

Біліченко В.В., Коробов С.С.
Вінницький національний технічний університет

СТАТИСТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ФАКТИЧНОГО РЕСУРСУ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Формування структури системи технічного обслуговування (ТО) і ремонту визначалося сталим рівнем надійності і якості виготовлення автомобілів, умовами експлуатації рухомого складу, цілями, поставленими перед автомобільним транспортом і його підсистемою - технічною експлуатацією, наявними ресурсами і організаційно-технічними обмеженнями. Існуюча система ТО і ремонту сформувалася в основному в 50 - 60-і роки минулого століття і стала для того часу прогресивною формою підтримки працездатності рухомого складу. Зважаючи на все вище сказане існує лише система ТО яку пропонує завод виробник, тому існує необхідність розробки альтернативної системи яка б ґрунтувалася на наукових дослідженнях і статистиці.

Ключові слова: підвищення ефективності, експлуатація автобуса, технічний стан.

Постановка проблеми. Вирішення загальної проблеми щодо підвищення ефективності експлуатації міських автобусів потребує єдиного підходу до їх обслуговування за фактичним технічним станом.

Одним із шляхів підвищення ресурсу ТЗ є встановлення раціональної періодичності профілактики. Основними критеріями є: закономірність зміни і витрати на технічне обслуговування (ТО) і ремонт (Р) ТЗ. На практиці експлуатації міських автобусів використовують рекомендації заводів-виготовлювачів, науково-дослідних та інших установ, готові програмні засоби. Завдання експлуатаційників зводяться до правильної організації системи підтримання працездатності міських автобусів, корегуючи рекомендації виробників і постачальників техніки з урахуванням фактичних умов експлуатації.

Як показано в роботах М.Я. Говоруценка, Е.С. Кузнєцова, Р.В. Крамаренка, А.М. Шейніна та ін. особливо великі складності виникають при дослідженні інтенсивності зміни технічного стану засобів транспорту (ТЗ), на які впливають експлуатаційні чинники. Інтенсивність зміни технічного стану ТЗ на 70-90% залежить від умов експлуатації, оцінити вплив яких дуже ускладнено.

На основі встановлення нових залежностей зміни технічного стану агрегатів автобусів від пробігу необхідно розробити новий підхід до управління їх ресурсом шляхом корегування періодичності ТО, що рекомендовані виробниками, з урахуванням фактичних умов експлуатації. Це дасть змогу збільшити їх добові пробіги, забезпечити безпеку руху, зменшити простої та собівартість перевезень. Це є актуальним завданням для розвитку транспортної галузі України.

Метою статі є розробка методики проведення статистичного дослідження законів розподілу фактичного ресурсу міських автобусів

Таким чином, на думку провідних вчених (М.Я. Говоруценка, В.М. Варфоломєєв, І.М. Арінін, В.В. Рудзінський, А.М. Туренко, В.П. Волков, А.Т. Лебедев, О.П. Кравченко, О.В. Козаченко та інші) необхідно розробляти засоби для ТО і Р, що дозволять підвищити ефективність використання ресурсу ТЗ. Крім того, згідно з роботами О.С. Полянського і В.Г. Кухтова виникає необхідність прогнозувати та забезпечувати заданий рівень технічного стану агрегатів ТЗ.

У виконаних раніше дослідженнях розроблено ряд методів визначення та коригування нормативів періодичності ТО, але всі вони мають припущення та обмеження, що знижують точність розрахунків обмеження що до області використання. Ці методи реалізовані у нормативних документах, що регламентують системи забезпечення працездатності: у Положенні про ТО і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту (далі – Положення), сервісних книжках. У Положенні все різноманіття умов експлуатації зведено до п'яти категорій, норматив періодичності ТО для яких змінюється у відносних одиницях від 1,0 до 0,6. При цьому варіація умов всередині категорії не враховується.

Провідні світові виробники автомобілів зазвичай пропонують прості методики коригування нормативів періодичності ТО. Наприклад, для вантажних автомобілів Мерседес, що виконують далекі поїздки, періодичність ТО становить 100 тис. км, а для автомобілів, які працюють у важких умовах, норматив може бути знижений до 30 тис. км. При цьому не ясно, що розуміється під важкими умовами і наскільки в конкретному випадку потрібно знизити норматив. Використовувати

для коригування нормативу методу з Положення неможливо, оскільки в даному випадку передбачається більш широкий інтервал зміни – від 1,0 до 0,3.

Таким чином, існує потреба вирішення актуальної проблеми оперативного коригування нормативів періодичності ТО автомобілів з урахуванням специфіки умов експлуатації.

При плануванні обробки статистичних даних необхідно скласти матрицю плану експерименту щодо даних фактичного ресурсу основних систем міських автобусів і визначити необхідну кількість вимірів результативного параметра в кожному рядку матриці плану [4,6]. Необхідні статистичні дані отримуються на основі вивчення ресурсу основних частин міських автобусів на момент експлуатації в АТП.

Обробка статистичних даних реалізована за допомогою електронної таблиці «Аналіз даних Microsoft Excel» [4]. Обробка містила розрахунок статистичних характеристик: середнє значення; середнє квадратичне відхилення середнього; середнє квадратичне відхилення; дисперсія; коефіцієнт варіації; асиметрія; ексцес; X_{\min} ; X_{\max} .

Кількість інтервалів визначилась за формулою Хайнхольда і Гаєде при цьому розраховувались також інші статистичні характеристики [6]:

$$0,55 \cdot n^{0,4} \leq k \leq 1,25 \cdot n^{0,4}, \quad (1)$$

де n – сумарне число досліджених елементів, од.;

k – кількість інтервалів.

Довжина інтервалу визначається за формулою:

$$T = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{k}, \quad (2)$$

де t_{\max} і t_{\min} – найбільше і найменше значення фактичного ресурсу основних частин, тис. км.

Експериментальна імовірність ресурсу в заданому інтервалі визначається за формулою:

$$p_i = \frac{m_i}{n}, \quad (3)$$

де m_i – експериментальна частотність в i -му інтервалі.

Середнє значення \bar{l} , середні квадратичні відхилення σ і значення коефіцієнта варіації v визначається за формулами:

$$\bar{l} = \sum_{i=1}^k l_{ci} \cdot p_i; \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^k (l_{ci} - \bar{l})^2 \cdot p_i}; \quad (5)$$

$$v = \frac{\sigma}{\bar{l}}, \quad (6)$$

де k – число інтервалів в статистичному ряді;

l_{ci} – значення середини i -го інтервалу.

Напрацювання на відмову основних частин міських автобусів можуть описуватися різними законами розподілу. В залежності від конструкції, технічного стану міських автобусів, умов експлуатації, чинників, які впливають на знос, форми зносу можливі такі закони розподілу:

1) нормальний закон розподілу [3,5]

$$f(l) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(l-\bar{l})^2}{2\sigma^2}}; \quad (7)$$

2) експоненціальний розподіл [3,5]

$$f(l) = \frac{1}{\bar{l}} \exp\left[-\frac{l}{\bar{l}}\right]; \quad (8)$$

3) логарифмічно нормальний закон [3,5]

$$f(l) = \frac{1}{\sigma_{\ln l} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln l - \bar{\ln l})^2}{2 \cdot \sigma_{\ln l}^2}}; \quad (9)$$

4) закон Вейбулла [81, 83, 91, 97]

$$f(l) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{l}{a}\right)^{b-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{l}{a}\right)^b\right]. \quad (10)$$

Для більш повної характеристики законів розподілу ресурсу основних частин міських автобусів визначається значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу ресурсного випробування за формулами:

$$A = \frac{\mu_3}{\sigma^3}; \quad (11)$$

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3, \quad (12)$$

де μ_3, μ_4 – центральні моменти 3-го і 4-го порядку випадкової величини l_{ci} .

Центральний момент j -го порядку визначається за формулою:

$$\mu_j = M\left(\left[l_{ci} - \bar{l}\right]^j\right), \quad (13)$$

де M – математичне очікування випадкової величини l_{ci} , тис. км.

Ступінь близькості емпіричного розподілу до теоретичного оцінювали за допомогою критерію згоди Колмогорова [6].

Ймовірність появи відмови до досягнення нормативного ресурсу визначається за формулою:

$$P_{\text{від}} = 0,5 \mp \Phi(z), \quad (14)$$

де $\Phi(z)$ – нормована функція Лапласа визначали за формулою [91]:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (15)$$

Інтервал з імовірністю 90 % визначається за формулою [4]:

$$L = \bar{L} \pm 1,645 \cdot \sigma. \quad (16)$$

Оцінка відповідності емпіричного розподілу вибраному теоретичному проводилась за критерієм Пірсона [2]:

$$\chi^2 = n \cdot \sum_{i=1}^n \frac{[f_{emn}^i - f_{теор}^i]^2 \cdot h_i}{f_{теор}^i}, \quad (17)$$

де n – загальне число спостережень;

f_{emn}^i – емпіричне значення диференціальної функції розподілу в i -му інтервалі;

$f_{теор}^i$ – теоретичне (розраховане за законом розподілу) значення диференціальної функції розподілу в i -м інтервалі;

h_i – довжина інтервалу.

Значення χ^2 не повинно перевищувати табличне, визначене для повного числа мір свободи, з заданою ймовірністю.

Під час вирішення задачі щодо експериментальних досліджень використовували апарат кореляційно-регресійного аналізу.

Щільність парних кореляційних зв'язків між чинниками і функціями відгуку оцінювали за величиною коефіцієнтів парної кореляції [4]:

$$\hat{r} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (18)$$

де $\overline{x \cdot y}$ – середнє значення від добутку $x \cdot y$;

\bar{x} , \bar{y} – середнє значення відповідно параметрів x , y , що досліджуються;

σ_x, σ_y – середнє квадратичне відхилення параметрів x , y , що досліджуються.

Значущість коефіцієнтів кореляції перевіряється за критерієм Стюдента. Кореляційний зв'язок вважався значимим, якщо виконувалася умова [4]:

$$t = \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2} \geq t_p, \quad (19)$$

де t_p – табличне значення критерію Стюдента для довірчої імовірності P і $n-2$ мір свободи.

Адекватність математичних моделей оцінюється за критерієм Фішера і середній помилці апроксимації $\bar{\varepsilon}$. Модель вважалася адекватною, якщо виконувалася умова (при $F \geq 1$) [4]:

$$F = \frac{S_x^2}{S_y^2} \leq F_p, \quad (20)$$

де F – дисперсійне відношення Фішера;

F_p – табличне значення критерію Фішера для довірчої імовірності P і $n-2$ мір свободи.

Середня помилка апроксимації $\bar{\varepsilon}$:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - y_{pi}|}{y_i} \cdot 100\%, \quad (21)$$

де $y_i - y_{pi}$ – залишки;

y_i – значення прогнозованої функції;

n – кількість точок даних.

Модель вважається адекватною, якщо середня помилка апроксимації не перевищує 12-15% [4].

При дослідженні фактичного ресурсу міських автобусів можливе виникнення умов що унеможливають або значно ускладнюють проведення повного циклу випробувань. Це можливо коли відсутня необхідна кількість автобусів однієї моделі, середньодобовий пробіг автобусів є незначним, ресурс окремих агрегатів і систем є досить значним. за таких умов прогнозування ресурсу основних частин міських автобусів проводиться на основі аналізу результатів незавершених випробувань з використанням методу найменших квадратів. Цей метод використовується при

прогнозуванні надійності за результатами незавершених випробувань (при обробці цензурованих вибірок) [4,6].

У цьому випадку передбачається виконання таких етапів:

- 1) будується варіаційний ряд;
- 2) ряд розбивається на інтервали;
- 3) вихідні дані групуються за інтервалами;
- 4) визначаються накопичені частоти відмов в інтервалах;
- 5) визначається оцінка відмов в інтервалах;
- 6) визначається імовірність безвідмовної роботи в інтервалах;
- 7) проводиться апроксимація експериментальних даних рівнянням прямої (рис. 1):

Функція апроксимації має вигляд:

$$f(l) = a_0 \cdot (l - a_1), \quad (22)$$

де l – абсциса експериментальної точки (залежно від вигляду розподілу вона є напрацюванням або її логарифмом (для логарифмічно нормального закону);

a_0 – початкове значення ресурсу агрегату;

$f(l)$ – ордината експериментальної точки, відповідної імовірності безвідмовної роботи, визначеної на основі результатів експерименту (для нормального і логарифмічно нормального законів розподілу вона дорівнює квантилі нормованого розподілу $f(l) = u_p$, для експоненціального –

$$f(l) = \ln \frac{1}{1 - F},$$

для закону Вейбулла –

$$f(l) = \ln \ln \frac{1}{1 - F};$$

- 8) визначаються оцінки параметрів розподілу;
- 9) визначаються оцінки середнього ресурсу агрегату

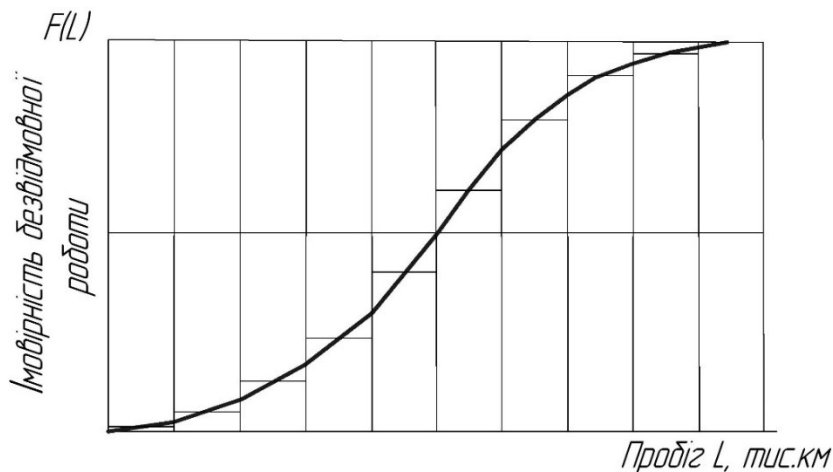


Рисунок 2.8 – Апроксимація експериментальних даних рівнянням прямої

Висновки: Розглянуто методику визначення ресурсу основних агрегатів та систем міських автобусів за результатами статистичних досліджень в умовах автотранспортного підприємства за умови проведення як повного тапк і незавершеного циклу випробувань. Результати таких досліджень дозволять отримати дані необхідні для коригування періодичності технічного обслуговування з урахуванням конкретних умов експлуатації.

1. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей : [учебное пособие для вузов] / Авдонькин Ф.Н. – М. : Транспорт, 1985. – 215 с.
2. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1981. – 520 с.
3. Лукинский В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / Лукинский В.С., Зайцев Е.И. – Л. : Политехника, 1991. – 224 с.
4. Минько А.А. Статистика в бизнесе. Руководство менеджера и финансиста / Минько А.А. – М. : Эксмо, 2008. – 504 с.

5. Проников А.С. Параметрическая надежность машин / Проников А.С. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
6. Шпаков П.С. Статистическая обработка экспериментальных данных : [учебное пособие] / П.С. Шпаков, В.Н. Попов. – М. : Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 268 с.

REFERENCES

1. Avdonkin F.N. Theoretical foundations of technical operation of cars: [textbook for high schools] / Avdonkin FN. - M.: Transport, 1985. - 215 with.
2. Johnson N. Statistics and experiment planning in engineering and science: methods of experiment planning / N. Johnson, F. Lyons. - Moscow: Mir, 1981. - 520 p.
3. Lukinsky VS Forecasting the reliability of cars / Lukinsky VS, Zaitsev EI - L.: Polytechnic, 1991. - 224 p.
4. Minko A.A. Statistics in business. Management of a manager and financier / Minko AA - M.: Eksmo, 2008. - 504 p.
5. Pronikov A.S. Parametric reliability of machines / Pronikov AS - M.: МГТУ им. Н.Е. Бауман, 2002. - 560 p.
6. Shpakov P.S. Statistical processing of experimental data: [textbook] / PS. Shpakov, V.N. Popov. - M.: Publishing house of Moscow State Mining University, 2003. - 268 p.

Біличенко В.В., Коробов С.С. Статистическое исследование законов распределения фактический срок службы городских автобусов в процессе эксплуатации

Формирование структуры системы технического обслуживания (ТО) и ремонта определялось постоянным уровнем надежности и качества изготовления автомобилей, условиями эксплуатации подвижного состава, целями, поставленными перед автомобильным транспортом и его подсистемой – технической эксплуатацией, имеющимися ресурсами и организационно-техническими ограничениями. Существующая система ТО и ремонта сформировалась в основном в 50 - шестидесятые годы прошлого века и стала для того времени прогрессивной формой поддержания работоспособности подвижного состава. Учитывая все выше сказанное существует только система ТО которую предлагает завод изготовитель, поэтому существует необходимость разработки альтернативной системы которая основывалась на научных исследованиях и статистике.

Ключевые слова: повышение эффективности, эксплуатация автобуса, техническое состояние.

Bilichenko V.V., Korobov S.S. The statistical study of probability distributions actual buses in service

Formation of structure of maintenance (maintenance) and repair of determined constant level of reliability and manufacturing quality cars, rolling stock operating conditions, the objectives assigned to the road and its subsystems - technical exploitation of available resources and organizational and technical constraints. The existing system and repair formed mainly 50 - 60 years of the last century and was at that time a progressive form of support efficiency of rolling stock. Considering all the above said, there is only a maintenance system that offers plant manufacturer, so there is need to develop an alternative system which would be based on scientific research and statistics.

Keywords: efficiency, operation of bus technical condition.

АВТОРИ:

БІЛІЧЕНКО Віктор Вікторович, д.т.н., професор, завідувач кафедри «Автомобілів та транспортного менеджменту», Вінницький національний технічний університет, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

КОРОБОВ Сергій Сергійович, аспірант кафедри «Автомобілів та транспортного менеджменту», Вінницький національний технічний університет, e-mail: dabl-s@ukr.net

АВТОРЫ:

БИЛИЧЕНКО Виктор Викторович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автомобилей и транспортного менеджмента», Винницкий национальный технический университет, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

КОРОБОВ Сергей Сергеевич, аспирант кафедры «Автомобилей и транспортного менеджмента», Винницкий национальный технический университет, e-mail: dabl-s@ukr.net

AUTHORS:

BILICHENKO Victor, professor, head of department "Automotive and Transport Management" Vinnitsa National Technical University, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

KOROBOV Sergey, graduate faculty "Automotive and Transport Management" Vinnitsa National Technical University, e-mail: dabl-s@ukr.net

Стаття надійшла в редакцію 10.05.2017 р.