

Колеса вагонов метрополитена и железной дороги при радиусе кривой 600 м вызывают контактные напряжения на 2,2 % больше, чем на прямых участках пути, а при радиусе кривой 300 м соответственно на 10,3% больше. Колеса вагонов железной дороги по сравнению с колесами вагонов метрополитена вызывают увеличение механических напряжений в рельсах на 48,7 %.

1. Правила производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность // ЦНИИ, утв. МПС 25/Ш 1954.

2. Шахуняц Г. М. Железнодорожный путь. – М.: Трансжелдориздат, 1961.

Получено 01.03.2002

УДК 621.333

Н.В. БЕЛОУС, С.О. ЗАКУРДАЙ

Харківська державна академія міського господарства

ВПЛИВ НА КОЕФІЦІЄНТ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ ПАРКУ РУХОМИХ ОДИНИЦЬ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ПЕРЕРОЗПОДІЛОМ ФОНДУ ЧАСУ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ

Обґрунтовано можливість поліпшення показників роботоздатності парку рухомих одиниць міського електротранспорту перерозподілом фонду часу системи технічного обслуговування та ремонту.

На відміну від окремої рухомої одиниці, що має кінцевий технічний ресурс, наявний парк рухомого складу є безперервно відновлюваним об'єктом, в якого поточна технічна готовність визначається одночасною дією двох чинників – інтенсивністю заміни одиниць, що відпрацювали встановлений термін, та ефективністю спрямованої на підтримання належної роботоздатності системи технічного обслуговування та ремонту. В кризових умовах, коли перший чинник – придбання нового рухомого складу замість повністю амортизованого – відсутній, подальше існування міського електротранспорту визначається виключно досконалістю прийнятої системи.

Відповідно до діючого ще з часів Союзу положення про технічне обслуговування та ремонт будь-яка рухома одиниця (РО) може перебувати в роботоздатному стані (на лінії), на технічному обслуговуванні (ТО-1, ТО-2), на відстої або в середньому (СР) чи капітальному (КР) ремонті. Зважаючи на непередбачені обставини, до загальної кількості ремонтів треба додавати до 3% так званих непланових ремонтів (НР). Таким чином кожна одиниця може перебувати в одно-

му з 16 можливих станів: на лінії, в ТО-1, ТО-2, СР, КР, НР, і з певними імовірностями переходити до інших станів [1].

Переходи з i -го в j -й стан, де $i, j = 1, \dots, 16$, характеризуються інтенсивностями потоку подій $\lambda_{ij}(t)$. Якщо в заданий момент часу t РО знаходиться в деякому стані i , то через проміжок dt вона може опинитися у будь-якому із 16 станів з імовірністю $\lambda_{ij}dt$, тобто залишитися в тому ж стані або перейти в будь-який із 15 тих, що залишилися. Стан кожної РО всього парку в будь-який момент характеризується однією функцією – інтенсивністю потоку подій, що може бути виражена будь-якою невід'ємною функцією часу. Якщо РО має 16 можливих станів, то вичерпною характеристикою її функціонування є квадратна матриця інтенсивностей порядку 16×16 . Очевидно, що в цій матриці $\lambda_{ii} = 0$.

Позначимо через P_1 імовірність однозмінної роботи на лінії; P_2 – імовірність двозмінної роботи на лінії; P_3 – імовірність переривної роботи на лінії; P_4 – імовірність перебування у ТО-1; P_5 – перебування у ТО-2; P_6 – у СР; P_7 – у КР; P_8 – у НР; P_9 – імовірність простоювання після дорожньо-транспортної пригоди; P_{10} – простоювання у резерві; P_{11} – направлення на так звані спецподачі; P_{12} – підготування до списання; P_{13} – імовірність перебування в депо в нічний час; P_{14} – імовірність обкатки після ТО-2, СР, КР; P_{15} – імовірність відмови на лінії; P_{16} – імовірність повернення для переривних одиниць.

Процес функціонування парку рухомого складу визначається диференціальними рівняннями Колмогорова у припущенні, що швидкість переходу з одного стану в інший досить велика, що є насправді. Таким чином, з урахуванням реальної картини послідовності переходів маємо:

$$\begin{aligned} \frac{dR(t)}{dt} = & -(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15} + \lambda_{16} + \lambda_{17} + \lambda_{18} + \lambda_{19} + \lambda_{110} + \lambda_{111} + \lambda_{112} + \lambda_{113} + \\ & + \lambda_{114} + \lambda_{115} + \lambda_{116})R(t) + \lambda_{21}P_2(t) + \lambda_{31}P_3(t) + \lambda_{41}P_4(t) + \lambda_{51}P_5(t) + \lambda_{61}P_6(t) + \lambda_{71}P_7(t) + \\ & + \lambda_{81}P_8(t) + \lambda_{91}P_9(t) + \lambda_{101}P_{10}(t) + \lambda_{111}P_{11}(t) + \lambda_{131}P_{13}(t) + \lambda_{141}P_{14}(t) + \lambda_{151}P_{15}(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dB_1(t)}{dt} = & -(\lambda_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25} + \lambda_{26} + \lambda_{27} + \lambda_{28} + \lambda_{29} + \lambda_{210} + \lambda_{211} + \lambda_{212} + \lambda_{213} + \\ & + \lambda_{219}P_2(t) + \lambda_{42}P_1(t) + \lambda_{32}P_3(t) + \lambda_{42}P_4(t) + \lambda_{52}P_5(t) + \lambda_{62}P_6(t) + \lambda_{72}P_7(t) + \\ & + \lambda_{82}P_8(t) + \lambda_{92}P_9(t) + \lambda_{102}P_{10}(t) + \lambda_{112}P_{11}(t) + \lambda_{132}P_{13}(t) + \lambda_{142}P_{14}(t) + \lambda_{152}P_{15}(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dB_3(t)}{dt} = & -(\lambda_{31} + \lambda_{32} + \lambda_{34} + \lambda_{35} + \lambda_{36} + \lambda_{37} + \lambda_{38} + \lambda_{39} + \lambda_{310} + \lambda_{311} + \lambda_{312} + \lambda_{313} + \\ & + \lambda_{315} + \lambda_{316}P_3(t) + \lambda_{43}P_1(t) + \lambda_{23}P_2(t) + \lambda_{43}P_4(t) + \lambda_{53}P_5(t) + \lambda_{63}P_6(t) + \lambda_{73}P_7(t) + \\ & + \lambda_{83}P_8(t) + \lambda_{93}P_9(t) + \lambda_{103}P_{10}(t) + \lambda_{31}P_{11}(t) + \lambda_{43}P_{13}(t) + \lambda_{44}P_{14}(t) + \lambda_{45}P_{15}(t) + \\ & + \lambda_{46}P_{16}(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_4(t)}{dt} = & -(\lambda_{41} + \lambda_{42} + \lambda_{43} + \lambda_{45} + \lambda_{48} + \lambda_{416})P_4(t) + \lambda_{14}P_1(t) + \\ & + \lambda_{24}P_2(t) + \lambda_{34}P_3(t) + \lambda_{54}P_5(t) + \lambda_{164}P_{16}(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dB_5(t)}{dt} = & -(\lambda_{51} + \lambda_{52} + \lambda_{53} + \lambda_{54} + \lambda_{56} + \lambda_{58} + \lambda_{512} + \lambda_{513} + \lambda_{514})P_5(t) + \\ & + \lambda_{45}P_1(t) + \lambda_{25}P_2(t) + \lambda_{35}P_3(t) + \lambda_{45}P_4(t) + \lambda_{85}P_8(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_6(t)}{dt} = & -(\lambda_{61} + \lambda_{62} + \lambda_{63} + \lambda_{67} + \lambda_{613} + \lambda_{614})P_6(t) + \lambda_{16}P_1(t) + \\ & + \lambda_{26}P_2(t) + \lambda_{36}P_3(t) + \lambda_{56}P_5(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_7(t)}{dt} = & -(\lambda_{71} + \lambda_{72} + \lambda_{73} + \lambda_{713} + \lambda_{714})P_7(t) + \lambda_{17}P_1(t) + \lambda_{27}P_2(t) + \\ & + \lambda_{37}P_3(t) + \lambda_{67}P_7(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dB_8(t)}{dt} = & -(\lambda_{81} + \lambda_{82} + \lambda_{83} + \lambda_{85} + \lambda_{813} + \lambda_{814})P_8(t) + \lambda_{48}P_1(t) + \lambda_{28}P_2(t) + \lambda_{38}P_3(t) + \\ & + \lambda_{48}P_4(t) + \lambda_{58}P_5(t) + \lambda_{98}P_9(t) + \lambda_{138}P_{13}(t) + \lambda_{158}P_{15}(t) + \lambda_{168}P_{16}(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_9(t)}{dt} = & -(\lambda_{91} + \lambda_{92} + \lambda_{93} + \lambda_{98})P_9(t) + \lambda_{19}P_1(t) + \lambda_{29}P_2(t) + \\ & + \lambda_{39}P_3(t) + \lambda_{159}P_{15}(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_{10}(t)}{dt} = & -(\lambda_{101} + \lambda_{102} + \lambda_{103} + \lambda_{1011})P_{10}(t) + \lambda_{110}P_{11}(t) + \lambda_{210}P_2(t) + \\ & + \lambda_{310}P_3(t) + \lambda_{1110}P_{11}(t) + \lambda_{1410}P_{14}(t); \end{aligned}$$

$$\frac{dP_{11}(t)}{dt} = -(\lambda_{111} + \lambda_{112} + \lambda_{113} + \lambda_{1110} + \lambda_{1113})P_{11}(t) + \lambda_{111}P_1(t) +$$

$$+ \lambda_{211}P_2(t) + \lambda_{311}P_3(t) + \lambda_{1011}P_{10}(t);$$

$$\frac{dP_{12}(t)}{dt} = \lambda_{112}P_1(t) + \lambda_{212}P_2(t) + \lambda_{312}P_3(t) + \lambda_{512}P_5(t);$$

$$\frac{dP_{13}(t)}{dt} = -(\lambda_{431} + \lambda_{432} + \lambda_{433} + \lambda_{438})P_{13}(t) + \lambda_{413}P_1(t) + \lambda_{213}P_2(t) + \lambda_{313}P_3(t) +$$

$$+ \lambda_{513}P_5(t) + \lambda_{613}P_6(t) + \lambda_{713}P_7(t) + \lambda_{813}P_8(t) + \lambda_{1113}P_{11}(t);$$

$$\frac{dP_{14}(t)}{dt} = -(\lambda_{141} + \lambda_{142} + \lambda_{143} + \lambda_{1410})P_{14}(t) + \lambda_{514}P_5(t) + \lambda_{614}P_6(t) +$$

$$+ \lambda_{714}P_7(t) + \lambda_{814}P_8(t);$$

$$\frac{dP_{15}(t)}{dt} = -(\lambda_{151} + \lambda_{152} + \lambda_{153} + \lambda_{158} + \lambda_{159})P_{15}(t) + \lambda_{115}P_1(t) +$$

$$+ \lambda_{215}P_2(t) + \lambda_{315}P_3(t);$$

$$\frac{dP_{16}(t)}{dt} = -(\lambda_{163} + \lambda_{164} + \lambda_{168})P_{16}(t) + \lambda_{316}P_3(t) + \lambda_{416}P_4(t).$$

Оскільки прийнято, що швидкість переходу в інший стан значно вища за тривалість самого стану, можна використати метод динаміки середніх – замінити імовірності частотами по середніх кількостях n рухомого складу в розглянутих станах і відхиленням їх від середніх значень, тобто $\frac{dP_i(t)}{dt} \rightarrow \frac{dn_i(t)}{dt}$ [2]. Якщо РО в момент часу t знаходиться у стані E_K ($k = 1, \dots, 16$), то $n_k^i(t) = 1$, у протилежному випадку $n_k^i(t) = 0$. Для будь-якого t загальна чисельність одиниць у стані E_K дорівнює сумі випадкових величин:

$$n_k^1(t) + n_k^2(t) + \dots + n_k^N(t) = n_k(t) \text{ або } n_k(t) = \sum_{i=1}^N n_k^i(t), k=1, \dots, 16.$$

До отриманих таким чином рівнянь слід додати рівняння нормування, за яким сума середніх кількостей РО по всіх станах дорівнює чисельності парку. Тоді математичне сподівання, дисперсія і середнє квадратичне відхилення чисельності РО в різних k станах матимуть

ВИГЛЯД

$$\bar{n}_k(t) = NP_k(t), n_{k\sigma}^2(t) = NP_k(t)[1 - P_k(t)], n_{k\sigma} = \sqrt{NP_k(t)[1 - P_k(t)]}.$$

Як свідчать звітні дані за минулі роки, коли відбувалася заміна амортизованого рухомого складу, частота перебування РО на лінії, що відповідає коефіцієнту готовності системи без резерву, складала приблизно 0,8 при коефіцієнті варіації 0,02. Таким чином, у депо чисельністю 100 РО в середньому тільки 20 одиниць перебували на технічному обслуговуванні та в ремонтах.

У нинішніх кризових умовах, за відсутності заміни амортизованого рухомого складу, надійність, зрозуміло, падає, що обумовлює зменшення математичного сподівання пробігу до відмови і відповідний зсув вліво кривої щільності розподілу Вейбулла [1]. Відповідно до цього має зменшення імовірності перебування РО на лінії P_L і зростання коефіцієнта варіації v_L , збільшення імовірності простою за рахунок зростання імовірності непланових ремонтів $P_{НР}$ та відмов $P_{ВІДМОВ}$ (табл.1).

Таблиця 1 – Основні імовірнісні показники роботи депо м.Харкова за 2000 рік

	Тролейбусні депо		Трамвайні депо	
	№1	№3	Комінтернівське	Лепинське
P_L	0,48	0,58	0,5	0,38
v_L	0,39	0,252	0,098	0,188
$P_{НР}$	0,23	0,28	0,32	0,43
$v_{НР}$	0,04	0,036	0,11	0,04
$P_{ВІДМОВ}$	0,17	0,063	0,073	0,19
$v_{ВІДМОВ}$	0,46	0,12	0,31	0,24

Слід пам'ятати, що крім відмов та ремонтів досить велику частку в зменшенні кількості РО на лінії посідає примусове їх зняття з експлуатації для проведення технічних оглядів. Розподіл імовірностей перебування РО в усіх основних станах підпорядкований нормальному закону, тому коливання кількостей РО на лінії і в простої (у НР, СР, КР, після ДТП) в інтервалах $\pm 2,5\sigma$, що відповідає значенню імовірності 99,4%, складає:

Таблица 2 – Флуктуация кількостей рухомих одиниць

	Інвентар	На лінії	У простої
Трол. депо № 1	135	17...79	27...31
Трол. депо № 3	148	49...104	24...32
Комінт. трамв. депо	141	55...86	27...47
Ленін. трамв. депо	92	29...58	37...47

Отже, на лінію подається в середньому половина наявного рухомого складу. Кількість РО, що працюють на лінії, змінюється від тижня до тижня в широких межах і непередбаченим чином., тобто гарантувати безперебійне обслуговування пасажирів можна тільки третиною інвентарної чисельності РС. Це означає, що система технічного обслуговування та ремонту, що продовжує використовуватись, вже неспроможна забезпечити прийнятний коефіцієнт технічної готовності через невідповідність нормативних тривалостей ремонтно-профілактичних впливів зрослим внаслідок старіння РО фактичним потребам. Очевидно, підвищення ефективності технічного обслуговування як основного засобу підтримання надійності, при незмінних витратах на утримання рухомого складу, слід досягати відповідним перерозподілом сумарного часу, що відводиться на ТО-1 і ТО-2.

Оскільки, як свідчать результати спостережень, тривалості ТО-1 для відновлення роботоздатності на чергові 7 діб для РО з перепробігом недостатньо, фонд часу, що йде на ТО-1, доцільно додати до фонду часу на ТО-2, збільшуючи таким чином глибину ремонтно-профілактичних втручань. При цьому інтенсивності λ_4 дорівнюватимуть нулю і тільки за рахунок цього заходу, при незмінних інших умовах, можливе збільшення імовірності перебування РО на лінії.

1.Ротенберг Р.В. Основы надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда. – М.: Машиностроение, 1986. - 216с.

2.Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. – М.: Наука, 1988. - 448с.

Отримано 01.03.2002

УДК 629.421.067.4

П.М.ПУШКОВ, канд. техн. наук, А.Н.ЗАДОРОВНИЙ
Харьковская государственная академия городского хозяйства

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧЕК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ НА ОБЩЕЕ ТОРМОЗНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВУХ ТЯГОВЫХ МАШИН

Получены соотношения параметров двух тяговых машин, работающих на общее тормозное сопротивление, определяющие точки установившегося режима работы.