

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.45 – 048.24

С. В. МЯМЛІН¹, О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР², А. Л. ПУЛАРІЯ³, В. О. КАЛАШНИК^{4*}

¹Каф. «Вагони і вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 84 98, ел. пошта sergey myamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

²Каф. «Вагони і вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

³Каф. «Вагони і вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056)) 793 19 16, ел. пошта pularija@mail.ru, ORCID 0000-0003-1144-4179

^{4*}Каф. «Вагони і вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ІЗ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ КОРИСНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Мета. Пасажи́рський вагонний парк Укрзалізниці в переважній більшості має вагони з понаднормованим терміном служби. У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку методів обґрунтування продовження корисної експлуатації пасажирських вагонів та оцінки відповідності залишкового ресурсу конструкції кузовів вагонів експлуатаційним навантаженням протягом наступного терміну використання. **Методика.** При відборі вагонів виконувалось технічне діагностування їх стану з метою виявлення рівня корозійних та механічних пошкоджень. На наступних етапах виконувалось дослідження міцності несучих конструкцій кузовів вагонів на підставі експериментальних статичних та ударних на міцність випробувань, ресурсних випробувань на дію поздовжніх сил. Виконувалась оцінка та прогнозування відповідності ресурсу кузовів вагонів на наступний період. **Результати.** Обстеження вагонів до випробувань показало, що технічний стан купейних вагонів ЦМК кращий, ніж вагонів відкритого типу ЦМО. Так, у вагонах ЦМК зменшення товщини основних несучих елементів внаслідок корозії не перевищувало 10 %, були відсутні тріщини, деформації, обриви стійок та інше. В той же час у вагонах ЦМО зменшення товщини внаслідок локальної корозії досягало 35 %. Наявні деформації та корозійні пошкодження Z нижньої обв'язки обох вагонів, поодинокі обриви стійок, пошкодження місць з'єднання хребтової і шкворневої балок. Проведені статичні та ударні на міцність випробування із подальшою оцінкою міцності елементів конструкції вагонів показали, що міцність останніх забезпечується згідно нормативних документів та такі вагони не несуть загрози безпеці руху. Ударні ресурсні випробування показали, що всі вагони пройшли їх без ушкоджень. Ці ушкодження могли б перешкоджати проведенню випробувань і не могли бути усунені при проведенні чергового деповського або капітального ремонту та мали напрацювання на ресурс, яке дозволяє продовжити термін їх корисної експлуатації на наступний період. **Наукова новизна.** Результати проведених експериментальних досліджень доводять, що пасажирські вагони після 28–30 та 33–35 років експлуатації відповідають умовам міцності та безпеки руху згідно з нормативною документацією та дозволяють за умов ударної витривалості обґрунтовано продовжувати термін служби вагонів. **Практична значимість.** Частина вагонного парку, яка повинна списуватися за терміном експлуатації, без додаткових заходів може продовжити термін служби завдяки розробленим рекомендаціям.

Ключові слова: пасажирський вагон; термін експлуатації; міцність конструкції; відповідність; статичні випробування; ударні випробування; напрацювання на ресурс

Вступ

Загальний пасажирський вагонний парк Укрзалізниці складається переважно з вагонів, побудованих у вісімдесятих роках минулого століття, та має призначені терміни експлуата-

ції: нормативний – 28 років, граничний – 41 рік. Дослідження стану пасажирського вагонного парку розглянуті в [1], [5].

Вагонний парк налічує біля 86 % пасажирських вагонів з понад нормативним терміном служби (більше 28 років), біля 500 ва-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

гонів з терміном служби до 20 років, тільки 343 з яких мають термін служби до 10 років. За період 1991 рік – кінець 2013 року пішло в брукт (списані по закінченню терміну служби) 3 298 пасажирських вагонів, у 2014 році підлягали списанню 421 вагон. Таким чином, інтенсивність старіння пасажирського вагонного парку збільшується з кожним роком.

В той же час закупівля нових вагонів здійснюється в незначній кількості – так Укрзалізницею у період 1991 рік – кінець 2013 року за власний кошт було придбано 561 пасажирський вагон, а також 10 дев'ятивагонних електропоїздів та 2 двоповерхових шестивагонних поїзди. Тому з кожним роком дефіцит пасажирських вагонів стає все відчутнішим і у 2017 році може досягти 2 364 вагони, що є згубним для галузі.

Тому з вищеназаних об'єктивних причин виникла необхідність продовження життєвого циклу вагонів, які вичерпали свій первинний ресурс. Це дає можливість уповільнити збільшення дефіциту пасажирських вагонів за допомогою обґрунтованого продовження їх терміну служби. Передумовою вказаного продовження є:

- призначений термін експлуатації встановлювався при суттєво завищених коефіцієнтах міцності;
- детальний аналіз технічного стану вагонів, які підлягають списанню, показує, що частина вагонів виключається через несправності, несумісні з подальшою безпечною експлуатацією, але значна частина вагонів підлягає виключенню з інвентарного парку по досягненні ними нормативного терміну служби. Проте певна кількість останніх ще залишається в задовільному технічному стані.

Можливість продовження терміну служби несучих конструкцій вагонів повинна бути обґрунтована експериментальними та теоретично-розрахунковими методами, які включають в себе: обстеження технічного стану; експериментальне визначення рівня навантаженості та напруженого стану елементів конструкції; числові розрахунки на базі сучасних програмних комплексів з визначення напружено-деформованого стану шляхом моделювання найбільш несприятливих режимів експлуатації; оцінка залишкового ресурсу (ви-

значення величини продовженого терміну експлуатації) з допомогою числових розрахунків втомної пошкодженості або шляхом експериментальних ресурсних випробувань. Крім того, необхідно відзначити, що вагони потребують індивідуального підходу до визначення наступного терміну служби (ресурсу). Весь цей комплекс робіт повинен бути підкріплений технологіями відновлювальних ремонтів, які виходять за рамки цього дослідження.

Проблеми обґрунтування необхідності уточнення терміну продовження корисної експлуатації пасажирських вагонів тією чи іншою мірою розглядалися як в Україні [3, 7, 8, 9, 12], так і в ближньому [17] та дальньому зарубіжжі [18, 19]. В роботах [7, 9, 12] досліджувались проблеми та особливості технічного діагностування пасажирських вагонів. А в [3, 8, 17, 18, 19], виконувались числові розрахунки на базі скінченно-елементної моделі з оцінкою міцності по I та III розрахункових режимах. Далі з урахуванням попередніх результатів виконувались розрахунки втомної пошкодженості елементів конструкції для оцінки залишкового терміну служби. Крім того, в [3] були виконані розрахунки для нових вагонів і вагонів з мінімальними товщинами елементів (внаслідок корозії) та розрахунковим шляхом був встановлений суттєвий вплив механічних або зварних пошкоджень (підрізів), залежно від розмірів останніх, на термін служби вагонів.

Проте тільки теоретичні дослідження повною мірою не можуть врахувати всіх чинників, що впливають на вагон під час його експлуатації, та можливих недоліків, що були закладені в конструкцію на стадіях проектування та виробництва. Тут маються на увазі допустимі відхилення від розмірів, заміна матеріалів на подібні при виготовленні та конкретні можливі механічні пошкодження при ремонтах і корозійні пошкодження в експлуатації. Таким чином, фізичний стан вагона для кожної партії окремого виробника буде відмінний.

Тому виникає потреба в здійсненні відповідних випробувань, що виконуються один раз на 5 років згідно з ЦЛ-0070 [6]. Ефективність натурних випробувань та їх вплив на забезпечення безпеки руху рухомого складу доведена в [10].

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Мета

З метою визначення можливості продовження терміну корисної експлуатації пасажирських вагонів випробувальною лабораторією вагонів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на замовлення Укрзалізниці в 2013 році виконано комплекс натурних випробувань. В рамках випробувань виконані статичні на міцність, ударні на міцність (визначальні) та ударні ресурсні випробування пасажирських вагонів.

Методика

Для виконання випробувань випадковим чином відбирались вагони з робочого парку, які відпрацювали призначений термін служби, та такі, що пройшли призначені планові види ремонту. Деякі вагони мали пошкодження, що допускаються згідно з [6]. Як дослідні вагони відібрано два вагони ЦМО (суцільнометалеві з купе відкритого типу) після 29 і 33 років служби та два вагони ЦМК (суцільнометалеві з купе закритого типу) після 30 і 33 років служби.

Перед початком випробувань виконувалося технічне діагностування стану вагонів з метою виявлення рівня корозійних та механічних пошкоджень із замірами товщини елементів. Всі види випробувань виконувались згідно з «Нормами...» [11] та «Програмою і методикою...» [15].

Статичні випробування на міцність виконувались з метою визначення напружень в елементах вагонів від власної ваги конструкції та ваги пасажирів. Вертикальне статичне навантаження на елементи кузова вагона від ваги пасажирів здійснювалося за допомогою працівників депо, які рівномірно розподілялися по вагону, а від власної ваги конструкції – при визначенні сумарних напружень шляхом введення коефіцієнта, який враховує масу кузова, масу води, вугілля та інше. При виконанні статичних випробувань здійснювалася реєстрація показань приладів, а цикли навантаження-розвантаження повторювалися за умови стабільності показань датчиків.

Ударні випробування на міцність виконувались з метою оцінки напруженого стану елементів конструкції вагона від дії детермінованих поздовжніх сил в діапазоні

0,5 МН–2,5 МН [11, 15]. При цьому реєструвалися значення напружень в елементах конструкції вагона та значення зусиль співудару.

Ударні ресурсні випробування виконувались з метою розрахунку напрацювання несучих елементів кузова вагона на ударну витривалість від дії поздовжніх зусиль. Співудари вагонів відбувались шляхом накочування вагона-бойка з допомогою локомотива на випробувальний вагон, який знаходився в голові підпірної стінки. Випробування виконувались зі швидкостями від 3 до 13 км/год [11, 15] з поступовим ступінчастим підвищенням швидкості співудару з кроком 1–2 км/год. Співудари здійснювались серіями, що відповідають одному року експлуатації. Умовою завершення випробувань було одержання повного об'єму експериментальних даних або порушення цілісності несучої конструкції вагона, яке загрожувало б безпеці подальшого виконання випробувань. В процесі випробувань визначалось зусилля співудару та вибірково напруження в окремих елементах конструкції (при зусиллях співудару більше 2 МН).

Всі види випробувань виконувались на території вагонного депо. Для цього після усунення пошкоджень кузовів вагонів, які виявило технічне діагностування, на вагони були наклеєні тензометричні датчики для визначення напружень, а серійні автозчіпки були замінені на тензометричні для визначення зусиль співударів.

За отриманими результатами математичного опрацювання реєстрованих процесів (напруження в елементах конструкції та зусилля співудару) в кожному виді випробувань визначалось таке:

– за результатами статичних випробувань визначались напруження в елементах конструкції від ваги пасажирів та власної ваги кузова;

– на підставі результатів ударних випробувань на міцність будувались графіки залежності зусиль співудару від швидкості (рис. 1), напружень в елементах вагона від зусиль співудару (рис. 2), знаходились напруження в окремих елементах кузова та виконувалася оцінка напруженого стану конструкції за I розрахунковим режимом [11].

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Результати

Стан конструкції кузовів вагонів ЦМК після 30 і 33 років служби мало відрізнявся та є типовим для вагонів, що експлуатуються 30–33 роки. Локальні зменшення товщини основних несучих елементів (шкворнева, проміжні поперечні балки та кінцева частина рами за винятком розкосів) внаслідок корозії не перевищувало 10 %, були відсутні тріщини, деформації, обриви стійок та інше. Найбільші локальні корозійні пошкодження відмічені в розкосах консольної частини рами (біля 20 %).

Стан конструкції кузовів вагонів ЦМО після 29 і 33 років служби хоча в цілому гірший, але є типовим для цього класу вагонів, що експлуатуються 29–33 роки. Зменшення товщини шкворневої балки внаслідок локальної корозії досягало: 30 % для вагона 29 років служби та 35 % для вагона 33 років служби. Найбільші локальні корозійні пошкодження у нижній обв'язці зафіксовані в вагоні після 29 років служби – 33 %, зменшення товщини у хребтовій балці є приблизно однаковим для обох вагонів – до 24 %. Наявні деформації та корозійні пошкодження Z-та нижньої обв'язки обох вагонів, поодинокі обриви стійок, пошкодження місць з'єднання хребтової і шкворневої балок. Зазначені пошкодження можуть бути усунені при плановому ремонті відповідно до інструкцій ЦЛ-0026 [4], ЦЛ-0036 [14], ЦЛ-0041 [2] – тому всі вище перелічені вагони були прийняті до випробувань.

Статичні та ударні на міцність випробування показали:

- загальний рівень статичних напружень від маси пасажирів з багажем є незначним. При цьому напруження в елементах кузова вагонів купейного типу не перевищували 10,4 МПа. В вагонах відкритого типу максимальні напруження зафіксовані в хребтовій (20 МПа), поперечній середній (23,8 МПа) балках рами та нижній обв'язці бокової стіни (30,3 МПа);

- отримані після математичної обробки результати співударів вагонів на міцність дозволили отримати значення та залежність напружень в елементах конструкції і швидкості набігання бойка від сили співудару (рис. 2).

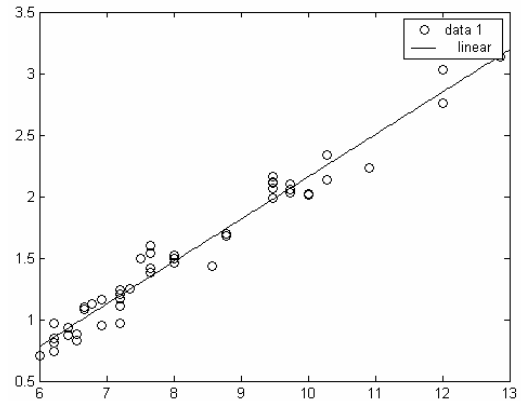


Рис. 1. Графік залежності зусиль співудару (по вертикалі в МПа) від швидкості накочування вагона-бойка (по горизонталі в км/год)

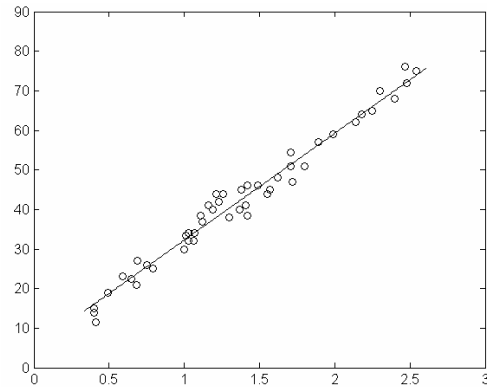


Рис. 2. Залежність напружень (по вертикалі в МПа) в шкворневій балці від сили співудару (по горизонталі в МН)

З графіків випливає чітка лінійна залежність параметрів. Така залежність напружень від сили співудару характерна для елементів конструкції всіх випробуваних вагонів:

- у вагонах купейного типу 1980 та 1983 років побудови навантаження від співудару сприймається хребтовою балкою консольної частини (105 МПа) та шкворневою балкою (118 МПа), а також нижньою частиною панелі бокової стіни (230 МПа). В інших елементах кузова рівень напружень при співударі значно нижчий. Найбільші сумарні напруження в елементах конструкції відмічені в хребтовій балці консольної частини (130 МПа), шкворневій балці (152 МПа), нижній обв'язці (208 МПа) та поперечній балці (158 МПа). В цілому сумарні напруження не перевищують допустимі, які для

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

сталі 09Г2 класу міцності 295 складають 305 МПа. Напружений стан кузовів вагонів купейного типу після 30 та 33 років експлуатації не має суттєвих відмінностей;

– в вагонах відкритого типу 1980 та 1984 років побудови навантаження від співудару сприймається хребтовою балкою (187 МПа), шкворневою балкою (164 МПа) та нижньою обв'язкою бокової стіни (228 МПа). В інших елементах конструкції рівень напружень при співударі значно нижчий. Найбільші сумарні напруження в елементах конструкції відмічені в хребтовій балці (127 МПа), шкворневій балці (164 МПа), поперечній балці (214 МПа) та нижній обв'язці (156 МПа). Слід відзначити, що рівень напружень в окремих елементах вагона 1984 року побудови на 20 % нижчий, ніж у вагона 1980 року. В цілому для обох вагонів значення сумарних напружень не перевищують допустимих.

За результатами ударних ресурсних випробувань весь діапазон поздовжніх сил розподілявся на інтервали й для кожного з них виконувалася розрахунок напрацювання на ударну витривалість, а потім – загальне напрацювання для кожного вагона. На рис. 3 наведений приклад розподілу кількості співударів в кожному діапазоні зусиль (МН) для купейних вагонів.

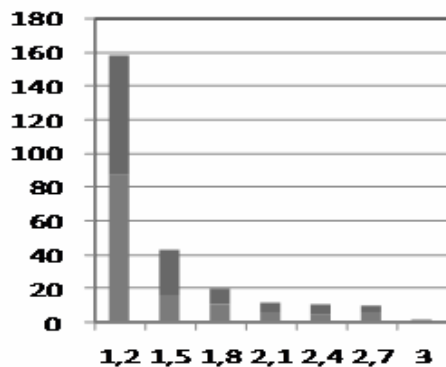


Рис. 3. Кількість співударів (по вертикалі) в діапазонах зусиль (по горизонталі, МН)

На рисунку більш світлим тоном зображена кількість зусиль, одержаних вагоном в стінці, темним – як бойок. Найбільша кількість співударів – 202 зафіксована в діапазоні експлуатаційних навантажень (0,5–1,5 МН). Всього кожен вагон одержав 257 співударів від 0,5 до 2,94 МН.

Ударні ресурсні випробування виявили:

– вагони купейного типу внаслідок випробувань пошкоджень не зазнали;

– вагони відкритого типу 1980 та 1984 років побудови після виконання випробувань мали загальні для обох вагонів пошкодження: деформація Z-та нижньої обв'язки (рис. 4), тріщини та обриви вертикальних стійок від нижньої обв'язки, тріщини в місті зварювання нижнього листа шкворневої балки. Крім того, в вагоні 1980 року побудови зафіксована тріщина в місті з'єднання шкворневої та хребтової балок (рис. 5);



Рис. 4. Деформація нижньої обв'язки на довжині 2 500 мм з некотлового боку, вигин 20 мм



Рис. 5. Тріщина по зварювальному шву у місці з'єднання нижнього листа шкворневої балки з хребтовою

– всі вагони пройшли ресурсні випробування без ушкоджень, які б перешкождали виконанню випробувань і не могли бути усунені під час чергового деповського або капітального ремонту;

– всі вагони мали напрацювання на ресурс, яке дозволяє продовжити термін їх корисної експлуатації на наступні 5 років.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Результати експериментальних випробувань добре корелюються з результатами теоретичних досліджень [3]. В обох випадках конструкція вагона купейного типу має більший запас міцності, ніж вагона відкритого типу.

Наукова новизна та практична значимість

На підставі результатів виконаних статичних і ударних на міцність випробувань доведено, що пасажирські вагони після 28–30 та 33–35 років експлуатації відповідають вимогам нормативних документів з умов міцності та безпеки руху. Виконані ресурсні випробування виявили, що з умов ударної витривалості термін служби вагонів може бути продовжений на наступні 5 років. Результати роботи можуть бути використані при продовженні терміну служби вище вказаних вагонів. Виконані дослідження дозволили обґрунтувати можливість без додаткових заходів продовжити експлуатацію пасажирських вагонів після 28–30 та 33–35 років в кількості 1 766 одиниць.

Висновки

На підставі виконаних досліджень визначено, що пасажирські вагони купейного та відкритого типу побудови не пізніше 1989 року з характерним рівнем корозійних пошкоджень мають напрацювання на ресурс, достатній для їх подальшої експлуатації впродовж наступних 5 років. Після вичерпання цього терміну рекомендується виконання ресурсних випробувань для оцінки залишкового ресурсу, який залежатиме від умов експлуатації та загального стану вагонів.

Для вагонів відкритого типу після 28 років експлуатації під час виконання планових видів ремонту особливу увагу необхідно звертати на стан нижньої обв'язки та стійок. У разі підозри на обрив стійок та нижньої обв'язки (візуально просідання бокової стіни) виконувати обстеження з розкриттям зовнішньої обшивки та виконанням відповідних ремонтних робіт. А при КР-1 бажано здійснювати ці заходи в обов'язковому порядку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Божок, Н. О. Дослідження сучасного стану пасажирських вагонів / Н. О. Божок, Ю. В. Булгакова, А. Л. Пуларія // Проблеми економіки транспорту : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 8. – С. 78–87.
2. Вагони пасажирські суцільнометалеві. Правила капітального ремонту (КР-1) : ЦЛ–0041. – Київ : Поліграфсервіс, 2004. – 24 с.
3. Дослідження граничного стану пасажирських вагонів / О. А. Шикунів, О. Г. Рейдемейстер, В. Г. Анофрієв [та ін.] // Вагонний парк. – 2012. – № 12. – С. 4–6
4. Інструкція по зварюванню та наплавленню при ремонті пасажирських вагонів : ЦЛ–0026. – Київ : Поліграфсервіс, 2001. – 411 с.
5. Лобойко, Л. М. Стан вагонного парку та вагоноремонтної бази в Україні / Л. М. Лобойко, Ю. С. Бараш // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 126–132.
6. Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження : ЦЛ–0070. – Київ : Нескінчене джерело, 2008. – 60 с.
7. Мямлин, С. В. Диагностирование подвижного состава с целью продления срока службы / С. В. Мямлин, В. Г. Анофрієв, А. Л. Пуларія // Проблемы и перспективы развития ж.-д. трансп. : тез. LXVI Междунар. науч.-практ. конф. (11.05–12.05 2006) / Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2006. – С. 108–109.
8. Мямлин, С. В. Научные методы оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава / С. В. Мямлин, В. Л. Горобец // Вісн. сертифікації залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2011. – № 8. – С. 12–17.
9. Мямлин, С. В. Проблемы технического диагностирования пассажирских вагонов / С. В. Мямлин, А. Л. Пуларія // Развитие научной школы трансп. механики : тезисы доп. Міжнар. наук.-техн. конф. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – С. 65–67.
10. Натурные испытания подвижного состава – гарантия безопасности движения поездов / Е. П. Блохин, А. Н. Пшинько, М. Л. Коротенко, С. В. Мямлин // Безопасность движения поездов : тр. 11^й науч.-практ. конф. (21.10.–22.10.2010). – Москва, 2010. – С. 1–2.
11. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1 520 мм (несамо-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- ходных). – Москва : ГосНИИВ : ВНИИЖТ, 1996. – 354 с.
12. Особенности технического диагностирования подвижного состава / С. В. Мямлин, В. Г. Анофриев, А. Л. Пулария [и др.] // Сучасні проблеми та ефективні шляхи ремонту і відновлення залізн. рухомого складу : пр. 1 Міжнар. наук. конф. / ДП «ПВІТБ «Київ-дїпротранс». – Київ, 2006. – С. 16–17.
 13. Правила виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку : ЦЛ–0069. – Київ : Нескінчене джерело, 2008. – 40 с.
 14. Правила деповського ремонту (ДР). Вагони пасажирські суцільнометалеві : ЦЛ–0036. – Київ : Поліграфсервіс, 2003 – 20 с.
 15. Програма і методика проведення ударних ресурсних випробувань пасажирських вагонів, що виступили призначений термін служби : узгодж. ЦЛ, ЦРБ, ЦТех Укрзалізниці та УкрНДІВ : ПМ 01-13/ВЛВ. – Дніпропетровськ, 2013. – 16 с.
 16. РД 24.050.37–95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – Москва : ВНИИЖТ, 1995. – 101 с.
 17. Третьяков, А. В. Техническое диагностирование и установление ресурса срока службы пассажирских вагонов / А. В. Третьяков, Д. А. Харакиров // (название конференции) : тезисы конф. / Петерб. гос. ун-т путей сообщения. – Санкт-Петербург, 1997. – С. 1–2.
 18. Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models / C. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, S. E. Bozdog [et al.] // Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012) / Karabük University. – Istanbul, 2012. – P. 579–586.
 19. Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness / C. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, E. Bozdog [et al.] // Intern. J. of Crashworthiness. – London, 2011. – Vol. 16. – Iss. 3. – P. 319–329. doi: 10.1080/13588265.2011.566475.

С. В. МЯМЛИН¹, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР², А. Л. ПУЛАРИЯ³, В. А. КАЛАШНИК^{4*}

¹Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 84 98, эл. почта sergeyuyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

²Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

³Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта pularija@mail.ru, ORCID 0000-0003-1144-4179

^{4*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА ПОЛЕЗНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Цель. Пассажирский вагонный парк Укрзалізниці в подавляющем большинстве имеет вагоны со сверхнормированным сроком службы. В связи с этим возникает необходимость поиска методов обоснования продолжения полезной эксплуатации пассажирских вагонов и оценки соответствия остаточного ресурса конструкции кузовов вагонов эксплуатационным нагрузкам в течение следующего срока использования. **Методика.** При отборе вагонов выполнялось техническое диагностирование их состояния с целью выявления уровня коррозионных и механических повреждений. На следующих этапах выполнялось исследование прочности несущих конструкций кузовов вагонов на основе экспериментальных статических и ударных испытаний на прочность, ресурсных испытаний на действие продольных сил. Выполнялась оценка и прогнозирование соответствия ресурса кузовов вагонов на следующий период. **Результаты.** Обследования вагонов до испытаний показало, что техническое состояние купейных вагонов ЦМК лучше, чем вагонов открытого типа ЦМО. Так, в вагонах ЦМК уменьшение толщины основных несущих элементов вследствие коррозии не превышало 10 %, отсутствовали трещины, деформации, обрывы стоек и прочее. В то же время в вагонах ЦМО уменьшение толщины вследствие локальной коррозии достигало 35 %. Имеются деформации и коррозионные повреждения Z и нижней обвязки обоих вагонов, единичные обрывы стоек, повреждения

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

мест соединения хребтовой и шкворневой балок. Проведенные статические и ударные испытания с последующей оценкой прочности элементов конструкции вагонов показали, что прочность последних обеспечивается согласно нормативных документов и такие вагоны не несут угрозы безопасности движения. Ударные ресурсные испытания показали, что все вагоны прошли их без повреждений. Данные повреждения могли бы препятствовать проведению испытаний и не могли быть устранены при проведении очередного депоовского или капитального ремонта и имели наработки на ресурс, которые позволяют продлить срок их полезной эксплуатации на следующий период. **Научная новизна.** Результаты проведенных экспериментальных исследований доказывают, что пассажирские вагоны после 28–30 и 33–35 лет эксплуатации отвечают условиям прочности и безопасности движения в соответствии с нормативной документацией и позволяют при условиях ударной выносливости обоснованно продлевать срок службы вагонов. **Практическая значимость.** Часть вагонного парка, которая должна списываться по сроку эксплуатации, без дополнительных мероприятий может продолжить свой срок службы благодаря разработанным рекомендациям.

Ключевые слова: пассажирский вагон; срок эксплуатации; прочность конструкции; соответствие; статические испытания; ударные испытания; наработка на ресурс

S. V. MYAMLIN¹, O. H. REIDEMEISTER², A. L. PULARIJA³, V. O. KALASHNYK⁴

¹Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 84 98, e-mail sergeymyamin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

²Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

³Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail pularija@mail.ru, ORCID 0000-0003-1144-4179

⁴Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR EXTENDING THE USEFUL LIFE OF PASSENGER CARS

Purpose. The vast majority of passenger car fleet of «Ukrzaliznytsia» has cars with outlasted service life. In this regard there is a need to find methods to justify the extending useful life of passenger cars and to assess the car body frame residual life conformity to the operating load for the next life time. **Methodology.** The selection of cars enforced technical diagnostics of cars to detect the level of corrosion and mechanical damage. The following steps provided the car body frame strength analysis on the basis of experimental static and impact strength tests, the longitudinal force effect endurance tests as well as assessment and forecasting of conformity of car body operating life for the next period. **Findings.** The car survey before testing showed that the technical condition of sleeper cars (SSC) is better than that of open-type cars (SOC). So, in SSC cars the thinning of the main load-bearing elements due to corrosion does not exceed 10%, there are no cracks, deformations, rack breakages, etc. At the same time in SOC cars the thinning due to local corrosion reached 35%. There are deformations and corrosion damage of side sill Z-shape of both cars, single corner post breakages, damage to the joints of longitudinal tie rod and span bolsters. The conducted static and impact strength tests with following strength assessment of the car structural members showed that the strength of the latter is provided according to the normative documents, and these cars pose no threat to traffic safety. The impact endurance tests showed that all the cars passed the endurance tests without damage, which would prevent from testing and could not be removed during the next depot repair or overhaul, and had life length that allows them to extend the useful life for the next period. **Originality.** The results of experimental studies show that passenger cars after 28 ... 30 and 33... 35 years of operation meet the requirements of strength and safety in accordance with regulatory documents and allow, provided the impact endurance, reasonable extending of the car service life. **Practical value.** The part of the car fleet, which was to be written off based on the service life, may extend lifespan without additional measures.

Keywords: passenger car; life; strength of construction; compliance; static test; shock test; developments on the resource

REFERENCES

1. Bozhok N.O., Bulhakova Yu.V., Pulariia A.L. Doslidzhennia suchasnoho stanu pasazhyrskykh vahony. [Research of contemporary state of passenger cars]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika Lazariana. Problemy ekonomiky transportu* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Problems of transport economy], 2014, issue 8, pp. 78-87.
2. *Vahony pasazhyrski sutsilnometalevi. Pravyly kapitalnoho remontu (KR- : TsL–0041* [The all-metal passenger cars. The rules of overhaul (KR-1): TsL–0041]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2004. 24 p.
3. Shykunov O.A., Reidemeister O.H., Anofriiev V.H. Doslidzhennia hranychnoho stanu pasazhyrskykh vahoniv [Study of ultimate limit state passenger cars]. *Vagonnyy park – Car Fleet*, 2012, no. 12, pp. 4-6
4. *Instruktsiia po zvariuvanniu ta naplavlenniu pry remonti pasazhyrskykh vahoniv: TsL–0026* [Instructions for welding and weld repair of passenger cars: TsL–0026]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2001. 411 p.
5. Loboiko L.M., Barash Yu.S. Stan vahonnoho parku ta vahonoremontnoi bazy v Ukraini [The condition of rolling stock and repair base in Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 126-132.
6. Metodyka tekhnichnoho diahnostuvannia pasazhyrskykh vahoniv, shcho vysluzhyly pryznachenyi termin, z metoiu yoho prodovzhennia: TsL–0070 [The procedure of technical diagnostics of passenger cars, that had expired the appointed time, with a view to its continuation: TsL–0070.]. Kyiv, Neskinchenne dzherelo Publ., 2008. 60 p.
7. Myamlin S.V., Anofriiev V.G., Pulariya A.L. Diagnostirovaniye podvizhnogo sostava s tselyu prodleniya sroka sluzhby [Diagnosing of rolling stock for the purpose of extending the services time]. *Tezisy LXVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. «Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta (11.05–12.05 2006)»* [Proc. of the LXVI Intern. Sci. and Practical Conf. «Problems and prospects of railway transport development (11.05–12.05 2006)»], 2006, pp. 108-109.
8. Myamlin S.V., Gorobets V.L. Nauchnyye metody otsenki resursa nesushchikh konstruktsey podvizhnogo sostava [Scientific methods of resource assessment of load-bearing structures of the rolling stock]. *Visnyk ser-tifikatsii zaliznychnoho transportu* [Bulletin of the Certification of Railway Transport], 2011, no. 8, pp. 12-17.
9. Myamlin S.V., Pulariya A.L. Problemy tekhnicheskogo diagnostirovaniya passazhirskikh vagonov [Problems of technical diagnostics of passenger cars]. *Tezy dopovidei Mizhnarodnoi naukovy-tekhnichnoi konferentsii. «Rozvytok naukovoї shkoly transportnoi mekhaniky»* [Proc. of the Intern. Sci. and Technical Conf. «The development of the scientific school of transport mechanics»], 2013, pp. 65-67.
10. Blokhin Ye.P., Pshinko A.N., Korotenko M.L., Myamlin S.V. Naturnyye ispytaniya podvizhnogo sostava – garantiya bezopasnosti dvizheniya poyezdov [Full-scale tests of rolling stock – the safe movement of trains]. *Trudy 11y nauchno-prakticheskoy konferentsii «Bezopasnost dvizheniya poyezdov (21.10.–22.10.2010)»* [Proc. of the 11th Intern. Sci. and Practical Conf. «The safety of train movement (21.10.–22.10.2010)»]. Moscow, 2010, pp. 1-2.
11. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Norms for calculation and design of cars of Ministry of Railways of 1520 mm track (dumb)]. Moscow, GosNIIV, VNIIZhT Publ., 1996. 354 p.
12. Myamlin S.V., Anofriiev V.G., Pulariya A.L. Osobennosti tekhnicheskogo diagnostirovaniya podvizhnogo sostava [Features of technical diagnostics of rolling stock]. *Pratsi 1 Mizhnarodnoi naukovy konferentsii. «Suchasni problemy ta efektyvni shliakhy remontu i vidnovlennia zaliznychnoho rukhomoho skladu»* [Proc. of the 1st Intern. Sci. Conf. «Contemporary issues and effective ways of repair and restoration of railway rolling stock»]. Kyiv, 2006, pp. 16-17.
13. *Pravyly vykliuchennia pasazhyrskykh vahoniv iz inventarnoho parku : TsL–0069* [The rules of exclude the passenger cars from the inventory Park : TsL–0069]. Kyiv, Neskinchenne dzherelo Publ., 2008. 40 p.
14. *Pravyly depovskoho remontu (DR). Vahony pasazhyrski sutsilnometalevi: TsL–0036* [Rules depot repair (DR). The all-metal passenger cars: TsL–0036]. Kyiv, Poligrafservis Publ., 2003. 20 p.
15. Prohrama i metodyka provedennia udarnykh resursnykh vyprobuvan pasazhyrskykh vahoniv, shcho vysluzhyly pryznachenyi termin sluzhby [Program and methodology for impact endurance testing of passenger cars, which had expired specified lifetime]. Dnipropetrovsk, 2013. 16 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

16. RD 24.050.37–95. *Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost i khodovyye kachestva* [RD 24.050.37–95. Freight and passenger cars. Test methods for durability and performance]. Moscow, VNIIZhT Publ., 1995. 101 p.
17. Tretyakov A. V., Kharakterov D. A. *Tekhnicheskoye diagnostirovaniye i ustanovleniye resursa sroka sluzhby passazhirskikh vagonov* [Technical diagnostics and the establishment of resource of passenger cars life]. *Tezisy konferentsii: «Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty»* [Proc. of the Conf. «Rolling stock of XXIst century: ideas, requirements, projects»]. Saint-Petersburg, 1997, pp. 1-2.
18. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog S.E. Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. *Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012)*. Istanbul, 2012, pp. 579-586.
19. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog E., Aruk F., Toprak T., Mugan A. Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. *Intern. Journal of Crashworthiness*. London, 2011. vol. 16, issue 3, pp. 319-329. doi: 10.1080/13588265.2011.566475.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., головн. наук. співробітником В. Л. Горобцем (Україна); заст. нач. служби пасажир. перевезень Ф. В. Мамедовим (Україна).

Надійшла до редакції: 14.09.2015

Прийнято до друку: 13.11.2015