigma_z).$$

Порівняння розрахованих на основі цих формул значень функції розподілу Вейбулла з відповідними точними величинами, визначеними за формулою (15, [5]) за критерієм згоди χ^2 показало, що з довірчою вірогідністю $\beta = 0,99$ наближені формули (1, 2, 3) можуть бути використані замість точної. При цьому відносна погрішність не перевищує 2,5%. Результати деяких розрахунків наведені в таблиці 2.

Як видно, запропонована формула розрахунку середнього залишкового ресурсу (16, [5]) відрізняється від існуючої поправочним коефіцієнтом K_t , який дозволяє врахувати вплив середнього ресурсу T_{cp} і середнього квадратичного відхилення σ_z . Зміна величини $\tau_{кор}$ від 0,8 t_m до 1,6 t_m (тобто для найбільш широко поширених значень) практично не впливає на середнє залишкове $t_{зал}^{cp}$ і середнє оптимальне

$t_{зал}^{opt}$ значення. Наближені формули (10 і 11, [5]) отримані за умови, що $\tau_{кор} = t_m$ і коефіцієнт варіації ресурсу $V = 0,3 - 0,7$.

Таблиця 2 – Визначення можливості апроксимації умовної функції розподілу остаточного ресурсу законом Вейбулла

Значення вихідних показників динаміки і ресурсу	Номер інтервалу	Поточне значення залишкового ресурсу	Вірогідність заданого значення залишкового ресурсу, %		Величина критерію згоди χ^2 при рівні значущості 0,01	
			за формулою (16, [5])	за законом Вейбулла	розрахункова	таблична
α σ_z T_0 V t_k U_k	1	0,495	5,0	5,1	2,22	13,3
	2	0,675	13,9	14,7		
	3	0,855	24,7	25,9		
	4	1,035	26,3	28,2		
	5	1,215	18,8	18,3		
	6	1,395	9,9	6,4		
	7	1,575	1,4	1,2		
α σ_z T_0 V t_k U_k	1	0,788	11,0	11,0	0,90	13,3
	2	1,155	17,8	19,4		
	3	1,521	22,8	24,2		
	4	1,888	20,9	21,5		
	5	2,254	15,3	14,0		
	6	2,621	8,1	6,7		
	7	2,988	4,1	3,2		
α σ_z T_0 V t_k U_k	1	0,194	5,2	6,3	3,47	18,5
	2	0,338	16,0	14,1		
	3	0,480	16,9	17,4		
	4	0,623	14,8	17,2		
	5	0,765	12,5	14,8		
	6	0,908	10,7	11,3		
	7	1,051	8,3	7,8		
	8	1,194	6,2	5,0		
	9	1,337	5,3	3,1		
	10	1,479	4,1	3,0		

Визначивши за цими формулами $t_{зал}^{cp}$, $V_{зал}$, $C_{зал}$, за відомими таблицями [6] можна легко знайти параметри форми і масштабу функції розподілу Вейбулла, а потім і самі значення цієї функції.

Висновки. Дослідження багатьох реальних процесів зміни ресурсних параметрів дозволило побудувати математичну модель, яка описує ці процеси більш адекватно, ніж існуючі моделі за рахунок урахування автокореляційної функції $\rho_z(\tau)$ процесу $z(t)$. На основі теорії випадкових процесів побудований метод більш точного визначення умовної вірогідності відмови, середнього та оптимального залишкового ресурсу складових частин машин, який базується на даних про фактичний стан кожного об'єкту та на інформації про надійність сукупності однорідних об'єктів. Отримані досить прості для практичного використання залежності для розрахунку характеристик залишкового ресурсу $t_{зал}^{cp}$, $V_{зал}$, $C_{зал}$.

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. *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.
3. *Посвятенко Е.К.* Визначення похибки методу прогнозування оптимального залишкового ресурсу складової частини машини / *Е.К. Посвятенко, О.В. Сушко* // *Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.2.* – К.: НТУ, 2011. – Випуск 24. – С.48 - 51.
4. *Посвятенко Е.К.* Аналіз статистичних характеристик випадкового процесу зміни ресурсних параметрів агрегатів машин і обґрунтування його уточненої математичної моделі / *Е.К. Посвятенко, О.В. Сушко* // *Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.1.* – К.: НТУ, 2012. – Випуск 25. – С. 57- 61.
5. *Сушко О.В.* Розробка нового методу визначення умовної функції розподілу залишкового ресурсу машин // електронний ресурс, режим доступу <http://nbuv.gov.ua/e%3Djournals/nvt dau/2012p>.
6. ГОСТ 21571-92. Система технического ремонта и обслуживания техники. Методы определения допустимого отклонения параметра технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса составных частей агрегатов машин. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 76 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ МАШИНЫ

Сушко О.В., Лодяков С.И.

Аннотация – в статье выявлены условия применения разработанного метода прогнозирования остаточного ресурса составных частей машины с целью уменьшения погрешности и повышения достоверности определения значений в сравнении с существующим методом. Получены зависимости для практического применения для расчета основных характеристик остаточного ресурса.

DETERMINATION OF APPLICATION CONDITIONS OF PROGNOSTICATION METHOD OF REMAINING LIFE OF MACHINE COMPONENT PARTS

O. Sushko, S. Lodyakov

Summary

The application conditions of the developed method of prognostication of remaining life of machine component parts with the purpose of error diminishing and increasing of accuracy of values determination by comparison to an existing method are defined in the article. Dependences for practical application for the calculation of remaining life basic descriptions are obtained.