

УДК 629.3.083.+629.33

**А. П. Поляков, д. т. н., проф.; О. М. Плахотник; В. Й. Нагачевський, ад'юнкт;
М. С. Гречанюк**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПІДТРИМУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ДИЗЕЛІВ АВТОМОБІЛІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Визначено параметри математичної моделі процесу підтримування працездатності системи живлення дизелів автомобілів під час експлуатації, на основі статистичних даних отримано залежності параметра потоку відмов від напрацювання і терміну експлуатації та обґрунтовано закон розподілу ймовірності безвідмовної роботи системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320.

Ключові слова: система технічного обслуговування та ремонту, роботоздатність, надійність, параметр потоку відмов, ймовірність безвідмовної роботи.

Вступ

Система технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) посідає важливе місце в концепції управління якістю автомобілів, зокрема в підтримуванні працездатності в процесі виконання транспортної роботи. Так, у сукупному реалізованому показнику якості автомобіля, що припадає на сферу експлуатації, вага фактора – «Система і організація ТО і Р» складає 25%. Це визначає важливість проведення науково-дослідних та практичних робіт по удосконаленню системи ТО і Р [1].

Існуючі методики підтримування працездатності автомобілів [2 – 6] в основному направлені на удосконалення системи діагностичного та інформаційного забезпечення проведення ТО і Р, що дозволить перейти від стратегії планового обслуговування до обслуговування за станом, яка безперечно є значно ефективнішою. Проте сфера виробництва завжди міститиме частку автомобілів, які будуть оснащені тільки найнеобхіднішими приладами вбудованої діагностики і відповідно будуть більш доступними. Це стосується і морально застарілих автомобілів вітчизняного, в більшості, та іноземного виробництва. Адже, як відомо, середній вік автомобілів, що експлуатуються в Україні, складає 10 – 12 років.

Підтримування працездатності таких автомобілів під час експлуатації вимагає пошуку інших підходів, зокрема за рахунок врахування додаткових факторів, які суттєво впливають на зміну технічного стану автомобіля. Це дозволить визначати більш оптимальні періодичності проведення та переліки робіт ТО.

Як показали результати попереднього дослідження, разом із напрацюванням на працездатність автомобіля впливає і термін його експлуатації. Зазвичай, в літературі дані фактори не розмежовують, однак з точки зору організації ТО різниця між календарним часом та тривалістю використання автомобіля за призначенням має суттєве значення [7].

І все ж теперішній час відсутні дослідження впливу на технічний стан автомобіля разом із напрацюванням – терміну його експлуатації, зокрема діюча система ТО і Р недостатньо враховує одночасний вплив даних факторів.

Методика підтримування працездатності автомобілів під час експлуатації, яка врахувала усі перелічені недоліки, розроблена і детально описана в роботах [8, 9].

Метою розробленої методики підтримування працездатності системи живлення дизелів автомобілів є попередження відмов, шляхом визначення оптимальної періодичності проведення та переліків операцій ТО найменш надійних елементів системи. Для досягнення такої мети було розроблено алгоритм [9], який передбачає виконання ряду логічних умов, розв'язання алгебраїчних

рівнянь та формул, і по суті є математичною моделлю підтримування працездатності системи живлення дизелів автомобілів.

Дана математична модель є апостеріорною, оскільки кінцевий результат досягається при розрахунку вхідних даних за аналітичними залежностями (формулами та законами розподілу), які отримані в результаті обробки та аналізу експериментальних даних.

Відтак функціонування математичної моделі підтримування працездатності системи живлення дизелів автомобілів можливе при наявності апостеріорних параметрів, одержання яких, на основі обробки статистичної інформації по відмовам системи живлення автомобілів КамАЗ-5320, і є метою цієї роботи.

До таких параметрів, згідно розробленої методики, належать:

- залежність параметра потоку відмов системи живлення дизелів автомобілів від напрацювання і терміну експлуатації автомобіля;
- закон розподілу імовірності безвідмовної роботи;
- переліки операцій ТО системи живлення дизелів автомобілів та групування їх за видами.

Вихідною інформацією для визначення вищенаведених параметрів служать статистичні дані про відмови системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320.

Збирання статистичних даних по відмовах системи живлення автомобілів КамАЗ-5320 здійснювалося на ВАТ «Вінницьке автотранспортне підприємство АТП 10554» та підприємстві «AUTODIN», яке займається діагностикою та ремонтом дизельно-паливної апаратури, в тому числі і автомобілів КамАЗ-5320.

Для отримання залежностей зміни параметра потоку відмов залежно від напрацювання і терміну експлуатації автомобілів збиралися наступні статистичні дані: дата випуску автомобіля КамАЗ-5320, дата обслуговування (або ремонту), напрацювання автомобіля на момент обслуговування (або ремонту) та характеристика відмови системи живлення.

Весь період експлуатації автомобілів було розділено на групи експлуатації: за терміном експлуатації – з 0 до 7, з 7 до 14 та з 14 до 21 років перебування в експлуатації; за напрацюванням – від 0 до 50 000 км, від 50 000 до 100 000 км і т. д. до 350 000 км, що в результаті складає $3 \times 7 = 21$ експлуатаційну групу автомобілів.

Наступним кроком, після збору статистичної інформації, є розрахунок параметрів потоку відмов системи живлення автомобілів для кожної експлуатаційної групи за напрацюванням і терміном перебування в експлуатації.

$$\omega(L) = \frac{\sum_{i=1}^n r_i(L)}{n \cdot L}, \left[\frac{1}{\text{км}} \right] \quad (1)$$

де n – кількість автомобілів у досліджуваній групі; $r_i(L)$ – кількість відмов i -ого автомобіля, що відбулися в інтервалі напрацювання величиною L .

Розраховані, за статистичною формулою (1) значення параметрів потоку відмов ω дозволили одержати графічні залежності, що представлені на рис. 1.

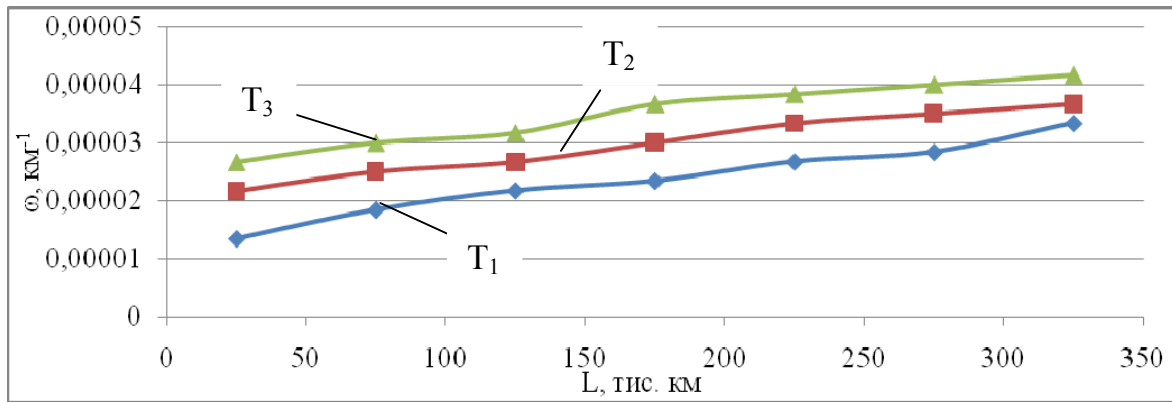


Рис. 1. Графічні залежності параметра потоку відмов системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 ω від напрацювання L і терміну перебування автомобілів в експлуатації T : T_1 – до 7 років експлуатації; T_2 – від 7 до 14 років експлуатації; T_3 – від 14 до 21 року експлуатації

Визначення аналітичної залежності зміни параметра потоку відмов системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 від напрацювання і терміну їх експлуатації

Для одержання аналітичного виразу залежності параметра потоку відмов системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 від напрацювання L і терміну перебування автомобілів в експлуатації T необхідно апроксимувати одержані на основі статистичних даних про відмови залежності параметра потоку відмов.

Складання двофакторного рівняння $\omega = f(L, T)$ здійснювалось шляхом послідовної апроксимації [12]. На першому етапі апроксимувалися графічні залежності параметра потоку від напрацювання $\omega = f(L)$ рис. 2.

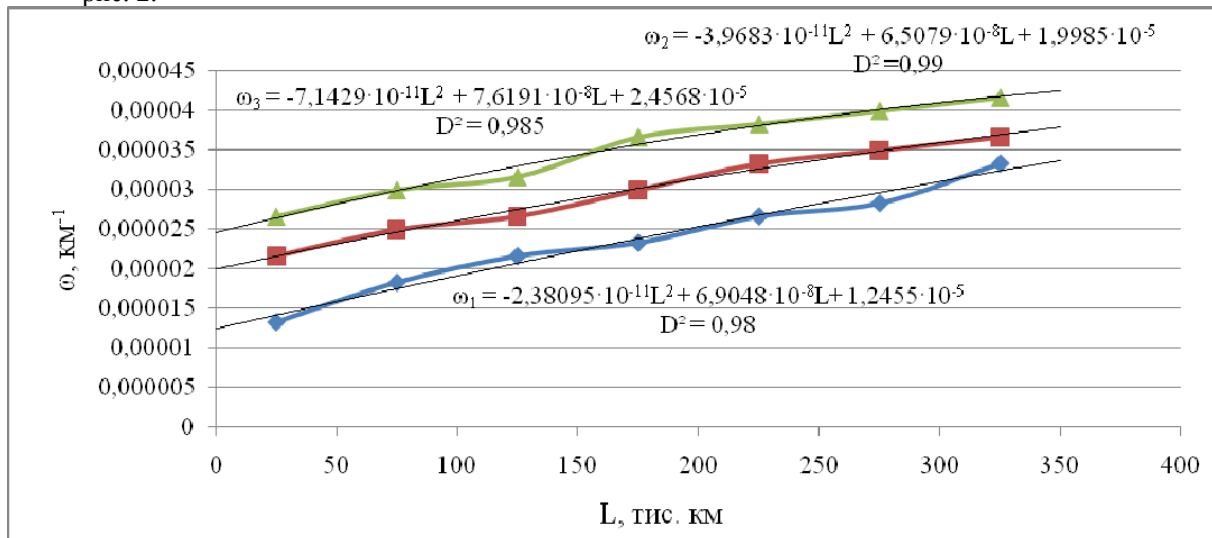


Рис. 2. Апроксимуючі криві залежності параметра потоку відмов системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 ω від напрацювання L і терміну перебування автомобілів в експлуатації T : T_1 – до 7 років експлуатації; T_2 – від 7 до 14 років експлуатації; T_3 – від 14 до 21 року експлуатації. D^2 – величина, що характеризує достовірність апроксимації

Одержані при цьому чисельні значення коефіцієнтів рівнянь апроксимації залежності параметра потоку відмов системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 від терміну перебування автомобілів в експлуатації наведені в табл. 1.

Коефіцієнти рівнянь апроксимації залежності параметра потоку відмов системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320

Термін експлуатації автомобілів, років	Коефіцієнти		
	$a_0, \frac{1}{\text{км}}$	$a_1, \frac{1}{\text{км}^2}$	$a_2, \frac{1}{\text{км}^3}$
Від 0 до 7	$1,2455 \cdot 10^{-5}$	$6,9048 \cdot 10^{-8}$	$-2,381 \cdot 10^{-11}$
Від 7 до 14	$1,9985 \cdot 10^{-5}$	$6,5079 \cdot 10^{-8}$	$-3,9683 \cdot 10^{-11}$
Від 14 до 21	$2,4568 \cdot 10^{-5}$	$7,6191 \cdot 10^{-8}$	$-7,1429 \cdot 10^{-11}$

На другому етапі за чисельними значеннями коефіцієнтів рівнянь апроксимації α_k будуються їх графічні залежності від терміну перебування автомобілів в експлуатації T (рис. 3).

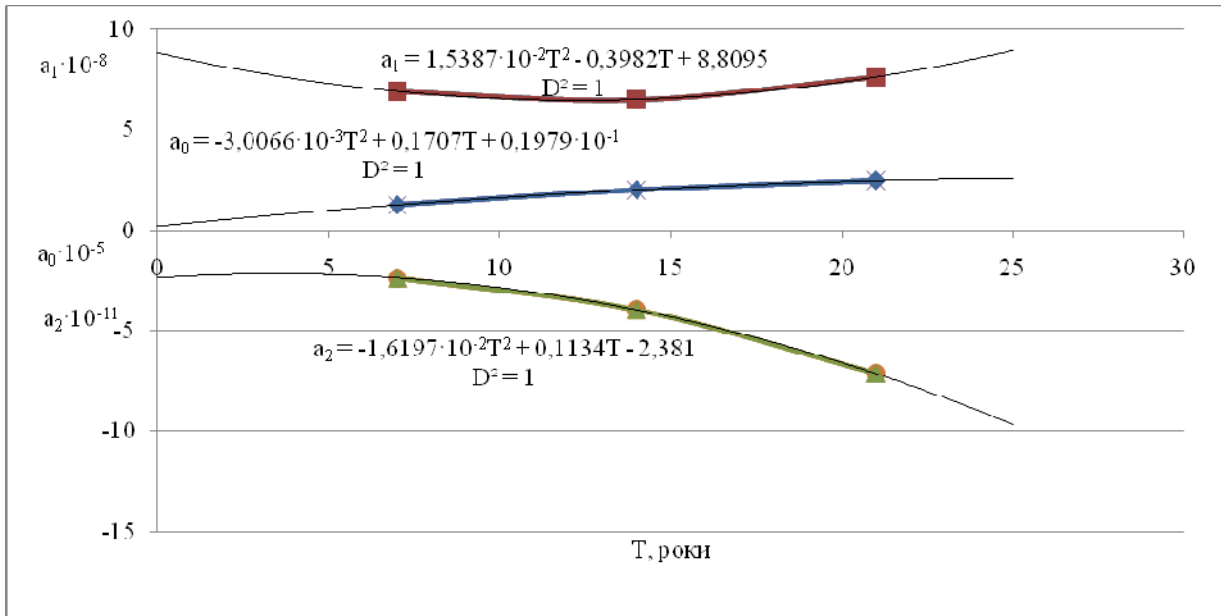


Рис. 3. Залежності коефіцієнтів $a_k = f_k(T)$ рівнянь апроксимації залежності параметра потоку відмов системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 від терміну перебування автомобілів в експлуатації T

Методом найменших квадратів графічні залежності апроксимуються рівнянням 2-ого порядку:

$$a_m = (b_{0m} + b_{1m}T + b_{2m} \cdot T^2) \cdot k_m, \tag{2}$$

де k_m – розмірний коефіцієнт: $k_0 = 1, [\frac{1}{\text{км}}]$; $k_1 = 1, [\frac{1}{\text{км}^2}]$; $k_2 = 1, [\frac{1}{\text{км}^3}]$.

Постійні коефіцієнти рівнянь апроксимації b_{0m} – є безрозмірними величинами, розмірність постійних коефіцієнтів рівнянь апроксимації b_{1m} і $b_{2m} - \frac{1}{\text{рік}}$ і $\frac{1}{\text{рік}^2}$.

На третьому етапі складається загальна аналітична залежність параметра потоку відмов ω автомобіля від напрацювання L і терміну перебування його в експлуатації T :

$$\omega = \alpha_0(f_0(T)) + \alpha_1(f_1(T)) \cdot L + \dots + \alpha_m(f_m(T)) \cdot L^m, [\frac{1}{\text{км}}] \tag{3}$$

де $\alpha_m = f_m(T)$ – аналітичні залежності коефіцієнтів рівнянь апроксимації від терміну перебування автомобіля в експлуатації; m – ступінь рівняння апроксимації.

Залежності коефіцієнтів $a_m = f_m(T)$ рівнянь апроксимації залежності параметра потоку відмов системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 від терміну перебування автомобілів в експлуатації мають такий вигляд:

$$a_0 = -3,0066 \cdot 10^{-3} T^2 + 0,1707 \cdot T + 0,1979$$

$$a_1 = 1,5387 \cdot 10^{-2} T^2 - 0,3982 T + 8,8095$$

$$a_2 = -1,6197 \cdot 10^{-2} T^2 + 0,1134 T - 2,381$$

Величини постійних коефіцієнтів рівнянь апроксимації b_{jm} для кожної марки системи живлення (автомобіля) розраховуються окремо.

Застосування рівнянь апроксимації 2-го порядку забезпечує необхідну точність розрахунків, при цьому середньоквадратичне відхилення розрахункових даних від статистичних не перевищує 2%.

Визначення закону розподілу ймовірності безвідмовної роботи системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320

Під час оцінки ймовірності безвідмовної роботи систем, які працюють із заміною пошкоджених елементів, зазвичай припускають, що параметр потоку відмов у розглядуваному проміжку часу підпорядковується закону Пуассона. Таке припущення виконується точно, якщо закони розподілу ймовірності безвідмовної роботи елементів системи – експоненціальні, тобто якщо $P(I) = e^{-\omega \cdot L}$, де $\omega = \text{const}$. Крім того, відповідно до граничної теореми Пальма, це припущення можна вважати практично виконаним за будь-яких законів розподілу ймовірності безвідмовної роботи елементів системи, якщо кількість останніх у системі достатньо велика [10].

Як показав аналіз відмов елементів системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320, переважна їх більшість спричинена поступовим зносом, а відтак закони розподілу ймовірності безвідмовної роботи елементів системи будуть помітно відрізнятися від експоненціальних. А кількість змінних елементів системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320, за результатами проведених розрахунків, є відносно невеликою, про що свідчить невиконання умов приналежності потоку відмов до пуассонівського [10].

У такому випадку доцільно вводити поправку до пуассонівського наближення. Для цього необхідно спочатку визначити функцію R_k , яка є ймовірністю k відмов у розглядуваному інтервалі напрацювання:

$$\left. \begin{aligned} R_k &\approx \psi(k, a) + \varepsilon \nabla^2 \psi(k, a); \\ \varepsilon &= \frac{1}{2} (D - a), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де a – математичне сподівання (або середня кількість відмов), $a = \omega \cdot L = \frac{\sum_{i=1}^n r_i(L)}{n \cdot L} \cdot L = \frac{\sum_{i=1}^n r_i(L)}{n}$;

$\psi(k, a)$ – пуассонівське наближення для шуканої ймовірності R_k ; $\nabla^2 \psi(k, a)$ – поправка до пуассонівського наближення, що дорівнює другій похідній функції $\psi(k, a)$; D – дисперсія кількості відмов у розглядуваному інтервалі напрацювання; ε – множник, який враховує відхилення дисперсії кількості відмов для даного потоку від дисперсії для відповідного пуассонівського потоку (що дорівнює a).

$$\psi(k, a) = \frac{a^k}{k!} e^{-a};$$

$$\nabla^2 \psi(k, a) = \psi(k, a) - 2\psi(k-1, a) + \psi(k-2, a),$$

Оскільки нас цікавить ймовірність безвідмовної роботи P або ймовірність виникнення 0 відмов R_0 , тобто $k=0$ і $R_0 = P$, матимемо:

$$\psi(0, a) = \nabla^2 \psi(0, a) = e^{-a},$$

звідки отримуємо формулу для ймовірності відсутності відмов у розглядуваному інтервалі напрацювання:

$$P \approx [1 + \varepsilon] \cdot e^{-a}. \quad (5)$$

Аналіз області застосування даного методу розрахунку поправки до пуассонівського потоку показав, що формули (4) і (5) можна застосовувати, якщо значення максимальної поправки складатиме менше половини від відповідного пуассонівського наближення, тобто коли $\varepsilon < 1/2$ [10].

Виконані розрахунки показали, що даний метод може бути застосований для визначення поправки до пуассонівського потоку. В інших випадках необхідно проводити глибокий аналіз відмов системи, їх характеру та особливостей з метою встановлення закону розподілу ймовірності безвідмовної роботи системи від напрацювання, після чого перевірити висунуте припущення за допомогою критеріїв згоди.

Значення розрахованої максимальної поправки виявилось на декілька порядків меншим за власне саме пуассонівське наближення, що дозволяє не враховувати її величину.

У випадку, коли середня кількість відмов $a > 15$, то функції $\psi(k, a)$ та $\nabla^2 \psi(k, a)$ стають близькими до відповідних функцій для нормального розподілу. Тому при $a > 15$, розрахунки ведуться за формулою:

$$P_0 \approx \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi(-\sqrt{a}) + \frac{\varepsilon}{a\sqrt{a}} \varphi''(-\sqrt{a}), \quad (6)$$

де

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} \quad (7)$$

За результатами проведеного експериментально дослідження максимальне значення середньої кількості відмов є меншим за 15.

Визначення переліків операцій ТО системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 та групування їх за видами передбачає аналіз одержаних статистичних даних про відмови системи живлення з точки зору:

розподілу відмов по елементах системи живлення, що дозволить виділити найменш надійні з них;

частоти виникнення різних видів відмов – це дозволить розподілити відмови за видами ДТО та сформулювати переліки контрольно-діагностичних робіт кожного виду ДТО в порядку зменшення ймовірності виникнення кожної наступної відмови.

Види і переліки контрольно-діагностичних робіт ДТО системи живлення дизелів автомобілів встановлюються по кожній експлуатаційній групі. Це пояснюється можливим різним впливом напрацювання і терміну перебування автомобіля в експлуатації на зміну технічного стану окремих елементів. Так, із зростанням терміну перебування автомобілів в експлуатації частка відмов спричинених втратою властивостей ГТВ може відрізнитися у порівнянні із автомобілями іншого віку.

Важливим є аналіз середнього напрацювання на кожний різновид відмов. Це дозволить більш точно формувати переліки контрольно-діагностичних робіт ДТО системи живлення дизелів автомобілів за рахунок уникнення повторення операції з усунення відмови, середнє напрацювання на яку є меншим за напрацювання з моменту останнього виконання даної операції.

Результати аналізу відмов системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 планується описати у вигляді методики визначення переліків та групування за видами операцій ТО системи живлення дизелів автомобілів.

Висновки

На основі експериментального визначення параметрів математичної моделі процесу підтримування працездатності системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 під час експлуатації – вперше отримано аналітичні залежності зміни параметра потоку відмов системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 від напрацювання L і терміну експлуатації автомобіля T , які ляжуть в основу даної математичної моделі; встановлено, що ймовірність безвідмовної роботи системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 змінюється в часі за експоненціальним законом. Тобто: $P(I) = e^{-\omega \cdot L}$, де $\omega = \text{const}$ – параметр потоку відмов системи живлення; L – напрацювання, тис. км.

Математична модель дозволить зручно, просто і оперативно підтримувати працездатність системи живлення дизелів автомобілів КамАЗ-5320 на реальних підприємствах та в організаціях, які займаються автомобільними перевезеннями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов Е. С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. – 2-е изд., перераб. и доп. / Е. С. Кузнецов – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
2. Говорушенко Н. Я. Новая методика нормирования расхода топлива транспортных машин (метод четырех КПД) / Н. Я. Говорушенко, С. И. Кривошапов // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр.–Харьков: ХНАДУ. – 2004. – Вып.15. – С. 31 – 34.
3. Говорушенко Н. Я. Развитие диагностики и технической кибернетики на автомобильном транспорте / Н. Я. Говорушенко, В. Н. Варфоломеев // Вестник ХНАДУ: Сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2004. – Вып. 24. – С. 46 – 49.
4. Бажинов А. В. Ресурсно-энергетический метод оценки жизненного цикла транспортных машин / А. В. Бажинов // Вестник ХНАДУ. – 2003. – Вып. 22. – С.102 – 104. – ISBN 966-303-025-9
5. Кравченко О. П. Наукові основи управління ефективністю експлуатації автомобільних поїздів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец 05.22.20 "Експлуатація та ремонт засобів транспорту" / Кравченко Олександр Петрович; Східноукр. нац. ун-т ім. Володимира Даля та Харків. нац. автомоб.-дорожн. ун-т. – Харків, 2007. – 31 с.: іл., табл. – Бібліогр.: с. 26 – 29.
6. Степанов О. В. Підвищення надійності автосамоскидів, що працюють на породних відвалах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец 05.22.20 "Експлуатація та ремонт засобів транспорту" / Степанов Олексій Вікторович; Харків. нац. автомоб.-дорожн. ун-т. – Харків, 2008. – 21 с.: іл., табл. – Бібліогр.: с. 17 – 19.
7. Болотин В. В. Ресурс машин и конструкций / В. В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с. – ISBN 5-217-00840-7
8. Поляков А. П. Методика прогнозування технічного стану систем автомобіля / А. П. Поляков, О. М. Плахотник // Вісті автомобільно-дорожнього інституту. – 2009. – № 1(8). – С. 82 – 86.
9. Плахотник О. М. Реалізація методики підтримування автомобіля у працездатному стані під час експлуатації / О. М. Плахотник // Автомобільний транспорт. – 2009. – № 24. – С. 98 – 103.
10. Погожев И. Б. Оценка отклонений потока отказов в аппаратуре многократного использования от пуассоновского потока // Кибернетику на службу коммунизму. – М., 1974. – Т. 2. – С. 228 – 246.
11. Колмогоров А. Н. Число попаданий при нескольких независимых выстрелах и общие принципы оценки эффективности системы стрельбы, Труды математического института им. В. А. Стеклова / А. Н. Колмогоров, 1945, т. XII
12. Поляков А. П. Методика визначення аналітичної залежності параметра потоку відмов на зразках БТОТ від напрацювання і терміну перебування їх в експлуатації / А. П. Поляков, О. Г. Чепак, Я. Р. Карабін / Труды НАОУ № 49. – 2004. – С.288 – 292.

Поляков Андрій Павлович – д. т. н., професор, декан факультету автомобілів та їх ремонту і відновлення, тел. 59-86-31.

Плахотник Олена Михайлівна – аспірант, тел. 0937241855, lena_plahotnik@mail.ru.
Вінницький національний технічний університет.

Нагачевський В'ячеслав Йосипович – ад'юнкт, тел. (038-49) 2-55-20, (067) 790-79-28.
Кам'янець-Подільський національний університет ім. Івана Огієнка.

Гречанюк Микола Сергійович – аспірант, тел. 46-52-46.
Вінницький національний технічний університет.