

Поляков А. П., Мороз Л. В., Стороженко Я. В.

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗМІНИ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИН ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗОВНІШНІХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Анотація. У даній роботі досліджується вплив на зміну потреби в запасних частинах для силових агрегатів (двигуна і трансмісії) спеціальних машин військового призначення ряду експлуатаційних показників: середньої технічної швидкості руху, радіуса кочення колеса, технічного стану трансмісії, опору повітря, завантаження, витрати палива.

Ключові слова: номенклатура запасних частин, транспортні і атмосферно-кліматичні умови, культура експлуатації транспортних засобів, ступінь використання вантажопідйомності.

Annotation. This paper examines the impact of a number of operational indicators on the change in the demand for spare parts for power units (engine and transmission) of special military vehicles: average technical speed, wheel rolling radius, technical condition of the transmission, air resistance, loading, fuel consumption.

Keywords: nomenclature of spare parts, transport and atmospheric and climatic conditions, culture of vehicle operation, degree of use of load capacity.

Велике різноманіття технологічних і експлуатаційних чинників, які зустрічаються в процесі тривалої експлуатації спеціальних машин військового призначення (СМВП), викликають різну швидкість зношування сполучень, що приводить до підвищення попиту на запасні частини у декілька разів.

На рис. 1 і рис. 2 показана зміна потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії СМВП залежно від середньої технічної швидкості руху і середнього ефективного тиску двигуна при русі їх на різних передачах. З рисунків видно, що найменша потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії спостерігається при русі машини на вищій передачі і найбільша - при русі на першій передачі. Кожній передачі відповідає швидкість руху машини, при якій потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії буде найменша.

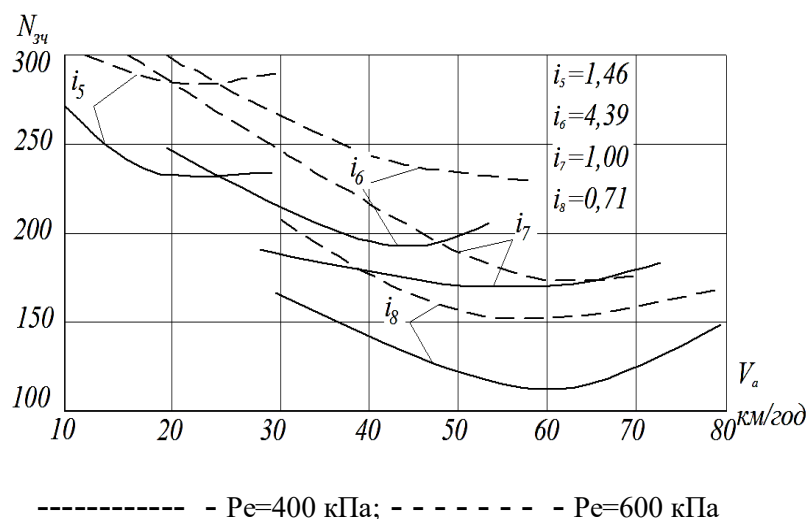
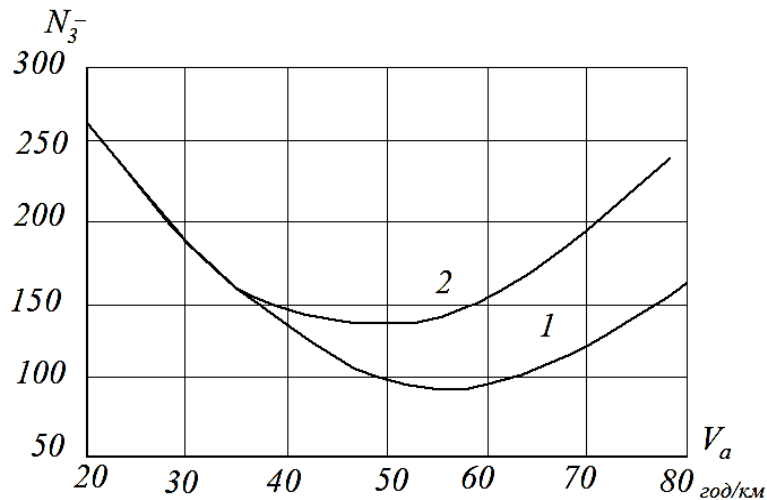


Рисунок 1 - Зміна потреби в запасних частинах до силових агрегатів машини КамАЗ-5320 залежно від швидкості руху на різних передачах при постійному навантаженні



1 - за наявності обтічника над кабіною; 2 - за відсутності обтічника

Рисунок 2 – Зміна витрати запасних частин для силових агрегатів машини КамАЗ-5320

Визначимо швидкість руху СМВП, при якій потреба в запасних частинах до силових агрегатів буде найменшою. Продиференціюємо двічі рівняння швидкості зношування сполучень двигуна і трансмісії по середній технічній швидкості руху і прирівнявши їх до нуля, отримаємо рівняння середньозваженого передатного числа трансмісії, що має дійсне рішення і два комплексно зв'язаних рішення.

Використовуючи формулу Кардано для вирішення кубічного рівняння і зважаючи на тільки дійсне рішення, отримаємо:

$$i_{cp} = \frac{z_k}{0,7 \cdot 10^{-2} \cdot V_{max}} \cdot \sqrt{\frac{1}{V_n \cdot \eta_{TP}} \left(\frac{0,14 \cdot k_r \cdot V_{max} \cdot V_a^3}{G_a} - 3,85 \cdot k \cdot F \right)}. \quad (1)$$

З отриманого рівняння виходить, що потреба в запасних частинах до силових агрегатів залежить від передатного числа головної передачі. При збільшенні передатного числа головної передачі спостерігається найменша потреба в запасних частинах при найменших середніх технічних швидкостях руху автомобіля. Це необхідно враховувати при призначенні умов експлуатації для машин - тягачів, автобусів, самоскидів і інших машин, які мають різні значення передатного числа головної передачі.

СМВП, на яких встановлені ділянки перед коробкою передач, мають декілька значень середніх технічних швидкостей руху, при яких спостерігається найменша потреба в запасних частинах. Так, при збільшенні передатного числа головної передачі на 15 %, середня швидкість руху, при якій потреба в запасних частинах буде найменшою, зменшиться на 7...9 %.

Потреба в запасних частинах залежить також від радіуса кочення колеса. З математичних моделей швидкості зношування сполучень двигуна і трансмісії видно, що входить у вираз визначення постійних коефіцієнтів першого ступеня. Розрахунки показують, що зі зменшенням радіусу кочення колеса на 10% внаслідок зносу протектора і зменшення тиску повітря в шині потреба в запасних частинах збільшується на 8,9%.

Коефіцієнт корисної дії трансмісії залежить від технічного стану агрегатів і силової передачі. Для різних СМВП він в середньому змінюється в межах 0,8...0,9, а в залежності від технічного стану машини ККД трансмісії може змінюватися на 10...15%.

У разі збільшення ККД трансмісії на 10% потребу в запасних частинах знижується на 4...6%. Отже, при справному стані трансмісії, а також використанні належних мастильних матеріалів, знижується потреба в запасних частинах до силових агрегатів СМВП.

При русі машини на підвищеній швидкості значна частина енергії витрачається на подолання опору повітря. Це викликає додаткове навантаження на силові агрегати.

Фактор обтічності визначається як добуток коефіцієнта опору повітря на лобову площу автомобіля F . Коефіцієнт опору повітря знаходимо з рівняння:

$$K = \left[\frac{\rho \cdot T_0 \cdot P}{(253 + t) \cdot \rho_0} \right] \cdot C_k \quad (2)$$

де $\rho_0 = 0,125 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$; $T_0 = 288 \text{ К}$; C_k - безрозмірний коефіцієнт аеродинамічного опору; t - температура повітря, $^{\circ}\text{С}$.

Коефіцієнт опору повітря для вантажної машини знаходиться в межах 0,075...0,100.

Взимку, коли температура $t = -25^{\circ}\text{С}$, щільність повітря, а, отже, і сила опору повітря на 18% більше, ніж при температурі $t_n = 15^{\circ}\text{С}$. Влітку при температурі $t = 30^{\circ}\text{С}$ вона нижче на 6%.

Ці зміни необхідно враховувати, виконуючи розрахунки щодо потреби в запасних частинах.

Якщо тиск повітря коливається в межах 740...780 мм.рт.ст. величину ρ/ρ_0 можна прийняти постійною.

Коефіцієнт аеродинамічного опору C_x залежно від форми і силуету кузова для вантажної машини змінюється в межах 0,6...0,8.

Поліпшення аеродинамічних якостей СМВП - резерв зниження потреби в запасних частинах до силових агрегатів.

Наприклад, при зниженні для вантажних машин значень C_x від 0,7 до 0,5 потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії знижується на 18%.

Для автопоїздів потрібно враховувати опір повітря на кожен причіп. З достатньою точністю можна прийняти, що кожен причіп збільшує опір на 20%.

Висота СМВП при перевезенні великогабаритних вантажів і контейнерів різко зростає, тому підвищується потреба в запасних частинах, пов'язана із збільшенням опору повітря.

При роботі автопоїздів з високими швидкостями руху (більше 60 км/год) для зменшення аеродинамічного опору встановлюють під кабіною машини обтічники.

Застосування обтікачів знижує потребу в запасних частинах для силових агрегатів до 14%.

На рис. 2 показано зміну потреби в запасних частинах до силових агрегатів машини КамАЗ з різними значеннями фактора обтічності k_F . Значення отримано розрахунковим шляхом.

З рис. 2 випливає, що при малих швидкостях руху (20...40 км/год) потреба в запасних частинах практично не залежить від фактора обтічності і її можна не враховувати.

При великих швидкостях СМВП (більш 60 км/год) потреба в запасних частинах залежно від фактора обтічності збільшиться на 8...12%, що дуже важливо враховувати при міжміських перевезеннях вантажів.

Вплив на потребу в запасних частинах для двигуна і трансмісії має також середня технічна швидкість руху машин.

При збільшенні швидкості руху машини витрата запасних частин спочатку зменшується, а потім збільшується. Це пояснюється тим, що, з одного боку, швидкість обертання колінчастого вала двигуна на 1 км шляху зменшується, а з іншого - зростає середній ефективний тиск на подолання опору повітря.

При малих швидкостях руху швидкість зношування сполучень силових агрегатів різко зростає, тому потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії зростає.

При швидкості руху 0,6...0,7 $V_{\max}$ потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії найменша.

В цілому найменша потреба в запасних частинах спостерігається при оптимальній швидкості руху СМВП (з урахуванням їх завантаження):

$$V_{\text{opt}} = \sqrt[3]{z \cdot G_a} \quad (3)$$

$$\text{де } z = \frac{[V_h \cdot \eta_{TP} \cdot r_k \cdot (0,7 \cdot 10^{-2} \cdot i_k \cdot V_{\max})^2 + 3,85 \cdot k \cdot F]}{0,14 \cdot k_F \cdot V_{\max}} - \text{постійний коефіцієнт для даної}$$

машини.

На рис. 3 показані залежності потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії СМВП при різному завантаженні.

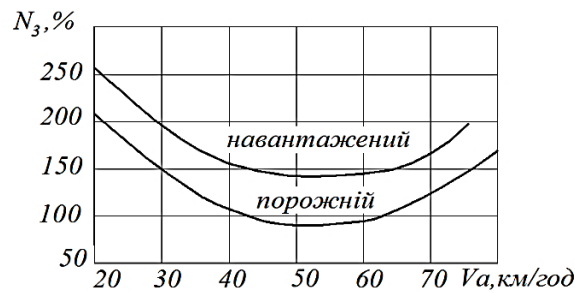


Рисунок 2.3 - Зміна потреби в запасних частинах до силових агрегатів СМВП КамАЗ-5320 від швидкості руху та маси машини

З рисунків видно, що в разі великих значень швидкості руху ($V_a > 0,6 \dots 0,7 V_{\max}$) потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії більше, ніж при швидкості $0,6 \dots 0,7 V_{\max}$.

При зменшенні швидкості руху потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії також збільшується.

Якщо швидкість СМВП 20 км/год, то потреба в запасних частинах для двигуна і трансмісії збільшується в середньому в 3,5 рази в порівнянні з мінімальною потребою в запасних частинах при швидкості 50...60 км/ч.

З точки зору зниження потреби в запасних частинах, збільшення ресурсу силових агрегатів, паливної економічності та безпеки руху доцільно рухатись зі швидкістю $0,6 \dots 0,7 V_{\max}$.

При збільшенні швидкості до максимальної потреба в запасних частинах до двигуна і трансмісії збільшується в 1,5...2 рази.

Таким чином, при раціональному виборі швидкостей руху можна домогтися значного зниження потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії.

Розглянемо, як впливає на потребу в запасних частинах для двигуна і трансмісії маса СМВП.

Зі збільшенням маси спостерігається збільшення потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії, а також зсув зони найменшої потреби в запасних частинах для силових агрегатів в бік більших значень середньої технічної швидкості руху.

Це пояснюється тим, що зі збільшенням маси машини збільшується середній ефективний тиск в циліндрах двигуна і змінюється сумарна кількість обертів колінчастого вала двигуна на 1 км шляху.

Очевидно, що експлуатація СМВП з більшим завантаженням (2...3 причепа) доцільно на дорогах з удосконаленим покриттям, для яких коефіцієнт сумарного дорожнього опору мінімальний.

Зі сказаного вище випливає, що в процесі експлуатації СМВП можна домогтися зниження потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії в результаті вибору в різних межах середньої технічної швидкості руху, маси і маршрутів з найменшим сумарним опором дороги.

Цьому сприяє також застосування відповідних марок палива, масел, підвищення кваліфікації водіїв.

В процесі експлуатації робоздатність агрегатів СМВП, відновлюють послідовної заміною новими деталями або відновленими. Саме запасні частини є одночасно і базою, і інструментом резервування надійності машин через нерівномірність деталей і сполучень силових агрегатів.

Доцільно розробити номенклатуру і методи розрахунку номенклатури запасних частин, а також прогнозування потреби їх на заданий період часу по швидкості зношування. При цьому слід використовувати облік фізичних характеристик, які показують вплив на витрату запасних частин конструктивних, технологічних та експлуатаційних показників. Тому в роботі розглянуті методи оцінки потреби в запасних частинах для силових агрегатів СМВП, які

принципово відрізняються від існуючих. Установлено такий методичний підхід, який враховує при оцінці потреби в запасних частинах дорожні, транспортні і атмосферно-кліматичні умови, культуру експлуатації транспортних засобів, а також ступінь використання вантажопідйомності, причепів, умов навантаження та розвантаження, швидкість руху, якість конструкцій і виготовлення тощо.

Залежно від складності зовнішніх умов експлуатації СМВП потреба у запасних частинах встановлюється для тих зовнішніх умов експлуатації, потреба в яких виявлена. Тому для формування потрібної номенклатури запасних частин слід використовувати показники зміни ресурсу сполучень в магістральному і міському циклах з різним ступенем завантаження.

Ці показники характеризують зміну потреби в запасних частинах залежно від вантаження і швидкісного режиму роботи машин. Однак, число факторів, що впливають на витрати запасних частин, дуже велике. Тому в основу формування номенклатури запасних частин покладений розрахунково-статистичний метод.

Оцінка потреби в запасних частинах проводиться за допомогою аналізу роботи СМВП за умовами експлуатації, що дозволяє визначити вплив особливостей роботи силових агрегатів в конкретних умовах на зміну потреби в запасних частинах конкретного найменування.

Передбачається також застосування дослідно-експериментального методу в тих випадках, коли експлуатується невелика кількість СМВП даної моделі і розрахунково-статистичний метод не може бути застосований через відсутність фактичних даних про потребу в запасних частинах.

Пропонований аналітичний метод оцінки потреби в запасних частинах принципово відрізняється тим, що математична модель базується на швидкості зношування сполучень силових агрегатів, що враховує енергетичні витрати на виконання транспортної роботи, індивідуальні особливості і технічний стан конкретної СМВП.

Потреба в запасних частинах еквівалентна кількості витраченого двигуном палива, яке характеризує енергетичні витрати на виконання транспортної роботи. Потреба в запасних частинах певного найменування встановлюється за рівнянням

$$N_3 = \frac{0,01 \cdot H_{\text{л}} \cdot l_{\text{cc}} \cdot (1,045 - 0,003 \cdot t_{\text{с}}) \cdot n_3 \cdot D_{\text{рп}} \cdot \alpha_m}{Q_{\text{с}} \cdot K_{\text{р}}} \quad (4)$$

де $H_{\text{л}}$ - лінійна норма витрати палива, л/100 км; l_{cc} - середньодобовий пробіг автомобіля, км; $t_{\text{с}}$ - температура навколишнього повітря, °С; n_3 - кількість деталей одного найменування, встановлюваних на СМВП; $K_{\text{р}}$ - коефіцієнт обліку витрати ресурсу сполучень; $D_{\text{рп}}$ - дні роботи протягом року, дні; α_m - коефіцієнт технічної готовності; $Q_{\text{с}}$ - сумарна витрата палива, еквівалентна ресурсу деталей (запасних частин), л.

Потреба в запасних частинах для СМВП ґрунтується на вантажно-швидкісному режимі роботи в заданих умовах. У цьому зв'язку середній ефективний тиск визначається при мінімальному значенні питомої витрати палива ($g_{\text{с}} = g_{\text{emin}}$), а швидкість руху машини прийнята рівною крейсерській, тобто $V_{\text{а}} = 0,7V_{\text{max}}$. Ці умови відповідають найбільшому ресурсу деталей, вузлів і агрегатів.

Враховуючи сказане вище, сумарна витрата палива за весь період експлуатації деталі (вузла, агрегату) складає

$$Q_{\text{с}} = \frac{AL_H \cdot V_{\text{max}}^2 \cdot q_{\text{emin}}}{V_h \cdot \eta_{\text{mp}}} \cdot (0,011 \cdot G_{\text{п}} + 0,003 \cdot k_F \cdot V_{\text{max}}^2) \quad (5)$$

де A - постійний коефіцієнт для даної СМВП; V_{max} - найбільша швидкість руху машини, км/год; V_h - об'єм двигуна, л; g_{emin} - найменша питома витрата палива, г*кВт/год; η_{mp} - ККД трансмісії; $G_{\text{п}}$ - вага порожньої машини, н; k_F - фактор обтічності, н*м².

Список використаних джерел:

1. Поляков А.П. Метод формування необхідної кількості запасних частин для ремонту засобів транспорту [Електронний ресурс] / А.П. Поляков, О.П. Антонюк, Д.О. Галушак, О.О. Галушак // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – №2. – С. 1-5. – Режим доступу до журналу:

http://www.nbuu.gov.ua/ejournals/vntu/2012_2/2012-2.files/uk/12apptmr_ua.pdf.

2. Strelnikov V.P., Strelnikov P.V. Defining the nomenclature of the spare parts sets and calculating the number of single sets of spare parts. Mathematical machines and systems. 2022. N 2. С. 83–90. <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2022-2-83-90>.

3. Бойовий статут “Логістика Сухопутних військ Збройних Сил України” (тактичний рівень). Наказ Командувача Сухопутних військ Збройних Сил України від 30.03. 2021 р. № 218. [Електронний ресурс] Режим доступу <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2024/02/2-4-3211.01.pdf>.

4. Доктрина «Забезпечення матеріально-технічними засобами, роботами та послугами» (ВКП 4-160(03).01). Затверджена начальником Генерального штабу Збройних Сил України 21.01.2021 р.

Поляков Андрій Павлович - доктор технічних наук, завідувач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: poliakovap61@gmail.com.

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

Стороженко Ярослав Валерійович — студент групи 2АТ-24м, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: farv@vntu.edu.ua

Andriy Pavlovych Polyakov - doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: poliakovap61@gmail.com.

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

Storozhenko Yaroslav Valeriyovych — student of group 2АТ-24м, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: farv@vntu.edu.ua