

Мороз Л. В., Варчук В. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ПОТРЕБУ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ З ЇХ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ

Анотація. Проведені дослідження, в результаті яких отримані необхідні дані, що дозволяють оцінити застосовність побудованої математичної моделі прогнозування потреби в запасних частинах для силових агрегатів спеціальних машин військового призначення в реальних умовах експлуатації.

Ключові слова: потреба, запасні частини, деталь, двигун, трансмісія, прогнозування, математична модель.

Annotation. Studies were conducted, as a result of which the necessary data were obtained, allowing to assess the applicability of the constructed mathematical model for predicting the need for spare parts for power units of special military vehicles in real operating conditions.

Keywords: need, spare parts, part, engine, transmission, forecasting, mathematical model.

Перевірка і реалізація розроблених теоретичних положень з прогнозування потреби в запасних частинах деталей і сполучень двигунів і трансмісій спеціальних машин військового призначення (СМВП) вимагала проведення досліджень, в результаті яких отримані необхідні дані, що дозволяють оцінити застосовність побудованої математичної моделі прогнозування в реальних умовах експлуатації.

На підставі отриманих даних розраховувалися параметри, що характеризують умови роботи силових агрегатів.

В якості основного об'єкта дослідження прийняті деталі циліндро - поршневої групи (ЦПГ) і кривошипно - шатунного механізму (КШМ) двигуна КамАЗ-740.

У двигунах СМВП використовуються деталі ЦПГ і КШМ різного ремонтного розміру, а вартість замічних деталей становить 20...35% від вартості агрегату.

Як правило, деталями, знос яких впливає на експлуатаційні показники ЦПГ і КШМ двигуна, є поршневі кільця, поршні, гільзи циліндрів, вкладиші підшипників колінчастого валу. До 86% двигунів виходять з ладу через зношування деталей ЦПГ і КШМ.

При заміні деталей ЦПГ і КШМ двигунів потрібна велика трудомісткість ремонтних робіт, а також зазвичай вимагається заміна прокладок, сальників та інших дрібних деталей. Це викликає простої машин в ремонті і витрату запасних частин для силових агрегатів.

Відзначимо, що показники надійності машин та їх елементів прийнято визначати стосовно базової моделі. Тому в якості базового агрегату прийнятий двигун КамАЗ-740. Його встановлюють на багатьох моделях СМВП.

При розгляді надійності, а так само інших якісних характеристик машин, агрегатів, вузлів та їх елементів доводиться мати справу з великим числом факторів різного характеру і різним ступенем їх впливу на окремі властивості.

Спеціальні машини військового призначення, як об'єкт дослідження при впливі різних факторів є погано організованою системою, тобто дифузійною, в якій важко виділити ступінь впливу певних факторів.

Основним методом дослідження таких систем є статистичний.

Основною метою даного експериментального дослідження є отримання необхідної статистичної інформації та відповідна обробка її для визначення фактичної потреби в запасних частинах і характеристик надійності силових агрегатів в різних умовах експлуатації, а також для перевірки математичної моделі прогнозування потреби в запасних частинах.

Виходячи з сформульованих вище вимог, методика збору статистичної інформації будувалася з урахуванням необхідності отримання достовірних і повних даних про відмови і знос деталей силових агрегатів, а також отримання даних про зовнішні умови, на основі яких визначається фактична витрата запасних частин до них.

Задача перевірки коректності побудованої математичної моделі прогнозування потреби в запасних частинах полягає в доказі правильності покладеного в основу побудови моделі допущення про те, що критерієм втрати працездатності силових агрегатів є знос сполучень механізмів, і встановлення адекватності результатів, отриманих при розрахунку по математичній моделі в процесі експлуатації.

Згідно поставленим цілям і завданням дослідження проводилися в два етапи.

Перший етап проводився для перевірки прийнятого допущення про критерії виходу з ладу деталей силових агрегатів і визначення чисельних значень швидкості зношування, а так же характеристик умов експлуатації, що входять в розрахункові залежності. Завданням другого етапу експлуатаційних досліджень була перевірка застосовності отриманих розрахункових залежностей прогнозування потреби в запасних частинах в реальних умовах експлуатації.

Для більш повного уявлення про характер попиту на запасні частини різних груп досліджувалися фактичні дані про пробіг з початку експлуатації, тривалість експлуатації, витрату палива, середню швидкість руху на маршрутах і зовнішні умови експлуатації.

Всі автомобілі, що знаходилися під наглядом, експлуатувалися в порівняно однакових кліматичних умовах (табл. 1). Таким чином, забезпечувалася якісно однорідна інформація, що підлягає обробці методами математичної статистики.

Таблиця 1 - Структура дослідного парку машин

Марка машини	Кількість, од.	Пробіг з початку експлуатації, тис. км	Тривалість експлуатації, роки	Категорія умов експлуатації
КамАЗ-5511	2	30	1	IV, V
	5	60	2	IV, V
	3	115	2	IV, V
	9	130	3	IV, V
	5	160	4	IV, V
	12	170	5	IV, V
	3	190	6	IV, V
	22	215	7	IV, V
	21	230	7	IV, V
	40	240	8	IV, V
	73	260	9	IV, V
	50	275	10	IV, V
КамАЗ-5320	8	290	10	IV, V
	39	370	11	IV, V
	24	415	12	IV, V

При дослідженнях надійності сполучень двигуна і трансмісії буває невідомо, яким законом розподілу може підкоритися досліджуваний параметр. В цьому випадку рекомендується визначати число підконтрольних N сполучень і деталей за наближеною формулою:

$$N = \lg(1 - P_x) / \lg(1 - \varepsilon_x) \quad (1)$$

Обробка дослідних даних про технічний стан і показники умов експлуатації силових агрегатів автомобілів заснована на використанні основних завдань математичної статистики, метою якої є знаходження параметрів і визначення закону розподілу, який найбільш точно описує статистичний матеріал.

Методика вирішення задач обробки вихідних даних про надійність силових агрегатів СМВП включає процеси отримання та обробки даних, які діляться на блоки:

- 1 - збір даних про технічний стан та їх систематизація;
- 2 - статистична обробка вибірок для визначення параметрів і видів законів розподілу;
- 3 - визначення параметрів генеральної сукупності;

4 - розробка висновків і пропозицій по номенклатурі запасних частин.

Блок 1 включає три групи. Статистичні дані піддавалися ретельному аналізу по вибірці однієї моделі автомобілів і року випуску, а також з близькими значеннями використовуваного ресурсу за сумарною витратою палива.

Залежно від типу вибірки проводиться подальша спеціалізація обчислювальних операцій. Для повних вибірок (блок 2) передбачається визначення характеру (випадковий - не випадковий) виділяються спостережень; визначення закону розподілу (перевірка за критеріями згоди).

Блок 3 включає параметричні і непараметричні способи порівняння вибірок. Параметричні способи поширюються на середні значення дисперсії, тобто на статистичні. Непараметричні способи передбачають значення всіх членів (варіантів) порівнюваних вибірок, тобто наявність первинної інформації. Якщо обрані критерії оцінки вибірки не належать одній генеральній сукупності, то необхідно перевірити раніше отримані результати. У цьому випадку методика передбачає зворотні зв'язки.

Блок 4 передбачає отримання висновків і пропозицій щодо вибору або обґрунтуванню номенклатури запасних частин для конкретного силового агрегату.

На підставі зібраних даних з вивчення потреби в запасних частинах контрольних груп машин КамАЗ (38 одиниць) і МАЗ (43 одиниці) побудовані діаграми накопичених частот, розподілу пробігів до заміни запасних частин за групами А, В, С для силових агрегатів, а також розподілу витрат часу на поставки запасних частин.

Для побудови статистичних характеристик потрібної номенклатури запасних частин за сумарною витратою палива (пробігу) розбивалася на n інтервалів досліджуваної групи деталей силового агрегату

$$n = 1 + 1,44 \cdot \ln(N), \quad (2)$$

де N - число елементів статистичного ряду.

Довжина інтервалу визначає потрібну кількість запасних частин з виразу:

$$A = \frac{\Pi_{\max} - \Pi_{\min}}{n}, \quad (3)$$

де $\Pi_{\max}$, $\Pi_{\min}$ - найбільше та найменше значення потрібного кількості запасних частин в групі.

За початок першого інтервалу прийнятий пробіг 30 тис. км. Дослідна ймовірність потрібної кількості запасних частин визначена з виразу:

$$P_i = \frac{m_i}{N}, \quad (4)$$

де m_i - дослідна частота в i -му інтервалі.

Середні значення, середні квадратичні відхилення і значення коефіцієнта варіації визначені за формулами:

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n t_{ci} \cdot P_i; \quad \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{ci} - \bar{t})^2 \cdot P_i}; \quad \nu = \frac{\sigma}{\bar{t}}, \quad (5)$$

де n - число інтервалів в статистичному ряді; t_{ci} - значення середини i -го інтервалу;

P_i - дослідна ймовірність i -го інтервалу по групі деталей силових агрегатів.

При обробці статистичних даних про потребу в запасних частинах до силових агрегатів по групах А, В, С було використано нормальний розподіл випадкової величини.

Випадкова величина ξ має нормальний розподіл з параметрами (m , σ^2), якщо

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad x \in (-\infty, \infty). \quad (6)$$

Поряд з наведеним вище поданням щільності нормального розподілу використано наступне:

$$f(x) = \frac{\rho}{\sqrt{\pi}E} \exp \left\{ \frac{\rho^2(x-m)^2}{E^2} \right\}, \quad (7)$$

де $\rho = 0,4769$ є рішенням рівняння.

$$\int_0^5 e^{-x^2/2} dx = \sqrt{\pi}. \quad (8)$$

$E = \rho\sqrt{2\sigma}$ визначається з виразу

$$P(|\xi - m| \leq E) = P(|\xi - m| > E) = 0,5, \quad (9)$$

і називається серединним (або ймовірнісним) відхиленням.

Характеристична функція:

$$\varphi(x) = \exp \left\{ imt - \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{2} \right\}. \quad (10)$$

Моменти:

$$\mu_{2k+1} = 0, \mu_{2k} = 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2k-1) \cdot \sigma^{2k}, \quad (11)$$

$$\text{де } \mu_k = M \cdot (\xi - M \cdot \xi)^k, M \cdot \xi = m, D \cdot \xi = \sigma$$

для $k > 2$

$$M \cdot \xi = m \cdot M \cdot \xi^{k-1} + (k-1) \cdot \sigma^2 \cdot M \cdot \xi^{k-2}. \quad (12)$$

Коефіцієнти асиметрії та ексцесу дорівнюють нулю, мода і медіана збігаються.

Важливість ролі, яку відіграє нормальний розподіл, пояснюється тим, що при широких пропозиціях суми випадкових величин з ростом числа доданків поведуться асимптотично нормально. Відповідні умови складають зміст центральної граничної теореми. За допомогою лінійного перетворення $\eta = \frac{\xi - m}{\sigma}$ нормальний розподіл довільними параметрами (m, σ^2),

приводиться до стандартного нормального закону з параметрами (0,1) і з функцією розподілу

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (13)$$

$$\text{Табулюється, як правило, функція } \Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz \text{ пов'язана з } \Phi(x)$$

співвідношенням $\Phi(x) = 0,5 + \Phi_0(x)$.

Для обчислення $\Phi(x)$ при малих x можна використовувати вираз:

$$\Phi(x) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[x - \frac{x^3}{2 \cdot 3} + \frac{x^5}{2! \cdot 2^2 \cdot 5} + \dots (-1)^n \frac{n \cdot x^{2n+1}}{n!(2n+1) \cdot 2^n} \dots \right] \quad (14)$$

або відношення Міллса:

$$R(x) = \sqrt{2\pi} \frac{1 - \Phi(x)}{e^{-x^2/2}} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(x^2 - y^2)/2} dy, \quad (15)$$

яке розкладається в безперервну дріб:

$$R(x) = \frac{1}{x +} \cdot \frac{1}{x +} \cdot \frac{2}{x +} \cdot \frac{3}{x +} \dots \frac{n}{x +} \dots, \quad (16)$$

Нормально розподілена випадкова величина з великою ймовірністю приймає значення, близькі до свого математичного сподівання, що виражається правилом сигм:

$$P\{|\xi - m| \geq k \cdot \sigma\} = \begin{cases} 0,3173..., k = 1 \\ 0,0455..., k = 2 \\ 0,0027..., k = 3 \end{cases} \quad (17)$$

Найчастіше використовують правило трьох сигм.

Нормальний розподіл безмежно ділим. Якщо сума двох незалежних випадкових величин має нормальний розподіл, то і кожна випадкова величина має нормальний розподіл.

Список використаних джерел:

1. Аулін В.В., Ляшук О.Л., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Міронов Д.В., Слободян Л.М., Рогатинський Р.М. Оптимальний комплекс операцій технічного обслуговування і ремонту для підвищення надійності вузлів, систем та агрегатів мобільних машин. Збірник наукових праць. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. № 8(39), т. II. 2023. С. 175-189.
2. Доктрина «Забезпечення матеріально-технічними засобами, роботами та послугами» (ВКП 4-160(03).01). Затверджена начальником Генерального штабу Збройних Сил України 21.01.2021 р.
3. Poliakov A., Antonyuk O., Ratsyborynskiy V. Identification of improvement ways of estimation method for nomenclature and quantity of spare parts. Tehnomus. New technologies and products in machine manufacturing technologies. Journal. 2013. No. 20. P. 34 - 39.
4. Поляков А. П., Антонюк О. П., Галушак Д. О. Організація забезпечення запасними частинами автотранспортних підприємств. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. 2012. Вип. 36. С. 238-240.

Мороз Лариса Василівна – ст. викладач, кафедра військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morozlarisa764@gmail.com.

Варчук Вячеслав Володимирович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.

Larisa Vasylivna Moroz – senior Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: morozlarisa764@gmail.com.

Vyacheslav Volodymyrovych Varchuk – Assistant Professor, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vvvarchuk@vntu.edu.ua.