

4. ТУ У 35.2-30268559-080-2002. Прокладка підрейкова типу ПРП-2 для рейок типу Р65 та Р50 з пружним скріпленням. Технічні умови (зі змінами) [Текст]: Затв. 02.10.2002. – Д.: 2002. – 31 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Мойсеєнко Костянтин Володимирович, канд. техн. наук, начальник структурного підрозділу «Дніпропетровське науково-конструкторське технологічне бюро колійного господарства» філії «НДКТИ» ПАТ «Укрзалізниця»
Вул. Князя Володимира Великого, 174, м. Дніпро, 9000.
Тел.: +38 056 790 19 33.
E-mail: dnktb.ndkti@gmail.com.

Суслов Володимир Миколайович, головний інженер ТОВ НВП «Корпорація КРТ».
Вул. Академіка Лазаренка, 1, м. Львів, Україна, 79026.
Тел.: +38 032 237 54 42.

Татуревич Аркадій Анатолійович, начальник відділу наукових досліджень та інформації структурного підрозділу «Дніпропетровське науково-конструкторське технологічне бюро колійного господарства» філії «НДКТИ» ПАТ «Укрзалізниця»
Вул. Князя Володимира Великого, 17, м. Дніпро, Україна, 49000.
Тел.: +38 056 790 19 37.
E-mail: dnktb.ndkti@gmail.com.

Надійність та менеджмент якості

УДК 629.423.2-192

Інженер Гордієнко Т.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОПОЇЗДУ Екр-1 ВСТАНОВЛЕНИМ ТЕХНІЧНИМ ВИМОГАМ

Ключові слова: електропоїзд Екр-1, швидкісний рух, показники надійності, експлуатаційні випробування, якісний аналіз надійності, кількісний аналіз надійності, інтервальна оцінка показника, коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання.

У зв'язку з продовженням впровадження на залізницях України швидкісного руху поїздів для здійснення перевезень пасажирів зі швидкостями руху до 160км/год., виникає потреба придбання сучасного надійного рухомого складу, який здатний безвідмовно виконувати завдану функцію в існуючих умовах експлуатації.

В даній статті приведені результати проведених у 2014 - 2016 роках експлуатаційних випробувань на надійність двох швидкісних

двосистемних дев'ятивагонних електропоїздів Екр-1 [1, 2, 3, 4] українського виробника ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод», з метою визначення відповідності їх показників надійності встановленим технічним вимогам, виявлення обладнання, що лімітує надійність електропоїздів та дослідження працездатності обладнання в умовах експлуатації.

Експлуатаційні випробування на надійність проводилися у відповідності із затвердженою Програмою і методикою [5] шляхом проведення підконтрольної експлуатації за існуючими маршрутами та графіками руху, яка представляє собою природну експлуатацію електропоїздів, в існуючих кліматичних умовах, спеціально підготовленим персоналом при регулярному контролі спеціалістами, точному обліку наробітку, обсягу робіт, що виконується, реєстрації у встановлених журналах несправностей та відмов, а також виконанням усіх видів технічного обслуговування та ремонтів. Задачами експлуатаційних випробувань були збір та обробка інформації про несправності та відмови обладнання електропоїздів протягом випробувань, спостереження за їх технічним станом на місяцях

експлуатації, оцінка показників надійності обладнання.

Для дослідження відповідності показників надійності були розглянуті вимоги, що встановлені до показників безвідмовності Технічними умовами [6], а саме середні наробітки на відмову. Аналіз надійності виконувався із застосуванням якісного методу (метод структурної схеми надійності) та кількісного методу (непараметричний метод розрахунків) [7]. Для проведення дослідження надійності електропоїздів Екр-1 із статистичної інформації про відмови були обрані випадки несправностей, які можна віднести до категорії відмов елементів обладнання. Відмовою вважалася подія, що порушує працездатний стан обладнання електропоїзду [8]. В якості відмов розглядалися випадки заміни елементів обладнання, вихід з ладу елементів, переналаштування, перезавантаження та виконання додаткового ремонту обладнання.

Якісний аналіз надійності. Якісний аналіз проводився з використанням методу побудови структурної схеми (блок-схеми) надійності системи [9].

Аналіз за допомогою блок-схем - це дедуктивний метод аналізу [7]. Він представляє собою графічне зображення працездатного стану системи (електропоїзду) та показує логічний зв'язок функціональних елементів обладнання, необхідних для успішної роботи системи [9]. Успішною роботою електропоїзду є його працездатність для здійснення перевізного процесу в заплановані міжремонтні періоди. В свою чергу відмова це подія, що за своїми наслідками може вплинути на успішну роботу. Внаслідок складності і багаторівневості конструкції електропоїзду (9 вагонів) та обмеженої інформації, яка була надана Виробником щодо детального опису обладнання вагонів, було проведено дослідження взаємозв'язку між відмовами систем обладнання і відмовою електропоїзда та їх впливу на безвідмовність в цілому. Для побудови структурної схеми надійності (далі по тексту – ССН) системи обладнання були сформовані у логічні блоки, які відображають логіку впливу відмови на роботу електропоїзду (табл. 1).

Табл. 1 – Блоки для побудови структурної схеми надійності електропоїзду

№ блоку	Найменування обладнання блоку
1	Гальмівна система
1.1	Автоматичне пневматичне фрикційне дискове гальмо з електропневматичним та електричним управлінням
1.2	Гальмове обладнання візків
1.2.1.	Кліщовий механізм
1.2.2.	Система піскоподачі
1.3	Прилади безпеки
1.3.1	Клапан ЕПК/КЛУБ-У
1.3.1.1	Тифон
1.3.1.2	ТСКБМ
1.4	Прилади живлення гальм стисненим повітрям
1.4.1	Компресорна установка
1.4.2.	Повітряний резервуар обсягом 150л
1.5	Повітропровід з арматурою

2	Система електрозабезпечення та електрообладнання
2.1	Тягове електрообладнання
2.1.1	Вимірювач напруги та струму MSA V 25 000-14
2.1.2	Перетворювач напруги. Трифазний інвертор напруги для живлення тягових двигунів.
2.1.3.	Контактор підключення зовнішньої мережі 380В
2.1.4.	Тяговий трансформатор
2.2.	Міжвагонне з'єднання. Перемичка міжвагонна. Захисна накладка.
3	Внутрішнє обладнання, вікна і двері
3.1	Автоматичні зовнішні двері
3.2	Кабіна керування
3.2.1	Пульт керування. Підсвітка пульта
3.2.2	Склоочишувач
4	Система вентиляції, кондиціонування та опалення
4.1.	Установка кондиціонування повітря
4.1.1.	Кліматична установка АВК-6
4.1.2.	Кондиціонер АВК-10
4.1.3.	Кондиціонер АВК-30
5	Система радіофікації, зв'язку, інформатики та відео спостереження
5.1	Відеокамери, відео спостереження
5.2	Система оповіщення
5.3	Система внутрішньо поїзного зв'язку
6	Система автоматизованого управління, контролю та діагностики
6.1	Мережа контролерів CAN

Сформовані блоки вважаються статистично незалежними та можуть існувати лише в одному із двох станів: працездатному (успіх) [9] та непрацездатному (відмова) [9] та з'єднані лініями, що формують шлях до успіху [9]. Послідовне з'єднання блоків застосовується якщо для функціонування системи (електропоїзду) необхідно, щоб функціонували усі блоки. Паралельне з'єднання блоків використовується якщо відмова блоку не впливає на функціонування системи [9]. Побудована схема ССН електропоїзда № 001, з урахуванням вищевикладених обмежень, представлена на рисунку 1, електропоїзду №002 – на рис. 2.

Позначення на рисунках 1 та 2 I – порт входу, початковий момент коли система функціонує (електропоїзд працездатний) [9];

O° – порт виходу, система відмовила. нумерація блоків виконана згідно таблиці 1. Пунктирною червоною лінією позначені блоки систем. Пунктирною чорною лінією – обладнання блоків з подальшим розукрупненням обладнання на вузли, в залежності від відмови, що була зафіксована. Прямокутниками в схемі ССН позначені обладнання блоків та вузли обладнання, по яким були зафіксовані відмови. Розташування елементів в схемі паралельно – послідовне, в залежності від впливу наслідків відмов обладнання на працездатний стан електропоїзду.

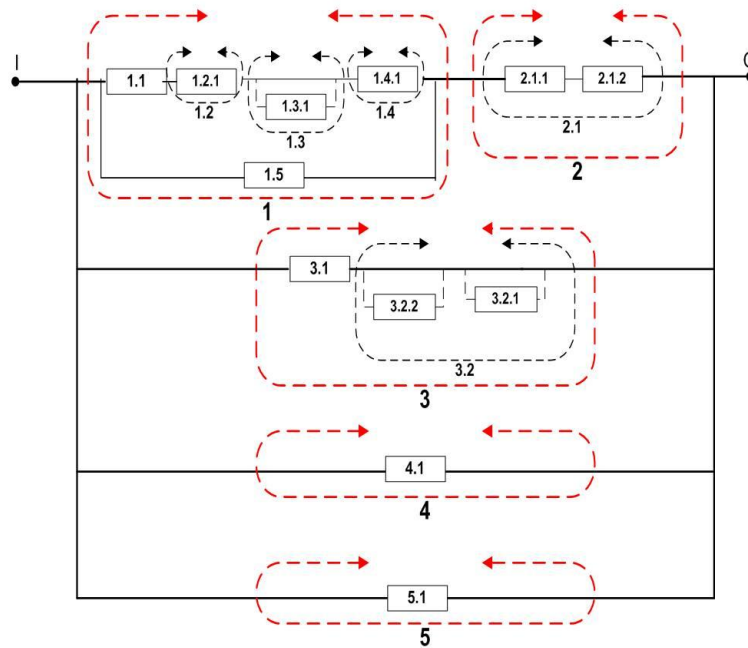


Рис. 1 - Структурна схема надійності електропоїзда Екр-1 № 001

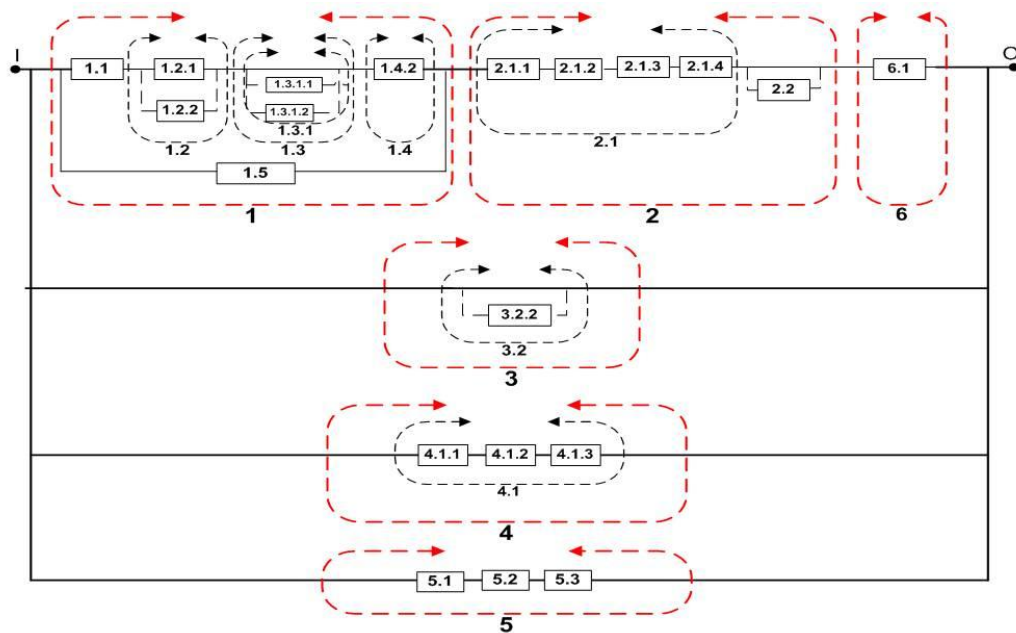


Рис. 2 - Структурна схема надійності електропоїзда Екр-1 № 002

Отримані моделі надійності електропоїздів Екр-1 були використані для оцінки імовірності їх безвідмовної роботи $R_S(t)$. Побудова формул для оцінки імовірності безвідмовної системи виконується в залежності від того якими зв'язками з'єднані блоки системи у схемі ССН [9]. Для послідовного з'єднання залежність імовірності безвідмовної роботи

системи від імовірності безвідмовної роботи блоків системи описується формулою[9]:

$$R_S = R_A \cdot R_B \quad (1)$$

де R_S – імовірність безвідмовної роботи системи;

R_A, R_B - імовірності безвідмовної роботи блоків системи А, В.

Для паралельного з'єднання імовірність безвідмовної роботи системи описується формулою [9] складення ймовірностей сумісних подій:

$$R_S = R_A + R_B - R_A \cdot R_B. \quad (2)$$

В загальному вигляді побудовані по отриманим моделям формули для імовірності безвідмовної роботи електропоїздів мали наступний вигляд [9]:

- для електропоїзду № 001

$$R_S = (R_1 \cdot R_2 + 0,1R_3 + 0,1R_4 + 0,1R_5) - R_1 \cdot R_2 \cdot 0,1R_3 \cdot 0,1R_4 \cdot 0,1R_5; \quad (3)$$

- для електропоїзду № 002

$$R_S = (R_1 \cdot R_2 \cdot R_6 + 0,1R_3 + 0,1R_4 + 0,1R_5) - R_1 \cdot R_2 \cdot 0,1R_3 \cdot 0,1R_4 \cdot 0,1R_5 \cdot R_6. \quad (4)$$

Кількісний аналіз надійності. Відповідно до Програми і методики випробувань [5] для кількісного аналізу надійності в проведеному дослідженні розглядався непараметричний метод розрахунків, за невідомого закону розподілення випадкової величини, який містить у собі безпосередню оцінку показників надійності за вибірковими даними [10]. В якості випадкової величини, що досліджується, розглядаються наробітки електропоїздів на відмову. Під наробітком розуміються пробіги електропоїздів, в км. По результатам спостережень та зібраним статистичним даним про відмови обладнання, були сформовані вибірки для аналізу властивостей випадкових величин зі зниженими вимогами до точності та достовірності оцінок показників надійності до 0,80 [10]. Зниження вимог до точності було необхідним у зв'язку з недостатнім обсягом даних про відмови для більш

достовірного аналізу [11]. При виконанні розрахунків з кількісної оцінки встановлених показників надійності були використанні наступні припущення щодо дослідження випадкової величини:

- для систем та підсистем обладнання по яким відсутня інформація по відмовам прийняті припущення щодо постійності інтенсивності відмов, а також розглядалося розподілення середніх пробігів на відмову за експоненціальним законом;

- для систем та підсистем обладнання, що мали за час випробувань не більше однієї відмови прийняті припущення щодо постійності інтенсивності відмов та їх експоненціальності розподілення;

- для систем та підсистем обладнання по яким фіксувалися від двох та більше випадків відмов, виконувалися розрахунки середнього пробігу на відмову згідно отриманих даних.

Таким чином для систем та підсистем обладнання по яким відсутня інформація про відмови або зафіксовано не більше однієї відмови протягом випробувань, було встановлено розрахунковий наробіток (пробіг) на рівні максимального значення пробігу електропоїзда до КР згідно ТУ (1 200 000км) [6] та очікувану кількість відмов для даного наробітку (пробігу) на рівні 1,61 відмови, з рівнем довірчої імовірності 0,80 [10]. Точкова оцінка середнього наробітку на відмову таких систем, з довірчою імовірністю 0,80, дорівнює $0,745 \times 10^6$ км. Визначення інтервальних оцінок для розрахованого пробігу на відмову ($0,745 \times 10^6$ км) при прийнятому значення довірчої імовірності 0,80 та експоненціальності розподілення випадкових величин, розраховується за наступними формулами [12]:

$$L_n^u = k_n \cdot L_{cp}, \quad (5)$$

$$L_n^s = k_s \cdot L_{cp}, \quad (6)$$

де L_n^u, L_n^s - відповідно нижня та верхня

інтервальні оцінки, км;

n – кількість обладнання, од.;

L_{cp} – точкова оцінка середнього пробігу на відмову, $T_{cp} = 0,745 \times 10^6$ км;

k_n, k_b – табульовані коефіцієнти [12].

Для визначення інтервальних оцінок точкового значення середнього пробігу на відмову систем, що мали випадки відмов протягом випробувань, статистичні дані по відмовам були перевірені на нормальність розподілення за критерієм Девіда – Хартлі – Пірсона та експоненціальність розподілення за критерієм Кімбера – Мічела [12]. Для статистичних даних, що мали ознаки експоненціальності розподілення розрахунки інтервальних оцінок середнього пробігу на відмову виконувалися за формулами (5) і (6). Для статистичних даних, що мали ознаки нормальності розподілення розрахунки інтервальних оцінок середнього пробігу на відмову виконувалися за формулами (7) і (8). Значення довірчої імовірності приймалося на рівні 0,80 і для розрахунків використовувалися формули:

$$L_n^H = L_{cp} - \sigma_\gamma \cdot \omega, \quad (7)$$

$$L_n^E = L_{cp} + \sigma_\gamma \cdot \omega \quad (8)$$

де L_n^H, L_n^E - відповідно нижня та верхня інтервальні оцінки, км;

L_{cp} – точкова оцінка середнього пробігу на відмову, км;

ω - розмах вибірки, км;

σ_γ - критичний квантиль розподілення розмаху вибірки [12].

За результатами проведених розрахунків за формулами (5) – (8) були отримані точкові оцінки показників надійності, розраховані відносно систем обладнання та в цілому для електропоїздів.

Для електропоїзду № 001 точкова оцінка середнього пробігу на відмову становить 647 000 км. Інтервал, в межах якого з довірчою імовірністю 0,80 знаходиться розраховане точкове значення, становить:

- для напрацювання на відмову першого роду та середнього напрацювання на відмову

електропоїзда № 001: від 409 000км до 1 548 000км;

- для напрацювання на відмову другого роду: від 422 000км до 1 468 000км.

Для електропоїзду № 002 точкові оцінки середнього пробігу на відмову становлять:

- для оцінки напрацювання на відмову першого роду та середнього напрацювання на відмову електропоїзда № 002 – 606 000км інтервалом, в межах якого з довірчою імовірністю 0,80 знаходиться розраховане точкове значення, становить від 383 000км до 1 496 000км;

- для оцінки напрацювання на відмову другого роду – 614 000км, інтервал в межах якого з довірчою імовірністю 0,80 знаходиться точкове значення, становить від 399 000км до 1 403 000км.

Напрацювання на відмову першого роду в ТУ [6] встановлено на рівні $0,1 \times 10^6$ км. Порівняння з розрахованими значеннями по електропоїздам з довірчою імовірністю 0,80 витримується, як для середніх точкових оцінок так і для інтервальних оцінок.

Напрацювання на відмову другого роду в ТУ [6] встановлене на рівні $0,45 \times 10^6$ км. Порівняння з розрахованими значеннями по електропоїздам з довірчою імовірністю 0,80 витримується для середніх точкових оцінок та для верхньої границі інтервальних оцінок. Значення нижньої границі інтервальних оцінок наближається до встановленого ТУ значення.

Найменші точкові оцінки середнього пробігу на відмову по електропоїзду № 001 приходилися на обладнання: тяговий трансформатор (0,160 x 106 км), систему визначення роду струму, вимірювання та обліку електроенергії що споживається з контактної мережі (0,206 x 106 км), пульт керування (підсвітка пульта) (0,212 x 106 км), склоомивач (0,257 x 106 км), установка постачання стисненим повітрям (0,429 x 106 км).

Для електропоїзду № 002 найменші точкові оцінки середнього пробігу на відмову приходяться на наступне обладнання: систему визначення роду струму, вимірювання та обліку електроенергії що споживається з контактної мережі (0,084 x 106 км), склоомивач (0,158 x 106 км), тяговий трансформатор (0,182 x 106 км), пульт керування (підсвітка

пульт) (0,241 x 106 км), систему забезпечення мікроклімату (0,214 x 106 км), пристрої для подачі піску (0,256 x 106км), систему протиюзного захисту MGS 2 (0,261 x 106км), установку постачання стисненим повітрям (0,294 x 106 км).

Середнє напрацювання на відмову електропоїзду в ТУ [6] встановлено на рівні 270 000 км. Порівняння з розрахованими значеннями по електропоїздам показало, що з довірчою імовірністю 0,80, значення витримується для точкових та інтервальних оцінок для обох електропоїздів.

Напрацювання на відмову систем забезпечення клімату згідно ТУ [6] встановлено на рівні не менше ніж 10 000 годин. За результатами дослідження для обох електропоїздів на встановленому рівні це значення не витримувалося.

Порівняльний аналіз точкових оцінок середніх пробігів на відмову систем електропоїздів № 001 та № 002, для оцінки напрацювання на відмову другого роду, представлено на рис. 3.

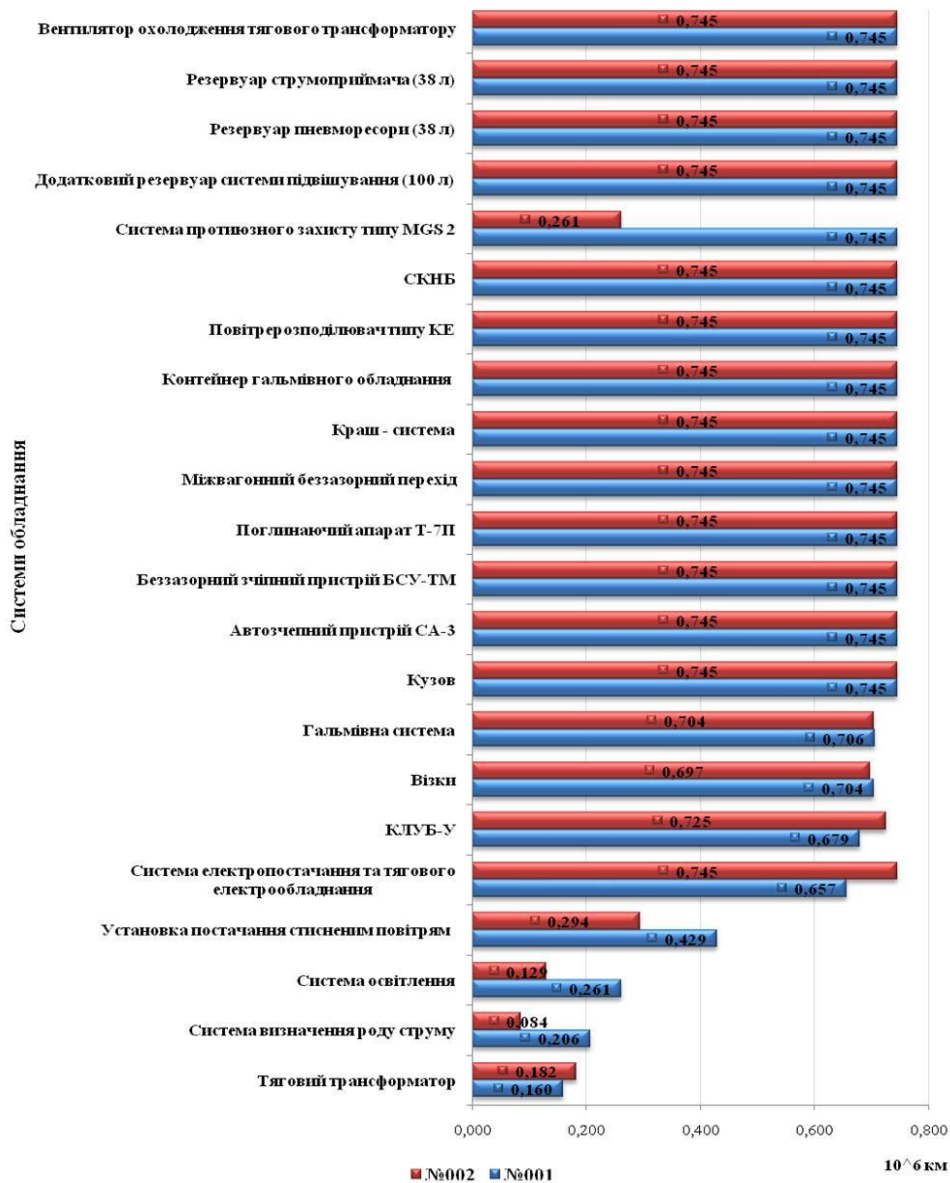


Рис. 3 - Порівняльний аналіз середніх пробігів на відмову по системам обладнання електропоїздів (оцінка напрацювання на відмову другого роду)

Порівняльний аналіз точкових оцінок середніх пробігів на відмову по системам обладнання електропоїздів № 001 та № 002, для

оцінки напрацювання на відмову першого роду та середнього напрацювання на відмову, представлено в табл. 2.

Табл. 2- Порівняльний аналіз середніх пробігів на відмову по системам обладнання електропоїздів (оцінка напрацювання на відмову першого роду та середнього напрацювання на відмову)

Обладнання електропоїзду	Середній пробіг на відмову, 10 ⁶ км	
	№001	№002
Тяговий трансформатор	0,160	0,182
Система визначення роду струму	0,206	0,084
Пульт керування	0,212	0,241
Склоомивач	0,257	0,158
Система очищування лобового скла	0,422	0,451
Пристрої для подачі піску	0,428	0,256
Установка постачання стисненим повітрям	0,429	0,294
Система забезпечення мікроклімату	0,481	0,214
Двері	0,556	0,567
САУКД	0,564	0,373
Система відео спостереження	0,565	0,555
Санітарно-технічне обладнання	0,574	0,583
ТСКБМ	0,628	0,634
Внутрішнє обладнання	0,644	0,533
Система радіофікації та зв'язку	0,675	0,622
Система електропостачання та тягового електрообладнання	0,678	0,694
КЛУБ-У	0,685	0,732
Система освітлення	0,691	0,677
Гальмівна система	0,707	0,702
Візки	0,729	0,726
Кузов	0,745	0,745
Головний обтікувач	0,745	0,745
Автомобільний пристрій СА-3	0,745	0,745
Поглинаючий апарат Т-7Р	0,745	0,745
Безззорний зчіпний пристрій БСУ-ТМ	0,745	0,745
Поглинаючий апарат Т-7П	0,745	0,745
Міжвагонний безззорний перехід	0,745	0,745
Краш - система	0,745	0,745
Контейнер гальмівного обладнання	0,745	0,745
Повітрерозподільувач типу КЕ	0,745	0,745
Допоміжний безмасляний повітряний компресор V10-Т	0,745	0,745
Модуль управління піскоподачі	0,745	0,745
СКНБ	0,745	0,745
Система протиюзного захисту типу MGS 2	0,745	0,261

Додатковий резервуар системи підвищення (100 л)	0,745	0,745
Резервуар пневморесори (38 л)	0,745	0,745
Резервуар струмоприймача (38 л)	0,745	0,745
Теплоізоляція	0,745	0,448
Внутрішнє облицювання кузова	0,745	0,745
Вікна	0,745	0,745
Система водопостачання	0,745	0,745
Тяговий двигун	0,745	0,745
Вентилятор тягового двигуна	0,745	0,745
Вентилятор охолодження тягового трансформатора	0,745	0,745
Система пожежної сигналізації та пожежогасіння	0,745	0,600
Система обігріву лобового скла та дзеркал	0,745	0,745
Комплект підйомників вагонних КПВ-2	0,745	0,745

Комплексні коефіцієнти надійності. В ході проведення дослідження відповідності показників надійності електропоїздів Екр-1 були також виконані розрахунки оцінок комплексних показників надійності – коефіцієнта готовності та коефіцієнта технічного використання.

Коефіцієнт готовності – імовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено [8].

Коефіцієнт технічного використання являє собою відношення математичного сподівання сумарного часу перебування об'єкта у працездатному стані за деякий період експлуатації до математичного сподівання сумарного часу перебування об'єкта в працездатному стані та у простоях, зумовлених технічним, обслуговуванням і ремонтом за той самий період [8]. Коефіцієнт технічного використання характеризує час знаходження електропоїздів в працездатному стані відносно певного періоду тривалості експлуатації. Він враховує витрати часу на планові та непланові ремонти, а також регламенти.

Розрахунки коефіцієнта готовності виконувалися згідно [13] за формулою:

$$K_G(t) = \frac{T_0(t)}{T_0(t) + T_B(t)}, \quad (9)$$

де $K_G(t)$ – коефіцієнт готовності на момент часу t ;

$T_0(t)$ – середній наробіток на відмову за час t , год.;

$T_B(t)$ – середній час відновлення після відмови за час t , год.

Порівняння розрахованих точкових оцінок коефіцієнтів готовності по електропоїздам представлено в табл. 3.

Розрахунок коефіцієнта технічного використання виконувався згідно [13] за формулою:

$$K_{ТИ} = K_G * \frac{t_{екс}}{t_{екс} + t_{пр}}, \quad (12)$$

де $K_{ТИ}$ – коефіцієнт технічного використання;

K_G – коефіцієнт готовності;

$t_{екс}$ – час перебування електропоїзду в експлуатованому парку, год.;

$t_{пр}$ – час перебування електропоїзду в неексплуатованому парку, який враховує витрати часу на планові та непланові ремонти, а також регламенти, год.

Порівняння розрахованих точкових оцінок коефіцієнтів технічного використання по електропоїздам представлено в табл. 4.

Таблиця 3 – Порівняння коефіцієнтів готовності електропоїздів №001 та №002

Місяць експлуатації	Середній наробіток на відмову за місяць, год.		Середній час віновлення за місяць, год.		Коефіцієнт готовності	
	№001	№002	№001	№002	№001	№002
Жовтень 2014	58,90	72,00	0,70	76,10	0,988	0,486
Листопад 2014	97,91	32,10	1,21	1,10	0,988	0,967
Грудень 2014	201,24	73,52	1,17	1,27	0,994	0,983
Січень 2015	130,28	68,00	1,02	0,67	0,992	0,990
Лютий 2015	260,69	57,61	1,00	1,42	0,996	0,976
Березень 2015	124,09	49,09	0,80	1,33	0,994	0,974
Квітень 2015	164,67	74,28	1,35	0,90	0,992	0,988
Травень 2015	85,60	115,29	0,49	0,85	0,994	0,993
Червень 2015	66,01	66,56	0,43	0,66	0,994	0,990
Липень 2015	64,55	48,52	0,56	0,71	0,991	0,986
Серпень 2015	272,80	86,90	0,80	0,51	0,997	0,994
Вересень 2015	93,72	87,84	0,52	0,89	0,994	0,990
Жовтень 2015	168,40	74,05	0,70	1,81	0,996	0,976
Листопад 2015	82,57	63,27	1,07	1,40	0,987	0,978
Грудень 2015	55,26	64,00	0,95	0,79	0,983	0,988
Січень 2016	77,24	66,92	1,03	0,81	0,987	0,988
Лютий 2016	79,30	113,69	1,28	1,95	0,984	0,983
Березень 2016	148,80	326,58	1,90	18,10	0,987	0,947
Квітень 2016	83,55	266,80	1,10	1,00	0,987	0,996

Табл. 4 – Порівняння коефіцієнтів технічного використання електропоїздів № 001 та № 002

Місяць експлуатації	Час знаходження в не експлуатованому парку за місяць, год.		Час знаходження в експлуатованому парку за місяць, год.		Коефіцієнт технічного використання за місяць	
	№001	№002	№001	№002	№001	№002
Жовтень 2014	46	252	698	492	0,927	0,321
Листопад 2014	0	612	720	108	0,988	0,145
Грудень 2014	141	66	603	678	0,806	0,896
Січень 2015	46	324	698	420	0,931	0,559
Лютий 2015	94	402	578	270	0,857	0,392
Березень 2015	322	210	422	534	0,564	0,699
Квітень 2015	116	114	604	606	0,832	0,832
Травень 2015	165	90	579	654	0,774	0,873
Червень 2015	118	138	602	582	0,831	0,800
Липень 2015	0	228	744	516	0,991	0,684

Серпень 2015	0	0	744	744	0,997	0,994
Вересень 2015	22	66	698	654	0,964	0,899
Жовтень 2015	0	0	744	744	0,996	0,976
Листопад 2015	7	18	713	702	0,977	0,954
Грудень 2015	7	0	737	744	0,974	0,988
Січень 2016	255	114	489	630	0,649	0,837
Лютий 2016	69	0	627	696	0,886	0,983
Березень 2016	24	132	720	612	0,955	0,779
Квітень 2016	22	90	698	630	0,957	0,872

Розрахунок інтервальних оцінок коефіцієнта готовності та коефіцієнта технічного використання виконувався за формулами (10) та (11), з довірчою імовірністю 0,80:

$$K^H = K - \sigma_\gamma \cdot \omega, \quad (10)$$

$$K^B = K + \sigma_\gamma \cdot \omega, \quad (11)$$

де K^H K^B - відповідно нижня та верхня границі інтервальної оцінки коефіцієнтів готовності або коефіцієнту технічного використання;

K - точкове значення оцінки коефіцієнту готовності або коефіцієнту технічного використання;

ω - розмах отриманої вибірки значень коефіцієнта готовності або коефіцієнта технічного використання;

σ_γ - критичний квантиль розподілення розмаху вибірки [12].

За результатами розрахунків, інтервальні оцінки коефіцієнту готовності електропоїздів становили:

$$\text{№001} - 0,990 \leq 0,991 \leq 0,992;$$

$$\text{№002} - 0,921 \leq 0,957 \leq 0,992.$$

Відповідно інтервальні оцінки коефіцієнту технічного використання:

$$\text{№ 001} - 0,849 \leq 0,887 \leq 0,925;$$

$$\text{№ 002} - 0,686 \leq 0,762 \leq 0,839.$$

Аналіз розрахованих значень коефіцієнта готовності та коефіцієнта технічного використання електропоїздів Екр-1 № 001 та № 002 показав, що за період часу з жовтня 2014 по квітень 2016 року, по електропоїзду № 001

значення інтервальної оцінки коефіцієнтів вищі у порівнянні з електропоїздом № 002.

Висновки

1. Шляхом застосування якісного аналізу результатів дослідження показників надійності електропоїздів Екр-1 була мінімізована дія відмов елементів обладнання що не впливає на виконання потрібної функції електропоїздів та встановлені системи обладнання що здійснюють найбільший вплив та лімітують працездатну та безвідмовну роботу електропоїзда.

2. На підставі кількісного аналізу надійності електропоїздів Екр-1 було виконаний розрахунок та порівняння інтервальних оцінок їх середнього пробігу на відмову зі встановленими значеннями, а також виконанні розрахунки комплексних показників надійності поїздів.

3. Проведене дослідження показало, що оцінювання показників надійності такої складної конструкційної системи як електропоїзд, потребує встановлення вимог до надійності не тільки для їх систем обладнання, але й для елементів цього обладнання, що здійснює вплив на безвідмовну роботу електропоїзду. Обмеженість встановлених вимог до надійності обладнання ускладнює, а часом й унеможлиблює оцінку надійності рухомого складу в експлуатації. Одним із шляхом вирішення даної проблеми є уніфікація вимог до надійності, введення загального алгоритму викладення у нормативній документації (ТВ, ТЗ, ТУ) вимог до надійності нового рухомого складу.

4. Дослідження надійності рухомого складу ринки збуту, повинні повністю виключати

в експлуатації є необхідною умовою при впровадженні нової залізничної техніки, оскільки такі фактори, як зростання технічної складності сучасного обладнання та конкурентна боротьба за можливість попадання на сучасний ринок рухомого складу з низькою надійністю.

Література

1. Експлуатаційні випробування на надійність міжрегіонального швидкісного двосистемного електропоїзду ЕКр-1. Звіт «Виконання робіт з проведення експлуатаційних випробувань на надійність відповідно до Програми і методики експлуатаційних випробувань на надійність ДНДЦ. ЕКр-1.ПМ01-2014» (1 етап). / ДП «ДНДЦ УЗ», 2015;

2. Експлуатаційні випробування на надійність міжрегіонального швидкісного двосистемного електропоїзду ЕКр-1. Звіт «Виконання робіт з проведення експлуатаційних випробувань на надійність відповідно до Програми і методики експлуатаційних випробувань на надійність ДНДЦ. ЕКр-1.ПМ01-2014» (2 етап). / філія «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця», 2015;

3. Експлуатаційні випробування на надійність міжрегіонального швидкісного двосистемного електропоїзду ЕКр-1. Звіт «Виконання робіт з проведення експлуатаційних випробувань на надійність відповідно до Програми і методики експлуатаційних випробувань на надійність ДНДЦ. ЕКр-1.ПМ01-2014» (3 етап). / філія «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця», 2016;

4. Експлуатаційні випробування на надійність міжрегіонального швидкісного двосистемного електропоїзду ЕКр-1. Звіт «Виконання робіт з проведення експлуатаційних випробувань на надійність відповідно до Програми і методики експлуатаційних випробувань на надійність ДНДЦ. ЕКр-1.ПМ01-2014» (4 етап). / філія «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця», 2017;

5. ДНДЦ.Екр-1.ПМ01-2014. Програма і методика експлуатаційних випробувань на надійність – Науково – дослідний центр залізничного транспорту України ДНДЦ УЗ, 2014;

6. Електропоїзд ЕКр-1 двосистемний для міжрегіонального сполучення зі швидкістю 160км/год. Технічні умови. ТУ У 30.2-05763814-094:2013 – ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод», 2013;

7. Надійність техніки : Аналіз надійності. Основні положення : ДСТУ 2861-94. - [Чинний від 1997-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 32 с. – (Державний стандарт України);

8. Надійність техніки : Терміни та визначення : ДСТУ 2860-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 96 с. – (Державний Стандарт України);

9. Менеджмент ризику : Структурная схема надежности и Булевы методы : ГОСТ Р 51901.14-2007. - [Действующий с 2008-09-01]. – Национальный стандарт Российской Федерации, 2007. – 30 с.

10. Надійність техніки : Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними : ДСТУ 3004-95. - [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 123 с. – (Державний стандарт України);

11. Надежность технических систем : справочник. / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин [и др.]. ; Под ред. И. А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 608 с., ил.;

12. Кобзарь А. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных сотрудников. / Кобзарь А. И. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

13. Надійність техніки : Методи розрахунку показників надійності : ДСТУ 2862-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 38 с. – (Державний Стандарт України).

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Гордієнко Тетяна Миколаївна,
начальник сектору досліджень надійності техніки філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту «ПАТ «Укрзалізниця».
Вул. І. Федорова, 39, Київ, Україна, 03038.
Тел.: +38 067 103 88 07.
E-mail: gordienko1520mm@gmail.com.