

ВИЗНАЧЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДИКИ ПОРІВНЯННЯ ЇХ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ

У статті на прикладі електропоїздів серії EP9 пропонується варіант оцінювання строку служби несучих конструкцій моторвагонного рухомого складу, які є аналогами, на підставі результатів порівнювального аналізу експериментально вимірянних в умовах експлуатації величин, що характеризують їх навантаженість та напружено-деформований стан.

В статті на прикладі електропоездів серії EP9 пропонується варіант оцінювання строку служби несучих конструкцій моторвагонного подвижного состава, являющихся аналогами, на основании сравнительного анализа результатов экспериментально измеренных в условиях эксплуатации величин, характеризующих их нагруженность и напряженно-деформированное состояние.

In the paper on the example of electric trains of a series EP9 it is suggested a variant of estimation of service life for carrying structures of the motor-wagon rolling stock, which are analogs, on the basis of results of comparative analysis of values, measured experimentally in operation conditions, that characterize their loading conditions and stressed-and-strained state.

В роботах [1, 2], присвячених проблемі подовження строку служби несучих конструкцій (НК) рухомого складу (РС), показано, що для прийняття відповідного рішення (позитивного або іншого) необхідно виконати цикл експериментально-аналітичних робіт, серед яких є: експериментальне визначення навантаженості та напружено-деформованого стану; теоретичні розрахунки з уточненого розрахунку напружено-деформованого стану; експериментальне визначення показників втоми; теоретичні розрахунки з визначення ресурсу.

Розглянемо випадок, коли необхідно зробити висновок відносно ресурсу НК рухомого складу, для котрих існують дані попередніх випробувань рухомого складу РС-аналога.

Під РС-аналогом будемо розуміти тип рухомого складу, який ідентичний або подібний до досліджуваного РС за конструкцією рам візків та кузова РС. При цьому вважається, що у випадку виробництва НК одним і тим самим виробником з однакових матеріалів та за єдиною технологією вказані НК мають однакові характеристики опору втоми.

У цьому випадку відмінність ресурсу НК вказаного РС буде залежати від різниці динамічного навантаження, яке вони отримують в типових умовах експлуатації. Застосування такої методики наведено нижче, на прикладі порівняння динамічного навантаження рам візків причіпних вагонів електропоїздів EP9П (РС-аналог) та EP9М (досліджуваний РС).

Для порівняння навантаження рам візків електропоїздів EP9П та EP9М буде порівняне напруження, яке вони отримують через динамічне навантаження з боку кузовів вагонів, тобто з урахуванням динаміки другого ступеню підвішування.

Еквівалентна, нормована відносно статичного навантаження сила буде обчислюватися як

$$S_{\text{ЕКВ}} = \frac{S_{\text{ДИН ЕКВ}}}{K_{\sigma} S_{\text{СТ}}} = \frac{(S_{\text{СТ}} \psi + K_{\sigma} S_{\text{ДИН}})}{K_{\sigma} S_{\text{СТ}}} = \frac{(S_{\text{СТ}} \frac{\psi}{K_{\sigma}} + K_{\text{ДВ}} S_{\text{СТ}})}{S_{\text{СТ}}} = \frac{\psi}{K_{\sigma}} + K_{\text{ДВ}}, \quad (1)$$

де $S_{\text{ЕКВ}}$ – еквівалентна нормована сила; $S_{\text{ДИН ЕКВ}}$ – еквівалентне за руйнівною здатністю динамічне навантаження; $S_{\text{СТ}}$ – статичне навантаження на візок; $K_{\sigma} = 3,7$ – коефіцієнт концентрації напружень в рамі візка; $\psi = 0,3$ – коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу; $S_{\text{ДИН}}$ – динамічна добавка вертикальної сили; $K_{\text{ДВ}}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки.

Таким чином, підставляючи нормативні чисельні значення коефіцієнтів, отримуємо

$$S_{\text{ЕКВ}} = 0,08 + K_{\text{ДВ}}. \quad (2)$$

Для більш коректного врахування квазістатичного характеру навантаження при русі ваго-

нів у кривих коефіцієнт динаміки обчислюється як

$$K_{\text{дв}} = 0,5(K_{\text{дв}}^+ - K_{\text{дв}}^-), \quad (3)$$

де $K_{\text{дв}}^+$ – коефіцієнт вертикальної динаміки при довантаженні з ймовірністю 0,95; $K_{\text{дв}}^-$ – те ж саме при розвантаженні.

Нормоване напрацювання з урахуванням ймовірностей ситуації руху розраховується як

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 p_i^V p_j^E S_{\text{ЕКВ}ij}^m, \quad (4)$$

де D – напрацювання візка на один цикл коливань; $n = 4$ (20...40; 40...60; 60...80; 80...100 км/год.) – кількість діапазонів швидкості руху;

p_i^V – ймовірність руху з i -тою швидкістю; p_j^E – ймовірність руху в прямій ($j = 1$), кривій великого та середнього радіусу; $S_{\text{ЕКВ}ij}^m$ – еквівалентна сила в i - j ситуації руху; $m = 4$ – показник ступеня кривої витривалості.

Вважаючи конструкції електропоїздів схожими, припускаємо, що ефективні частоти їх коливань співпадають. Тоді відношення ресурсів дослідних вагонів ЕР9М та ЕР9Е до еталону ЕР9П буде оборотним відносно до відношення їх напрацювань за формулою (4).

Статистичні дані відносно ймовірностей перебування вагонів в різних станах руху взяті з роботи [3] на підставі даних МШС СРСР.

Таблиця 1

Ймовірності швидкостей руху

Швидкість руху	20...40	40...60	60...80	80...100
Ймовірність p_i	0,04	0,28	0,34	0,34

Таблиця 2

Ймовірності радіусів кривизни колії

Тип ділянки	Пряма, $j = 1$	$600 < R$, $j = 2$	$350 < R < 600$, $j = 3$	$R < 350$
Ймовірність p_j	0,756	0,147	0,074	0,023

Альтернативою використанню даних табл. 1, 2 є проведення експериментальних досліджень динамічної навантаженості РС в експлуатаційному режимі.

Вказаний режим передбачає проведення динамічних ходових та міцнісних випробувань з виконанням наступних умов:

- використання для проведення випробувань полігону типових напрямків обертання досліджуваного типу РС;
- проведення випробувань в режимі встановленого графіку руху поїздів.

Відношення ресурсу досліджуваної конструкції до ресурсу РС-аналога d знаходиться як зворотне відношення наробітків:

$$d = \frac{D_{\text{д}}}{D_{\text{А}}}. \quad (5)$$

У вказаному виразі: $D_{\text{д}}$ – питомий (на одиницю відстані) наробіток досліджуваної конструкції в процесі експлуатації; $D_{\text{А}}$ – питомий наробіток НК РС-аналога в процесі експлуатації.

Тоді ресурс досліджуваної конструкції визначатиметься наступним чином:

$$R_{\text{д}} = d \frac{L_{\text{А}}}{L_{\text{д}}} R_{\text{А}}, \quad (6)$$

де $L_{\text{д}}$ – середньорічний пробіг досліджуваної конструкції в процесі експлуатації; $D_{\text{А}}$ – середньорічний пробіг НК РС-аналога в процесі експлуатації; $R_{\text{д}}$ – ресурс, виражений в одиницях строку експлуатації досліджуваної конструкції в процесі експлуатації; $R_{\text{А}}$ – ресурс, виражений в одиницях строку експлуатації НК РС-аналога в процесі експлуатації.

Для порівняння навантаження рам візків електропоїздів ЕР9П та ЕР9Е, М буде порівняне напрацювання, яке вони отримують через динамічне навантаження з боку кузовів вагонів, тобто з урахуванням динаміки другого ступеню підвішування.

Нижче у табл. 3–6 наведено значення коефіцієнтів вертикальної динаміки, в табл. 7–12 – дані про підрахунки наробітків головних та моторних вагонів при їх русі по різних дільницях колії та з різними швидкостями.

Таблиця 3

Головний вагон електропоїзда ЕР9М

$V_{\text{сер.}}$ км/ГОД.	$K_{\text{дцгпкс}}$	$K_{\text{дцглкс}}$	$K_{\text{дцгпкв}}$	$K_{\text{дцглкв}}$	$K_{\text{дцгпр}}$
38	0.29	0.25	0.215	0.22	0.15
53	0.255	0.24	0.26	0.195	0.14
68	0.195	0	0.215	0.205	0.14
83	0.16	0.165	0.21	0.16	0.18
98	0.16	0	0.315	0.14	0.18

Таблиця 4

Моторний вагон електропоїзда ЕР9М

$V_{\text{сер.}}$ км/ГОД.	$K_{\text{дцмпкс}}$	$K_{\text{дцмлкс}}$	$K_{\text{дцмпкв}}$	$K_{\text{дцмлкв}}$	$K_{\text{дцмпр}}$
38	0.21	0.22	0.175	0.17	0.13
53	0.15	0.165	0.19	0.195	0.12
68	0.16	0	0.195	0.19	0.12
83	0.125	0.205	0.165	0.125	0.15
98	0.155	0	0.265	0.12	0.15

Таблиця 5

Головний вагон електропоїзда ЕР9Е

$V_{\text{сер.}}$ км/ГОД.	$K_{\text{дцгпкс}}$	$K_{\text{дцглкс}}$	$K_{\text{дцгпкв}}$	$K_{\text{дцглкв}}$	$K_{\text{дцгпр}}$
38	0.335	0.295	0.245	0.24	0.15
53	0.215	0.24	0.265	0.23	0.15
68	0.205	0	0.245	0.265	0.17
83	0.195	0.245	0.235	0.165	0.2
98	0.195	0	0.345	0.18	0.19

Таблиця 6

Моторний вагон електропоїзда ЕР9Е

$V_{\text{сер.}}$ км/ГОД.	$K_{\text{дцмпкс}}$	$K_{\text{дцмлкс}}$	$K_{\text{дцмпкв}}$	$K_{\text{дцмлкв}}$	$K_{\text{дцмпр}}$
38	0.255	0.215	0.195	0.18	0.13
53	0.145	0.18	0.205	0.215	0.12
68	0.15	0	0.21	0.205	0.15
83	0.18	0.185	0.2	0.15	0.17
98	0.175	0	0.275	0.115	0.17

Розрахунок питомих наробітків головних вагонів при русі в прямих

$V_{\text{сер.}}$ км/год.	Динамічні добавки $K_{\text{дв}}$			Еквівалентні зведені сили $S_{\text{екв}}$			Наробітки		
	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний
38	0.15	0.15	0.168	0.23	0.23	0.248	0.00011936	0.00011936	0.00015131
53	0.14	0.15	0.216	0.22	0.23	0.296	0.000655917	0.000783555	0.002149438
68	0.14	0.17	0.224	0.22	0.25	0.304	0.00079647	0.001328125	0.002903844
83	0.18	0.2	0.224	0.26	0.28	0.304	0.001553718	0.00208983	0.002903844
98	0.18	0.19	0.224	0.26	0.27	0.304	0.001553718	0.001806899	0.002903844
						Разом	0.003531851	0.004626982	0.008325283

Розрахунок питомих наробітків головних вагонів при русі в кривих великих радіусів

$V_{\text{сер.}}$ км/год.	Динамічні добавки $K_{\text{дв}}$			Еквівалентні зведені сили $S_{\text{екв}}$			Наробітки		
	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний	ЭР9М головний	ЭР9Е головний	ЭР9П головний
38	0.22	0.25	0.32	0.3	0.33	0.4	0.000324	0.000474368	0.001024
53	0.26	0.27	0.528	0.34	0.35	0.608	0.003741741	0.00420175	0.038262412
68	0.22	0.27	0.368	0.3	0.35	0.448	0.002754	0.005102125	0.013695913
83	0.21	0.24	0.36	0.29	0.32	0.44	0.002404755	0.003565158	0.012743526
98	0.32	0.35	0.304	0.4	0.43	0.384	0.008704	0.011623923	0.007392712
						Разом	0.002635489	0.003670197	0.010748429

Розрахунок питомих наробітків головних вагонів при русі в кривих середніх радіусів

$V_{\text{ср.}}$ км/год.	Динамічні доавки $K_{\text{дв}}$			Еквівалентні зведені сили $S_{\text{св}}$			Наробітки		
	ЭРМ головний	ЭРЭ головний	ЭРП головний	ЭРМ головний	ЭРЭ головний	ЭРП головний	ЭРМ головний	ЭРЭ головний	ЭРП головний
38	0.4	0.34	0.384	0.48	0.42	0.464	0.002123366	0.001244678	0.001854095
53	0.29	0.24	0.432	0.37	0.32	0.512	0.005247651	0.002936013	0.019241453
68	0.2	0.21	0.256	0.28	0.29	0.336	0.00208983	0.002404755	0.004333472
83	0.19	0.25	0.296	0.27	0.33	0.376	0.001806899	0.004032131	0.006795639
98	0.14	0.2	0.368	0.22	0.28	0.448	0.00079647	0.00208983	0.013695913
						Разом	0.000892752	0.000940348	0.003398122

Розрахунок питомих наробітків моторних вагонів при русі в прямих

$V_{\text{ср.}}$ км/год.	Динамічні доавки $K_{\text{дв}}$			Еквівалентні зведені сили $S_{\text{св}}$			Наробітки		
	ЭРМ моторний	ЭРЭ моторний	ЭРП моторний	ЭРМ моторний	ЭРЭ моторний	ЭРП моторний	ЭРМ моторний	ЭРЭ моторний	ЭРП моторний
38	0.13	0.13	0.118	0.21	0.21	0.198	7.77924E-05	7.77924E-05	6.14781E-05
53	0.12	0.12	0.12	0.2	0.2	0.2	0.000448	0.000448	0.000448
68	0.12	0.15	0.145	0.2	0.23	0.225	0.000544	0.000951459	0.000871383
83	0.15	0.17	0.138	0.23	0.25	0.218	0.000951459	0.001328125	0.0007679
98	0.15	0.17	0.138	0.23	0.25	0.218	0.000951459	0.001328125	0.0007679
						Разом	0.00224737	0.003124927	0.002204996

Розрахунок питомих наробітків моторних вагонів при русі в кривих великих радіусів

$V_{сер.},$ км/год..	Динамічні добовки $K_{дв}$			Еквівалентні зведені сили $S_{екв}$			Наробітки		
	ЭРМ моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний
38	0.175	0.195	0.151	0.255	0.275	0.231	0.00016913	0.000228766	0.000113896
53	0.195	0.215	0.25	0.275	0.295	0.33	0.001601359	0.002120538	0.003320579
68	0.195	0.21	0.204	0.275	0.29	0.284	0.001944508	0.002404755	0.002211833
83	0.165	0.2	0.237	0.245	0.28	0.317	0.00122502	0.00208983	0.003433333
98	0.265	0.275	0.237	0.345	0.355	0.317	0.004816763	0.005399982	0.003433333
						Разом	0.001434247	0.001799849	0.001839407

Розрахунок питомих наробітків моторних вагонів при русі в кривих середніх радіусів

$V_{сер.},$ км/год..	Динамічні добовки $K_{дв}$			Еквівалентні зведені сили $S_{екв}$			Наробітки		
	ЭРМ моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний	ЭР9М моторний	ЭР9Е моторний	ЭР9П моторний
38	0.22	0.255	0.204	0.3	0.335	0.284	0.000324	0.000503778	0.000260216
53	0.165	0.18	0.184	0.245	0.26	0.264	0.00100884	0.001279533	0.001360109
68	0.16	0.15	0.138	0.24	0.23	0.218	0.001128038	0.000951459	0.0007679
83	0.205	0.185	0.164	0.285	0.265	0.244	0.00224315	0.001676727	0.001205142
98	0.155	0.175	0.164	0.235	0.255	0.244	0.001036932	0.001437605	0.001205142
						Разом	0.000424831	0.000432834	0.00035509

Кінцевий етап розрахунків з порівняння питомих наробітків вагонів електропоїздів ЕР9М, Е з наробітком електропоїзда ЕР9П наведено в табл. 13, 14.

Таблиця 13

Порівняння питомих наробітків причіпних (головних) вагонів

Позначення	Вагони причіпні (головні)			Порівняльна оцінка	
	ЕР9М	ЕР9Е	ЕР9П	D3/D1	D3/D2
Наробітки	0.00706	0.00924	0.0225	3.18	2.43

Таблиця 14

Порівняння питомих наробітків моторних вагонів

Позначення	Вагони моторні			Порівняльна оцінка	
	ЕР9М	ЕР9Е	ЕР9П	D3/D1	D3/D2
Наробітки	0.0041	0.00536	0.00440	1.07	0.82

З даних табл. 13, 14 виходить, що відношення наробітків візків причіпних (головних) вагонів електропоїздів ЕР9М, Е та моторних вагонів ЕР9М дозволяє без обмежень прийняти Технічні рішення з подовження строку їх служби. При цьому вважається, що показники витривалості рам візків електропоїздів ЕР9Е, М не гірші, ніж рам візків електропоїздів ЕР9П. Рами моторних вагонів електропоїздів ЕР9Е навантажені більше, аналог (ЕР9П), що в даній постановці дозволяє подовжити їх строк служби до 35 років. В даному випадку існує певний резерв строку служби, пов'язаний із тим, що при проведенні оцінки строку служби несучих конструкцій електропоїздів ЕР9П в якості еталону навантаження було прийнято найбільш жорсткий режим руху (рух у кривих великого радіусу, діапазон швидкості руху 60...100 км/год.) з питомим наробітком

$D = 0.01$ (наробіток у статистичній постановці складає $D = 0.0044$, див. табл. 14). Враховуючи вказане, строк служби рам візків моторних вагонів електропоїздів ЕР9Е з особливими зауваженнями та підвищеним контролем може бути подовжений на 9 років, тобто до 37 років від побудови. Доповнення до Технічного рішення щодо впорядкування експлуатації моторних вагонів електропоїздів ЕР9М на рами візків моторних вагонів електропоїздів ЕР9Е не розповсюджується.

Висновки

Проведені дослідження дозволяють зробити висновки про наступне.

Відношення наробітків візків причіпних (головних) вагонів електропоїздів ЕР9М, Е та моторних вагонів ЕР9М дозволяє без обмежень прийняти Технічні рішення з подовження строку їх служби. При цьому вважається, що показники витривалості рам візків електропоїздів ЕР9Е, М не гірші, ніж рам візків електропоїздів ЕР9П.

Рами моторних вагонів електропоїздів ЕР9Е навантажені більше, аналог (ЕР9П), що в даній постановці дозволяє подовжити їх строк служби до 35 років.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боднар, Б. Е. Методы сравнительной оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава [Текст] / Б. Е. Боднар, В. Л. Горобец, И. М. Грушак // Вестник Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля. – 2004. – № 8 (78). – С 118-126.
2. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава [Текст]. – К.: Гос. администрация ж.д. трансп. Украины, ДИИТ, 1998. – 51 с.
3. Грушак, І. М. Порівняльна оцінка впливу модернізації на напружено-деформований стан рами візку електровоза ВЛ60 [Текст] / І. М. Грушак. – Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 18-22.

Надійшла до редколегії 24.09.2008.