

УДК 629.017:629.083

О.В. Лисий*Військова академія (м. Одеса), Україна*

МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РІВНЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОПОЇЗДА

Змодельовані експлуатаційні показники рівня технічного стану автопоїзда Volvo. Запропоновано практичне використання удосконаленої моделі для кваліметричних оцінок технічного рівня стану об'єктів. Графічно побудована «павутина якості» за певними інтегральними параметрами автопоїзда (економічність, динамічність, надійність). Це дозволило вирішити практичні завдання з порівняння різних варіантів рівня технічного стану автопоїзда.

Ключові слова: автопоїзд, експлуатаційні показники, технічний стан, павутина якості.

Постановка проблеми

З розвитком економічних відносин в країні щороку зростає кількість автотранспортних засобів (АТЗ), що виконують різні функції. Для технічної служби автотранспортного підприємства (АТП) важливим є аналіз технічного стану АТЗ за його експлуатаційними показниками, який можна здійснити на базі удосконаленої моделі для кваліметричних оцінок технічного рівня стану об'єктів.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

У багатьох роботах науково обгрунтовано адекватність моделювання множини показників якості об'єкта $\{Q\} = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ і відношень між ними $\{q_i \leftarrow q_j\}$ як єдиної інформаційної системи, подальший розвиток якої базується на принципі функціонально-кібернетичної еквівалентності ПІ. Найбільш адекватною є структура у вигляді багаторівневої оболонки, яка відрізняється тим, що показники кожного рівня не зводяться до сукупності показників інших рівнів.

Отже, на кожному рівні такої універсальної моделі можна враховувати експлуатаційні властивості, які притаманні системі в цілому, а також реалізовувати аналіз за єдиним системним критерієм $U(Q)$ технічного рівня [1-3].

Постановка задачі

Аналіз опублікованих даних свідчить, що необхідно забезпечувати об'єктивність кваліметричних оцінок технічного рівня стану не тільки відповідних підсистем, агрегатів, вузлів, «слабких елементів», а й автомобіля у цілому. Для всебічного вивчення множини експлуатаційних параметрів автопоїздів під час експлуатації необхідно розробити аналітичні моделі, опрацювати алгоритми розрахункових процедур та побудувати «павутину якості».

Результати дослідження

Для конкретизації завдання для технічної служби АТП щодо опису в термінах експлуатаційних властивостей автопоїзда, тобто у квантифікації загальної мети на сукупність більш часткових і простих, конкретних підцілей, необхідно розглянути дві з аксіом [2-5].

Аксіома А1. Пари показників (q_i, q_j) не залежать за перевагою від інших показників $\bar{Q} = (q_1, \dots, q_{i-1}, q_{i+1}, \dots, q_{j-1}, q_{j+1}, \dots, q_n)$, якщо відношення переваги, установлене між векторами $Q' = (q_i, q_j, \bar{Q})$ й $Q'' = (q_i^*, q_j^*, \bar{Q})$, не залежить від рівнів, на яких зафіксовані значення показників \bar{Q} .

З аксіоми А1 випливає, що

$$(q'_i, q'_j, \bar{Q}') \succsim (q''_i, q''_j, \bar{Q}') \Rightarrow (q'_i, q'_j, \bar{Q}'') \succsim (q''_i, q''_j, \bar{Q}'') \tag{1}$$

для будь-яких $\bar{Q}'' \in Q''$. Отже, визначивши відношення переваги на площині $q_i \times q_j$ з урахуванням тільки показників q_i і q_j й установивши, що пара (q_i, q_j) не залежить за перевагою від \bar{Q} , можна поширити знайдені відносини переваги із площини $q_i \times q_j$ на весь простір показників Q'' . У цій властивості полягає основна практична цінність поняття незалежності за перевагою (приклад, для $n = 3$ на рис. 1).

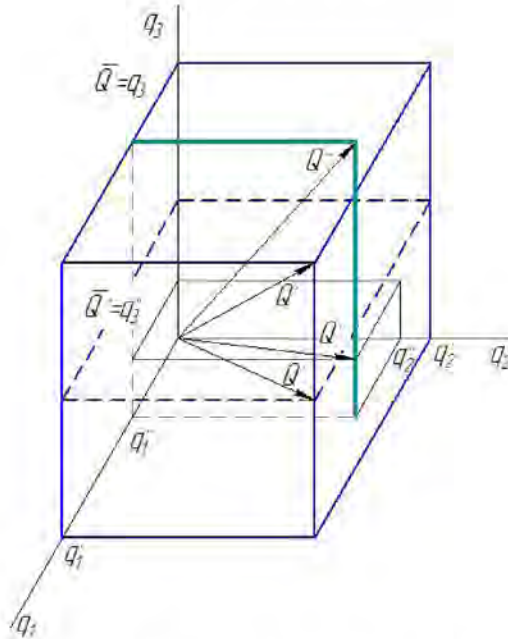


Рис. 1 – Схема незалежності за перевагами показників q_2 і q_3 від показника q_1

Аксіома 2. Оцінки технічного рівня $U'(Q)$ й $U''(Q)$ порівнюваних аналогів можна вважати дійсними, якщо

$$U'_k(Q)/U''_k(Q) = \text{const} \forall k = \overline{1, m} \tag{2}$$

де m – число альтернативних моделей.

З аксіоми випливає, що якщо запропоновані моделі адекватно відображають оцінюваний показник, то

$$\left. \begin{aligned} U'(Q) &= \alpha_k U'_k(Q), \\ U''(Q) &= \beta_k U''_k(Q), \end{aligned} \right\} \forall k = \overline{1, m} \tag{3}$$

де $\alpha_k \wedge \beta_k > 0$ – масштабні коефіцієнти k -ої моделі.

Розглянута система аксіом становить основу проектної кваліметрії автопоїзда як системної складності, оскільки забезпечує формалізацію абстрактного процесу відображення його технічного рівня на числову вісь, стабільну технологічну точність результатів і усуває залежність отриманих результатів від відомої суб'єктивності експертних методів.

Припускаючи, що множина параметрів технічного стану автопоїзда є замкненою, випуклою і не порожньою, показник технічного рівня $U(Q) \equiv U$, значення якого є інваріантним рівню кваліметричної моделі, визначається за рішенням наступної системи неоднорідних лінійних рівнянь [2]:

$$\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} & q_{15} & -1 \\ 0 & q_{22} & q_{23} & q_{24} & q_{25} & -1 \\ 0 & 0 & q_{33} & q_{34} & q_{35} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & q_{44} & q_{45} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q_{55} & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

де $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_5\}$ – стовпець невідомих вагових коефіцієнтів.

Єдність розв'язку системи $Q' > Q'' \Rightarrow Q' > (q_1'', \dots, q_{i-1}'', q_i'' + \Delta q_i, q_{i+1}'', \dots, q_n'')$ забезпечується відношенням суворої упорядкованості елементів матриці $[Q]$ у вигляді

$$1,0 > q_{k+1,j} > q_{k,j} > 0,1 \quad \forall k = \overline{1, j} \wedge j = \overline{1, 5} \quad (5)$$

Адекватність застосування умови (1) підтверджується послідовністю формування таких експлуатаційних властивостей як економічність, динамічність, надійність тощо, інтенсивність яких змінюється із градієнтом постійного напрямку від рівня моделювання окремих елементів до рівня технічного стану автопоїзда як системи (у цілому).

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 [6, 7].

На основі гіперболічної функції $thy = \frac{e^{2y} - 1}{e^{2y} + 1}$, що відображує зниження рівня переваги будь-якої ознаки якості $y_i, \forall i = \overline{1, n}$ зі зростанням її значення, для нормування різноманітних фізичних шкал елементів множини $\{Y\}$ у діапазоні $[0, 1; 1]$ отримано наступні рівняння [2, 3]:

а) при відображенні без зміни градієнта

$$q_i = 0,1 + 1,18th \left[\frac{y_i - y_i^-}{y_i^+ - y_i^-} \right] \quad (6)$$

б) при зміні градієнта на протилежний

$$q_i = 1 - 1,18th \left[\frac{y_i - y_i^-}{y_i^+ - y_i^-} \right] \quad (7)$$

де y_i^-, y_i^+ – відповідно нижня і верхня межі статистично усередненого діапазону зміни показника певної ознаки.

Якщо кожне сполучення вихідних даних для технічної системи подати у вигляді n -мірного вектору, то у відповідному просторі необхідно задати метрику $\rho_m = \rho_m(W_1, W_2)$, яка чисельно відповідає кількості інформації [6].

Якщо досліджуваний n -мірний простір відповідає усім характеристикам Евклідова простору R^n , для якого норма n -компонентних векторів $\|W\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j^2}$, то відстань між векторами є

$$\rho_m = \|W_1 - W_2\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (W_1 - W_2)^2} \quad (8)$$

Відповідна функція стану складної технічної системи визначає узагальнену умову її оптимізації

$$F_{opt}\{W_1, W_2, \dots, W_n\} \rightarrow \min \quad (9)$$

Кожне сполучення вихідних даних для технічної системи відображено однією чи декількома точками у n -мірному просторі встановлених показників якості, за якими можна оцінювати технічний стан автопоїзда. Тобто умова (8) має аналогічний запис у значно меншому ($m < n$) просторі показників якості

$$F_{opt} \{q_1, q_2, \dots, q_n\} = F_{opt} \{Q\} \rightarrow \min \quad (10)$$

У сучасних умовах комп'ютеризації для пошуку оптимального рішення стає можливим розгляд потужної кінцевої множини варіантів, із якої необхідно вибрати декілька конкуруючих раціональних варіантів, що потребують порівняння і подальшого удосконалення для досягнення поставленої мети.

У графічній інтерпретації модель багатомірного фазового простору стану технічної системи може являти собою сферу або багатогранник, що побудований у координатах, які відповідають певним інтегральним параметрам системи (наприклад, економічність, динамічність, надійність тощо).

Для числового відображення відхилення по кожному i -му параметру використано кількість інформації $H_i = -\sum_{j=1}^n \Delta_j$ (n – число вихідних параметрів, що утворюють n -мірний фазовий простір, Δ_j – сума їх відхилень від оптимальних значень).

На основі аналізу та статистичного усереднення параметрів автопоїзда та розрахункових значень їх функціональних показників визначено межі зміни відповідних показників рівня технічного стану автопоїзда, виконано нормування відповідних показників згідно з (3) і (7), сформовано таблицю 1. На основі кваліметричної моделі технічного рівня визначено групові показники (перші рядки таблиць на рис. 2) та побудовано відповідні «павутини якості». В результаті проведених розрахунків показників якості автопоїздів встановлено наявність резервів для подальшого технічного удосконалення досліджених систем.

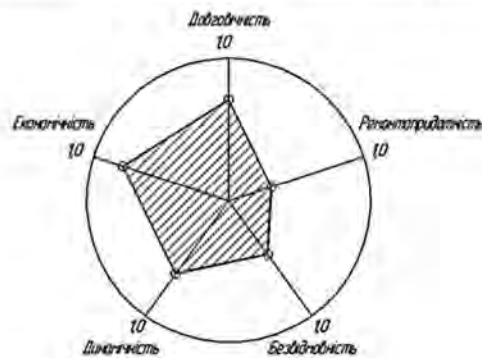
Таблиця 1

Систематизація номенклатури типових показників якості автопоїзда

Властивість	Показник якості	Діапазон визначення	Значення для тягача Volvo	Нормоване значення показника
1. Економічність	1.1. Пробіг до ТО, тис. км $L_{ТО} = k \cdot L_{ср}$	25...70	54,9	0,79
2. Динамічність	2.1. Тягова сила на колесах, кН $P_T = \frac{M_e \mu_o \mu_k \eta_{mp}}{r_k}$	20...40	29,7	0,63
	2.2. ККД трансмісії $\eta_{mp} = 0,92 - 0,00028 \cdot L$	0,6...0,92	0,9	0,97
3. Безвідмовність	3.1. Імовірність безвідмовної роботи тягача $P_a = 1 - q_a$	0,8...0,99	0,86	0,46
	3.2. Імовірність безвідмовної роботи трансмісії $P_{mp} = 1 - q_{mp}$	0,8...0,99	0,89	0,62
	3.3. Імовірність безвідмовної роботи ходової частини $P_{x,u} = 1 - q_{x,u}$	0,7...0,99	0,77	0,38
4. Безвідмовність	4.1. Імовірність безвідмовної роботи тягача $P_a = 1 - q_a$	0,8...0,99	0,86	0,46
	4.2. Імовірність безвідмовної роботи трансмісії $P_{mp} = 1 - q_{mp}$	0,8...0,99	0,89	0,62
	4.3. Імовірність безвідмовної роботи ходової частини $P_{x,u} = 1 - q_{x,u}$	0,7...0,99	0,77	0,38

Продовження таблиці 1

Властивість	Показник якості	Діапазон визначення	Значення для тягача Volvo	Нормоване значення показника
5. Ремонтно-придатність	5.1. Середня тривалість відновлення тягача (фактична), год.	20...48	25	0,31
	5.2. Середня тривалість відновлення трансмісії при $L_{ср,тп}$, год. $t_{в.тп} = q_{тп} \cdot T_{тп}$	16...23	18,67	0,53
	5.3. Середня тривалість відновлення ходової частини при $L_{ср,ч}$, год. $t_{в.х.ч.} = q_{х.ч.} \cdot T_{х.ч.}$	10...18	15,3	0,788
	5.4. Середня тривалість відновлення підвіски при $L_{ср,п}$, год. $t_{в.п.} = q_{п.} \cdot T_{п.}$	3...6	5,10	0,814
6. Довговічність	6.1. Середній пробіг тягача до КР, тис. км	800...1500	1200	0,709
	6.2. Середній ресурс трансмісії, тис. км $L_{ср,тп} = \bar{L}_{тп} - 1,28 \cdot \sigma_{тп}$	60...1000	266,76	0,355
	6.3. Середній ресурс ходової частини, тис. км $L_{ср,х.ч.} = \bar{L}_{х.ч.} - 1,28 \cdot \sigma_{х.ч.}$	70...120	85,212	0,45
	6.4. Середній ресурс підвіски, тис. км $L_{ср,п} = \bar{L}_{п} - 1,28 \cdot \sigma_{п}$	50...100	63,816	0,418
	6.5. Середній ресурс пневматичної шини, тис. км $L_{ср,ш} = \bar{L}_{ш} - 1,28 \cdot \sigma_{ш}$	180...216	187,46	0,34



а)

1. Економічність	2. Динамічність	3. Безвідмовність	4. Ремонтно-придатність	5. Довговічність	Рівень моделі
0,78563	0,63128	0,46072	0,3085	0,70936	Автомобіль
-	0,9662	0,62058	0,52993	0,35544	Трансмісія
-	-	0,37942	0,78815	0,44832	Ходова частина
-	-	-	0,81447	0,418	Підвіска
-	-	-	-	0,34096	Пневматична шина

б)

Рис. 2 – «Павутинна якості» за показниками $q_{L,j}$ (а) та матриця $[Q]$ (б) для тягача Volvo

Висновки

За результатами моделювання технічного рівня автопоїзда визначено показник $U = 0,75$, встановлено можливість покращання технічного стану за показниками динамічності та надійності.

Перспективи подальших досліджень

Метою подальших досліджень є вивчення експлуатаційних властивостей автопоїздів, що змінюються в процесі експлуатації за допомогою удосконаленої моделі для кваліметричних оцінок технічного рівня їх стану. Запропонована модель дозволяє вирішувати практичні завдання з порівняння різних варіантів рівня технічного стану автопоїзда, обґрунтовувати раціональний режим періодичності ТО та норм надійності між елементами механічних систем, агрегатів, механізмів тощо.

Список використаних джерел

1. Заблонский К.И. Детали машин / К.И. Заблонский. – 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., 6A. – Lublin, 2006. – P. 70-81.
6. Лукинский В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев – Л. : Политехника, 1991. – 224 с.
7. Бажинев О.В. Надійність автомобільних поїздів: монографія / О. В. Бажинев, О. П. Кравченко. – Луганськ : Ноулідж, 2009. – 412 с.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УРОВНЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОПОЕЗДА

А.В. Лысий

Смоделированы эксплуатационные показатели уровня технического состояния автопоезда Volvo. Предложено практическое использование усовершенствованной модели для кваліметрической оценки технического уровня состояния объектов. Графически построена «паутина качества» по интегральным параметрам автопоезда (экономичность, динамичность, надежность). Это позволило решить практические задачи с сравнением разных вариантов уровня технического состояния автопоезда.

Ключевые слова: автопоезд, эксплуатационные показатели, техническое состояние, паутина качества.

MODELING OF OPERATING FACTORS OF LEVEL OF TECHNICAL CONDITION OF THE TRACTOR-TRAILERS

O.V. Lysyi

The operating factors of level of technical condition of the Volvo tractor are modeled. The improved model for quality metering of assessments of the technical level of condition of truck is proposed for practical use. The «web of quality» is built graphically on integral parameters of tractor-trailer (efficiency, dynamism, reliability etc). It is possible to solve practical problems with comparing different versions of the level of technical condition of tractor-trailers.

Keywords: tractor-trailer, operating factors, technical condition, web of quality.