

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ ЇХ ПОКАЗНИКІВ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ**

Розглянуті питання практичного використання статистичної інформації стосовно експлуатаційної надійності транспортних засобів, при управлінні технічним станом транспортного парку. Представлено математичний інструментарій прогнозування експлуатаційної надійності транспортних машин.

Ключові слова: надійність, експлуатація, транспортні засоби, інформаційні технології, управління, технічний стан.

A.V USOV., E.J.KUTYAKOV
Odessa National Polytechnic University

**IMPROVE MANAGEMENT OF TECHNICAL CONDITION OF VEHICLES BY ANALYZING THEIR
PERFORMANCE RELIABILITY**

The questions of practical use of statistical information on the operational reliability of vehicles, the management of the technical condition of the vehicle fleet. The mathematical tools of forecasting operational reliability of transport vehicles.

Keywords: reliability, maintenance, transportation, information technology, management, technical condition.

A.V. USOV, E.YU. KUTYAKOV
Одесский национальный политехнический университет

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПУТЕМ АНАЛИЗА ИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ
НАДЕЖНОСТИ**

Рассмотрены вопросы практического использования статистической информации об эксплуатационной надежности транспортных средств, при управлении техническим состоянием транспортного парка. Представлен математический инструмент прогнозирования эксплуатационной надежности транспортных машин.

Ключевые слова: надежность, эксплуатация, транспортные средства, информационные технологии, управление, техническое состояние.

Постановка проблеми, аналіз публікацій

Відомо, що для реалізації циклу управління будь-якою системою, керуючому елементу, в загальному випадку, необхідно володіти відомостями (інформацією) про цю керовану систему, зокрема тими її параметрами, які характеризують її фактичний стан в даний момент часу. Потім на підставі цієї інформації керуючий елемент, відповідно до прийнятого критерію управління, з урахуванням наявних матеріальних ресурсів і відведеного на реалізацію управління часу, приймає рішення про застосування конкретних управляючих впливів на систему, з метою її переведення в заздалегідь відомий і необхідний для виконання конкретних завдань стан. Таким чином, процес управління тісно пов'язаний з інформацією та інформаційними технологіями. [1]

При експлуатації парку автотранспортних засобів, одним з основних типів інформації, що супроводжує цю експлуатацію, є потік інформації про експлуатаційну надійність рухомого складу.

Очевидно, що цей тип інформації необхідно враховувати при прийнятті управлінських рішень працівниками інженерно-технічних служб автотранспортних підприємств (наприклад при призначенні термінів, обсягів і характеру робіт технічного обслуговування та ремонту). [2] Однак, конструктивних методик використання інформації про експлуатаційну надійність автотранспортних засобів (далі АТЗ) при вирішенні питань оптимізації та управління технічною готовністю автотранспортного парку, в сучасній науковій літературі не убачається [1], [2], [3].

Мета статті

Метою даної статті є розробка методики обробки інформації щодо експлуатаційної надійності транспортних засобів, та приведення її до виду, найбільш зручного для подальшого використання при управлінні технічним станом автопарку.

Основна частина

Практика показує, що експлуатаційна надійність АТЗ, в достатньому для завдань управління обсязі, характеризується імовірністю безвідмовної роботи АТЗ або функцією надійності $P(t)$ АТЗ. У свою чергу, функція надійності, за своєю суттю, визначається інтенсивністю настання відмов систем транспортної одиниці, які являють собою випадкові події. Момент же настання відмов АТЗ повністю визначається випадковими процесами, точний облік яких розрахунковими методами, з відомих причин, не представляється можливим.

У світлі викладеного, практичний інтерес для вирішення завдань управління технічним станом автотранспортного парку, представляє можливість прогнозувати момент настання відмови автотранспортного засобу.

Математичний інструментарій прогнозування відмов. Розглянемо надійність системи з незалежними елементами, що працює до першої відмови. Припустимо, що елементи відмовляють незалежно один від одного, тобто відмова будь-якої групи елементів не змінює надійності інших елементів. Надійність такої системи в разі її роботи до першої своєї відмови повністю визначається функцією надійності $P(t)$, яка дорівнює імовірності безвідмовної роботи системи протягом часу t . Нехай система складається з n елементів, функцію надійності яких ми позначимо через $p_1(t), p_2(t) \dots p_n(t)$.

Тоді для безвідмовної роботи системи протягом часу t потрібно, щоб кожен елемент працював безвідмовно протягом цього часу. Якщо система складається з незалежних в сенсі надійності елементів, то:

$$P(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot \dots \cdot p_n(t). \quad (1)$$

Отже, при послідовному з'єднанні функції надійності перемножуються.

Введемо тепер в розгляд імовірності відмови:

$$Q(t) = 1 - P(t) \text{ и } q_k(t) = 1 - p_k(t).$$

Тоді для послідовного з'єднання:

$$Q(t) = 1 - [1 - q_1(t)] \cdot [1 - q_2(t)] \cdot \dots \cdot [1 - q_n(t)] \quad (2)$$

Слід вказати, що викладені вище математичні положення, зокрема записи (1) – (2), представлені в загальному вигляді і не конкретизовані для вирішення прикладного, цілком певного завдання. Під системою ж в наведених рівняннях розуміється абстрагована сукупність елементів. Якщо ж як систему представити автомобіль, що складається з шести елементів (двигун $p_{об}(t)$, трансмісія $p_{мп}(t)$, ходова частина/підвіска $p_{ніов}(t)$, рульове керування $p_{рк}(t)$, гальмівна система $p_{сc}(t)$, електрообладнання $p_{ел}(t)$), то імовірність безвідмовної роботи такої системи, за умови, що відмова автомобіля настає при відмові хоча б одного з його елементів, визначиться як:

$$P(t) = p_{об}(t) \cdot p_{мп}(t) \cdot p_{ніов}(t) \cdot p_{рк}(t) \cdot p_{сc}(t) \cdot p_{ел}(t), \quad (3)$$

або, записуючи функції надійності елементів через імовірність настання відмови, отримаємо:

$$P(t) = [1 - q_{об}(t)] \cdot [1 - q_{мп}(t)] \cdot [1 - q_{ніов}(t)] \cdot [1 - q_{рк}(t)] \cdot [1 - q_{сc}(t)] \cdot [1 - q_{ел}(t)] \quad (4)$$

Таким чином, беручи до уваги зміст залежностей (3) і (4), слід укласти, що для кількісної оцінки ступеня надійності автомобіля, як складної системи, необхідно знати функцію $p_k(t)$ надійності кожного елемента цієї системи, або функцію $q_k(t)$ розподілу імовірності виникнення відмови цих елементів. Дані параметри можна отримати безпосередньо в процесі експлуатації АТЗ, або шляхом проведення експлуатаційних випробувань.

Практична реалізація запропонованого інструментарію. Авторами роботи [4] на базі автобусного парку ХАТП-16330 були проведені експлуатаційні випробування 40-ка одиниць автобусів марки «Богдан»-А091, експлуатованих в міських умовах м. Харкова при пробігу до 500 тис. км. В результаті проведених досліджень було встановлено, що закони розподілу випробовуваних систем підпорядковуються переважно прямо пропорційній і експоненціальній залежностям, і описуються наступними рівняннями, [4]:

для підвіски автобуса:

$$y = 5.400 \cdot x - 3.000 \quad (5)$$

для гальмівної системи:

$$y = 3.700 \cdot x - 4.100 \quad (6)$$

для КПП:

$$y = 0.5522 \cdot e^{0.6515x} \quad (7)$$

для електрообладнання:

$$y = 0.3952 \cdot e^{0.7224x} \quad (8)$$

Аналізуючи наведені вище залежності, слід вказати, що вони характеризують надійність відповідних систем і агрегатів випробовуваних автобусів в абсолютних одиницях. При цьому змінна x являє собою пробіг t_i автобуса, виражений в 100 тис. км, а функція $y(x)$ відображає кількість m_i відмов відповідних

систем і агрегатів автобуса, накопичених до моменту досягнення цим автобусом пробігу t_i . Тоді імовірність q настання відмови для відповідних систем і агрегатів буде описуватися залежностями:

для підвіски:

$$q_{i\text{ підв}} = \frac{m_{i\text{ підв}}}{N_{\text{підв}}} - \sum_{j=0}^{i-1} m_j = \frac{(5.400 \cdot t_i - 3.000)}{5.400 \cdot 5 - 3.000} - \sum_{j=0}^{i-1} (5.400 \cdot t_j - 3.000) =$$

$$= \frac{5.400 \cdot t_i - 3.000}{24} - \sum_{j=0}^{i-1} (5.400 \cdot t_j - 3.000) \quad (9)$$

для гальмівної системи:

$$q_{i\text{ зс}} = \frac{m_{i\text{ зс}}}{N_{\text{зс}}} - \sum_{j=0}^{i-1} m_j = \frac{3.700 \cdot t_i - 4.100}{3.700 \cdot 5 - 4.100} - \sum_{j=0}^{i-1} (3.700 \cdot t_j - 4.100) =$$

$$= \frac{3.700 \cdot t_i - 4.100}{14.4} - \sum_{j=0}^{i-1} (3.700 \cdot t_j - 4.100) \quad (10)$$

для КПП:

$$q_{i\text{ КПП}} = \frac{m_{i\text{ КПП}}}{N_{\text{КПП}}} - \sum_{j=0}^{i-1} m_j = \frac{0.5522 \cdot e^{0.6515t_i}}{0.5522 \cdot e^{0.6515 \cdot 5}} - \sum_{j=0}^{i-1} 0.5522 \cdot e^{0.6515t_j} =$$

$$= \frac{0.5522 \cdot e^{0.6515t_i}}{14.35} - \sum_{j=0}^{i-1} 0.5522 \cdot e^{0.6515t_j} \quad (11)$$

для електрообладнання:

$$q_{i\text{ ел}} = \frac{m_{i\text{ ел}}}{N_{\text{ел}}} - \sum_{j=0}^{i-1} m_j = \frac{0.3952 \cdot e^{0.7224t_i}}{0.3952 \cdot e^{0.7224 \cdot 5}} - \sum_{j=0}^{i-1} 0.3952 \cdot e^{0.7224t_j} = \frac{0.5522 \cdot e^{0.6515t_i}}{14.64} - \sum_{j=0}^{i-1} 0.3952 \cdot e^{0.7224t_j} \quad (12)$$

В наведених залежностях параметри $N_{\text{підв}}$, $N_{\text{зс}}$, $N_{\text{КПП}}$, $N_{\text{ел}}$ уявляють собою загальну кількість відмов відповідної системи або агрегату, чисельне значення якого отримується шляхом знаходження по відповідним рівнянням (5) - (8) значення функції $u(x)$ при значенні аргументу $x=5$ (500тис.км).

Імовірність безвідмовної роботи відповідної системи (агрегату), з урахуванням (9) - (12) визначиться з виразів:

для підвіски:

$$P_{i\text{ підв}} = 1 - q_{i\text{ підв}} = 1 - \left[\frac{5.400 \cdot t_i - 3.000}{24} - \sum_{j=0}^{i-1} (5.400 \cdot t_j - 3.000) \right] \quad (13)$$

для гальмівної системи:

$$P_{i\text{ зс}} = 1 - q_{i\text{ зс}} = 1 - \left[\frac{3.700 \cdot t_i - 4.100}{14.4} - \sum_{j=0}^{i-1} (3.700 \cdot t_j - 4.100) \right] \quad (14)$$

для КПП:

$$P_{i\text{ КПП}} = 1 - q_{i\text{ КПП}} = 1 - \left[\frac{0.5522 \cdot e^{0.6515t_i}}{14.35} - \sum_{j=0}^{i-1} 0.5522 \cdot e^{0.6515t_j} \right] \quad (15)$$

для електрообладнання:

$$P_{i\text{ ел}} = 1 - q_{i\text{ ел}} = 1 - \left[\frac{0.5522 \cdot e^{0.6515t_i}}{14.64} - \sum_{j=0}^{i-1} 0.3952 \cdot e^{0.7224t_j} \right] \quad (16)$$

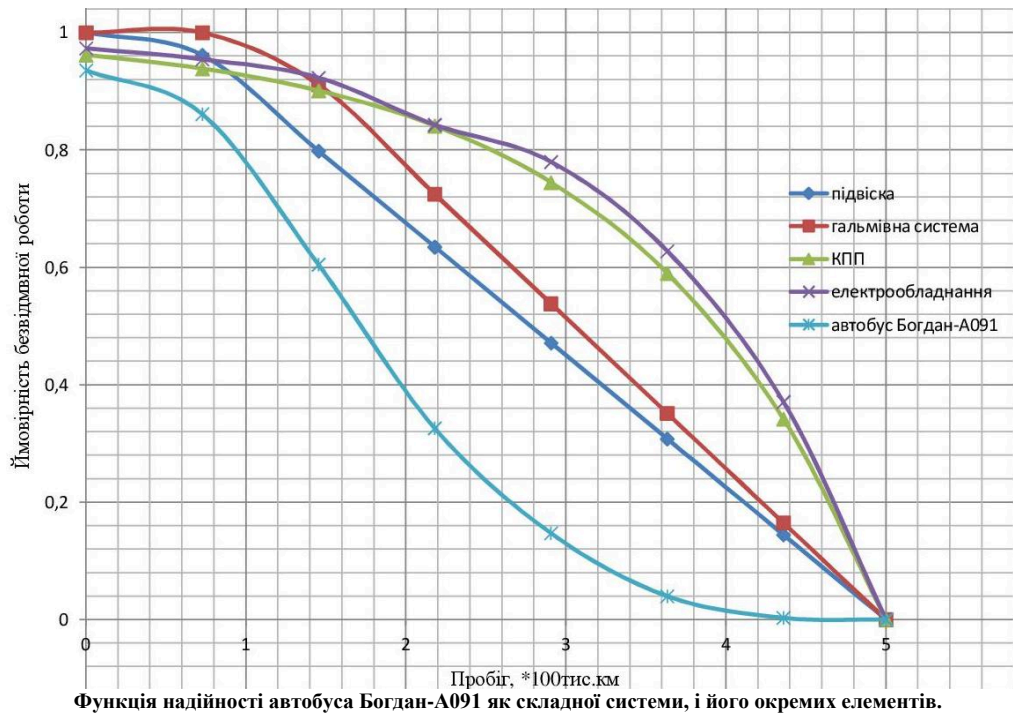
Тоді функція надійності автобусів «Богдан»-А091 як складної системи, що складається з чотирьох елементів - підвіски, гальмівної системи, КПП та електрообладнання - з урахуванням (3) буде визначатися виразом:

$$P(t) = P_{\text{кпп}}(t) \cdot P_{\text{підв}}(t) \cdot P_{\text{зс}}(t) \cdot P_{\text{ел}}(t) \quad (17)$$

Використовуючи рівняння (9) - (17), отримані на підставі закономірностей (5) - (8), визначених у роботі [4], можна отримати емпіричні характеристики експлуатаційної надійності автобусів «Богдан»-А091, що будуть виражені в імовірнісній формі. Результати цих розрахунків представлені в таблиці і відображені в графічній формі на графіку, що наведені нижче.

Результати розрахунку емпіричних характеристик надійності автобусів «Богдан» -А091, представлених в імовірнісній формі.

i	t,*100тис.км	підв	гс	кпп	ел	рпідв	гс	кпп	ел	рпідв	гс	кпп	ел	Равто
0	0	0	0	0,5522	0,3952	0	0	0,038481	0,026995	1	1	0,961519	0,973005	0,935563
1	0,7264957	0,923077	0	0,334248	0,272749	0,038462	0	0,061773	0,045625	0,961538	1	0,938227	0,954375	0,860981
2	1,4529917	3,923078	1,276069	0,536569	0,460989	0,201923	0,088616	0,099165	0,077113	0,798077	0,911384	0,900835	0,922887	0,6047
3	2,1794877	3,923078	2,688035	0,861355	1,174344	0,365385	0,275285	0,15919	0,157328	0,634615	0,724715	0,84081	0,842672	0,325862
4	2,9059837	3,923078	2,688035	1,382736	0,921674	0,528846	0,461954	0,255548	0,220284	0,471154	0,538046	0,744452	0,779716	0,147148
5	3,6324797	3,923078	2,688035	2,219709	2,225722	0,692308	0,648623	0,410231	0,372314	0,307692	0,351377	0,589769	0,627686	0,040023
6	4,3589757	3,923078	2,688035	3,563305	3,761817	0,85577	0,835292	0,658545	0,629269	0,14423	0,164708	0,341455	0,370731	0,003007
7	5	3,461531	2,37179	4,898516	5,425736	1	1	0,999905	0,999879	0	0	0	0	0



Аналізуючи отримані результати, слід зробити висновок, що розподіл функції надійності підвіски і гальмівної системи автобусів «Богдан»-А091, як і передбачалося, носить прямо пропорційний характер, а розподіл функції надійності КПП та електрообладнання – експонентний. Розподіл же імовірності безвідмовної роботи автобуса в цілому, як складної системи, виходячи з форми кривої, має описуватись нормальним законом.

Також необхідно вказати, що найбільша інтенсивність зниження надійності (імовірності безвідмовної роботи) автобусів «Богдан»-А091 спостерігається в період експлуатації після 100тис.км пробігу, і триває аж до 250-300тис.км пробігу. За цей час імовірність безвідмовної роботи знижується з 80% до 15% в порівнянні з новим автобусом. Слід також зазначити, що домінуючими елементами, які лімітують надійність на зазначеному періоді, є переважно підвіска і гальмівна система. Тому в якості рекомендації можна зробити висновок, що для підвищення експлуатаційної надійності транспортного парку, що складається з автобусів «Богдан»-А091 слід в період, що передує початку інтенсивного зниження надійності (період безпосередньо перед 100тис.км пробігу) збільшити кількість попереджувальних робіт з підтримки працездатного стану гальмівної системи і підвіски автобуса, а в період між 100тис.км пробігу і 300тис.км – зменшити періодичність діагностичних робіт та робіт, пов'язаних з обслуговуванням зазначених систем.

Слід зазначити, що зображена на графіку функція надійності автобусів Богдан-А091 враховує лише чотири елементи цих транспортних засобів. Тобто дана функція справедлива тільки в уявленні того, що автобус складається з КПП, підвіски, гальмівної системи та електрообладнання. Очевидно, що на практиці таке твердження не знаходить відображення. Тому при оцінці викладених вище результатів дослідження, слід мати на увазі, що вони являють собою лише наочну ілюстрацію запропонованого в даній статті методу підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів. Для отримання ж адекватних результатів при

розрахунку надійності транспортного засобу як складної системи, необхідно використовувати вираз (3), а не спрощене рівняння (17), яке використовувалося для розрахунку функції надійності автобусів Богдан-А091.

Висновки

1. Побудована імовірнісна модель безвідмовної роботи автотранспортного засобу з урахуванням експлуатаційної надійності його вузлів.
2. Запропоновано методику використання побудованої імовірнісної моделі для прогнозування експлуатаційної надійності транспортних засобів.
3. Практична реалізація запропонованої методики показала, що використання розробленої моделі безвідмовної роботи рухомого складу дозволяє встановити закономірність розподілу його функції надійності залежно від часу експлуатації, а також період максимальної інтенсивності зниження надійності.
4. Результати прогнозування надійності можуть використовуватися персоналом інженерно-технічних служб АТП при прийнятті рішень стосовно управління технічним станом автотранспортного парку.

Список використаної літератури

1. Аринин И.Н. Техническая эксплуатация автомобилей. Управление технической готовностью подвижного состава / И.Н. Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В. Баженов. – Изд. 2-е – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 314с.: ил.
2. Малкин В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты / В.С. Малкин. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 288с.
3. Баженов Ю.В. Основы теории надежности машин / Ю.В. Баженов. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 160 с.
4. Наглюк И.С. Эксплуатационная надежность транспортных средств / И.С. Наглюк, А.Б. Григоров// Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенко. Харьков: ХНТУСХ, 2010, Выпуск 100.– С. 153-157.