

35. Исследование влияния профиля поверхности катания колес на параметры подвешивания четырехосного моторного вагона. Luo Yun, Chen Kang, Jin Ding-chang (National Traction Power Key Laboratory, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China). Tiedao хuebao=J. China Railway Soc. 2004. 26, № 5, с. 26-30.

36. Гасители вибрационных колебаний кузова на базе пьезоэлектрических элементов. Vibration suppression of railway car body with piezoelectric elements (A study by using a scale model). Hanason Joel, Takano Masayuki. Takigami Tadao, Tomioka Takahiro, Suzuki Yasufumi. JSME Int. J. C. 2004. 47, № 2, с. 451-456.

37. Выбор конструктивной схемы и параметров подвешивания одноосной тележки пассажирского вагона с конструкционной скоростью 160 км/ч.. Забелин А. Л. Проблемы и перспективы развития вагоностроения: Материалы Научно-практической конференции, Брянск, 7-8 дек., 2004 Брянск: Изд-во БГТУ. 2004, с. 40-41.

38. Потенциальные возможности «Skyhook» активного и полуактивного регулирования ступени вторичного поддрессирования железнодорожного подвижного состава. Potenziale aktiver und semiaktiver Skyhook-Regelgesetze in der Sekundarfederstufe von Schienenfahrzeugen. Hohenbichler Narbert, Six Klaus at: Automatisierungstechnk. 2006, 54, № 3, с. 130-138.

УДК 625.42

Сіроклин І. М., асистент (УкрДАЗТ)

**РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК НА ВІРОГІДНІСТЬ ВІДМОВИ
ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ**

Вступ. Експлуатація і відновлення робочих характеристик є невід’ємною частиною життєвого циклу ЕРС. Відмічено, що важливу роль в швидкості зносу ЕРС відіграють такі експлуатаційні фактори як пробіг, бальність колії, швидкість руху та завантаженість вагону [1-3]. На разі, серед перерахованих факторів для ідентифікації технічного стану та планування етапів технічного обслуговування, використовується тільки пробіг. Зміна та нерівномірність дії експлуатаційних факторів обумовлюють розбіжність між фактичними та прогнозними оцінками технічного стану вагонів.

Мета. Впровадження ресурсозберігаючих технологій в процес експлуатації рухомого складу за рахунок розробки моделі врахування умов експлуатації при визначенні технічного стану вагонів метрополітену.

Постановка проблеми. Аналіз задачі ідентифікації технічного стану вагона метрополітену при планово-попереджувальній системі ремонту вирішено за рахунок контролю пробігу транспортного засобу. Визнано, що цей експлуатаційний фактор є основним показником використання технічного ресурсу.

Для врахування місцевих умов експлуатації, таких як кліматичні умови, режими використання транспортної техніки та ін., розроблено ряд цільових функцій [1,2], використання яких дозволяє, за рахунок корегування міжремонтних періодів, оптимізувати витрати на обслуговування рухомого складу.

Проте, залишається ряд невирішених питань, таких як необхідність врахувань зміни умов експлуатації та врахування нерівномірності розподілу навантаження між одиницями рухомого складу, що експлуатується.

В рамках стратегії обслуговування рухомого складу за станом задачу індивідуального визначення технічного стану вирішено шляхом використання засобів діагностики. Проте такий підхід вимагає суттєвих капіталовкладень та реорганізації інфраструктури.

Усунення недоліків існуючої системи можливе за рахунок удосконалення методів та засобів контролю експлуатаційних характеристик, з метою їх повагонної фіксації [4], та розробки математичної моделі адекватного врахування їх впливу на технічний стан рухомого складу.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженню впливу експлуатаційних характеристик на потік відмов вагону метрополітену присвячено ряд робіт в переважній більшості яких вказувалося на суттєвий вплив інтенсивності пасажиропотоків на вірогідність відмови ЕРС [3,5]. Основні дослідження проводилися на базі Петербургського та Московського метрополітенів.

В роботі [3] серед експлуатаційних факторів відібрано інтенсивність руху електропоїздів на лінії та пасажиропотік. Видно, що фактори відображають завантаженість вагонів та швидкість руху. В якості вихідної змінної береться кількість відмов ЕРС. Проте такий важливий фактор, як бальність колії, до уваги не брався.

Використання емпіричної регресії для опису процесів взаємодії факторів має ряд недоліків обумовлених сутністю математичного апарату та особливостями досліджуваного процесу.

Складність та багатофакторність задачі врахування впливу експлуатаційних характеристик на технічний стан вагонів метрополітену

визначає доцільність використання математичної теорії нечітких множин. Виявлено, що найчастіше прийняття рішення про технічний стан вагону відбувається в умовах неповної та нечіткої інформації, що обумовлює ефективність використання такого математичного апарату.

Основна частина. На швидкість використання технічного ресурсу вагоном впливає цілий ряд факторів, які, до того ж, мають тенденції до взаємного впливу. В літературі [2], представлено ряд емпіричних залежностей зносу елементів електрорухомого складу від експлуатаційних факторів, а в дослідженнях [3-5], обґрунтовано, що в умовах метрополітену можливе скорочення кількості експлуатаційних факторів, що потребують контролю.

Так, кліматичні умови, режим роботи, система технічного обслуговування, характеристики вантажу в умовах метрополітену мають рівномірний вплив на вагони, що експлуатуються, і можуть бути враховані за допомогою методів врахування умов експлуатації представлених в [1,2].

Проте, залишаються фактори, вплив яких нерівномірно розподілений по вагонам, що знаходяться в експлуатації: пробіг, швидкість руху, завантаженість, якість колії (бальність). На прикладі Харківського метрополітену відмічено суттєве коливання параметрів по рокам експлуатації.

Визначено найбільш розповсюджені причини відмов ЕРС. Для цього використаємо річні звіти про роботу електрорухомого складу. Виділяють наступні основні види відмов: Х1 – заміна тягових двигунів; Х2 – заміна колісних пар; Х3 – обточка колісних пар; Х4 – заміна мотор-компресорів; Х5 – заміна рам теліжок; Х6 – заміна центральних балок; Х7 – заварка тріщин в рамах теліжок; Х8 – заварка тріщин в балці підвіски кронштейнів АКБ та ПШ.

З точки зору впливу експлуатаційних факторів є сенс розглядати відмови Х2 та Х3, а також Х5 та Х7 як проява дії експлуатаційних характеристик на колісні пари та на раму теліжки. Знос мотор-компресорів обумовлений інтенсивністю його вмикання, а отже основними факторами, що зумовлюють відмови типу Х5, будуть людський фактор і інтенсивність використання ЕРС, та в меншій мірі вони залежатимуть від маси вагону та бальності колії. Відмови характеру Х6 та Х8 можна розглядати разом, проте аналіз відмов такого роду ускладнений малою частотою їх появи, тому в приведених дослідженнях їх значення можемо прийняти сталим.

Отже, виділимо наступні типи відмов, інтенсивність появи яких залежить від впливу експлуатаційних факторів (див. рисунок 1). За

результатами спостережень на протязі чотирьох років виявлено, що на долю таких відмов припадає 91% всіх причин непланових ремонтів.

Використаємо математичний апарат нечітких множин для побудови моделі зносу ЕРС в відповідності до дії експлуатаційних факторів.

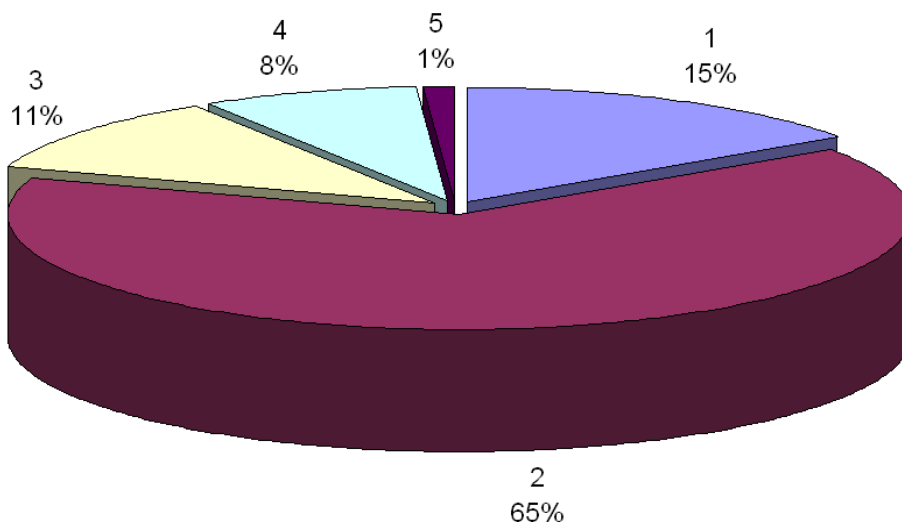


Рисунок 1 - Відносна оцінка вірогідності відмови ЕРС метрополітену за причинами

1 – відмови тягових двигунів; 2 – відмови колісних пар; 3 – відмови рам теліжок; 4 – відмови мотор-компресорів; 5 – інші відмови.

Фазифікація вхідних змінних.

З метою аналітичної апроксимації функцій належностей нечітких змінних використаємо L-R функції. Тоді функція належності буде записана за допомогою виразу (1):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} L\left(\frac{a \Leftrightarrow x}{\alpha}\right) & \text{при } x \leq a \\ R\left(\frac{x \Leftrightarrow a}{\beta}\right) & \text{при } x > a \end{cases}, \quad (1)$$

де $\mu_A(x)$ – функція належності величини x до характеристики A ;

a – значення змінної x , якій відповідає $\mu_A(x)=1$;

L, R – функції залежності;

α – найбільше значення змінної x , якій відповідає $\mu_A(x)=0$, за умови $x \leq a$;

β – найменше значення змінної x , якій відповідає $\mu_A(x)=0$, за умови $x > a$.

При фазифікації змінних та написанні правил використано ряд загальноприйнятих позначень: NV – дуже велике відхилення в сторону зменшення величини; NB – велике відхилення в сторону зменшення величини; NS – мале відхилення в сторону зменшення величини; Z – середнє значення величини; PS – мале відхилення в сторону збільшення величини; PB – велике відхилення в сторону збільшення величини; PV – дуже велике відхилення в сторону збільшення величини.

Отже, нечітке число може буди задане за допомогою трьох змінних $\mu_A(x)=(a,\alpha,\beta)$. При вибраній змінній «завантаженість вагону», функція належності до поняття «середня завантаженість» (позначимо функцію як « M_Z ») може бути описана при визначених a,α,β . Проведений аналіз зміни показника середньої завантаженості вагону на протязі останніх чотирьох років показав, що значення $a=5200$ кг.

Визначимо величини $\alpha = 5110$ кг, $\beta = 5292$ кг, тоді, використовуючи вираз (1) запишемо:

$$\mu_{M_Z}(x) = \begin{cases} L\left(\frac{5200 \leftrightarrow x}{5110}\right) & \text{при } x \leq 5200; \\ R\left(\frac{x \leftrightarrow 5200}{5292}\right) & \text{при } x > 5200. \end{cases} \quad (2)$$

Функція належності може бути записана як $\mu_{M_Z}(x)=(5110, 5200, 5292)$, матиме вигляд (рисунок 2)

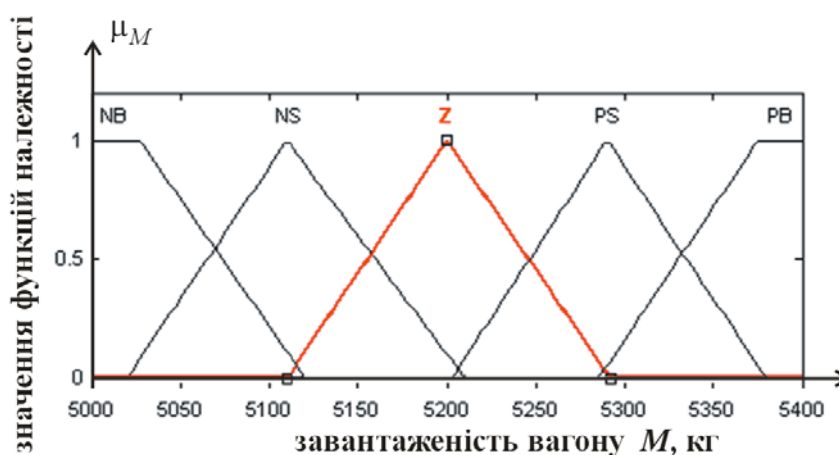


Рисунок 2 - Функції належності змінної M

Прийнявши область визначення величини «середня завантаженість» в діапазоні значень [5000 – 5400] кг, аналогічно описаній дії, можемо задати функції належності «висока завантаженість» ($\mu_{M_{PS}}(M)$), «дуже висока завантаженість» ($\mu_{M_{PB}}(M)$), а також «низька завантаженість» ($\mu_{M_{NS}}(M)$), «дуже низька завантаженість» ($\mu_{M_{NB}}(M)$).

$$\begin{aligned}\mu_{M_{PB}}(M) &= (5203, 5290, 5380); \\ \mu_{M_{PS}}(M) &= (5285, 5375, 5455, 5475); \\ \mu_{M_{NS}}(M) &= (5020, 5110, 5210); \\ \mu_{M_{NB}}(M) &= (4950, 4990, 5027, 5120).\end{aligned}$$

Функції належності $\mu_{M_{PS}}(M)$ та $\mu_{M_{NB}}(M)$ - як граничні для визначеного діапазону, прийняті не трикутної, а трапецоїдної форми. Комплекс функцій належності на вибраній межі визначення змінної M , представлено графічно (рисунок 2).

Аналогічно проведемо фазифікацію визначення величин «середня швидкість» (V), та «середня бальність» (B).

Границі визначення величини V , за даними спостережень за останні чотири роки, складає $V \in [41,2; 41,4]$, проте реальне значення може відрізнятись від середнього по метрополітену, тож визначимо функції належності наступним чином:

діапазон визначення - (10 – 70) км/год;
функції належності -

$$\begin{aligned}\mu_{V_{PB}}(V) &= (50.24 \ 64.4 \ 71.3 \ 71.4); \\ \mu_{V_{PS}}(V) &= (41.3 \ 51.83 \ 63.4); \\ \mu_{V_Z}(V) &= (30.02 \ 41.3 \ 51.7); \\ \mu_{V_{NS}}(V) &= (18.4 \ 29.44 \ 41.4); \\ \mu_{V_{NB}}(V) &= (5.564 \ 6.024 \ 16.35 \ 31.55).\end{aligned}$$

Границі визначення середньої бальності колії лежать в межах $B \in [4,5]$, проте, для більш природного відтворення впливу бальності на надійність ЕРС метрополітену, функції належності розставлені в діапазоні визначення з відтворенням експоненціального розподілу.

Функції належності:

$$\begin{aligned}\mu_{B_{PB}}(B) &= [4.925 \ 5 \ 5.242]; \\ \mu_{B_{PS}}(B) &= [4.83 \ 4.919 \ 4.96]; \\ \mu_{B_Z}(B) &= [4.46 \ 4.83 \ 4.864]; \\ \mu_{B_{NS}}(B) &= [3.89 \ 4.43 \ 4.787]; \\ \mu_{B_{NB}}(B) &= [3.75 \ 4 \ 4.462].\end{aligned}$$

Для фазифікації змінної «пробіг» (L), використано залежності, що були отримані на основі аналізу характеру розподілу відмов за пробігом. За межі визначення величини вибрано $L \in [30,90]$, використані наступні функції належності:

$$\begin{aligned}\mu_{L_{PB}}(L) &= [24.3 \ 26 \ 36 \ 52]; \\ \mu_{L_{PS}}(L) &= [40 \ 50 \ 60]; \\ \mu_{L_Z}(L) &= [54 \ 60 \ 66]; \\ \mu_{L_{NS}}(L) &= [60 \ 70 \ 82]; \\ \mu_{L_{NB}}(L) &= [60 \ 70 \ 82].\end{aligned}$$

Фазифікацію вихідної змінної «вірогідність відмови» (P), визначено на проміжку значень $[0, 1]$, що відповідає вірогідності відмови вагону ЕРС метрополітену за період виконання циклу робіт з обслуговування об'ємом КР-1. Проміжок визначено на основі аналізу статистики відмов за період з 2004 по 2007 рік включно. Використані наступні функції належності:

$$\begin{aligned}\mu_{P_{PB}}(P) &= [0.651 \ 0.816 \ 1]; \\ \mu_{P_{PS}}(P) &= [0.4802 \ 0.651 \ 0.8268]; \\ \mu_{P_Z}(P) &= [0.3181 \ 0.4802 \ 0.6498]; \\ \mu_{P_{NS}}(P) &= [0.1596 \ 0.3062 \ 0.4802]; \\ \mu_{P_{NB}}(P) &= [0 \ 0.1476 \ 0.2902].\end{aligned}$$

Розробимо базу правил для системи формування нечіткого висновку. Правила формуються на основі логічних співвідношень між змінними з відображенням збільшення вірогідності відмови з погіршенням експлуатаційних характеристик. Дольова участь правил в формуванні

нечіткого висновку визначена на основі методу експертних оцінок: пробіг (1,0), завантаженість (0,833) та швидкість руху вагона (0,675), бальність колії (0,848).

Використаємо метод Мамдані в якості схеми формування нечіткого висновку. При цьому використовується метод *min*-активації, для акумуляції висновків правил використано метод *max*-диз'юнкції.

$$\begin{aligned} \mu(p) = & \left[(\mu_{M_{PB}}(M) \wedge \mu_{P_{PB}}(P)) \cdot f_M \right] \vee \left[(\mu_{M_{PS}}(M) \wedge \mu_{P_{PS}}(P)) \cdot f_M \right] \vee \\ & \vee \left[(\mu_{M_Z}(M) \wedge \mu_{P_Z}(P)) \cdot f_M \right] \vee \left[(\mu_{M_{NS}}(M) \wedge \mu_{P_{NS}}(P)) \cdot f_M \right] \vee \\ & \vee \left[(\mu_{M_{NB}}(M) \wedge \mu_{P_{NB}}(P)) \cdot f_M \right] \vee \left[(\mu_{V_{PB}}(V) \wedge \mu_{P_{PB}}(P)) \cdot f_V \right] \vee \\ & \vee \left[(\mu_{V_{PS}}(V) \wedge \mu_{P_{PS}}(P)) \cdot f_V \right] \vee \left[(\mu_{V_Z}(V) \wedge \mu_{P_Z}(P)) \cdot f_V \right] \vee \\ & \vee \left[(\mu_{V_{NS}}(V) \wedge \mu_{P_{NS}}(P)) \cdot f_V \right] \vee \left[(\mu_{V_{NB}}(V) \wedge \mu_{P_{NB}}(P)) \cdot f_V \right] \vee \\ & \vee \left[(\mu_{B_{PB}}(B) \wedge \mu_{P_{PB}}(P)) \cdot f_B \right] \vee \left[(\mu_{B_{PS}}(B) \wedge \mu_{P_{PS}}(P)) \cdot f_B \right] \vee \\ & \vee \left[(\mu_{B_Z}(B) \wedge \mu_{P_Z}(P)) \cdot f_B \right] \vee \left[(\mu_{B_{NS}}(B) \wedge \mu_{P_{NS}}(P)) \cdot f_B \right] \vee \\ & \vee \left[(\mu_{B_{NB}}(B) \wedge \mu_{P_{NB}}(P)) \cdot f_B \right] \vee \left[(\mu_{L_{PB}}(L) \wedge \mu_{P_{PB}}(P)) \cdot f_L \right] \vee \\ & \vee \left[(\mu_{L_{PS}}(L) \wedge \mu_{P_{PS}}(P)) \cdot f_L \right] \vee \left[(\mu_{L_Z}(L) \wedge \mu_{P_Z}(P)) \cdot f_L \right] \vee \\ & \vee \left[(\mu_{L_{NS}}(L) \wedge \mu_{P_{NS}}(P)) \cdot f_L \right] \vee \left[(\mu_{L_{NB}}(L) \wedge \mu_{P_{NB}}(P)) \cdot f_L \right], \end{aligned}$$

де f_M, f_V, f_B, f_L – коефіцієнти істинності правил $f \in [0,1]$, (розраховано за допомогою методу експертних оцінок).

При дефазифікації вихідної змінної використаємо метод центру тяжіння (центру площини).

$$y = \frac{\int_{Min}^{Max} p \cdot \mu(p) dp}{\int_{Min}^{Max} \mu(p) dp},$$

де y – результат дефазифікації (вірогідність відмови ЕРС);

p - змінна, що відповідає вихідній лінгвістичній змінній;

$\mu(p)$ - функція належності нечіткої множини, що відповідає вихідній змінній після виконання етапу акумуляції;

Min та *Max* - ліва та права точки інтервалу носія нечіткої множини вихідної змінної.

Висновки. Представлена модель здатна адекватно відтворювати тенденції впливу експлуатаційних факторів на вірогідність відмови вагонів метрополітену. Такий підхід дозволяє в реальному режимі часу контролювати надійність транспортної техніки і, відповідно, безпеку руху. При цьому необхідність настання наступного етапу технічного обслуговування визначається за сукупністю експлуатаційних факторів, що дозволяє в рамках планово-попереджувальної стратегії технічного обслуговування реалізувати основні переваги стратегії обслуговування за станом.

Додатковим ефектом впровадження моделі є можливість оптимізації режимів експлуатації транспортної техніки. Моделювання дає можливість передбачити економічний ефект від збільшення, або зменшення швидкості руху електропоїзда, або розрахувати оптимальну кількість електропоїздів з врахуванням пасажиропотоків та місцевих умов експлуатації.

Список літератури

1. Четвергов В.А., Пузанков А.Д. Надёжность локомотивов: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2003. – 415с.
2. Горский А.В., Воробьёв А.А. Надёжность электроподвижного состава: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 303 с.
3. Алексеев Е.Н. Влияние интенсивности движения поездов и пассажиропотоков на статистику отказов вагонов метрополитена // Железнодорожный транспорт – пути развития и совершенствования его работы: Межвузовский сборник научных трудов / ВЗИИЖТ. – М., 1985.- Вып. 128. – С. 25– 30.
4. Сероклин И.Н., Черных О.В. Аналіз існуючих методів і засобів технічного обслуговування рухомого складу метрополітену // Зб. наук. прац. УкрДАЗТ.- 2007.- Вип № 80.- С. 18-26.
5. Имитационная модель обслуживания пассажиропотоков на метрополитене / М.Н. Василенко, Д. С. Марков, В. Б. Соколов и др. // Конструирование, сертификация и техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики: Сборник научных трудов. Петербург, гос. ун-т путей сообщ. - СПб: Изд-во ПГУПС, 2003. - С. 17-25.