

О.П. Кравченко, д.т.н., проф.
Житомирський державний технологічний університет

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРО- ТА ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ АВТОМОБІЛІВ-ТЯГАЧІВ

Наведено аналіз експлуатаційної надійності електро- та електронного обладнання автомобілів-тягачів Mercedes-Benz 1844 Actros LS та Volvo FH 1242, що виконують міжнародні вантажні перевезення. Встановлено, що обладнання є надійним, яке відповідає сучасним вимогам, але в якому мають місце порушення працездатності. Причиною виконання ремонтних робіт є конструктивні та експлуатаційні фактори. Отримано розподіли порушень працездатності і загальні показники експлуатаційної надійності. Встановлено елементи з більшою кількістю відмов. Отримано закономірності порушень працездатності автомобілів-тягачів в експлуатації, які значною мірою відрізняються на етапах гарантійного та післягарантійного пробігу.

Ключові слова: автомобіль-тягач; електронне та електронне обладнання; надійність; відмова; закономірність; кількісні показники; запасні частини; планування.

Постановка проблеми. Одним із основних завдань, що стоїть перед автоперевізниками для забезпечення інтенсивного використання автопоїздів є підтримання рухомого складу в працездатному стані. Ефективна робота автомобілів забезпечується комплексом показників виробника транспортних засобів та підтримкою експлуатаційної надійності в умовах використання рухомого складу. Значний вплив на ефективність використання сучасних автопоїздів надає стан електро- та електронного обладнання.

Доля електроніки в автомобілях постійно збільшується – в 2000 році на неї доводилося 22 % вартості автомобіля, а в 2010-му досягає 35 % [1, 2]. Ще більше зростає роль електронних і мікропроцесорних систем, які багато в чому визначають активну і пасивну безпеку автомобіля. Так 1 липня 2004 року в Європейському союзі набуло чинності колективне зобов'язання автовиробників не поставляти на ринок автомобілі без антиблокувальних систем [3]. Аналогічне рішення має бути прийняте найближчим часом і по подушкам безпеки. Не менша увага приділяється екологічним показникам автомобіля, виконати які без мікропроцесорного управління силовим агрегатом неможливо.

За результатами експлуатації автомобілів 22–30 % відмов викликано виходом з ладу виробів системи електроустаткування [4]. Особливе місце займають пристрої, що мають у своєму складі електромеханічні перетворювачі. Генератори, стартери, електромеханічні підсилювачі рульового управління, електродвигуни приводів з електронними системами сучасного автомобіля, мають значну долю порушень працездатності, складову 40–45 % в загальному об'ємі відмов системи електроустаткування, що багато в чому визначає показники якості й надійності автотранспортного засобу. Дослідженню надійності автомобілів-тягачів провідних світового рівня виробників присвячені роботи [5, 6]. З них можна зробити висновки про надійність елементів електронного обладнання, яка має важливе значення в системі технічної експлуатації сучасного автомобільного транспорту [7].

Мета дослідження, постановка завдання. Дослідження відмов електро- та електронних систем робилося на автомобілях-тягачах Mercedes-Benz 1844 Actros LS (160 од.) та Volvo FH 1242 (100) од. у складі автопоїздів з напівпричепами SCHMITZ і KRONE на пробігу гарантійного і післягарантійного періодів експлуатації. Період обстеження – з 2004 до 2013 року. Створення інформаційного фонду з експлуатаційної надійності автомобілів здійснювалося на базі автотранспортних підприємств міжнародних перевезень, що експлуатують рухомий склад на автомагістралях I-ї та II-ї категорій умов експлуатації.

На підставі зібраних даних з вивчення усунення дефектів і несправностей контрольних груп автомобілів побудовані гістограми накопичених частот, розподіли пробігів до появи порушень працездатності електронних елементів систем автомобілів. Класифікація сукупностей відмов і несправностей електронних систем, закони розподілу напрацювань на відмову дозволяють розробити і здійснити заходи технологічного і організаційного порядку, які дозволяють прогнозувати майбутні відмови відповідних елементів системи, управляти експлуатаційною надійністю автопоїздів і номенклатурою запасних частин на складі автотранспортного підприємства.

Аналіз несправностей електро- та електронного обладнання досліджуваних автомобілів. Порушення працездатності систем електро- та особливо електронного

обладнання автомобілів-тягачів Mercedes-Benz Actros LS почалися з гарантійного періоду експлуатації [8]. Невдале місце розташування акумуляторних батарей призводило до постійного їх забруднення і засмічення вентиляційних отворів пробок. Відсутність необхідної теплової ізоляції кабін призвело до появи при низьких температурах конденсату, який, потрапляючи на приладову панель, викликає замикання і мимовільне спрацювання електроприладів. У результаті цього замінювалися акумуляторні батареї, датчики, тахографи, кабель ABS, проводилося перепрограмування бортових комп'ютерів тощо. Розподіл відмов у гарантійний період наведено на рисунку 1, а.

На післягарантійному пробігу 17 % усіх відмов стосуються електрообладнання, більшість (178 порушень) припадає на заміну ролика натяжителя ремня генератора, 124 – на заміну підшипника генератора, 119 – на заміну ремня генератора. За весь час експлуатації автомобілів було замінено 58 генераторів, зафіксовано 105 ремонтів тахографів, з яких 10 – заміна тахографів в зборі [9, 10]. У післягарантійний період відмови підпорядковані нормальному закону розподілу (рис. 1, б).

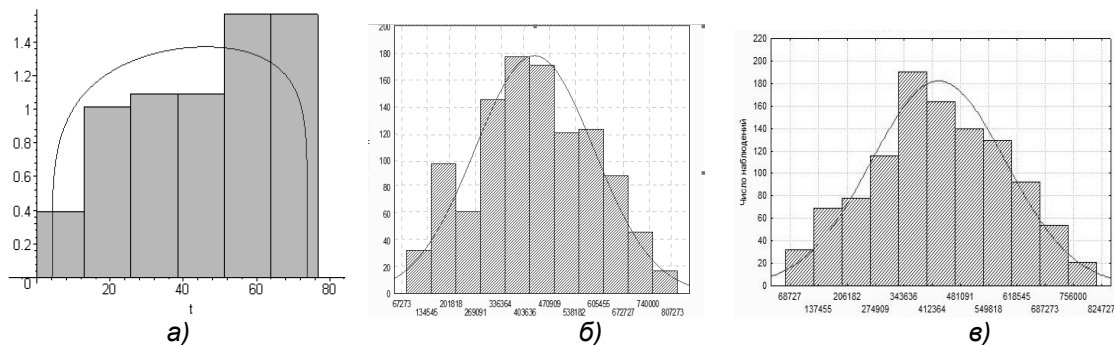


Рис. 1. Розподіл порушень роботоздатності електрообладнання автомобілів-тягачів Mercedes-Benz: а – гарантійний період; б – післягарантійний період; в – за весь період

Розподіл несправностей елементів за весь період експлуатації наведено в таблиці 1. Щільність ймовірності отриманих розподілів наведені в таблиці 2.

Таблиця 1

Розподіл по елементах електрообладнання Mercedes-Benz

Елемент	По елементам, %	Наробіток до першої відмови, км	Середній наробіток на відмову, км
Блоки управління	9,1	171000	395298
Тахограф	15,6	62000	368910
Датчики	21,3	65000	246556
Генератор	52,8	112000	502916
Кабель електричний, розетки	1,3	214000	323250

Таблиця 2

Статистична характеристика появи несправностей автомобілів-тягачів Mercedes-Benz

Мінлива	Щільність ймовірності
---------	-----------------------

Гарантійний період	$f(x) = 0,37718(-41+x)^{0,21}(73,88x)^{0,14}$
Післягарантійний період	$f(x) = \frac{1}{156250,7 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-431448,9)^2}{2 \cdot 156250,7^2}}$
Загальний розподіл	$f(x) = \frac{1}{164496,9 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-421182,7)^2}{2 \cdot 164496,9^2}}$
Несправності генератора	$f(x) = \frac{1}{141334,8 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-499618,)^2}{2 \cdot 141334,8^2}}$

Несправність електрообладнання автомобілів-тягачів VOLVO (рис. 2, а) в гарантійний період характерні ремонтами тахографів (47,3 %), гнізд електричних роз'ємів (12,7 %), замінами підшипників ролика натягувача (16,4 %). У післягарантійний період – це заміни підшипників (44,5 %) і ролика натягувача (24,5 %), також виконувалися ремонти тахографів (9,7 %).

Розподіл відмов по пробігу в післягарантійний період представлено на рис. 2, б.

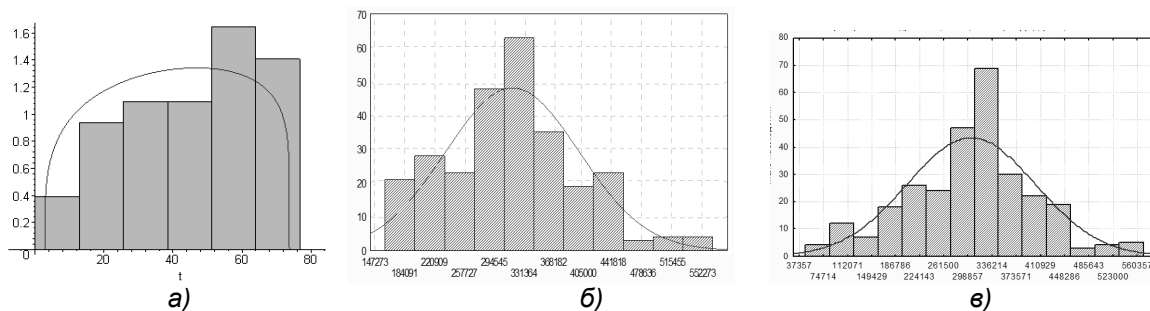


Рис. 2. Розподіл порушень технічного стану тягачів VOLVO: а – гарантійний період; б – післягарантійний період; в – за весь період

Статистичні характеристики порушень працездатності наведено у таблицях 3 та 4.

Таблиця 3

Розподіл по елементам електрообладнання тягачів Volvo

Елемент	По елементам, %	Наробіток до першої відмови, км	Середній наробіток на відмову, км
Вимикач маси	7,9	47000	191478,26
Гніздо електричного кабелю	2,8	140000	228250,00
Підшипник ролика натягувача ремня генератора	44,5	125000	315798,45
Реле силове	5,2	237000	368666,67
Ремінь генератора	5,5	240000	330000,00
Ремкомплект тахографа	9,7	88000	176714,29
Ролик натягувача	24,5	77000	356014,08

Таблиця 4

Статистична характеристика появи несправностей Volvo

Мінлива	Щільність ймовірності
Гарантійний період	$f(x) = \frac{2935340523}{(73,76864803 - x)^{160437123}} \cdot \frac{(-2,79012251 + x)^{2617338558}}{2617338558}$

Післягарантійний період	$f(x) = \frac{1}{82649,96 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-317428)^2}{2 \cdot 82649,96^2}}$
Загальний розподіл	$f(x) = \frac{1}{99436,58 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-303458,6)^2}{2 \cdot 99436,58^2}}$
Підшипник ролика	$f(x) = \frac{1}{74034,87 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-315798,4)^2}{2 \cdot 74034,87^2}}$

У системі управління двигуном доля відмов електронного устаткування складає 2,7 % для автомобілів Volvo, 3,9 % – для автомобілів Mercedes-Benz (рис. 3).

З таблиці 5 видно, що найбільша кількість замін у автомобілів обох марок припало на реостат акселератора (близько 70 %).

Відмови елементів гальмівної системи наведені в таблиці 6. Статистичний аналіз показав наявність рівномірного розподілу відмов датчика зносу гальмівних колодок у тягачів Volvo (рис. 4, а), в той же час для деталей гальмівної системи Mercedes-Benz характерний логарифмічно-нормальний розподіл (рис. 4, в).

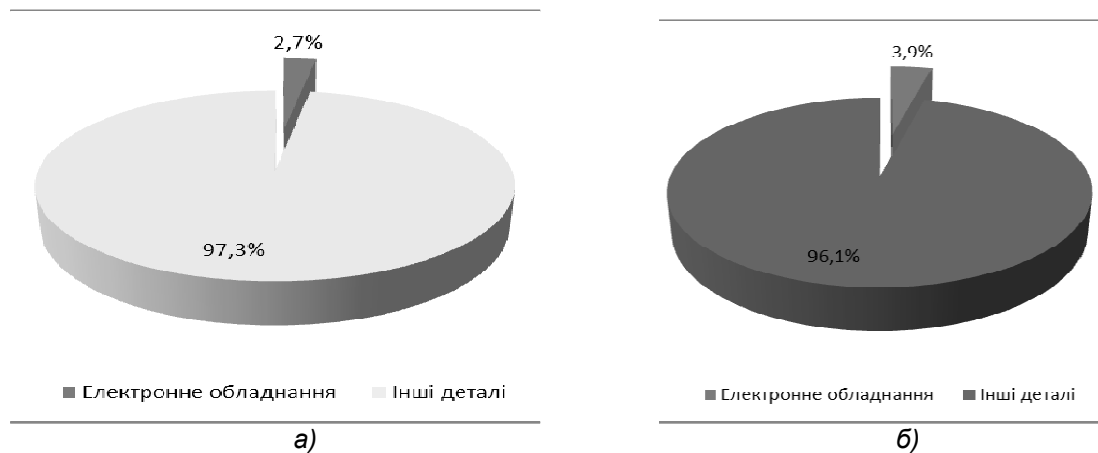


Рис. 3. Доля відмов електронного обладнання у загальній кількості відмов ДВЗ:
а – Volvo FH 1242; б – Mercedes-Benz 1844 Actros LS

Таблиця 5

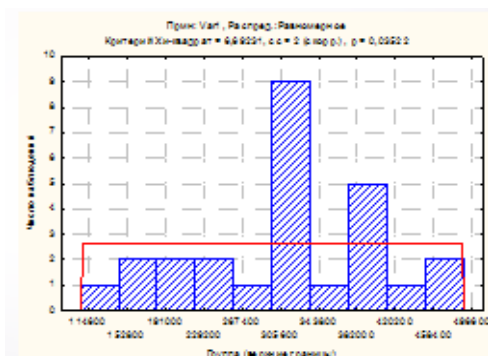
Характеристики відмов електронного обладнання елементів ДВЗ

Марка	Елемент	Відмов, од.	Відмов, %	Напрацювання до першої заміни, км	Середнє напрацювання до відмови, км
Mercedes-Benz 1844 Actros LS	Датчик кількості обертів	6	28,6	550000	540500
	Реостат акселератора	15	71,4	306000	372933
	Всього	21	100,0	428000	456717
Volvo FH 4212	Реостат акселератора	9	69,2	45000	206333
	Датчик тиску олії	4	30,8	95000	200242
	Всього	13	100,0	70000	203288

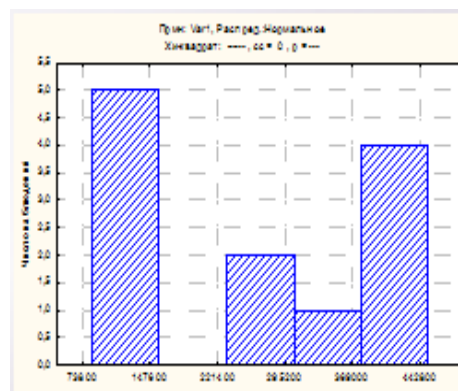
Таблиця 6

Характеристики відмов електронного обладнання елементів гальмівної системи

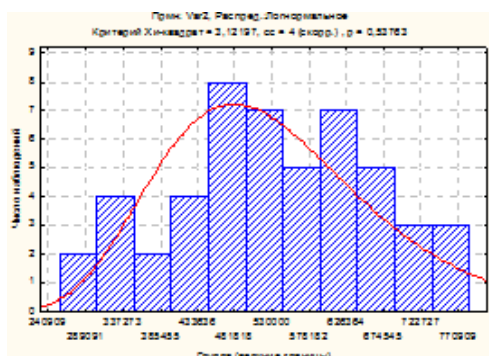
Марка	Елемент	Відмов, од	Відмов, %	Напрацювання до першої заміни, км	Середнє напрацювання до відмови, км
Mercedes-Benz 1844 Actros LS	Блок EBS	30	23,8	171000	359400
	Датчик ABS	46	36,5	76000	514717
	Модулятор керування гальмами	50	39,7	255000	533460
	Всього	126	100,0	45636	127962
Volvo FH 1242	Датчик зносу гальмівних колодок	26	56,5	106000	312923
	Модулятор керування гальмами	12	26,1	83000	256583
	Датчик ABS	4	8,7	98000	270750
	Блок EBS	4	8,7	155000	286750
	Всього	46	100,0	110500	281751



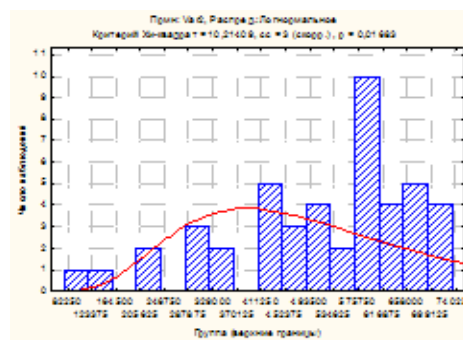
а)



б)



в)



г)

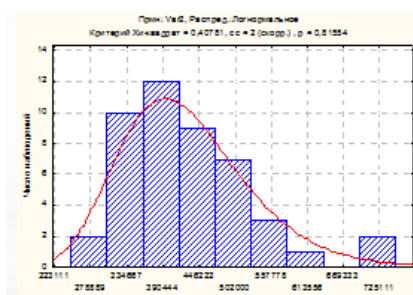
Рис. 4. Розподілу відмов електронного обладнання гальмівних систем: а – датчик зносу гальмівних колодок Volvo FH 1242; б – модулятор керування гальмами Volvo FH 1242; в – модулятор керування гальмами Mercedes-Benz 1844 Actros LS; г – датчик ABS Mercedes-Benz 1844 Actros LS

Несправності електронного устаткування трансмісії автомобілів Mercedes-Benz характерні відмовами блоку управління КПП – 52,6 % (табл. 7, рис. 5), а також джойстика управління КПП – 40,4 %. У автомобілів Volvo таких несправностей не зафіксовано. Отримані щільності розподілу вірогідностей наведено в таблиці 8.

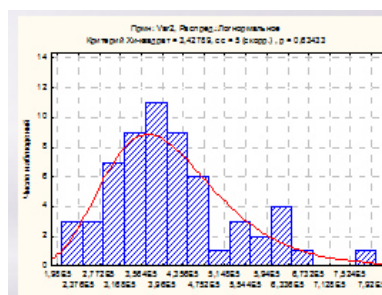
Таблиця 7

Характеристики відмов електронного обладнання елементів трансмісії

Марка	Елемент	Відмов, од.	Відмов, %	Напрацювання до першої заміни, км	Середнє напрацювання до відмови, км
Mercedes-Benz 1844 Actros LS	Блок EPS (модулятор КПП)	8	7,0	205000	346250
	Блок управління КПП	60	52,6	206000	414117
	Джойстик управління КПП	46	40,4	248000	427783
	Всього	114	100,0	219667	396050



а)



б)

Рис. 5. Розподіл відмов електронного обладнання трансмісії Mercedes-Benz 1844 Actros LS: а – джойстик КПП; б – блок управління КПП

Таблиця 8

Статистичні характеристики появи несправностей

Марка	Елемент	Вид розподілу	Щільність вірогідності
Volvo FH 1242	Датчик зносу гальмівних колодок	Рівномірний	$f(x) = \frac{1}{488000 - 106000}$
Mercedes-Benz 1844 Actros LS	Модулятор керування гальмами	Логнормальний	$f(x) = \frac{1}{x \cdot 130988,7 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \ln 533460)^2}{2 \cdot 130988,7^2}}$
	Датчик ABS	Логнормальний	$f(x) = \frac{1}{x \cdot 160752,8 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \ln 514717,4)^2}{2 \cdot 160752,8^2}}$
	Джойстик КПП	Логнормальний	$f(x) = \frac{1}{x \cdot 104798,8 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \ln 427782,6)^2}{2 \cdot 104798,8^2}}$
	Блок управління КПП	Логнормальний	$f(x) = \frac{1}{x \cdot 118630 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \ln 414116,7)^2}{2 \cdot 118630^2}}$

Використовуючи методика [11] виконано розрахунок доцільності зберігання запасних частин електро- та електронного обладнання на складі автотранспортного підприємства. Приклади розрахунків наведено у таблицях 9 та 10.

Таблиця 9

Результати визначення доцільності зберігання запасних частин автомобілів-тягачів Mercedes-Benz Actros 1844 LS

Запасна частина	Термін доставки, год.	*Вартість, грн.	Вірогідність відмови	Доцільність зберігання
Датчик рівня полу	24	2037,72	0,0000576	Зберігати

Датчик ABS	24	1071,96	0,0000613	Зберігати
Стартер	24	22010,16	0,0000671	Зберігати
Ремінь генератора	24	838,62	0,0000675	Зберігати
Кабель EBS	24	4149,54	0,0000745	Зберігати
Джойстик управління КПП	24	2717,64	0,0000751	Зберігати
Блок управління КПП	336	15754,08	0,0000786	Зберігати
Блок EBS	336	20744,70	0,0000873	Зберігати
Генератор	24	9090,60	0,0000891	Зберігати
Блок EPS (модулятор КПП)	336	3816,54	0,0000951	Зберігати

*Довідка: вартість прийнята за станом 2013 року

Таблиця 10

Результати визначення доцільності зберігання запасних частин автомобілів-тягачів Volvo FH 1242

Запасна частина	Термін доставки, год.	*Вартість, грн.	Вірогідність відмови	Доцільність зберігання
Кабель ABS	1	1000,00	0,0002526	Не зберігати
Реле силове	24	1600	0,0000940	Зберігати
Ремінь генератора	24	485,72	0,0000992	Зберігати
Блок EBS	336	7997,57	0,0001139	Зберігати
Датчик ABS	24	692,81	0,0001266	Зберігати
Ремонтний комплект тахографа	24	3735,85	0,0001802	Зберігати

*Довідка: вартість прийнята за станом 2013 року

Висновки. Отримані результати проведеного аналізу дозволяють зробити висновки про надійність електро- та електронного обладнання автомобілів-тягачів Mercedes-Benz Actros 1844 LS та Volvo FH 1242. Встановлено, що системи відповідають сучасним вимогам, але в них мають місце порушення працездатності. Проведені дослідження дали змогу раціонально організувати технічне обслуговування автомобілів та оптимізувати кількість запасних частин, які повинні бути в наявності на підприємстві для зменшення простою автомобільного парку і підвищення ефективності його роботи.

Список використаної літератури:

1. Говорущенко Н.Я. Техническая кибернетика транспорта: учеб. пособие / Н.Я. Говорущенко, В.Н. Варфоломеев. – Харьков : ХГАДТУ, 2001. – 271 с.
2. За рулем : многопредмет. журнал // ОАО «За рулем» / ред. П.С. Меньших. – М. : ОАО «За рулем», 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zr.ril>.
3. Борщенко Я.А. Электронные и микропроцессорные системы автомобилей : учеб. пособие / Я.А. Борщенко, В.И. Васильев. – Курган : Курганского гос.ун-та, 2007. – 207 с.
4. Козловский В.Н. Обеспечение качества и надежности системы электрооборудования автомобилей : дис. ... докт. тех. наук. (05.09.03) / В.Н. Козловский ; Тольяттинский гос. ун-т. – Тольятти, 2010. – 440 с.
5. Kravchenko A. Statistical researches of operating reliability of lorry convoys of european production / A.Kravchenko // International Congress of heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport, BNTU. – Minsk, Belarus. – Pp. 227–232.
6. Кравченко А.П. Исследование нарушений работоспособности автомобилей-тягачей в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации / А.П. Кравченко, Е.А. Верительник // Вісник Нац. тех. ун-ту «ХПІ». – № 29 (1002). – 2013. С. 106–113.
7. Волков В.П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем: монография / В.П. Волков ; под ред. В.П. Волкова; В.П. Волков, В.П. Матейчик, О.Я. Никонов и др. – Донецк : «Ноулидж», (донецкое отделение), 2013. – 398 с.
8. Кравченко А.П. Статистический анализ надежности автомобилей-тягачей Mercedes-Benz 1844 Actros LS / А.П. Кравченко, Е.А. Верительник // Материалы VII междунар. научно-

- тех. конф. «Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств». – Пенза : ПГУАС, 2012. – С. 188–192.
9. Кравченко А.П. Исследования нарушений работоспособности автомобилей-тягачей Volvo FH 1242 в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации / А.П. Кравченко, Е.А. Верительник // Вісник СевНТУ / Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Вип. 142. – Севастополь : СевНТУ, 2013. – С. 100–103.
 10. Кравченко А.П. Исследование нарушений работоспособности электрооборудования автомобилей-тягачей европейского производства / А.П. Кравченко, Е.А. Верительник // Автомобіль і електроніка / Сучасні технології. Електронне наукове фахове видання (друкована версія). – № 4/2013. – Харьков : ХНАДУ. – С. 135–37.
 11. Kravchenko A. Expenditure planning spare parts for enterprise road transport / A.Kravchenko, J.Veritel'nik // «Транспорт, екологія – устойчиво развитие». – XXI научно-тех. конф. (14–16 май, 2015). – 2015. С. 359–365.

References:

1. Govorushchenko, N.Ya. and Varfolomeev, V.N. (2001), *Tekhnicheskaya kibernetika transporta*, KhGADTU, Kharkiv, 271 p.
2. *Za rulem* (2016), available at: www.zr.ru
3. Borshchenko, Ya.A. and Vasil'ev, V.I. (2007), *Elektronnye i mikroprotsessornye sistemy avtomobiley*, Izd-vo Kurganskogo gos. un-ta, Kurgan, 207 p.
4. Kozlovskiy, V.N. (2010), *Obespechenie kachestva i nadezhnosti sistemy elektrooborudovaniya avtomobiley: dissertation*, Tol'yattinskiy gosudarstvennyy universitet, Togliatti, 440 p.
5. Kravchenko, A. (2010), “Statistical researches of operating reliability of lorry convoys of european production”, *Proceedings of the International Congress of heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport*, BNTU, Minsk, Belarus, pp. 227–232.
6. Kravchenko, A.P. and Veritel'nik, E.A. (2013), “Issledovanie narusheniy rabotosposobnosti avtomobiley-tyagachey v garantiynyy i poslegarantiynyy periody ekspluatatsii”, *Visnyk Nacional'nogo tekhnichnogo universytetu “HPI”*, No. 29 (1002), pp.106–113.
7. Volkov, V.P., Mateychik, V.P. and Nikonov, O.Ya. (2013), *Integratsiya tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley v struktury i protsessy intellektual'nykh transportnykh system*, in Volkov, V.P. (Ed.), Izd-vo “Noulidzh”, Donetsk, 398 p.
8. Kravchenko, A.P. and Veritel'nik, E.A. (2012), “Statisticheskiy analiz nadezhnosti avtomobiley-tyagachey MERSEDES-BENZ 1844 ACTROS LS”, *Proceedings of the VII international scientific technical conference “Problemy kachestva i ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv”*, PGUAS, Penza, Russia, pp. 188–192.
9. Kravchenko, A.P. and Veritel'nik, E.A. (2013), “Issledovaniya narusheniy rabotosposobnosti avtomobiley-tyagachey VOLVO FH 1242 v garantiynyy i poslegarantiynyy periody ekspluatatsii”, *Visnyk SevNTU, serija: Mashynopryladobuduvannja ta transport*, Vol. 142, pp. 100–103.
10. Kravchenko, A.P. and Veritel'nik, E.A. (2013), “Issledovanie narusheniy rabotosposobnosti elektrooborudovaniya avtomobiley-tyagachey evropeyskogo proizvodstva”, *Avtomobil' i elektronika. Suchasni tekhnologii. Elektronne naukovе fakhove vidannya*, No. 4, pp. 135–137.
11. Kravchenko, A. and Veritel'nik, J. (2015), “Expenditure planning spare parts for enterprise road transport”, *Proceedings of the “Transport, ekologiya - ustoychivo razvitie”*, EKOVARNA-2015, TU, Varna, Bulgaria, Vol. 22, pp. 359–365.

КРАВЧЕНКО Олександр Петрович – доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів та автомобільного господарства» Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- підвищення ефективності експлуатації автомобільного транспорту.

Тел.: (050) 913–82–28.

E-mail: avtoap@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2016