

## КОРЕГУВАННЯ РЕСУРСУ ТА ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН ЗА МЕТОДИКОЮ НОРМУВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА

Кривошапов С. І.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Недоліком діючої в Україні системи технічного обслуговування і ремонту машин є відсутність механізму коригування періодичності технічних впливів залежно від умов руху транспортних засобів. Метою дослідження є встановлення впливу витрати палива на ресурс та періодичності технічного обслуговування автомобілів. Методом математичного моделювання отримано аналітичні формули, які пов'язують ресурс із витратою палива. Запропоновано проводити коригування ресурсу і періодичності технічного обслуговування за тих саме засадах, що застосовуються для коректування витрати палива. На прикладі автомобіля КраЗ-6322 було проведено розрахунки ресурсу та витрати палива; також отримано графічні залежності зміни цих показників від середньої швидкості автомобіля. Було введено коефіцієнти зміни ресурсу і зміни витрати палива; також отримано графічний взаємозв'язок цих коефіцієнтів. Розроблено рекомендації щодо зміни періодичності технічного обслуговування та ресурсу машин за інформацією, яка міститься у шляховій документації.*

***Ключові слова:** ресурс, ремонт, технічне обслуговування, витрати палива, умови експлуатації, автомобіль, нормування, коригування періодичності, швидкісні властивості.*

### Вступ

У процесі експлуатації надійність транспортних машин визначається через ресурс та періодичність технічного обслуговування [1]. Для дорожньо-транспортних засобів прийнято ці показники напрацювання розраховувати через пробіг у кілометрах.

Чисельні значення періодичності технічного обслуговування встановлені в Україні на законодавчому рівні [2]. Однак у чинній методиці ресурс і періодичність технічного обслуговування не залежать від режиму роботи та умов експлуатації машин.

Такий підхід не прийнятний, оскільки інтенсивність зношування поверхонь тертя залежить від режимів швидкості та навантаження автомобіля. Також зі зменшенням швидкості збільшується час роботи на одиницю пробігу (відстані), що не враховує обраний показник напрацювання.

Тому необхідно запропонувати зручний спосіб корегування показників наробітку від режиму руху та умов експлуатації машин.

### Аналіз публікацій

Існують методики [3, 4], в яких періодичність технічного обслуговування коригується категоріями умов експлуатації, що визначається поєднанням наступних факторів: типом рельєфу місцевості, станом дорожнього покриття, умовами руху (місто, приміська зона,

за межами міста), а також природно-кліматичними умовами.

У методиці [5] для коригування періодичності технічного обслуговування і ресурсу автомобілів застосовуються певні категорії умов, які встановлюються дорожніми і транспортними умовами експлуатації та залежать від середньої технічної швидкості руху автомобіля.

Використання методики [5] на практиці обмежує той факт, що в законодавстві України відсутня обов'язкова вимога щодо встановлення і використання на всіх автомобілях тахографа – приладу для реєстрації швидкості [6], або застосування системи GPS моніторингу швидкості [7].

В роботі [8] доведено, що між ресурсом машини і сумарною витратою палива існує стійка кореляція. Складні умови експлуатації призводять до більш інтенсивного скорочення ресурсу та підвищеної шляхової витрати палива. Ця особливість закладена в методиці [5] нормування періодичності технічного обслуговування за фактичним станом.

Визначати витрату палива можна експериментальним [9] або аналітичним шляхом [10]. Найбільш зручною методикою є розрахункова модель витрати палива проф. Говорущенка М.Я. [8].

Відкритим залишається питання переходу від витрати палива до ресурсу машини та

способу обліку умов експлуатації за транспортною документацією.

**Мета та постановка завдання**

Метою роботи є встановлення аналітичної залежності, яка зв'яже зміну фактичної витрати палива з періодичністю технічного обслуговування для різних умов експлуатації.

Для практичної діяльності необхідно розробити алгоритм залучення інформації щодо умов експлуатації, які зазначені у шляховій документації, для коректування періодичності технічного обслуговування та ресурсу транспортних машин.

**Основний матеріал досліджень**

У процесі перевезення вантажів і пасажирів у шляховому листі відображається інформація про пробіг автомобіля, а також відомості про фактичне і нормативне споживання витрати палива.

Значення витрати палива за нормою в Україні визначається за методикою [11]. У цій методиці наведено 15 умов експлуатації, коли збільшується витрата палива, і три умови, коли вона зменшується.

Рекомендовано в дорожньому листі вказувати для кожного маршруту руху автомобіля пройдену відстань, об'єм перевезеного вантажу, норму споживання палива, значення коефіцієнта зміни витрати палива залежно від умов експлуатації автомобіля.

Пропонується використовувати умови експлуатації, обумовлені в методиці нормування витрати палива [11], для коригування періодичності технічного обслуговування і ресурсу машин. Для цього необхідно провести додаткові дослідження, спрямовані на встановлення взаємозв'язку умов експлуатації з витратою палива і ресурсом автомобіля.

**Математичне моделювання ресурсу транспортних машин**

За методикою [8], витрата палива залежить від швидкості автомобіля. Загальний вигляд нормативного значення витрати палива:

$$Q = \frac{K_1}{V} + K_2 \cdot V^2, \tag{1}$$

де  $K_1$  та  $K_2$  – коефіцієнти;  $V$  – швидкість автомобіля, км/год.

Значення коефіцієнтів  $K_1$  та  $K_2$  були визначені наступним чином:

$$K_1 = \left( A \cdot K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{kn} + B \cdot K_c^2 \cdot V_{\max}^2 \cdot i_{kn}^2 + C \cdot G_a \cdot 0,01 \cdot V_{\max} \right) / \eta_i; \tag{2}$$

$$K_2 = \frac{0,077 \cdot C \cdot kF}{\eta_i}, \tag{3}$$

де  $A, B, C$  – коефіцієнти, які залежать від конструкційних параметрів автомобіля та характеристик умов експлуатації;  $K_c$  – швидкісний коефіцієнт;  $V_{\max}$  – максимальна швидкість автомобіля, км/год.;  $i_{kn}$  – передавальне число коробки передач, що відповідає найвищій передачі (за якої досягається максимальна швидкість);  $G_a$  – вага транспортного засобу, Н;  $\eta_i$  – індикаторний ККД двигуна;  $kF$  – фактор обтічності повітря,  $\text{H} \cdot \text{c}^2 / \text{m}^2$ .

Розв'язання рівняння (1) відносно швидкості автомобіля  $V$  дає три розв'язки:

$$V = \sqrt[3]{\Omega} + \frac{Q}{3K_2 \sqrt[3]{\Omega}}; \tag{4}$$

$$V = \sqrt[3]{\Omega} - \frac{Q}{3K_2 \sqrt[3]{\Omega}} + \frac{\sqrt{3}}{2} \left( \sqrt[3]{\Omega} - \frac{Q}{3K_2 \sqrt[3]{\Omega}} \right) i;$$

$$V = \sqrt[3]{\Omega} - \frac{Q}{3K_2 \sqrt[3]{\Omega}} - \frac{\sqrt{3}}{2} \left( \sqrt[3]{\Omega} - \frac{Q}{3K_2 \sqrt[3]{\Omega}} \right) i,$$

де  $\Omega = \sqrt{\frac{K_1}{4K_2^2} - \left( \frac{Q}{3K_2} \right)^3} - \frac{K_1}{2K_2}$ .

Як видно, один розв'язок рівняння є дійсним та два – комплексні. Перше і третє рівняння дають значення швидкості автомобіля в області додатних (позитивних) чисел, а друге – в області від'ємних (негативних) значень.

Ресурс машини (у км) за зношуванням циліндро-поршневої групи (ЦПГ) двигуна визначається [8] за формулою:

$$L_{\text{кр}} = \frac{F_{\text{дв}} \cdot V}{\gamma \cdot 60}, \tag{5}$$

де  $F_{\text{дв}}$  – максимальне зношування у ЦПГ, мг;  $\gamma$  – швидкість зношування, мг/хв.

Максимальне зношування визначається за формулою:

$$F_{\text{дв}} = 0,523 \cdot 10^6 \cdot S_n \cdot D_n \cdot \rho_m \cdot X_n \cdot \delta_{\max}, \tag{6}$$

де  $S_n$  – хід поршня (відстань від НМТ до ВМТ), м;  $D_n$  – діаметр циліндра, м;  $\rho_m$  – щільність матеріалу, з якого вироблено поршень, г/см<sup>3</sup>;  $X_n$  – кількість циліндрів;  $\delta_{\max}$  – максимальне зношування циліндра, мм.

Швидкість зношування визначається за емпіричною формулою:

$$\gamma = A_n \cdot n + B_n \cdot n^2 + C_n \cdot n^3 + A_p \cdot P_e, \quad (7)$$

де  $A_n$ ,  $B_n$ ,  $C_n$ ,  $A_p$  – коефіцієнти, які враховують параметри автомобіля;  $n$  – частота обертів колінчастого вала двигуна, хв<sup>-1</sup>;  $P_e$  – середній ефективний тиск, кПа.

Необхідно пов'язати вихідні параметри двигуна внутрішнього згорання з режимом навантаження трансмісії. Моделі з рідними типами трансмісії вивчені в роботі [12].

Частота обертів колінчастого вала двигуна визначається за формулою:

$$n = 2,56 \cdot \frac{V \cdot i_0 \cdot i_k}{r_k}, \quad (8)$$

де  $i_0$  – передатне число головної передачі;  $i_k$  – передатне число коробки передач;  $r_k$  – радіус колеса, м.

Середній ефективний тиск визначається наступним чином:

$$P_e = \frac{12,5 \cdot r_k \cdot (G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot kF \cdot V^2)}{V_h \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta_{\text{тр}}}, \quad (9)$$

де  $\psi$  – сумарний дорожній опір;  $V_h$  – робочий об'єм двигуна, л;  $\eta_{\text{тр}}$  – ККД трансмісії.

Розглянемо модель розрахунку передаточного числа коробки передач, яка основана на середньозваженому значенні. Коефіцієнт сумарного дорожнього опору і передаточне число коробки передач змінюється зворотно пропорційно до середньої технічної швидкості:

$$\psi = \frac{0,01 \cdot V_{\max}}{V}; \quad (10)$$

$$i_k = \frac{K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{\text{кп}}}{V}. \quad (11)$$

Після підстановки формули (11) у вираз (8) частоту обертів колінчастого вала двигуна буде визначено так:

$$n = 2,56 \cdot \frac{K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{\text{кп}} \cdot i_0}{r_k}. \quad (12)$$

В такому разі частота обертів колінчастого вала двигуна не залежить від швидкості руху, а навантаження трансмісії враховується коефіцієнтом сумарного дорожнього опору.

Спільний розв'язок виразів (10), (11) та (9) визначає середній ефективний тиск

$$P_e = \frac{12,5 \cdot r_k \cdot (G_a \cdot \frac{0,01 V_{\max}}{V} + \frac{kF \cdot V^2}{13}) \cdot V}{V_h \cdot i_0 \cdot K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{\text{кп}} \cdot \eta_{\text{тр}}}. \quad (13)$$

Підставимо в залежність (5) формули (6), (7), (12) і (13). Тоді у загальному вигляді ресурс машини визначається наступним чином:

$$L_{\text{кр}} = \frac{a \cdot V}{b + c \cdot V \cdot \left( \frac{d}{V} + e \cdot V^2 \right)}, \quad (14)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  – коефіцієнти, які визначаються так:

$$\begin{aligned} a &= F_{\text{ДВ}}; \\ b &= 60 \cdot (A_n \cdot n + B_n \cdot n^2 + C_n \cdot n^3); \\ c &= \frac{750 \cdot A_p \cdot r_k}{K_c \cdot V_h \cdot V_{\max} \cdot i_0 \cdot i_{\text{кп}} \cdot \eta_{\text{тр}}}; \\ d &= 0,01 \cdot G_a \cdot V_{\max}; \\ e &= 0,077 \cdot kF. \end{aligned}$$

Підставимо у формулу (14) вираз (4), тоді:

$$L_{\text{кр}} = \frac{a}{\frac{b + c \cdot d}{\sqrt[3]{\Omega} + \frac{Q}{3K_2 \sqrt[3]{\Omega}}} + ce(\sqrt[3]{\Omega} + \frac{Q}{3K_2 \sqrt[3]{\Omega}})^2}. \quad (15)$$

Ця формула (15) пов'язує ресурс та витрату палива транспортного засобу.

Швидкості, за яких досягається мінімальна витрата палива та максимальний ресурс, можуть дорівнювати один одному.

У такому випадку першу похідну виразу (1) необхідно дорівняти нулю:

$$\frac{d}{dV} \left( \frac{K_1}{V} + K_2 \cdot V^2 \right) = 2 \cdot K_2 \cdot V - \frac{K_1}{V^2} = 0. \quad (16)$$

Тоді результат розв'язку рівняння (16) у дійсній області:

$$V = \sqrt[3]{\frac{K_1}{2 \cdot K_2}} \quad (17)$$

Першу похідну виразу (14) також необхідно дорівняти нулю:

$$\frac{d}{dV} \left( \frac{a}{\frac{b+c \cdot d}{V} + c \cdot e \cdot V^2} \right) = \frac{a \cdot \left( \frac{b+c \cdot d}{V^2} - 2 \cdot V \cdot c \cdot e \right)}{\left( \frac{b+c \cdot d}{V} + c \cdot e \cdot V^2 \right)^2} = 0 \quad (18)$$

Звідси випливає, що, відкидаючи уявні корені, розв'язком рівняння (18) є:

$$V = \sqrt[3]{\frac{d \cdot c + b}{2 \cdot e \cdot c}} \quad (19)$$

Порівнюючи рівняння (17) та (19), отримуємо критерій подібності максимальних швидкостей, який має наступний вигляд:

$$K_1 \cdot e = K_2 \cdot \left( d + \frac{b}{c} \right) \quad (20)$$

Рівняння (19) може спростити розрахунок за формулою (15), яка пов'язує ресурс і витрату палива.

**Аналіз математичної моделі витрати палива і ресурсу транспортних машин**

Проведемо розрахунок витрати палива на прикладі вантажного автомобіля КрАЗ-6322, який виробляється на Кременчуцькому автозаводі з 1994 року і до нашого часу.

Для цього автомобіля приймаємо наступні технічні дані [13]:  $G_a = 124600 \text{ Н}$ ;  $\eta_i = 0.5$ ;  $kF = 6,9 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$ ;  $a_m = 48 \text{ кПа}$ ;  $V_h = 14,86 \text{ л}$ ;  $K_c = 0,62$ ;  $b_m = 16 \text{ кПа} \cdot \text{с}/\text{м}$ ;  $S_n = 0,14 \text{ м}$ ;  $i_0 = 8,173$ ;  $H_n = 43000 \text{ кДж}/\text{кг}$ ;  $\rho_m = 0,84 \text{ г}/\text{см}^3$ ;  $r_k = 0,6 \text{ м}$ ;  $\eta_{mp} = 0,87$ ;  $V_{\max} = 80 \text{ км}/\text{год}$ ;  $i_{kn} = 0,71$ .

Значення коефіцієнтів  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , згідно методики [8] дорівнюють:

$$A = 7,95 \cdot 48 \cdot 14,86 \cdot 8,173 / (43000 \times 0,84 \cdot 0,6) = 2,14 ;$$

$$B = 0,69 \cdot 16 \cdot 14,86 \cdot 0,14 \cdot 8,173^2 / (43000 \times 0,84 \cdot 0,6^2) = 0,118 ;$$

$$C = 100 / (43000 \cdot 0,84 \cdot 0,87) = 0,0032 .$$

Значення коефіцієнтів (2) і (3):

$$K_1 = (2,14 \cdot 0,62 \cdot 80 \cdot 0,71 + 0,118 \cdot 0,62^2 \cdot 80^2 \times 0,71^2 + 0,0032 \cdot 124600 \cdot 0,01 \cdot 80) / 0,5 = 1076 ;$$

$$K_2 = 0,077 \cdot 0,0032 \cdot 6,9 / 0,5 = 3,37 \cdot 10^{-3} .$$

Витрата палива для автомобіля КрАЗ-6322 має вигляд:

$$Q = \frac{1076}{V} + 0,00337 \cdot V^2 \quad (21)$$

На рис. 1 наведено графічну залежність витрати палива від швидкості автомобіля.

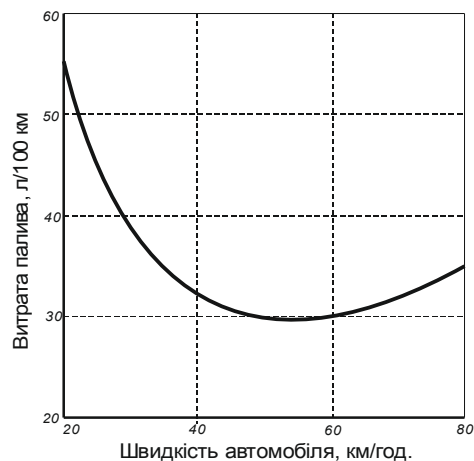


Рис. 1. Характер зміни витрати палива від швидкості руху автомобіля

Для автомобіля КрАЗ-6322 у методиці [11] не вказано базову норму витрати палива. Однак контрольна витрата палива, за даними виробника, складає 33,4 л/100 км. Як правило, експлуатаційна витрата палива на 5...15 % вище, ніж контрольні показники.

Приймаємо базову норму витрати палива 36,3 л/100 км. Така норма витрати палива відповідає розрахунку за формулою (21) за швидкості 33 км/год:

$$Q = \frac{1076}{33} + 0,00337 \cdot 30^2 = 36,3 \text{ л}/100 \text{ км} .$$

Найближчий автомобіль до КрАЗ-6322 у методиці [11] вказано КрАЗ-260 з базовою нормою витрати палива у 42 л/100 км.

Проведемо розрахунок ресурсу. Для автомобіля КрАЗ-6322 приймаємо наступні додаткові дані [8, 7, 11]:  $\rho_m = 7,8 \text{ г/см}^3$ ;  $A_n = 3,9 \cdot 10^{-5}$ ;  $B_n = 4,6 \cdot 10^{-8}$ ;  $C_n = 9,9 \cdot 10^{-11}$ ;  $A_p = 1,15 \cdot 10^{-3}$ ;  $D_n = 0,13 \text{ м}$ ;  $\delta_{\max} = 0,3 \text{ мм}$ ;  $X_n = 8$ .

Середнє передатне число визначається за формулою (11):

$$n = 2,56 \cdot \frac{0,619 \cdot 80 \cdot 0,71 \cdot 8,173}{0,6} = 1226 \text{ хв}^{-1}.$$

Значення коефіцієнтів, які входять до виразу (14):

$$\begin{aligned} a &= F_{\text{ДВ}} = 0,523 \cdot 10^6 \cdot 0,14 \cdot 0,13 \cdot 7,8 \times \\ &\quad \times 8 \cdot 0,4 = 2,376 \cdot 10^5 \text{ мг}; \\ b &= 60 \cdot (3,9 \cdot 10^{-5} \cdot 1226 - 4,6 \cdot 10^{-8} \cdot 1226^2 + \\ &\quad + 9,9 \cdot 10^{-11} \cdot 1226^3) = 9,67; \\ c &= (750 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6) / (0,62 \cdot 14,86 \times \\ &\quad \times 80 \cdot 8,173 \cdot 0,71 \cdot 0,87) = 1,393 \cdot 10^{-4}; \\ d &= 0,01 \cdot 124600 \cdot 80 = 99670; \\ e &= 0,077 \cdot 6,9 = 0,53. \end{aligned}$$

Ресурс для автомобіля КрАЗ-6322 має вигляд:

$$L_{\text{кр}} = 2,376 \cdot 10^5 \cdot V / (9,67 + 1,393 \cdot 10^{-4} \times \\ \times V \cdot \left( \frac{99670}{V} + 0,53 \cdot V^2 \right)). \quad (22)$$

На рис. 2 наведено графічну залежність ресурсу від швидкості автомобіля.

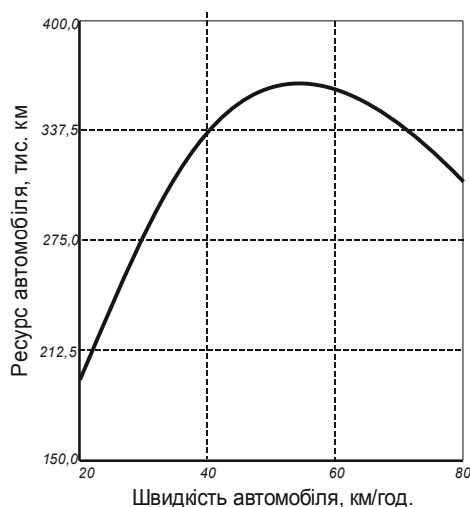


Рис. 2. Характер зміни ресурсу від швидкості руху автомобіля

Для двигуна ЯМЗ-238Д виробник встановлює ресурс до капітального ремонту – 10000 тис. год. За середньої швидкості руху 33 км/год пробіг двигуна до капітального ремонту складає  $10000 \cdot 33 = 330000 \text{ км}$ .

Згідно розрахунку за формулою (22) за швидкості руху 33 км/год ресурс складає майже 299,2 тис. км.

### Аналіз впливу витраті палива на ресурсу автомобіля

Перевіримо відповідність критерію за формулою (20). Ліва та права частини рівняння:

$$\begin{aligned} K_1 \cdot e &= 1076 \cdot 0,53 = 570,2; \\ K_2 \left( d + \frac{b}{c} \right) &= 0,00337 \left( 99670 + \frac{9,67}{1,393 \cdot 10^{-4}} \right) = \\ &= 570,04. \end{aligned}$$

Тобто критерій відповідності швидкостей за формулою (20) є дійсним.

Проведемо розрахунок ресурсу  $L_{\text{кр}}$  для автомобіля КрАЗ-6322 за формулою (15).

У табл. 1 наведено розрахункові значення швидкості, витрати палива та ресурсу автомобіля, які розраховані для доріг з різними категоріями умов експлуатації (КУЕ).

Таблиця 1 – Розрахунки витрати палива та ресурсу для різних категорій доріг

КУЕ	Швидкість руху, км/год	Розрахункові значення	
		витрати палива $Q$ , л/100 км	ресурсу $L_{\text{кр}}$ , тис. км
1	54	29,8	364,8
2	43	31,3	347,3
3	34	35,6	305,4
4	29	40,0	271,8
5	25	45,2	240,4

### Практичні рекомендації

Використання формули (15) дозволяє переходити від методики нормування витрати палива [11] до методики коректування ресурсу транспортних машин.

Для зручності введемо два коефіцієнти: зміни ресурсу ( $k_L$ ) та зміни витрати палива ( $k_Q$ ) відносно нормативного значення відповідного показника. Тобто:

$$k_L = \frac{L_k}{L_n}, \quad k_Q = \frac{Q_k}{Q_n}, \quad (23)$$

де  $L_k$  і  $L_n$  – відповідно дійсне та нормативне значення пробігу автомобіля, км;  $Q_k$  і  $Q_n$  –

відповідно фактичне та нормативне значення витрати палива автомобіля, л/100 км.

На рис. 3 зображено графічний взаємозв'язок коефіцієнтів зміни ресурсу ( $k_L$ ) та зміни витрати палива ( $k_Q$ ) для автомобіля КрАЗ-6322.

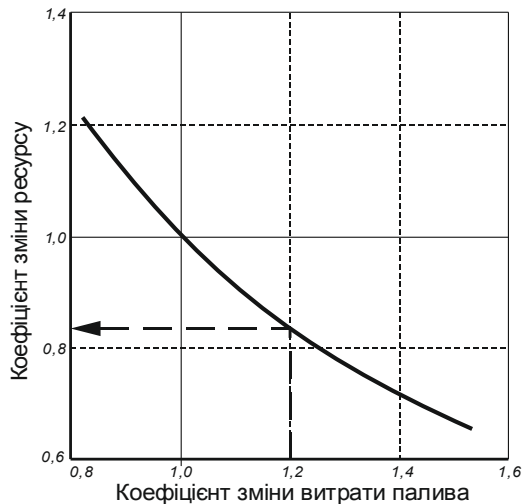


Рис. 3. Взаємозв'язок коефіцієнтів зміни витрати палива та ресурсу

У дорожньому листі вказуються умови експлуатації та значення коефіцієнтів корегування витрати палива, прийнятих відповідно до методики [11]. За графіком (рис. 3) встановлюється значення коефіцієнта зміни ресурсу, через який визначається саморесурс.

Припустимо, що автомобіль КрАЗ-6322 рухається у наступних умовах: місто Харків, температура повітря  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , загальний пробіг – 120 тис. км. Згідно методики [11] витрату палива можна збільшити до 20 % (15 % – за місто, 2 % – за кліматичні умови та 3 % – за технічний стан або вік). У цьому випадку коефіцієнт ресурсу становитиме 0,84 (рис. 3). Тоді, за нормативного ресурсу 300 тис. км, загальний ресурс автомобіля буде 252 тис. км.

Періодичність технічного обслуговування пов'язана із тривалістю циклу вищого порядку. Пробіг між ТО-1 та ТО-2 потрібно змінювати пропорційно ресурсу. Згідно [2] для автомобіля КрАЗ-6322 встановлено наступну нормативну періодичність технічного обслуговування: ТО-1 – 4000 км, ТО-2 – 16000 км. Для розглянутого прикладу періодичність ТО-1 зменшиться і становитиме 3360 км, а ТО-2 – 13440 км.

#### Перспективи виконання

Аналітичні залежності не завжди зручно використовувати на практиці. Однак на ос-

нові математичної моделі можна розробити комп'ютерну програму, яка буде інтегрована у технологічний процес обробки шляхової документації та в автоматичному режимі буде розраховувати періодичність технічного обслуговування та ресурс автомобіля з урахуванням умов експлуатації.

Достовірність розрахунків за математичною моделлю може бути покращено за рахунок більш точного визначення значень емпіричних коефіцієнтів, наприклад, методом машинного навчання [14].

#### Висновки

Використання цього підходу дозволить більш точно оцінювати фактичну зміну технічного стану рухомого складу, скорегувати періодичність технічного обслуговування з урахуванням реальних умов експлуатації, що сприяє підвищенню експлуатаційної надійності машин.

#### Література

1. Kumar U., Galar D., Aditya P., Berges-Muro L. Maintenance performance metrics: A state-of-the-art review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2013. № 19. p. 233-277.
2. Про затвердження «Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту»: Наказ Міністерство транспорту України № 102 від 30.03.98. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0268-98>. (дата звернення: 15.05.2020).
3. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Москва, 1984. 73 с.
4. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей. Москва, 2001. 534 с.
5. Положение о профилактическом обслуживании и ремонте транспортных машин (Методические рекомендации). Харьков, 1998. 39 с.
6. Wang S. Evaluation of traffic speed control devices and its applications: PhD dissertation. Iowa State University Capstones, 2018. 88 p.
7. Devikiruba B. Vehicle Speed Control System Using GSM/GPRS. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*. 2013. Vol. 4 (6). p. 983-987.
8. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследований). Харьков, 2011. 297 с.
9. TieQiao T., JinGang L., YunPeng W., GuiZhen Y. Vehicle's fuel consumption of car-following models. *Science China Technological Sciences*. – 2013/05. Vol. 56, Iss. 5. p. 1307-1312.
10. Ben-Chaim M., Shmerling E., Kuperman A. Analytic modeling of vehicle fuel consumption. *Energies*. 2013. N 6 (1). p. 117-127.

11. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті : Нормативний документ, затверджений Міністерством інфраструктури України 07.10.2011. Київ, 2012. 120 с.
12. Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W., Fietkau P. Automotive transmissions: Fundamentals, selection, design and application. 2011. 742 p.
13. Автомобили КрАЗ-6322-02, КрАЗ-63221-02, КрАЗ-6446-02. Руководство по эксплуатации 6322-02-3902010 РЭ. Кременчуг, 2015. 262 с.
14. Mohssen M., Muhammad B., Eihab B. Machine Learning: Algorithms and Applications. Taylor & Francis Group LLC, 2017. P. 224.

### References

1. Kumar U., Galar D., Aditya P., Stenström Ch., Berges-Muro L. (2013) Maintenance performance metrics: A state-of-the-art review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 19. 233-277.
2. Pro zatverdzhennja "Polozhennja pro tehniche-ne obslugovuvannja i remont dorozhnih transportnyh zasobiv avtomobil'nogo transportu" [About the statement "Regulations on maintenance and repair of road vehicles of motor transport"]. Nakaz Ministerstvo transportu Ukrainy N 102 vid 30.03.98. Retrived from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0268-98>. (accessed: 15.05.2020) [in Ukrainian].
3. Polozhenie o tehničeskom obsluzhivanii i remonte podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta [Regulation on maintenance and repair of rolling stock of motor vehicles]. 1984. Moscow [in Russian].
4. Kuznecov E.S. (2001) Tehničeskaja jekspluatacija avtomobilej [Technical operation of cars]. Moscow [in Russian].
5. Polozhenie o profilaktičeskom obsluzhivanii i remonte transportnyh mashin (Metodicheskie rekomendacii) [Regulation on preventive maintenance and repair of transport vehicles (Methodical recommendations)]. 1998. Kharkov [in Russian].
6. Wang S. (2018) *Evaluation of traffic speed control devices and its applications*. : PhD dissertation. Iowa State University Capstones.
7. Devikiruba B. (2013) Vehicle Speed Control System Using GSM/GPRS. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*. Vol. 4 (6). 983-987.
8. Govorushhenko N.Ja. (2011) Sistemotehnika avtomobil'nogo transporta (raschetnye metody issledovanij) [Automotive system engineering (design research methods)]. Kharkov [in Russian].
9. TieQiao T., JinGang L., YunPeng W., GuiZhen Y. (2013) Vehicle's fuel consumption of car-following models. *Science China Technological Sciences*, Vol. 56, Iss. 5. 1307-1312.

10. Ben-Chaim M., Shmerling E., Kuperman A. (2013) Analytic modeling of vehicle fuel consumption. *Energies*, 6 (1). 117-127.
11. Normy vytrat palyva i mastyl'nyh materi-aliv na avtomobil'nomu transporti [Consumption rates of fuel and lubricants in road transport]. 2012. Kyiv [in Ukrainian].
12. Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W., Fietkau P. (2011). Automotive transmissions: Fundamentals, selection, design and application.
13. Avtomobili KrAZ-6322-02, KrAZ-63221-02, KrAZ-6446-02. Rukovodstvo po jekspluataciji 6322-02-3902010 RJe. Kremenčug, Holdingovaja kompanija «AvtoKrAZ» [Cars KrAZ-6322-02, KrAZ-63221-02, KrAZ-6446-02. Operating Instructions 6322-02-3902010 OM]. Kremenčug [in Russian].
14. Mohssen M., Muhammad B. Eihab B. (2017) Machine Learning: Algorithms and Applications. Taylor & Francis Group LLC.

**Кривошапов Сергій Іванович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. «Технічна експлуатація і сервіс автомобілів ім. проф. Говоруценка М.Я.», тел. +38 057-7073768, [keat@khadi.kharkov.ua](mailto:keat@khadi.kharkov.ua),<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

### Корректировка ресурса и периодичности технического обслуживания транспортных машин по методике нормирования расхода топлива

**Аннотация.** Недостаток действующей в Украине системы технического обслуживания и ремонта машин – отсутствие корректирования периодичности технических воздействий. Установлена аналитическая связь между расходом топлива и ресурсом машины. Предложено производить корректирование ресурса и периодичности технического обслуживания по изменению расхода топлива, используя коэффициенты корректирования. Получены графические зависимости расхода топлива и ресурса на примере автомобиля КрАЗ-6322. Введены коэффициенты изменения ресурса и расхода топлива, получены графические взаимосвязи этих коэффициентов. Разработаны рекомендации по изменению периодичности технического обслуживания по информации из путевой документации на автомобиль.  
**Ключевые слова:** ресурс, ремонт, техническое обслуживание, расход топлива, условия эксплуатации, автомобиль, нормирование, корректирование периодичности, скоростные свойства.

**Кривошапов Сергей Иванович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей им. проф. Говоруценка Н. Я.», тел. +38 057-707-37-68, [keat@khadi.kharkov.ua](mailto:keat@khadi.kharkov.ua),<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, м. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

### Correction of resource and frequency of maintenance of transport vehicles by the method of fuel consumption rationing

**Abstract. Problem.** Under operating conditions, the durability of vehicles is estimated by the resource, which also depends on the frequency of maintenance. The disadvantage of the current system of maintenance and repair of vehicles in Ukraine is the lack of a mechanism for adjusting the frequency of technical impacts depending on the traffic conditions of vehicles' movement. However, in Ukraine there is a methodology of fuel rationing, which adjusts the consumption to the operating conditions. **Goal.** The purpose of the study is to determine the impact of fuel consumption on the resource and frequency of car maintenance. **Methodology.** Mathematical modeling is used to obtain analytical formulas that relate the resource to fuel consumption. **Results.** It is suggested that the resource and frequency of maintenance be adjusted on the same principles as those used to adjust fuel consumption. The deviation of the actual fuel consumption from the standard value can be obtained experimentally or using the adjustment factors specified in the methodology for rationing fuels and lubricants. On the example of KrAZ-6322 the calculations of resource and fuel consumption were carried out and graphic dependences of changing indicators on the average speed of the vehicle were received. The values of fuel consumption and resource change for the five categories of roads were

calculated. To make the application of the method easier, the coefficients of the resource change and the change of fuel consumption were introduced, and a graphical dependence of these coefficients' change was obtained. **Originality.** According to the mathematical model, you can calculate the mileage before major repairs, which information the manufacturer does not usually indicate. In this case, the input parameters are the technical data provided by the manufacturer in the public domain. **Practical value.** The recommendations were developed for changing the frequency of maintenance and service life of vehicles according to the information contained in the travel documentation that accompany the transportation of goods or passengers. A suggestion was made to create a computer software that automates the process of collecting and processing the overall information.

**Key words:** resource, repair, maintenance, fuel consumption, operating conditions, vehicle, rationing, adjustment of the frequency, speed properties.

**Krivoshapov Sergey<sup>1</sup>**, Ph.D., Assoc. Prof., Department of "Technical operation and service of cars named after prof. Govorushchenko N.Ya.", тел. +38 057-707-37-68, keat@khadi.kharkov.ua, <sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkov, 61002, Ukraine.