

УДК 656.071.8

С.О.ЗАКУРДАЙ

*Харківська державна академія міського господарства*

## **РАЦІОНАЛЬНА СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

Виходячи з концепції вхід-вихідних співвідношень керованих систем обґрунтовано раціональні цикли технічних обслуговувань рухомого складу.

З найбільш загальних позицій технічна експлуатація будь-яких технічних об'єктів уявляється функціонуванням замкнених систем автоматичного регулювання, входами яких є зовнішні впливи, виходами – зміни працездатності, а передаточні функції відображають процеси, що відбуваються у ланках цих об'єктів з точки зору їх впливу на інтенсивність втрати працездатності. На сьогодні поширена формалізація процесу зміни параметрів на базі концепції простору станів керованих систем, коли стан об'єкта в кожний момент часу можна характеризувати набором числових значень його параметрів – фазових координат  $Y_1(L), Y_2(L), \dots$ , а еволюції системи в часі відповідає траєкторія певної точки  $Y(L)$  у фазовому просторі. Опис поведінки керованої системи у просторі станів вимагає її декомпозиції до елементарного рівня, опису еволюції кожного її елемента і зв'язків між ними. Втрата технічним об'єктом працездатності при такому підході означає досягнення фазовою траєкторією межі простору справних станів  $Y(L = \bar{L}) \subset S_L$  [1]. При цьому існування технічного об'єкта в часі або іншому вимірюванні уявляється послідовною черговістю його функціонування та технічних обслуговувань і ремонтів відповідно до прийнятої системи планово-попереджувального ремонту. Більше того, поширеним є твердження про недоцільність застосування різних проміжків часу між ремонтно-профілактичними впливами [2]. Стадії ремонтів цієї послідовності розглядаються як самостійні простори станів, а процес відновлення – як досягнення фазовою траєкторією межі простору стану несправності і перехід до справного стану [3]. Очевидним недоліком такого уявлення є визначення структури міжремонтного циклу як компромісу між втратами від недовикористаного ресурсу в одних об'єктах та втратами від відмов внаслідок запізнення з ремонтно-профілактичними втручаннями – у других.

Однак зі зростанням складності об'єктів і відповідним збільшенням кількості фазових координат розмірність вектор-функції  $Y(L)$  фазової траєкторії може стати настільки великою, що визначення ево-

люції системи без істотних спрощень стає неможливим. Зокрема, з цих причин зміни параметрів іноді вимушено вважають незалежними функціями часу, чим ігнорується різниця умов експлуатації і добавки до навантаження від зворотного зв'язку, обумовлені зміною цих параметрів. Більш прийнятною є формалізація процесу поступової втрати технічним об'єктом працездатності на базі теорії вхід-вихідних співвідношень, коли технічна експлуатація уподібнюється функціонуванню керованої системи зі зворотними зв'язками, входом якої є відомі зовнішні впливи, виходом – спостережувана зміна параметрів аж до відмови, а змістом функціонування системи є перетворення вхід-вихід. Порівняно з концепцією простору станів перевагою аналізу вхід-вихідних співвідношень є відсутність необхідності в детальній інформації внутрішньої структури системи та зв'язків між її складовими, що замінюється визначенням функцій перетворення вхідних впливів до вихідних ефектів та наслідків. Крім того, за концепцією вхід-вихідних співвідношень досить просто, з використанням єдиного математичного апарату, переходити від систем з одним входом і виходом до систем з одним входом і кількома виходами та багатьма входами й виходами [4]. Останнє має особливу цінність для технічної експлуатації рухомого складу міського електротранспорту.

Для технічної експлуатації рухомого складу міського електротранспорту окреме вивчення процесу втрати працездатності при реалізації транспортної роботи та процесу відновлення при технічних обслуговуваннях і ремонтах є штучним, таким, що не відповідає дійсній картині еволюції працездатності об'єкта з притаманними йому властивостями як результату сумісної дії зовнішніх впливів – різних навантажень від різних умов експлуатації і різних ремонтно-профілактичних втручань, що мають місце в міру накопичення пробігу  $L$ . Факт невідповідності існуючої системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР) рухомого складу електротранспорту, заснованої на концепції простору станів, коли фазова траєкторія вектор-функції  $\overline{Y}(L)$  вважається залежною тільки від пробігу, відзначався ще у [5]. Так само невідповідним є відокремлення дії ремонтно-профілактичних впливів на темпи втрати працездатності, неврахування різниці зовнішніх навантажень для різних умов експлуатації, природжених властивостей окремих рухомих одиниць і поступової, в міру накопичення пробігу, зміни функції перетворення вхідних впливів до зміни показників надійності. Цих недоліків вдається уникнути при поданні технічної експлуатації функціонуванням системи зі зворотними зв'язками.

Очевидно, що врахування різних зовнішніх впливів відповідно до різних умов експлуатації на різних маршрутах потребує визначення входу  $U_1$  (рис.1) не єдиним числом, а деякою функцією умов експлуатації. Справді, якщо, наприклад, рухома одиниця працює на маршруті з невисокою швидкістю сполучення і частими зупинками, то це більше впливає на показники надійності гальмівних механізмів і менше – на підшипники тягового приводу, і навпаки, при високій швидкості сполучення і малій частоті гальмувань надійність рухомого складу визначатимуть переважно підшипники тягового приводу.

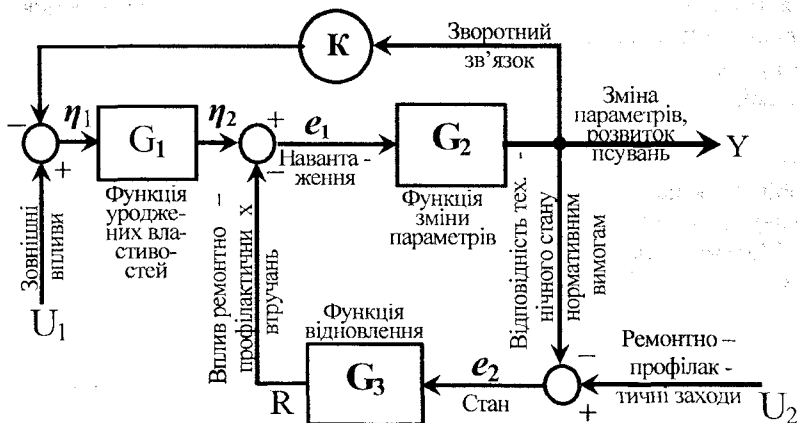


Рис.1 – Схематизоване зображення технічної експлуатації рухомого складу міського електротранспорту керованою системою зі зворотними зв'язками

Відомо, що зміна виходу в часі або за пробігом відбувається не лінійно, а із зростанням похідної в міру збільшення змін параметрів, тобто до зовнішніх факторів додається внутрішнє навантаження від зміни параметрів, що можна визначити коефіцієнтом зворотного зв'язку  $K$ . Наприклад, поступовий знос поршневих кілець компресора призводить до збільшення тривалості підняття тиску повітря, а отже, до збільшення сумарного часу роботи компресора за робочу зміну, що, таким чином, прискорює його вихід з ладу.

Одні й ті ж фактори для одних і тих же складових обладнання у різних одиниць викликають різні інтенсивності зміни працездатності, що обумовлено різницею так званих природжених властивостей. Справді, для різних одиниць в однакових приладах і агрегатах мають місце індивідуальні комбінації допусків, різні електричні й механічні параметри матеріалів тощо, тому для врахування індивідуальних влас-

тивостей (які можуть як прискорювати, так і уповільнювати зміни вихідних параметрів) потрібно ввести відповідну функцію  $G_1$ . Склад цієї функції, очевидно, повинен враховувати загальний усереднений негативний вплив старіння та індивідуальні, з різними знаками, додатки.

Оскільки технічна експлуатація є двоєдиним процесом роботи на лінії та періодичних ремонтно-профілактичних втручань, темп зміни параметрів, очевидно, також визначається функцією відновлення  $G_3$  і залежить від ступеня  $R$  відповідності об'єкта нормативним вимогам після ремонту. Таким чином, комбінація різних зовнішніх впливів, природжених властивостей, якості відновлення та дії зворотного зв'язку через функцію  $G_2$  обумовлює зміни виходу  $Y$ , що включає в себе зміни параметрів, розвиток псувань, зменшення продуктивності тощо – всього того, що характеризує деградацію технічного стану. Ясно, що другий вхід  $U_2$  може діяти або як незалежна функція часу (пробігу), як це має місце в діючій системі ППР, або як функція, що враховує поточне значення  $Y$ .

Математично функціонування моделі технічної експлуатації має вигляд:

$$\begin{cases} \eta_1 = U_1 + KY; \\ \eta_2 = \eta_1 * G_1; \\ e_1 = \eta_2 + R; \\ Y_1 = e_1 * G_2; \end{cases} \quad \begin{cases} e_2 = U_2 - Y; \\ R = e_2 * G_3. \end{cases}$$

Після перетворень, враховуючи дистрибутивність згорток, утворимо вхід-вихідне співвідношення

$$Y = [Y * (KG_1 - G_3) + U_1 * G_1 - U_2 * G_3] * G_2.$$

Цей вираз придатний як для опису залежності зміни одного параметра  $Y$  однієї деталі, так і для наборів параметрів, що характеризують технічний стан вузла, або певної сукупності обладнання чи рухомої одиниці в цілому. Якщо взяти до уваги відомі з практичних спостережень, хоча тільки якісного характеру залежності зміни параметрів від пробігу  $L$ , або, що те саме, від часу  $T$ , то складові вхід-вихідного співвідношення можна записати у більш докладному вигляді:

$$G_1 = (1 \pm \gamma)\beta, \quad G_2 = \varphi T, \quad G_3 = \begin{cases} \xi_{бр} U_1, \text{ при } [U_2(T_{TO}) - Y] \geq 0; \\ (\xi_{бр} + \xi_c) U_1, \text{ при } [U_2(T_{TO}) - Y] \leq 0, \end{cases}$$

де  $\beta$  – частка змін параметрів у міру збільшення пробігу (від загального старіння);  $\gamma$  – частка, обумовлена природженими властивостями конкретної рухомої одиниці;  $\varphi$  – залежний від конструкції коефіцієнт зміни параметрів;  $\xi_{бр}$  – частка зміни параметрів від браку при ремонтно-профілактичних втручаннях;  $\xi_c$  – частка зміни параметрів від невідповідності обсягу ремонту дійсному технічному стану;  $T_{ТО}$  – регламентована системою ППР тривалість ремонту.

Отримані таким чином вхід-вихідні співвідношення відповідають відомим емпіричним висновкам: темпи зміни працездатності визначаються в першу чергу досконалістю конструкції, оскільки маємо згортку функції перетворення  $G_2$ , що відображає особливості конструкції, з результируючою функцією усіх причин змін працездатності; належними ремонтно-профілактичними втручаннями можна нейтралізувати негативний вплив зворотного зв'язку, якщо забезпечити  $KG_1 = G_3$ , можна оцінити вплив браку при ремонті, перестановкою рухомих одиниць з маршруту на маршрут з різними умовами експлуатації можна впливати на коефіцієнт технічної готовності депо в цілому і т.д. Але, крім зручності символічного запису і математичного підтвердження отриманих з досвіду експлуатації висновків, застосування моделі вхід-вихідних співвідношень, що розглядає усі впливи в комплексі, дає змогу проаналізувати ефективність діючої системи ТО і встановити принцип побудови раціональної системи.

Відповідно до діючої системи, крім щоденного огляду і непланових ремонтів через відмови на лінії, кожна рухома одиниця раз на тиждень повинна залишатися у депо або приходити з лінії на так зване перше технічне обслуговування ТО-1, що триває 40-50 хвилин. Під час ТО-1 треба виконати ряд регламентних робіт, провести оцінку технічного стану і залежно від результатів оцінки виконати певні відновлювальні роботи. Після кількох ТО-1 рухома одиниця потрапляє на друге технічне обслуговування ТО-2, що триває робочу зміну і де, крім регламентних робіт, проводяться ремонти тих елементів, що знаходяться на межі працездатності або відмова яких може наступити протягом наступного періоду. Але при всій зовнішній логічності такої системи вона неспроможна забезпечити прийнятний рівень коефіцієнта технічної готовності, що особливо проявилось в умовах економічної кризи, коли припинилася заміна відпрацьованого рухомого складу і переважаючим став фактор старіння. Оскільки, крім  $G_2$ , інші складові отриманого вище вхід-вихідного співвідношення вважаються постійними, виконавши операції по інтегруванню згортки функції  $G_2$ , маємо кінцевий вираз

$$Y = \frac{U_1(1 \pm \gamma)\beta - \left[ U_2 \left\{ U_1 \xi_{\text{бп.}} \right\} \varphi \int_0^{T_y, 2T_y, \dots} \left[ (T_y, 2T_y, \dots) - t \right] dt}{\left[ 1 - K(1 \pm \gamma)\beta - \left\{ U_1 \xi_{\text{бп.}} \right\} \varphi \int_0^{T_y, 2T_y, \dots} \left[ (T_y, 2T_y, \dots) - t \right] dt \right]},$$

$$\int_0^{T_y, 2T_y, \dots} \left[ (T_y, 2T_y, \dots) - t \right] dt = \left( \frac{T_y^2}{2}, T_y^2, 1, 5T_y^2, \dots \right).$$

Неважко побачити, що при незмінному  $T_{TO}$  після кількох циклів, коли надмірно зросте  $G_3$  через те, що тривалість технічного обслуговування  $T_{TO}$  стане недостатньою для компенсації зміни  $Y$ , вихідні параметри змінюватимуться більш інтенсивно. Отже, існуюча система ППР з жорсткими циклами неспроможна забезпечити належну безвідмовність. З цього ж виразу можна з'ясувати шлях усунення даного недоліку. Нехай розглядається еволюція певного параметру  $Y$  у трьох одиниць  $A, B, B$  (рис.2). Як це найчастіше буває, міжоглядовий цикл  $T_{TO}$  відповідає середньому ( $B$ ) темпу зміни вихідних параметрів, але у той же час він є надто великим для рухомих одиниць з підвищеними показниками природжених властивостей або легкими умовами експлуатації ( $A$ ), і недостатнім для одиниць зі зменшеними показниками цих властивостей і важкими умовами експлуатаційного навантаження ( $B$ ). Різниця технічних станів перед початками ТО об'єктивно потребує різних за обсягами ремонтно-профілактичних втручань і відповідних тривалостей  $T_{\text{номр}}$ . Очевидно, що при незмінності часу  $T_{TO}$ , недостатньому для відновлення  $B$ , перед початком нового циклу ТО матимемо ще більше погіршення стану у ( $B$ ) порівняно з ( $A$ ) та ( $B$ ), що потребуватиме ще більшої тривалості  $T_{TO}$ . Більше того, на якомусь наступному технічному обслуговуванні може виникнути потреба у збільшенні трудомісткості і  $T_{\text{номр}}$  також у  $B$ , і т.д.

Отже, самою системою ППР для певної частини рухомих одиниць запрограмована невідворотність відмов на лінії у міжоглядовий період. Очевидно, що цього не буде, якщо регулювати строки постановки на ТО і змінювати його тривалість, виходячи з оцінки поточного стану залежно від умов експлуатації та природжених властивостей.

З урахуванням особливостей організації подачі рухомого складу в депо тривалість  $T_{TO}$  доцільно встановити максимальною, тобто в повну робочу зміну з тим, по-перше, щоб вистачало часу для відновлення

технічного стану в одиниць з найбільшими змінами технічного стану, а по-друге – для інших одиниць після проведення відповідних робіт меншої тривалості мати можливість ставити їх у резерв. Тривалості  $T_{\text{ч}}$  повинні визначатися не жорстким нормативом, а залежно від віку одиниць, а також від умов їх експлуатації, природжених властивостей та особливостей конструкції, тобто  $U_i, \pm \gamma, \varphi$ . Впровадження запропонованого принципу організації технічного обслуговування дозволить підвищити коефіцієнт технічної готовності на існуючій технологічній базі і уникнути зайвих втрат від відмов на лінії.

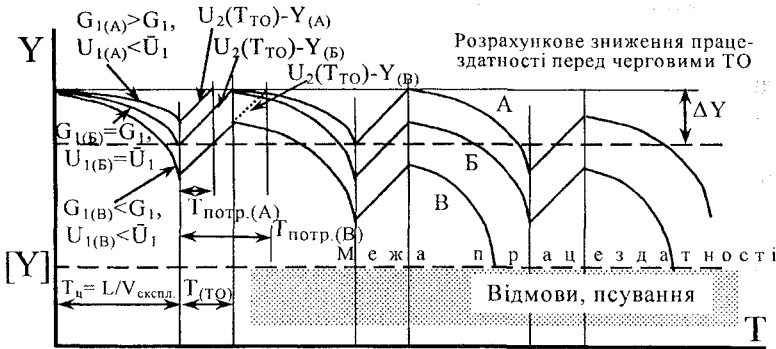


Рис.2 – Схематизоване зображення невідворотності відмов при діючій системі ППР з незмінним циклом ТО

- 1.Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Машиностроение, 1965. – 524 с.
- 2.Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
- 3.Білоус Н.В., Закурдай С.О. Вплив на коефіцієнт технічної готовності парку рухомих одиниць міського електротранспорту перерозподілом фонду часу системи технічного обслуговування та ремонту // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.38. – К.: Техніка, 2002. – С.309-314.
- 4.Дезоер Ч., Видьясагар М. Системы с обратной связью: вход-выходные соотношения. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
- 5.Будниченко В.Б. Совершенствование организации и нормативов технической эксплуатации троллейбусов: Дисс... канд. техн. наук. – К., 1995. – 106 с.

Отримано 09.09.2002