

УДК 629.017:629.083

**О.П. Сакно, к.т.н.****О.В. Лисий****В.А. Маханьков****Д.І. Муженко****А.І. Подимський****Р.Л. Пришляк***Військова академія (м. Одеса), Україна*

## ДО ПИТАННЯ КВАЛІМЕТРИЧНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ СТАНУ АВТОПОЇЗДІВ

*Запропонована удосконалена модель для кваліметричних оцінок технічного рівня стану автопоїздів. У графічній інтерпретації удосконалена модель являє собою багатогранник, що побудований у координатах, які відповідають певним інтегральним параметрам автопоїзда (економічність, динамічність, надійність тощо). Це дозволяє вирішувати практичні завдання з порівняння різних варіантів рівня технічного стану автопоїзда, обґрунтовувати раціональний режим періодичності ТО та норм надійності між елементами агрегатів.*

**Ключові слова:** автопоїзд, властивість, технічний стан, кваліметрична оцінка, технічне обслуговування.

### Постановка проблеми

Метою підвищення технічного рівня стану автопоїздів є створення більш надійних, компактних і технологічних, енергетично ефективних, ергономічно-комфортних й екологічно безпечних агрегатів, механізмів, які відповідають вимогам технічної документації. Конкретизація цього завдання для технічної служби АТП складається з його опису в термінах експлуатаційних властивостей автопоїзда, тобто у квантифікації загальної мети на сукупність більш часткових і простих, конкретних підцелей.

### Аналіз останніх досягнень і публікацій

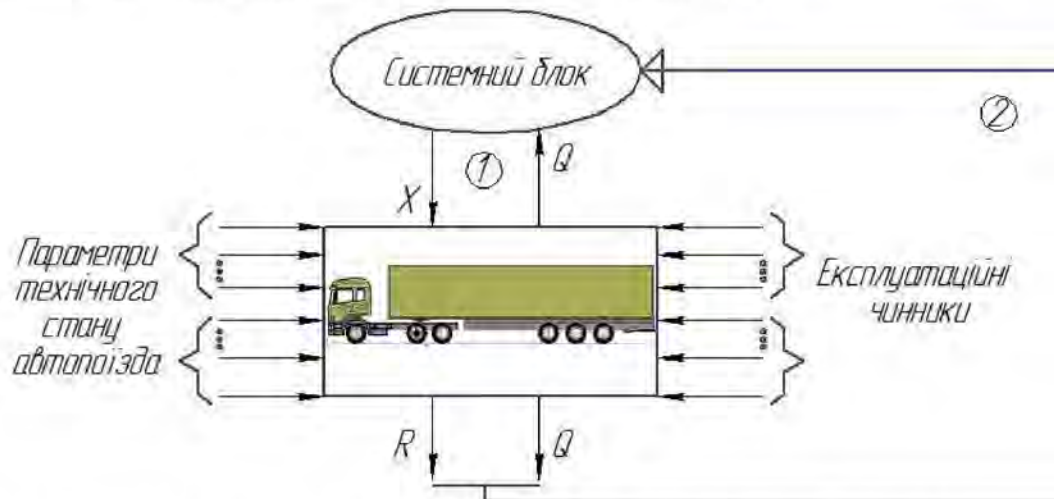
У роботах професорів Заблонського К.І. й Гутирі С.С. [1, 2] вперше науково обґрунтовано адекватність моделювання множини показників якості  $\{Q\}=\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  і відношень між ними  $\{q_i \leftrightarrow q_j\}$  як єдиної інформаційної системи, подальший розвиток якої базується на принципі функціонально-кібернетичної еквівалентності ПІ, згідно з яким чим більше число  $n$ , тим більша альтитуда моделі, з поглибленням якої вужчає множина відношень  $\{q_i \leftrightarrow q_j\}$ . Для цієї композиції відношень найбільш адекватною є структура у вигляді багаторівневої оболонки, яка відрізняється тим, що показники кожного рівня не зводяться до сукупності показників інших рівнів. На кожному рівні такої універсальної моделі, що не потребує застосування суб'єктивних експертних методів, можна враховувати нові експлуатаційні властивості, які притаманні системі в цілому, а також реалізовувати аналіз за єдиним системним критерієм  $U(Q)$  технічного рівня [2, 3].

### Постановка задачі

Аналіз опублікованих даних свідчить, що для багаторівневого відображення експлуатаційних властивостей автопоїздів необхідним є формування такої універсальної структурованої інформаційної бази даних, яка забезпечить об'єктивність кваліметричних оцінок технічного рівня стану не тільки відповідних підсистем, агрегатів, вузлів, «слабких елементів», а й автомобіля у цілому. Зокрема для всебічного вивчення множини експлуатаційних параметрів автопоїздів під час експлуатації необхідно розробити аналітичні моделі, опрацювати алгоритми розрахункових процедур і створити відповідний універсальний комплекс прикладних програм.

### Результати дослідження

Технічний стан автопоїзда дозволяє аналізувати чинники, що впливають на його зміну, за ступенем переваги й, отже, здійснювати у просторі параметрів  $X$  множини  $Y$  (рис. 1) пошук кращих, оптимальних або близьких до них розв'язків. Тому невимірні цілі не мають порівняння і повинні або виключатися з розгляду, або квантифікуватись до рівня, що забезпечує їх вимірність. Формальне визначення цієї властивості необхідно встановити аксіоматично [1-5].



$R$  – вектор результуючих експлуатаційних параметрів;  $Q$  – вектор нормованих кваліметричних показників;  
 $X$  – вектор управляючих параметрів; 1 і 2 – внутрішній та зовнішній контури управління

**Рис. 1** – Схема управління якістю технічного стану автопоїзда в процесі експлуатації

Пошук оптимального рішення щодо проведення технічних впливів на складні технічні системи, до яких належать сучасні автопоїзди, складається з двох етапів: пошуку границь області існування експлуатаційних показників автопоїзда та пошуку в цій області кращого набору значень цих показників, що потребує вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації [2, 5].

У процесі експлуатації автопоїздів для раціонального проведення періодичності ТО вирізняють такі завдання, що потребують наукового вирішення:

- встановлення обґрунтованих критеріїв оптимізації;
- розробка математичних моделей і методів їх розв'язку;
- розробка алгоритмів і методик їх реалізації.

Автопоїзд складається із взаємопов'язаних підсистем (агрегат, механізм), які не гарантують створення оптимальної технічної системи, а в деяких випадках навіть спричиняють її непрацездатність. Отже, в основу рішення задачі має бути покладено принцип цілісності, який вимагає розгляду технічної системи як єдиного цілого, що складається зі структурних частин, що пов'язані між собою певними відношеннями.

На основі аналізу висновків експертів щодо аналізу впливу експлуатаційних факторів на технічний стан автопоїзда встановлено номенклатуру експлуатаційних показників [6]. Із множини функціональних показників сформовано номенклатуру показників якості автопоїзда за групами експлуатаційних властивостей: економічність, динамічність, надійність.

Паливна економічність – одна з експлуатаційних властивостей автопоїзда. Вона визначає витрату палива автопоїздом при русі в заданих умовах. Для кожного автопоїзда встановлюється норма лінійної витрати палива. Ці норми вказані в технічних характеристиках автопоїздів. Залежно від умов роботи автопоїздів, ці норми можуть збільшуватися або зменшуватися спеціальними вказівками. На паливну економічність впливають конструктивні й експлуатаційні чинники. Пробіг до капітального ремонту залежить від витрати палива [7]:

$$L_{KP} = \frac{100 \cdot Q_y}{H}, \quad (1)$$

де  $Q_y$  – сумарна загальна витрата палива, л;

$H$  – норма витрата палива автомобіля, л/100 км.

Згідно з проведеними дослідженнями, відображеними у безлічі робіт і використовуваних у поширеній практиці визначення ресурсу автомобіля, найбільш адекватною моделлю для визначення коефіцієнта фізичного зносу автомобіля є метод експоненційної кривої, виходячи з припущення ґрунтується на статистичних дослідженнях про те, що його ресурс перебуває в експлуатації й змінюється за експоненційної залежності. Тоді скориговано пробіг може бути таким чином:

$$L_{TQ} = k \cdot L_{cp}, \quad (2)$$

де  $k$  – поправка на знос;

$L_{cp}$  – середній пробіг до появи відмови, км.

На підставі даних про фізичний стан автомобілів розраховується процентна поправка на знос. Розрахунок проводиться за формулою [8]:

$$k = \frac{100 - I_{fiz.a}}{100 - I_{fiz.b}}, \quad (3)$$

де  $I_{fiz.a}$  – відсоток фактичного зносу оцінюваного об'єкта;

$I_{fiz.b}$  – відсоток фактичного зносу наявного аналога (розрахунок фізичного зносу проводиться методом експертних оцінок, який передбачає проведення технічної експертизи, за результатами якої технічний стан автомобіля співвідноситься з деякою шкалою станів, кожному з яких приписується певний діапазон зносів [8]).

Відсоток фактичного зносу автомобіля

$$I_{fiz.a} = 100 \cdot (1 - e^{-\Omega}) \quad (4)$$

де  $e$  – підстава натуральних логарифмів,  $e = 2,72$ ;

$\Omega$  – функція, що залежить від віку і фактичного пробігу автомобіля з початку експлуатації.

Функція  $\Omega$  в загальному випадку має такий вигляд для автопоїздів [8]:

$$\Omega = 0,09 \cdot T_{\phi} + 0,0003 \cdot L_{\phi}, \quad (5)$$

де: 0,09 – коефіцієнт, що враховує вплив віку автопоїзда і залежить від виду, марки, моделі;

$T_{\phi}$  – фактичний вік автомобіля, років;

0,0003 – коефіцієнт, що враховує вплив пробігу автопоїзда з початку експлуатації та залежить від виду, марки, моделі;

$L_{\phi}$  – фактичний пробіг автомобіля з початку експлуатації, тис. км.

Динамічність автомобіля залежить насамперед від його тягових і гальмівних властивостей [9, 10]. При визначенні динамічності автомобіля вважають, що його можливості обмежені лише потужністю двигуна і зчепленням провідних коліс з дорогою та визначені залежністю

$$P_T = \frac{M_e u_o u_k \eta_{mp}}{r_k}, \quad (6)$$

де  $M_e$  – ефективний момент двигуна, кН·м (згідно технічного паспорту автомобіля);

$u_o$  – передаточні числа головної передачі автомобіля;

$u_k$  – передаточне число коробки перемикання передач на першій передачі (згідно технічного паспорту автомобіля);

$\eta_{mp}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

$r_k$  – статичний радіус колеса, м (згідно технічного паспорту автомобіля).

Передаточне число головної передачі [10] визначається із умови забезпечення заданої максимальної швидкості  $V_{max}$  (км/год.) руху автомобіля на вищій сходинці коробки перемикачів передач при встановленому значенні  $n_{max}$  (хв<sup>-1</sup>):

$$u_o = \frac{0,378 \cdot n_{V_{max}} \cdot r_k}{V_{max}} \quad (7)$$

Коефіцієнт корисної дії трансмісії [7, 9] прийнятий за даними ТОВ «Зенал», що він змінюється за лінійною залежністю від пробігу:  $\eta_{mp} = 0,92 - 0,00028 \cdot L$ .

Безвідмовність – властивість автомобіля виконувати транспортну роботу в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи напрацювання. Напрацювання (наробіток) – це тривалість експлуатації автомобіля, що визначається експериментально. Досліджується, при якому пробігу виникає відмова агрегату, механізму тощо (визначається імовірність відмови  $q_i$ ). Імовірність безвідмовної роботи тягача – імовірність того, що протягом заданого наробітку (кількості відпрацьованих годин) відмова автомобіля (агрегату) не виникне [11]. Представлено у вигляді  $p_i = 1 - q_i$  ( $i$  – автомобіль, трансмісія, агрегат тощо).

Ремонтопридатність – властивість автомобіля бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту. Характеризується середньою тривалістю відновлення трансмісії, агрегату тощо  $t_{o,i} = q_i \cdot T_i$  ( $q_i$  – імовірність відмови  $i$ -го елемента в об'єкті;  $T_i$  – час відновлення об'єкта при відмові в ньому  $i$ -го елемента, год.) [11].

Довговічність – це властивість автомобіля виконувати потрібні функції до переходу у граничний стан за встановленої системи технічного обслуговування та ремонту. Характеризується середнім пробігом автопоїзда до КР, середнім ресурсом  $L_{cp,i} = \bar{L}_i - 1,28 \cdot \sigma_i$  трансмісії, агрегату тощо [11].

На основі аналізу висновків експертів щодо впливу факторів на технічний стан автопоїзда встановлено номенклатуру показників якості, що зображені у вигляді вершин  $q_j, \forall j = \overline{1,5}$  графа (рис. 4), прообразами яких є одиничні показники  $Q$ , що пов'язані нечіткою множиною відношень ( $q_i \leftrightarrow q_j$ ):

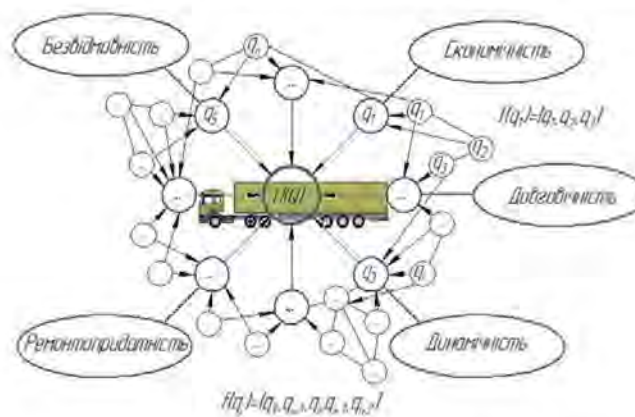


Рис. 4 – Граф-схема моделі експлуатаційних показників якості технічного стану автопоїзда

Припускаючи, що множина параметрів технічного стану автопоїзда є замкненою, випуклою і не порожньою, показник технічного рівня  $U(Q) \equiv U$ .

Оскільки технічний рівень – поняття відносне, отже відповідний критерій  $U(Q)$  є безрозмірним, а комплексні показники (економічність, динамічність, надійність тощо), що мають імовірнісну природу, ніколи не перевершують одиницю [2, 11].

Експлуатаційні показники автопоїзда слід розраховувати як на стадії проектування, так і при оцінках функціональних властивостей та їх характеристик у процесі експлуатації. Відмови механізмів автопоїзда (об'єкта) відповідно до своєї фізичної природи можуть бути пов'язані з руйнуванням вузлів і деталей механізмів та їх приводів, заклинюванням окремих елементів та ін. причинами, які призводять до того, що він не може виконувати своїх функцій. Такі відмови прийнято називати відмовами функціонування.

У випадках, коли технічний стан автопоїзда характеризується сукупністю значень деяких технічних параметрів, то ознакою виникнення відмови є вихід значень кожного із цих параметрів за межі допуску. Такі відмови називають параметричними. Наприклад, зменшення тиску в пневматичних шинах, зазвичай, не порушує подальшу експлуатацію автомобіля, однак він стає непрацездатним з погляду вимог, установлених нормативно-технічною документацією. Дуже часто параметричні відмови передують відмовам функціонування, а також можуть їх спричиняти.

Для вивчення надійності автомобілів широко застосовується імовірнісний метод [11, 12]. Одним з найбільш застосовуваних при описі функціонування основних вузлів і систем автомобілів є математичний апарат однорідних ланцюгів Маркова. В цьому випадку проводиться побудова графа станів автомобіля з урахуванням відмови його систем [11, 13]. Ймовірності  $P_0, \dots, P_n$  знаходження автомобіля в кожному з  $n$  станів визначаються із сукупності рівнянь ймовірностей знаходження його в кожному зі станів:

$$\begin{cases} P_0 = \left(1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\lambda_n}{\mu_n}\right)^{-1}; \\ P_1 = P_0 \times \frac{\lambda_1}{\mu_1}; \\ \dots \\ P_n = P_0 \times \frac{\lambda_n}{\mu_n}; \end{cases} \quad (8)$$

де  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  – інтенсивність потоку відмов відповідних систем;

$\mu_1, \dots, \mu_n$  – інтенсивність потоку відновлення відповідних систем.

З розглянутої структури тягача Volvo (рис. 5) виокремимо чотири функціональних системи, граф яких може перебувати в справному стані  $S_0$ , а також у станах, викликаних відмовами його систем:  $S_1$  – ремонт системи трансмісії;  $S_2$  – ремонт системи ходової частини;  $S_3$  – ремонт системи підвіски;  $S_4$  – ремонт пневматичної шини.

Середній час між двома відмовами  $\bar{T}_i$  відповідних систем тягача, а також середній час ремонту (заміни, відновлення)  $\bar{T}_{oi}$  вузлів (деталей), що вийшли з ладу систем підраховується на основі даних технічної служби.

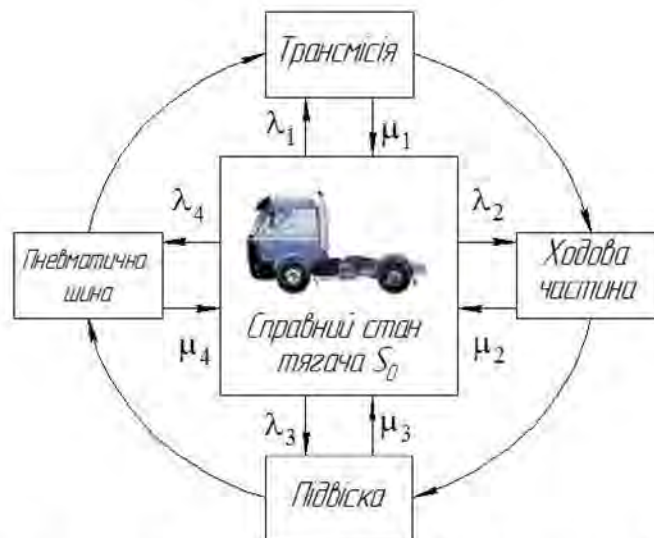


Рис. 5 – Граф стану тягача з урахуванням відмови функціонування його систем

В якості однієї зі складових інтенсивності потоку відмов прийнятий середній пробіг ( $\bar{T}_i$ ) тягача до відмови відповідного елемента, який потім перерахований через середньодобову швидкість ( $V_{cc} = 50$  км/год) при експлуатації напівпричепа в середній час між відмовами відповідних систем [13]:

$$T_i = \frac{\bar{T}_i}{V_{cc}} \quad (9)$$

Інтенсивності потоку відмов і потоку відновлення відповідно дорівнюють:

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i}, \quad (10)$$

$$\mu_i = \frac{1}{T_{vi}} \quad (11)$$

Автопоїзд (наприклад, сідельний тягач і стандартний напівпричіп) як технічна система складається із багатьох елементів, як правило, відновлюють, їхні відмови, зазвичай, пов'язані з ушкодженням більш простих елементів, які можуть бути відремонтовані або замінені (див. рис. 5). Поширений показник надійності – наробіток до відмови, тобто наробіток об'єкта від початку експлуатації до виникнення першої відмови.

До показників безвідмовності й довговічності відносять кількісні характеристики, опрацьовані у статистичній теорії надійності. Ця теорія описує функціонування великої кількості об'єктів, які виготовляють та експлуатують у статистично однорідних умовах.

У процесі експлуатації показники безвідмовності й довговічності трактують як характеристики імовірнісних моделей створюваних об'єктів. На стадіях експериментальної досліджень, випробувань та експлуатації ці показники визначають як статистичні оцінки відповідних імовірнісних характеристик.

Середній наробіток до відмови – математичне очікування наробітку об'єкта до першої відмови, можна визначити як функцію

$$L_f = \int_0^{\infty} L f(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (12)$$

де  $L$  – сумарний наробіток, тис. км;

$P(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи;

$f(t)$  – щільність розподілення напрацювання до відмови.

Безпосереднє застосування законів розподілу наробітку до відмови або законів розподілу терміну служби дозволяє вирішувати завдання визначення показників надійності лише приблизно за низкою причин [11]:

– по-перше, закон вибирається формально, за зовнішніми ознаками і часто не відображає процес формування відмови;

– по-друге, для одержання експериментальних даних, що дозволяють судити про закон розподілу, необхідний значний час і витрати.

Робота об'єкта, вихідний параметр якого має закон розподілу, що не залежить від часу, характеризується раптовими відмовами. У цьому випадку відповідно до експонентного закону надійності ймовірність безвідмовної роботи  $P(L) = \exp(-\lambda L)$ , де  $\lambda$  – інтенсивність відмов. Зазвичай в цьому випадку параметри стану вважають випадковими величинами й безвідмовність може оцінюватися згідно з не залежною від часу ймовірністю знаходження вихідного параметра в допустимих границях  $P_p$  (квазістатична постановка [11]).

Тоді при статичних границях

$$P_p = P\{R_1 < z < R_2\} = \int_{R_1}^{R_2} \varphi(z) dz \quad (13)$$

при випадковій границі

$$P_p = P\{\xi > 0\} = \int_0^{\infty} \psi(\xi) d\xi \quad (14)$$

Встановити зв'язок між характеристиками  $P(L)$  і  $P_p$  при раптових відмовах можна, якщо розглядати параметр стану  $z$  як випадкову послідовність, спостережувану у фіксованих точках тимчасового інтервалу. Отримано

$$P(L) = \exp\left[-(1 - P_p)nL\right] \quad (15)$$

де  $n$  – середнє число фіксованих точок за одиницю часу.

У загальному випадку технічний стан автопоїзда та якість їх оцінювання визначається не одним, а сукупністю  $S$  вихідних параметрів стану  $z_1, z_2, \dots, z_S$ , які можна вважати компонентами деякого вектора  $Z$ . Простір станів можна розділити деякою граничною поверхнею на дві області: область, що відповідає експлуатаційним вимогам, і область відмов. Безвідмовність у цьому випадку визначається як імовірність того, що за пробіг  $L$  експлуатації автопоїзда параметри його стану  $z_i$  не виходять за відповідні границі  $R_{i1}$  і  $R_{i2}$

$$P(L) = P\{Z \in \Omega / L \leq L\} = P\{R_{11} < z_1 < R_{12} < z_2 < R_{22} \dots < R_{S1} < z_S < R_{S2} / L \leq L\}$$

Перетинання вектором  $Z$  у якийсь момент часу поверхні граничних станів означає відмову.

Визначальними у характеристиці процесів, що призводять до відмови об'єкта, є швидкість їх перебігу [11, 14]. Процеси, що відбуваються з високою швидкістю (період зміни порядку долі секунди), закінчуються протягом циклу роботи машини й знову виникають при наступному циклі. Для оцінки усередненого параметра потоку відмов  $\bar{\mu}$  необхідно знати щільність спільного розподілу параметра стану  $z(t)$  і швидкості його зміни в часі  $\dot{z}(t)$ . У багатьох випадках такі процеси описуються стаціонарною випадковою функцією з нормальним законом розподілу як самого параметра стану  $z$ , так і швидкості його зміни  $\dot{z}$ . Тоді, відповідно до формули Райса, усереднений параметр потоку відмов визначають так

$$\bar{\mu} = \frac{1}{2\pi} \frac{\sigma_{\dot{z}}}{\sigma_z} \exp\left[-\frac{(R - m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

де  $\sigma_z$  і  $\sigma_{\dot{z}}$  – середньоквадратичні значення відповідно  $z$  і  $\dot{z}$ ;  $R$  – границя.

Безвідмовність як імовірність відсутності за час наробітку  $L$  першої параметричної відмови визначають так

$$P(L) = \exp\left\{-\frac{T}{2\pi} \frac{\sigma_{\dot{z}}}{\sigma_z} \exp\left[-\frac{(R - m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right]\right\}$$

Процеси, що відбуваються з середньою швидкістю, відбуваються під час безвідмовної роботи автопоїзда вимірюються пробігом.

Дослідження надійності поділяється на три основні етапи:

- побудова на основі теоретичних або експериментальних досліджень залежності відмови основних частин автопоїзда від пробігу;
- ретельний статистичний аналіз умов експлуатації, імовірнісний опис показників надійності;

– побудова розподілу вихідного параметра.

Розподіл вихідного параметра є достатнім, щоб за формулами (13), (14) і (15) визначити оцінки надійності  $P_p$  і  $R(L)$ .

Процеси, що відбуваються з низькою швидкістю, мають місце у період експлуатації автопоїзда між періодичними оглядами чи ремонтами. До них належить зношування, накопичення утомних пошкоджень, корозія тощо. Такі процеси викликають зміну статистичних характеристик параметра стану в часі (пробігу), у зв'язку з чим його вже не можна розглядати як стаціонарну випадкову функцію. Процеси такого типу зазвичай призводять до поступових відмов. При цьому зношування як основний чинник може спричинити граничні стани різного роду. При досягненні величини зносу деякого граничного значення можуть відбуватися різкі, стрибкоподібні зміни в основних елементах автопоїзда. При досягненні параметром стану значень, регламентованих технічною документацією, відбувається параметрична відмова, найбільш проста модель якої базується на припущенні лінійної залежності вихідного параметра від величини зносу.

На практиці часто трапляються випадки, коли поступові відмови внаслідок зношування й раптові відмови, викликані здебільшого несприятливою комбінацією умов експлуатації, практично між собою не зв'язані. Імовірність безвідмовної роботи при спільній дії цих різних факторів визначають так

$$P(L) = P_{zn}(L) \cdot P_r(L), \quad (19)$$

де  $P_{zn}(L)$  і  $P_r(L)$  – ймовірності безвідмовності, зумовлені відповідно зношуванням і раптовими відмовами.

Для аналізу надійності таких складних систем як автопоїзд доцільно розділити їх на окремі елементи, під якими розуміють такі складові частини системи, які можуть бути характеризовані самостійними вихідними параметрами (параметрами стану) і для яких теоретичним шляхом або експериментальним можуть бути отримані характеристики безвідмовності.

Якщо можливо розчленувати складну систему на окремі елементи і для кожного них окремо визначити ймовірність безвідмовної роботи, то для розрахунків показників надійності системи використовують структурні моделі (схеми). Найбільш характерний випадок, коли відмова кожного з елементів виводить із ладу всю систему – це послідовне з'єднання елементів. Приклад застосування – коробки перемикачів і головної передачі як елементи механічної трансмісії у складі автопоїзда. Відмова кожного з таких елементів призводить до відмови усієї системи. Імовірність безвідмовної роботи такої системи дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи елементів

$$P(L) = P_1(L) \cdot P_2(L) \dots P_n(L) = \prod_{i=1}^n P_i(L). \quad (20)$$

Якщо вихід з ладу всіх означених елементів спричинений тільки раптовими відмовами, які підкоряються експонентному закону, тобто

$$P_1(L) = \exp(-\lambda_1 L), P_2(L) = \exp(-\lambda_2 L), \dots P_n(L) = \exp(-\lambda_n L), \quad (21)$$

то для такої системи ймовірність безвідмовної роботи визначають так

$$P(L) = \prod_{i=1}^n \exp(-\lambda_i L) = \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)L] \quad (22)$$

Таким чином, ймовірність безвідмовної роботи складної системи, що складається з елементів, які піддані раптовим відмовам, також підкоряється експонентному закону з параметром  $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ .

Простота розрахунків показників надійності системи при раптових відмовах елементів за рівнянням (22) на практиці іноді призводить до того, що цією формулою користуються також і у випадках, коли



причина виходу з ладу – поступові відмови. Це неприпустимо, оскільки у таких випадках є обов'язковим використання загальної формули (19).

У сучасному автомобілебудуванні поширене загальне резервування механізмів, зокрема, у всіх відповідальних вузлах агрегатів і систем автопоїзда застосовують дублюючі системи змашення, ущільнення тощо.

Якщо у структурній моделі надійності автопоїзда  $n_1$  елементів не дубльовані, а  $n_2$  елементів дубльовані, то ймовірність безвідмовної роботи такої системи

$$P(t) = P_d(t) \cdot P_c(t) = \prod_{i=1}^{n_1} P_i(t) \cdot \prod_{i=1}^{n_2} [1 - Q_i^2(t)] \quad (23)$$

### Висновки

Запропонована модель дозволяє вирішувати практичні задачі з порівняння різних варіантів рівня технічного стану автопоїзда, обґрунтовувати раціональний режим періодичності ТО та норм надійності між елементами механічних систем, агрегатів, механізмів тощо.

### Перспективи подальших досліджень

Метою подальших досліджень є вивчення експлуатаційних властивостей автопоїздів, що змінюються в процесі експлуатації за допомогою удосконаленою моделлю для кваліметричних оцінок технічного рівня їх стану.

### Список використаних джерел

1. Заблонський К. І. Деталі машин / К. І. Заблонський. – Одеса : АстроПринт, 1999. – 403 с.
2. Гутиря С. С. Підвищення технічного рівня механізмів паралельної структури і кінематики у складі технологічних комплексів [Електронний ресурс] / С. С. Гутиря, В. П. Яглінський, Аймен Сабах // Технологічні комплекси [Науковий журнал]. – Луцьк : Луцький НТУ, 2012. – №1,2 (5,6). – С. 50-56. – Режим доступу: <http://t-komplex.net.ua/ua/art5-6-006>.
3. Яглінський В.П. Кінематика обладнання на основі механізмів паралельної структури. Монографія / В.П. Яглінський, В.В. Ержуков, А.Г. Ивахненко и др. // Прогрессивное машиностроительное оборудование. Коллективная монография. – Орел : Изд. дом «Спектр», 2011. – 455 с.
4. Yaglinsky V.P. Multi-criterion optimization functional trajectories of industrial robots / V.P. Yaglinsky, S.S. Gutyrya, O.U. Bezuglenko // Annals of DAAAM International 2004. – Vienna, 2004. – P. 37-38.
5. Yaglinsky V.P. System criteria analysis and function optimization of industrial robots / V.P. Yaglinsky, S.S. Gutyrya // ТЕКА Ком. Mol. Energ. Roln., 6А. – Lublin, 2006. – P. 70-81.
6. Сахно В.П. Аналіз умов забезпечення працездатності автотранспортних засобів на основі удосконалення системи технічного обслуговування / В.П. Сахно, О.П. Сакно, О.В. Лисий // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П. Василенка [«Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»]. – Харків : ХНТУСГ, 2015. – Вип. 158. – С. 144-149.
7. Говоруценко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говоруценко. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
8. Андрианов Ю.В. Методические рекомендации по экспресс-оценке стоимости в отношении транспортных средств / Ю.В. Андрианов, В.И. Кравчинский // ОАО «НИИАТ» – Москва, 2007. – №1 – 4067/НИИАТ.
9. Сахно В.П. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч.1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів / Сахно В.П., Костенко А.В., Загороднов М.І. та ін. // Навчальний посібник. – Донецьк : Ноулідж (донецьке відділення), 2014. – 444 с.

10. Солтус А.П. Теория эксплуатационных свойств автомобиля: Учебное пособие для вузов / Солтус А.П. – Кременчук : КГПУ, 2003. – 152 с.
11. Лукинский В.С. прогнозирование надежности автомобилей / Лукинский В.С., Зайцев Е.И. – Л. : Политехника, 1991. – 224 с.
12. Бажинев О.В. Надійність автомобільних поїздів : монографія / О.В. Бажинев, О.П. Кравченко. – Луганськ : Ноулідж, 2009. – 412 с.
13. Кравченко О.П. Наукові основи управління ефективністю експлуатації автомобільних поїздів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / О.П. Кравченко // Харк. нац. автомоб.-дорож. ун-т. – Х. : ХНАДУ, 2007. – 36 с.
14. Проников А.С. Параметрическая надежность машин / Проников А.С. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.

**Рецензент:** Миргород В.Ф., д.т.н., доц., Військова академія (м. Одеса)

## **К ВОПРОСУ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ СОСТОЯНИЯ АВТОПОЕЗДОВ**

О.П. Сакно, А.В. Лысый, В.А. Маханьков, Д.И. Муженко, А.И. Подымский, Р.Л. Пришляк

*Предложена усовершенствованная модель для квалиметрических оценок технического уровня состояния автопоездов. В графической интерпретации усовершенствованная модель представляет собой многогранник, построенный в координатах, которые соответствуют определенным интегральным параметрам автопоезда (экономичность, динамичность, надежность и тому подобное). Это позволяет решать практические задачи сравнения различных вариантов уровня технического состояния автопоезда, обосновывать рациональный режим периодичности ТО и норм надежности между элементами агрегатов.*

**Ключевые слова:** автопоезд, свойство, техническое состояние, квалиметрическая оценка, техническое обслуживание.

## **ON THE ISSUE OF RATING OF QUALITY METERING OF ASSESSMENTS OF THE ENGINEERING LEVEL OF OPERABLE CONDITION OF THE TRACTOR-TRAILERS**

O. Sakno, O. Lysyi, V. Makhankov, D. Muzhenko, A. Podymskyi, R. Pryshliak

*The improved model is proposed for rating of quality metering of assessments of the engineering level of operable condition of the tractor-trailers. The improved model is a polyhedron in graphical interpretation it is built in the coordinates that correspond to a certain integral characteristics of the tractor-trailers (efficiency, dynamism, reliability etc). This allows us to solve the practical problem of comparing different variants of level of the technical condition of the tractor-trailers, to ground rational conditions of maintenance and norms of reliability between structural elements.*

**Keywords:** tractor-trailer, property, technical condition, rating of quality metering, maintenance.