

МІНІСТЕРСТВО ПРОМИСЛОВОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
“УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ВАГОНБУДУВАННЯ”

Збірник наукових праць
РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ
СКЛАД

Випуск 10

Кременчук 2014

УДК 656:62

Збірник наукових праць "Рейковий рухомий склад"/Державне підприємство "Український науково-дослідний інститут вагонобудування" Міністерства промислової політики України. - Вип.10. - Кременчук: Вид-во ДП "УкрНДІВ", 2014. - 110 с.

Збірник містить статті, присвячені теоретичним, методологічним та прикладним проблемам галузі залізничного транспорту. У статтях збірника розглядаються питання щодо конструкцій рухомого складу залізниць, технології та організації транспортних процесів, математичного моделювання об'єктів залізничного транспорту, екологічної безпеки на транспорті, економіки транспортного машинобудування.

Для науковців, дослідників, конструкторів та інженерно-технічних працівників транспорту та зв'язку.

ISSN 2304-6309

Редакційна колегія:

Донченко А.В., кандидат технічних наук, ст. науковий співробітник, академік Транспортної Академії України та Міжнародної академії наук житлово-комунального та побутового господарства (головний редактор);

Кельрих М.Б., доктор техн. наук, професор, академік Транспортної Академії України;

Водяніков Ю.Я., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник;

Олецак В.С., кандидат технічних наук;

Речкалов С.Д., кандидат технічних наук;

Сафронов О.М., кандидат технічних наук;

Хозя П.О., кандидат технічних наук;

Ольгард Л.Ш.;

Ільчишин В.В.;

Бокач М.В., відповідальний секретар;

Донченко Д.А., відповідальний редактор, комп'ютерна верстка.

Збірник наукових праць зареєстрований в Державній реєстраційній службі України
Свідчення про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
серії КВ № 19098-7888Р, дата реєстрації 08.06.2012 р.

Статті збірника рецензували члени Редакційної колегії та Експертної комісії по розгляду результатів інтелектуальної і творчої діяльності ДП "УкрНДІВ".

Друкуються мовою оригінала.

Рекомендовано до друку Редакційною колегією (протокол № 8 від 20.05.2014 р.) та Науково-технічною радою ДП "УкрНДІВ" (протокол № 4 від 05.06.2014 р.).

Засновник і видавець - Державне підприємство "Український науково-дослідний інститут вагонобудування"

E-mail: office@ukrndiv.com.ua

www.ukrndiv.com.ua

ЗМІСТ

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Вступ.....	4
<i>О.П. Ткаченко, А.В. Донченко, Т.В. Шелейко</i> Засідання МТК 524 в рамках міжнародного форуму «День міждержавних стандартів, що застосовуються на залізничному транспорті держав-учасниць СНД».....	5
<i>С.В. Лутонин, О.А. Шкабров, Е.Р. Можейко</i> Высокоэффективный подвижной состав.....	11
<i>В.И. Ткачев, Ю. Я. Водяников, Д.А. Шамшей, В.С. Речкалов</i> Математическая модель для оценки динамической нагруженности пассажирского вагона при случайных возмущениях со стороны рельсового пути на колесные пары тележек.....	20
<i>С.А. Чебуров</i> Оцінка технології контролю якості рам бокових (кресленик 100.00.002-4) виробництва ПАТ «КСЗ».....	29
<i>Ю.В. Єжов, М.Д. Черкаський, О.І. Войтенко</i> Продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів локомотивної тяги як реальний шлях підтримання необхідної кількості вагонів експлуатаційного парку Укрзалізниці у складних економічних умовах.....	49
<i>Ю.В. Єжов, С.І. Щербаков, О.І. Войтенко</i> Технічне діагностування пасажирських вагонів локомотивної тяги, що виступили призначений термін, як метод обґрунтованого продовження їх експлуатації.....	53
<i>Ю.В. Єжов, В.О. Шушмарченко, А.А. Швець</i> Обґрунтування можливості продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів, що виступили призначений термін.....	58
<i>Ю.В. Єжов, Ю.С. Павленко</i> Шляхи вирішення проблемних питань продовження терміну служби пасажирських вагонів локомотивної тяги за результатами їх технічного діагностування.....	62
<i>О.М. Білецький, Ю.М. Дзюба, В.Д. Стражник</i> До питання експлуатаційних характеристик колісних пар візків моделей 68-7007/7012.....	65
<i>В.О. Ветчинкін, Г.С. Ігнатов, С.Д. Речкалов, С.В. Шмаков</i> Дослідження роботи примусової вентиляції вагонів метрополітену в умовах руху поїзда в тунелі.....	70
<i>А.В. Гречко, Ю.Я. Водяников, Л.С. Ольгард, Д.А. Донченко</i> Тормозные системы пассажирских вагонов. Исследования, анализ и оценка тормозной эффективности.....	74
<i>И.И. Федорак, Ю.Я. Водяников, О.А. Федорак</i> К вопросу о валидации методик испытаний единиц подвижного состава железных дорог.....	94
<i>Д.В. Федосов-Никонов, И.И. Федорак, Ю.Я. Водяников, А.Н. Стринжа</i> Оценка остаточного ресурса единиц подвижного состава	99

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Шановні колеги та читачі!

Ви тримаєте в руках 10 (десятий) ювілейний випуск Збірника наукових праць «Рейковий рухомий склад», який видається Державним підприємством «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (далі - ДП «УкрНДІВ») з 2009 року.

Видання містить статті, присвячені теоретичним, методологічним та прикладним проблемам в галузі залізничного транспорту. За цей час у Збірнику опубліковано понад 100 статей, авторами яких є співробітники ДП «УкрНДІВ», Публічного акціонерного товариства «Крюківський вагонобудівний завод» (далі – ПАТ «КВБЗ»), Публічного акціонерного товариства «Дніпровагонмаш», Української державної академії залізничного транспорту, Комунального підприємства «Київський метрополітен», Комунального підприємства «Харківський метрополітен», Товариства з обмеженою відповідальністю «ВАГО-РЕВ» та ін.

Серед актуальних тем, які освітлювались в попередніх випусках Збірника, слід відмітити наступні публікації: стратегія розвитку транспортного машинобудування для залізниць України, ДП «УкрНДІВ» - півстоліття досвіду в галузі гальмобудування, аналіз причин пошкоджень елементів рами візка вагона метрополітену, комфортність пасажирських перевезень у вагонах ПАТ «КВБЗ», експериментальні дослідження пожежної небезпеки внутрішнього обладнання пасажирських вагонів, проблеми викладення національних нормативних документів, автоматизація розрахунку невизначеності вимірювань характеристик гальмівної ефективності вагонів та ін.

Редакційна колегія ДП «УкрНДІВ» постійно прагне, щоб це видання було насичене корисною інформацією стосовно розвитку конструкцій рухомого складу залізниць, наукових досліджень в галузі транспортного машинобудування, технології та організації транспортних процесів, математичного моделювання об'єктів залізничного транспорту, а також екологічної і пожежної безпеки на транспорті.

Редакційна колегія ДП «УкрНДІВ» запрошує науковців, дослідників, конструкторів та інженерно-технічних працівників в галузі транспортного машинобудування для залізничного транспорту приймати активну участь у підготовці наступних випусків Збірника наукових праць «Рейковий рухомий склад».

Наша мета полягає в тому, щоб Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад» став Вашим постійним помічником. Сподіваємося, що наше видання приносить Вам користь.

З повагою,
Редакційна колегія ДП «УкрНДІВ».

УДК 061.3(470-25) : 006.[05+06]

О.П. Ткаченко, А.В. Донченко, Т.В. Шелейко

**ЗАСІДАННЯ МТК 524 В РАМКАХ МІЖНАРОДНОГО ФОРУМУ «ДЕНЬ
МІЖДЕРЖАВНИХ СТАНДАРТІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ НА
ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ ДЕРЖАВ-УЧАСНИЦЬ СНД»**

27 лютого 2014 року у Москві у Центрі науково-технічної інформації та бібліотек в рамках Міжнародного форуму «День міждержавних стандартів, що застосовуються на залізничному транспорті держав-учасниць СНД» відбулося засідання Міждержавного технічного комітету зі стандартизації № 524 (МТК 524 «Железнодорожный транспорт»). Мета – підведення підсумків роботи МТК 524 у 2013 році та її планування на 2014 рік.

На засіданні були присутні представники профільних організацій та відомств влади держав СНД, Федеральних органів виконавчої влади РФ, члени МТК 524, російських національних технічних комітетів зі стандартизації (ТК), а також представники міждержавних і російських національних підкомітетів зі стандартизації (МПК і ПК), інші запрошені гості. Вів засідання Голова МТК 524 – старший віцепрезидент ВАТ «РЖД» В.А. Гапанович.

На початку засідання з привітанням до усіх присутніх звернувся президент ВАТ «РЖД» В.І. Якунін та нагадав, що МТК 524 як робочий орган Міждержавної ради зі стандартизації, метрології та сертифікації (МГС) держав-учасниць Угоди щодо проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології і сертифікації був створений на добровільній основі у листопаді 2010 року рішенням 38-го засідання МГС для організації і проведення міждержавної стандартизації в галузі залізничного транспорту. На сьогоднішній день його пріоритетами залишаються: збереження простору 1520 і розвиток міждержавного співробітництва шляхом формування єдиної нормативної і технічної бази. На сьогодні майже завершено генерування нових підходів (обов'язкових вимог) до об'єктів технічного регулювання – Технічних регламентів. В доповіді було наголошено, що підвищення ефективності міждержавної стандартизації вбачається у застосуванні єдиних норм і процесів перевезення на просторі СНД, залученні нових передових технологій (ноу-хау) та нових суб'єктів господарської діяльності – поставщиків, спонсорів тощо.

Зі звітом про роботу МТК 524 за 2013 рік виступив Голова МТК 524 – старший віцепрезидент ВАТ «РЖД» В.О. Гапанович. У доповіді було зазначено, що основним об'ємом роботи МТК 524 у 2013 р., як і у попередні роки, залишається підготовка необхідної кількості нормативних документів для підтвердження вимог технічних регламентів (ТР) Митного Союзу (МС), ЄврАзЕС і «Простору 1520» – стандартів і зводів правил, які встановлюють консолідовані вимоги до об'єктів інфраструктури і рухомого складу, регламентують вимоги до рухомого складу і його складових частин, а також таких, що встановлюють вимоги до залізничної інфра-

© *О.П. Ткаченко, А.В. Донченко, Т.В. Шелейко, 2014*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

структури. Для реалізації обов'язкових вимог ТР спочатку було визначено 300 документів зі стандартизації, з яких 284 стандарти і 16 зводів правил. Станом на 1 лютого 2014 року вже затверджено 174 стандарти і 3 зводи правил, передано на затвердження 47 і 3 відповідно, перебувають у процесі розробки – 63 і 10. Безпосередньо в 2013 році було розроблено і направлено на затвердження 51 проект стандарту. Крім того, підготовлено 32 ГОСТ на основі раніш затверджених ГОСТ Р. В доповіді була підкреслена відкритість процедури розробки проектів документів, що заснована на врахуванні різних інтересів широкого кола учасників розробки стандартів. У 2013 році застосований принципово новий підхід до порядку розробки стандартів, що передбачає закріплення кураторів від профільних Дирекцій ВАТ «РЖД» вже на відправному (початковому) етапі життєвого циклу стандарту – формуванні технічного завдання, а також проведення щоденних засідань з розгляду питань зі стандартизації з залученням функціональних замовників, розробників, кураторів документів, що розробляються, та додаткове обговорювання проектів стандартів на засіданнях комітетів НП «ОПЖТ». Стосовно вимог до безпеки рухомого складу було окремо наголошено на різних підходах в оцінці вимог у стандартах країн СНД і Євросоюзу (ЄС), важливості забезпечення його функціональної і кібербезпеки систем керування (3-я стаття ТР), побудові багаторівневої структури систем безпеки.

Заступник керівника Федерального агентства з технічного регулювання і метрології Росстандарту О.В. Зажигалкін у своїй доповіді визначив МТК 524 як зразок для наслідування у сфері стандартизації. Було зазначено, що Рада ЄС вже заявила, хоча ще немає офіційного документу, про своє бажання прийняти за основу цілу низку стандартів (комплект ГОСТ) для впровадження їх на просторі країн ЄС. Важливо надати цій роботі ще більшої динаміки, застосувавши голосування і формування плану робіт лише представниками країн-активних членів МТК 524, поєднавши зусилля експертів і координаторів робіт з розробниками стандартів.

Виступ В.Ю. Саламатова, генерального директора Центру міжнародної торгівлі, містив позитивну оцінку транспорту, що обслуговував сочинську олімпіаду 2014 року і з'єднував між собою головні вокзали Сочі та Адлера, аеропорт і довколишні міста і села, основне навантаження якого припало на швидкісні електропоїзди «Ласточка». Згідно з графіком руху приміських електропоїздів щодобово здійснювалось по 413 рейсів. ВАТ «РЖД» забезпечувало перевезення близько 7 тисяч пасажирів на годину. За фактом 6 лютого відправлено майже 104 тисячі пасажирів, 7 лютого, в день відкриття Олімпійських ігор, – майже 121 тисяча пасажирів, 8 лютого – майже 132 тисячі пасажирів, 9 лютого – майже 174 тисячі пасажирів. У день відкриття зі станції «Олімпійський парк» прибувало і відправлялось 198 приміських електропоїздів, що на 6 поїздів більше, ніж планувалось за графіком (192 поїзди). Найбільшу кількість пасажирів за весь період зимових Олімпійських ігор – 311 тисяч 625 осіб – приміські поїзди перевезли 18 лютого.

Про взаємодію систем технічного регулювання, стандартизації і забезпечення єдності вимірювань, про їх спільні та відмінні риси йшлося у доповіді заступника директора Департаменту державної політики в галузі технічного регулювання і забезпечення єдності вимірювань Міністерства промисловості і торгівлі РФ М.Ю. Новикова «Випереджаючий розвиток систем технічного регулювання, стандартизації і забезпечення єдності вимірювань як необхідна умова модернізації економіки». Окремо наголошувалося на взаємодії і підпорядкованості стандартів, що

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

визначають конкретні вимоги до об'єкта стандартизації, технічним регламентам, які встановлюють узагальнені вимоги до цього ж об'єкта. Констатувалося взаємне визнання результатів процедур оцінки відповідності в державах-членах Всесвітньої торгової організації (ВТО), навіть коли подібні процедури відрізняються, за умови, що держави засвідчують, що дані процедури забезпечують таку ж упевненість у відповідності застосовуваним технічним регламентам або стандартам, як і їх власні процедури. Результатом вироблення узгодженої політики держав-членів ТС у галузі забезпечення єдності вимірювань стала Угода щодо проведення узгодженої політики держав-членів ТС і Єдиного економічного простору у галузі забезпечення єдності вимірювань.

Схвально було зустрінуте повідомлення директора Департаменту технічного регулювання Національного об'єднання будівельників (НОСТРОЙ) С.В. Пугачова стосовно щойно створеного відповідним наказом Росстандарту № 1464 від 12 грудня 2013 року Технічного комітету зі стандартизації ТК 400 «Виробництво робіт у будівництві, типові технологічні, організаційні процеси». Доповідач особливо підкреслив, що у нового ТК 400 гарні перспективи та висловив надію, що напрацьований комплекс зі 156 стандартів НОСТРОЙ буде перенесений на національний рівень і стане основою національного нормування у цій галузі. Було також наголошено, що забезпечення якості і безпеки у галузі шляхового господарства стане головним пріоритетним напрямком в роботі цього ТК.

Провідною у виступі головного інженера Білоруської залізниці В.М. Шубадерова «Про підсумки роботи Білоруської залізниці у 2013 році і завдання на 2014 рік у галузі технічного нормування і стандартизації» стала тема взаємодії і співробітництва у галузі залізничних перевезень. Особливо підкреслювалася орієнтація Білорусі на вимоги міждержавних стандартів (ГОСТ) і безперспективність впровадження їх національних аналогів. Головним завданням при цьому вбачається усяляке сприяння введені в дію у цьому році технічних регламентів ТС.

Доповідь повноважного представника члена МТК 524 – Киргизької Республіки Б.К. Коногалієва була присвячена технічному регулюванню в ДП «НК «Кыргыз темир жолу». Доповідач наголосив, що залізнична галузь Киргизстану – швидкозростаючий ринок, виробничий і технічний потенціал якого стабільно збільшується останнім часом і забезпечує зайнятість понад 140 тисяч людей. Завдяки низці географічних особливостей – відсутність прямого виходу до моря і судноплавних річок, масштаби території, сировинна структура виробництва і розміщення продуктивних сил, нерозвиненість автотранспортної інфраструктури – залізничний транспорт відіграє винятково важливу роль в економіці країни. Саме тому технічне регулювання у цьому важливому секторі економіки країни є вкрай важливим. Однак, робота у напрямку впровадження міждержавних стандартів постійно наштовхується на недосконалість і нечіткість процедури їх розроблення і прийняття. Було наголошено на необхідності розробки Положення з проведення робіт з міждержавної стандартизації і чіткого прописування в ньому всіх етапів розроблення ГОСТ, починаючи від розробки й узгодження технічного завдання на створення стандарту і закінчуючи його розглядом й ухваленням відповідними МПК і МТК, затвердженням та впровадженням на міждержавному рівні.

У цьому його підтримав повноважний представник члена МТК 524 – Республіки Казахстан Т.А. Канатбаєв у своїй доповіді «Про роботу з питань стандарти-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

зації у 2013 році і заходах з удосконалення системи стандартизації». Окремо було зазначено про необхідність розробки вимог до організації робіт з оцінювання відповідності на базі ІСО/МЭК 17000:2004 «Оцінка відповідності. Словник та загальні принципи».

Заступник начальника Головного управління розвитку і технічної політики – начальник Управління метрології та технічного регулювання Державної адміністрації залізничного транспорту України О.П. Ткаченко у своєму виступі зауважив, що ТР ТС мають, на сьогодні, цілу низку неузгоджених питань та невідповідностей, не мають належного переліку підтримуючих стандартів та потребують повного перегляду. На думку експертів України покращити ситуацію може прийняття Угоди про проведення узгодженої політики держав-учасниць Співдружності в області технічного регулювання на залізничному транспорті. Прийняття цієї Угоди дозволить розширити повноваження Ради із залізничного транспорту, що значно полегшить питання внесення змін та доповнень у технічні регламенти залізничного транспорту. Це дуже важливо, тому що залізничний транспорт є однією із самих інноваційних галузей економіки кожної країни.

В цілому роботі МТК 524 було надано позитивну оцінку. Однак, було висловлено ряд зауважень по процедурі розгляду проектів стандартів та відсутністю єдиних термінів на проходження етапів експертизи.

Особливості роботи Комітету з технічного регулювання, стандартизації і оцінки відповідності Російського союзу промисловців і підприємців у 2013 році розкрив у своїй доповіді перший заступник його голови А.М. Лоцманов. Робота Комітету у 2013 році зосереджувалася, передусім, на підготовці нормативно-правових документів:

- участь у розробці технічних регламентів МС (експертами були підготовлені пропозиції і зауваження за 13 проектами, які проходили обговорення в 2013 році);
- участь у розробці проекту Федерального закону «Про акредитацію в національній системі акредитації» (спільна робота з Міністерством економічного розвитку і Федеральною службою з акредитації по формуванню нової національної системи акредитації);
- розробка проекту Федерального закону «Про стандартизацію в Російській Федерації» (участь в рамках робочої групи при Росстандарті);
- експертиза проектів нормативних правових документів (проведено обговорення 52 проектів документів, з них 22 – в рамках процедури оцінки регулюючого впливу, що проводиться Мінекономрозвитку, 3 – в рамках ОРР (озоноруйнівні речовини), що проводиться Євразійською економічною комісією);
- моніторинг застосування затверджених технічних регламентів та надання підприємствам консультацій щодо їх практичного використання.

Наголошено також про активне міжнародне співробітництво, в межах якого експертами Комітету спільно з представниками європейської промисловості проводиться робота з впровадження рекомендацій щодо зближення технічного законодавства Росії, Митного союзу та Європейського союзу. Рекомендації були підготовлені експертами Росії і ЄС ще у 2012 році в рамках робочої групи Круглого столу промисловців і доведені до керівництва ЄС, Євразійської економічної комісії та органів державної влади Росії.

Про міжнародний підхід в оцінці надійності і безпеки до систем залізничного транспорту йшлося в доповіді першого заступника генерального директора Науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту інформатизації, автоматизації та зв'язку на залізничному транспорті (ВАТ «НИИАС») Є.Н. Розенберга «Роз-

робка стандартів у рамках методології УРРАН». Система управління ризиками, ресурсами та аналіз надійності на всіх стадіях життєвого циклу (УРРАН) – масштабний спільний проект ВАТ «РЖД» і ВАТ «НИИАС», який не має світових аналогів. Впроваджена ВАТ «РЖД» система підтримки ухвалення рішень УРРАН, з одного боку, підтримує безпосередньо управління ризиками, а з іншого – дає змогу використовувати результати аналізу для ухвалення управлінських рішень. З її допомогою компанія вирішує такі завдання, як підвищення безпеки руху на залізничному транспорті, зниження ризику травматизму пішоходів на пішохідних переходах, що знаходяться на одному рівні з залізничними шляхами, підвищення експлуатаційної надійності та планування робіт з реконструкції та модернізації об'єктів інфраструктури.

Цікаві дані про результати випробувальних експериментів навів у своєму виступі виконуючий обов'язки заступника генерального директора ВАТ «ВНИИЖТ» О.М. Соколов, в якому йшлося про хід підготовки до розробки ГОСТ «Рама боковая и балка надрессорная тележек железнодорожных грузовых вагонов. Методы ресурсных испытаний». Для того, аби визначити динамічні сили, діючі на литих частинах візків різних моделей під час руху вагона в експлуатації, було придбано дороге випробувальне обладнання (стенд).

Про спільну розробку ВАТ «ВНИКТИ» і Казахської академії транспорту і комунікацій (КазАТК ім. М. Тынышпаева) розповів заступник головного конструктора ВАТ «ВНИКТИ» Г.І. Михайлов у своїй доповіді «Новий міждержавний стандарт «Колеса зубчатые тяговых передач тягового подвижного состава. Технические условия». Розроблений замість чинного на сьогодні ГОСТ 30803-2002, новий проект стандарту містить розширений діапазон застосовуваних матеріалів для виготовлення коліс і шестерень, уточнені показники зміцненого шару у разі цементації або зміцнення СВЧ (струмами високої частоти), нову градацію глибини зміцненого шару, відкориговану міцність зміцненого шару й основного металу, додаткові градації тягового рухомого складу відповідно до конструкційних швидкостей руху у 200 км/год і більше, контроль для оцінки відповідності тощо.

У перерві відбулася зустріч представника ДП «УкрНДІВ» Т.В. Шелейко з кураторами ГОСТ від профільних Дирекцій ВАТ «РЖД» – М.О. Кіндеевим, І.В. Король, С.А. Герасименком. Було порушено тему про відсутність чіткої процедури розробки міждержавних стандартів за участю МТК і МПК, завдяки чому на голосування потрапляють документи не в останній редакції. Якщо розуміти під голосуванням необхідність впровадження самого стандарту національним державним органом зі стандартизації взагалі, то стандарти, що встановлюють вимоги на міждержавному рівні, безумовно необхідні. Але ж не в такому вигляді, в якому вони потрапляють на голосування! Яскравим прикладом такої ситуації є ГОСТ «Колодки тормозные композиционные для железнодорожного подвижного состава. Технические условия», коли стандарт на початковій стадії розробки було подано на голосування і за нього проголосували майже всі країни СНД, крім України і Російської Федерації, де саме і перебувають виробники цієї продукції і які виступили проти впровадження ГОСТ в такому вигляді, хоча після голосування й ухвалення більшістю країн документ має бути затверджений з наступним впровадженням його на міждержавному рівні. Але кому такий документ потрібний?

Іншим явищем, що спостерігається через нечіткість процедури розроблення стандартів і чого, безумовно, не повинно бути, є внесення змін в редакцію проекту стандарту після отримання розробником експертного висновку відповідального за розробку цього ГОСТ МПК. Мається на увазі, безумовно, його технічне, а не редак-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ційне, коригування, що, м'яко кажучи, некоректно. Те, що вказані ситуації неприпустимі та необхідність чіткої процедури розроблення стандартів від розробки та затвердження технічного завдання і першої редакції проекту до розгляду й опрацювання зауважень і пропозицій усіх зацікавлених сторін, узгодження проекту і подання його на голосування (затвердження), було підтримано всіма учасниками зустрічі.

Увагу присутніх привернула також ситуація з вільним трактуванням вимог основного керівного документа під час розробки міждержавних стандартів – ГОСТ 1.5-2001 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению». Аргументи на кшталт «це застарілий ГОСТ» відверто некоректні, оскільки йдеться, передусім, про чинний нині керівний документ. Тому, якщо він якимось чином не відповідає сучасним вимогам, необхідно розглядати, ухвалювати і вносити зміни до нього. На підтримку цього куратори стандартів наголосили на альтернативі: або розробники керуються чинним ГОСТ 1.5, або розробляють і пропонують внесення змін до нього.

Зазначено також і відсутність єдиного підходу в стандартизації однотипної продукції, як то: низка ГОСТ на технічні умови виробництва різних видів вантажних вагонів, що у 2013 році почав розробляти ВАТ «НИИ вагонобудування». Очевидно, необхідні додаткові узагальнюючі засідання стосовно стандартизації таких складних об'єктів, вироблення єдиних підходів з урахуванням того, що більшість вимог до них закладені у нормативних документах не міждержавного рівня. Учасники зустрічі погодилися з тим, що лише спільними зусиллями й узгодженими діями можливо досягти максимальних результатів.

Упродовж всього засідання, у перервах між доповідачами, відбувалося нагородження найбільш активних учасників робіт зі стандартизації у 2013 році. При цьому відзначено креативні зусилля залізничників та науковців України у цій сфері. За організацію експертизи міждержавних стандартів та активну участь у роботі Міждержавного технічного комітету зі стандартизації МТК 524 «Железнодорожный транспорт» заступник начальника Головного управління розвитку і технічної політики – начальник Управління метрології та технічного регулювання Укрзалізниці О.П. Ткаченко був нагороджений Почесною грамотою ВАТ «РЖД». За значний внесок в організацію підготовки міждержавних стандартів для забезпечення вимог технічних регламентів в галузі залізничного транспорту старшому науковому співробітнику ДП «УкрНДІВ» Т.В. Шелейко було оголошено Подяку Голови Міждержавного технічного комітету зі стандартизації № 524 «Железнодорожный транспорт».

Наприкінці засідання було підписано Угоду про проведення узгодженої політики держав-членів Митного союзу в галузі забезпечення єдності вимірювань. Від Російської Федерації її підписав старший віце-президент ВАТ «РЖД» В.А. Гапанович, від Білорусі – головний інженер Білоруської залізниці В.М. Шубадеров, від Казахстану – директор Департаменту технічної політики АТ «Национальная Компания «Қазақстан темір жолы» (АО «НК «КТЖ») Талгат Канатбаев.

УДК 629.4.027.2

С.В. Лутонин, О.А. Шкабров, Е.Р. Можейко

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

В настоящее время под грузовыми вагонами стран СНГ и Балтии применяются трехэлементные тележки модели 18-100, конструкция которых была разработана в 50-х годах прошлого столетия. Опыт показывает, что эти тележки не обеспечивают достаточной надёжности в эксплуатации, затраты на их ремонт, содержание в техническом состоянии, удовлетворяющем требованиям действующих нормативных документов, значительно превышают затраты на аналогичные работы для всех иных узлов вагонов вместе взятых.

Публичное акционерное общество «Крюковский вагоностроительный завод» (ПАО «КВСЗ») – один из первых вагоностроительных заводов на пространстве СНГ, который приступил к изготовлению высокоэффективного подвижного состава – полувагонов моделей 12-7023, 12-7023-01 на тележках модели 18-7020 с нагрузкой от колесной пары на рельс 23,5 тс (рис. 1).

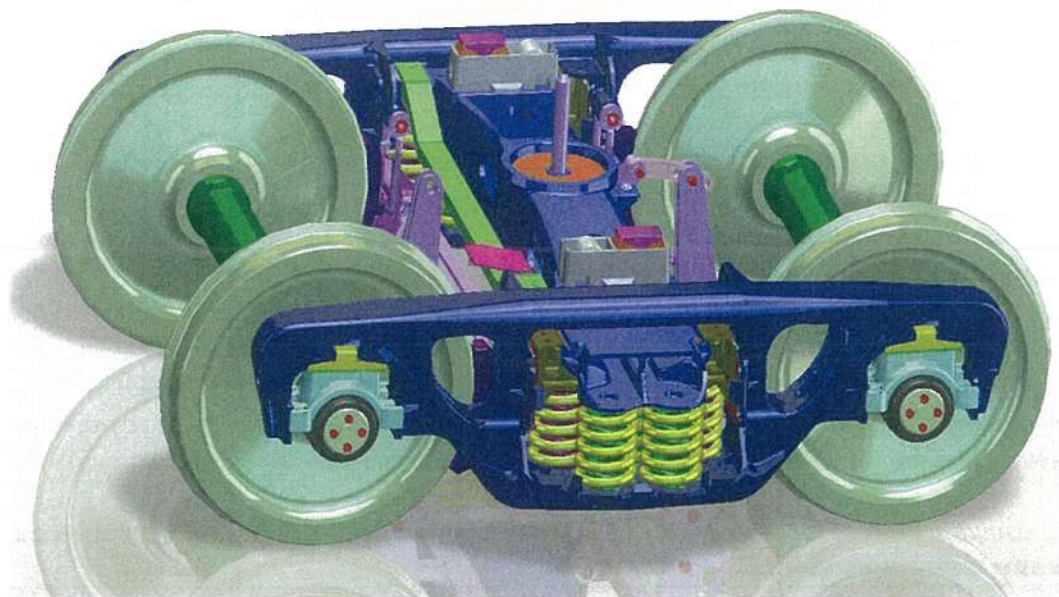


Рис. 1. Трехмерное изображение тележки модели 18-7020

© С.В. Лутонин, О.А. Шкабров, Е.Р. Можейко, 2014



**Рис. 2. Полувагон модели 12-7023 на тележках модели 18-7020
с нагрузкой от колесной пары на рельс 23,5 тс**

Подконтрольная эксплуатация полувагонов модели 12-7023-01 в инвентарном парке Укрзалізниці на протяженні 8 років показала високу економічну ефективність.

В ході підконтрольної експлуатації вагонів на тележках моделі 18-7020 підтвердилася підвищена стійкість вузлів тертя тележок і колес до зносу, що не тільки знижує матеріальні і трудові затрати на їх ремонт, але й покращує стійкість вагонів в час руху.

Полувагони моделей 12-7023, 12-7023-01 відповідають параметрам інноваційності, прийнятим на засіданні комітету Некомерційного партнерства «Об'єднання виробників залізничної техніки» (далі - НП «ОПЖТ») за координації виробників вантажних вагонів і їх компонентів в м. Саратові (Протокол №16 від 18-19 жовтня 2012 р.). Дані про полувагони наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Відповідність вантажних вагонів виробництва ПАО «КВСЗ» вимогам інноваційності

№ п/п	Параметри, забезпечуючі інноваційність вагонів	Требовані показателі	Фактичні показателі по вагонах 12-7023 (полувагон V=90 м ³) 12-7023-01 (полувагон V=83 м ³)
1	2	3	4
1	Максимальна навантаження від колесної пари на рейси	від 23,5 тс і вище	23,5 тс

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Окончание табл. 1

1	2	3	4
2	Пробег от постройки до первого деповского ремонта	500 тыс.км (4 года)	500 тыс. км (4 года)
3	Пробег от капитального ремонта до первого деповского ремонта	500 тыс.км (4 года)	Для указанных выше: -полувагонов – 250 тыс. км (2 года)
4	Межремонтный пробег между деповскими ремонтами	250 тыс.км (2 года)	Для указанных выше: -полувагонов – 250 тыс. км (2 года)
5	Скорость в прямых и кривых (более 650 м) по условиям устойчивости от схода с рельс	Не менее 90 км/ч	Соответствует
6	Коэффициент вертикальной динамики обрессоренных частей кузова: - в порожнем состоянии - в груженном состоянии	Не более 0,65 Не более 0,55	Соответствует
7	Рамные силы в долях от осевой нагрузки: - в порожнем состоянии - в груженном состоянии	Не более 0,65 Не более 0,55	Соответствует
8	Подшипник должен обеспечивать среднюю наработку на отказ	750 тыс. км	800 тыс. км
9	Коэффициент тары вагона	Не более 0,36	полувагон 12-7023 - 0,34 ; полувагон 12-7023-01 - 0,33.

Основными преимуществами полувагонов моделей 12-7023, 12-7023-01 на тележках модели 18-7020 являются:

- обеспечение увеличения межремонтных сроков от постройки до первого деповского ремонта - 4 года или 500 тыс. км,
- увеличение срока между деповскими ремонтами - 2 года или 250 тыс. км,
- увеличение срока до капитального ремонта - 16 лет,
- увеличение срока службы вагона - 32 года,
- уменьшение затрат на техническое обслуживание и проведение плановых видов ремонтов.

Применение в грузовых вагонах тележки модели 18-7020 обеспечивает двойной эффект: во-первых, улучшается динамика и повышается устойчивость вагона против схода с рельсов во время движения, что позволяет увеличивать критическую скорость движения на 25-40 км/час, и, во-вторых, увеличиваются сроки службы быстроизнашивающихся деталей, включая цельнокатаные колеса, что снижает затраты на их ремонт и замену, позволяет увеличить межремонтные пробеги.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

При использовании тележек модели 18-7020 исключаются отцепки вагонов в текущие ремонты по причинам износов фрикционных клиньев, гребней колесных пар, регулировок зазоров в скользунах и завышения фрикционных клиньев.

Расчет экономической эффективности применения тележек модели 18-7020 при постройке новых полувагонов в сравнении с применением при постройке вагона тележек модели 18-100 приведен ниже.

При оценке экономической эффективности сравниваются затраты на содержание на протяжении жизненного цикла универсальных полувагонов со стандартными тележками модели 18-100 и универсальных полувагонов с тележками модели 18-7020 (расчетный вариант).

Среднегодовой пробег вагонов при использовании их на украинских железных дорогах составляет 49700 километров (данные ГИВЦ Укрзалізниц).

Исходя из принятой величины среднегодового пробега следует, что оба типа полувагонов будут поступать в плановые виды ремонта по календарному периоду, тогда на протяжении жизненного цикла вагон со стандартными тележками поступит в деповские ремонты 9 раз, а вагон с тележками модели 18-7020 – 5 раз.

Расчет затрат на ремонт и замену запасных частей при плановых видах ремонта вагонов.

Изготовление тележек модели 18-7020 включает в себя:

- установку цельных фрикционных планок из объемнозакаленной высокоуглеродистой стали в рессорные проемы боковых рам;
- установку фрикционных клиньев из термообработанного высокопрочного чугуна с полиуретановыми накладками на наклонных плоскостях;
- установку скользунов постоянного контакта на надрессорную балку тележки и износостойких планок на шкворневых балках вагона;
- установку плоской полимерной прокладки на опорную поверхность подшипника;
- обточку поверхности катания колес.

На выполнение вышеперечисленных работ, за исключением обточки поверхностей катания, дополнительных затрат не требуется, поскольку аналогичные работы, но с использованием других элементов, выполняются и при сборке тележек модели 18-100.

Начальные затраты на изготовление тележек модели 18-7020 составят разность в стоимости приобретения вышеуказанных узлов и деталей, а также аналогичных узлов и деталей, применяемых в тележке модели 18-100.

Таблица 2. Цены деталей и узлов

№ п/п	Наименование деталей, применяемых в тележке модели 18-7020	Цена на один вагон (грн.)	Наименование деталей, применяемых в тележке модели 18-100	Цена на один вагон (грн.)
1	2	3	4	5
1	Комплект фрикционных клиньев с накладкой (8 шт.)	5426,80	Комплект фрикционных клиньев (8 шт.)	1636,0
2	Комплект скользунов постоянного контакта (4 шт.)	5182,76	Комплект колпаков скользуна и регулировочных прокладок	252,0

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
3	Комплект фрикционных планок цельных (8 шт.)	2487,28	Комплект фрикционных планок составных (16 шт.)	1042,0
4	Износостойкая планка кузова (4 шт.)	606,96	Ответная часть скользуна кузова (4 шт.)	148,0
5	Полимерная прокладка в пятник (2 шт.)	601,00	Стальная прокладка в пятник (2 шт.)	185,6
6	Комплект болтов и гаек для крепления корпусов скользунов (8 шт.)	368,88	Комплект болтов, гаек и шплинтов для крепления колпаков скользунов (4 шт.)	92,0
7	Комплект болтов и гаек для крепления износостойких планок (8 шт.)	202,32		
8	Переточка колес	1063,68		
	ИТОГО:	15939,68	ИТОГО:	3355,60

Из данных табл. 2 следует, что сумма первоначальных затрат на приобретение вагона с тележками модели 18-7020 больше суммы затрат на приобретение вагона с тележками модели 18-100 на:

$$15939,68 - 3355,60 = 12584,08.$$

Затраты на техническое содержание вагона на протяжении жизненного цикла состоят из стоимости замены или ремонта изнашивающихся частей и деталей а также стоимости плановых видов ремонта.

Для расчета экономической эффективности будем сравнивать только затраты на работы и запасные части, которые отличаются у вагонов на тележках модели 18-7020 от затрат на работы и запасные части вагонов на тележках модели 18-100.

Для определения стоимостей работ и запчастей будем использовать цены, действующие в период в 2013 г.

Показатели экономической эффективности основываются на данных украинских железных дорог.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 3. Затрати на ремонт и замену сравниваемых узлов и деталей тележек модели 18-7020 и тележек модели 18-100, начиная с первого после постройки деповского ремонта

№ п/п	Наименование деталей и работ	Сумма на один вагон без НДС, грн.	Пояснения
Тележка модели 18-7020			
1	Клинья фрикционные RFE-43 из высокопрочного термопроченного чугуна	-	Ресурс клина 1200 тыс.км, при среднегодовых пробегах 49,7 тыс. км клинья могут прослужить без замены 24 года
2	Планки фрикционные	-	Ресурс планки 1200 тыс.км, при среднегодовых пробегах 49,7 тыс. км планки могут прослужить без замены 24 года
3	Корпуса скользунов	-	Ресурс корпуса 1200 тыс.км, при среднегодовых пробегах 49,7 тыс. км корпуса могут прослужить без замены 24 года
4	Ролики скользунов	-	Ресурс ролика 1200 тыс.км, при среднегодовых пробегах 49,7 тыс. км ролики могут прослужить без замены 24 года
5	Колпачки скользунов	-	Ресурс колпачка 1200 тыс.км, при среднегодовых пробегах 49,7 тыс. км колпачки могут прослужить без замены 24 года
6	Полиуретановые блоки скользунов	4903,26	Замена 3 раза на весь срок службы, через каждые 6 лет
7	Износостойкие планки	-	Ресурс планки 1200 тыс.км, при среднегодовых пробегах 49,7 тыс. км планки могут прослужить без замены 24 года
8	Комплект болтов и гаек для крепления корпуса скользуна	-	Не требуется за весь период службы вагона
9	Комплект болтов и гаек для крепления износостойкой планки	-	Не требуется за весь период службы вагона
10	Полимерные прокладки в пятниковые узлы	1757,4	Замена 3 раза на весь срок службы, через каждые 6 лет
11	Полиуретановые накладки на клинья	2955,12	Замена 3 раза на весь срок службы, через каждые 6 лет

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Продолжение Табл. 3

12	Ремонт упорных поверхностей пятниковых узлов	1000,00	Через 700 тыс. км пробега или при капитальном ремонте
13	Ремонт наклонных плоскостей надрессорных балок	-	Не изнашиваются, т.к. контактируют не с металлом, а с полимером
14	Обточка колес	7445,48	7 обточек за весь срок службы, не включая первую обточку при постройке, при каждом плановом ремонте, все обточки – по колесосберегающей технологии
15	Переформирование колесных пар из-за тонких ободьев	-	Применение колесосберегающей технологии при каждой обточке позволяет снимать не более 3-4 мм толщины обода, что при 8 обточках новых колес обеспечивает остаточную толщину обода 51-43 мм, при допустимой минимальной толщине в эксплуатации 22 мм, поэтому переформирование колесных пар не требуется в течение всего срока службы вагона
	Всего затрат за весь жизненный цикл	18061,26	При расчете учитывались только те показатели, где наблюдалась разница в расчетном и базовом вариантах
Тележка модели 18-100			
1	Клинья фрикционные из серого чугуна	16360,00	Ресурс клина 110 тыс. км, замена при каждом плановом ремонте, всего 10 замен клиньев
2	Планки фрикционные подвижные	946,80	Ресурс 320 тыс. км, 4 замены в течение жизненного цикла, в т.ч. одна замена при капитальном ремонте
3	Планки фрикционные неподвижные	2179,2	Ресурс 480 тыс. км, 3 замены в течение жизненного цикла, в т.ч. одна замена при капитальном ремонте
4	Колпаки скользунов	1052,00	Ресурс 220 тыс. км до ремонта наплавкой, замена при капремонте. Ремонт наплавкой 4 и одна полная замена
5	Комплект болтов, гаек и шплинтов для крепления колпаков скользунов	92,00	Замена при капитальном ремонте
6	Ответные части скользунов	292,00	Ресурс 500 тыс. км, ремонт наплавкой при капремонте

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Окончание Табл. 3

7	Опоры скользунов на наддресорных балках	244,0	Ресурс 500 тыс. км, ремонт наплавкой при капремонте
8	Наклонные плоскости наддресорных балок	1200,00	Ресурс 480 тыс. км, 3 ремонта наплавкой в течение жизненного цикла
9	Подпятники	4400,00	Ресурс до ремонта 220 тыс. км, всего 4 ремонта в течение жизненного цикла вагона
10	Пятники	3900,00	Ресурс до ремонта 440 тыс. км, всего 3 ремонта наплавкой в течение жизненного цикла вагона
11	Обточка колес	8509,44	Ресурс колеса по толщине гребня до восстановления его обточкой 100-110 тыс. км. Обточка производится при каждом плановом ремонте, за исключением перформирования (напрессовки новых колес). Всего обточек 8 за жизненный цикл вагона
12	Переформирование колесных пар (стоимость работ)	34899,2	После 3-4 обточек не по колесосберегающей технологии требуется замена цельнокатаных колес по причине тонкого обода (2 переформирования в течение жизненного цикла вагона)
13	Комплект новых цельнокатаных колес 8 шт. (стоимость)	100000,00	Замена колес производится 2 раза в течение жизненного цикла вагона
14	Стоимость дополнительных деповских ремонтов	75000,00	Вагонам на немодернизированных тележках установлен календарный период между деповскими ремонтами 2 года, вместо 3 – на модернизированных
	ВСЕГО затрат за жизненный цикл	249074,6	При расчете учитывались только те показатели, где наблюдалась разница в расчетном и базовом вариантах

Из приведенных в табл. 3 расчетов следует, что на протяжении жизненного цикла сумма затрат на содержание вагона на тележках модели 18-7020 меньше суммы затрат на содержание вагона на тележках модели 18-100 на:

$$249074,6 - 18061,26 = 231013,34 \text{ грн.}$$

Используя результаты, приведенные в табл. 1 и 2 определим, что затраты на техническое содержание вагона на тележках модели 18-7020 при постройке вагона на 231013,34 грн. меньше затрат на техническое содержание вагонов на базовых тележках:

$$231013,34 - 12584,08 = 218429,26 \text{ грн.}$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Исходя из имеющихся данных, определим срок окупаемости затрат на изготовление тележек модели 18-7020.

Среднегодовая экономия затрат на техническое содержание вагона на протяжении 22 лет составит:

$$218429,26 : 22 = 9976,95 \text{ грн.}$$

Период окупаемости затрат на изготовление тележек модели 18-7020 составит:

$$12584,08 : 9976,95 = 1,2 \text{ года}$$

Выводы

Как видно из приведенных данных, изготовление тележек модели 18-7020 не требует значительных капиталовложений. При этом увеличение стоимости вагона будет составлять всего около 4% при экономии затрат на плановые виды ремонта на протяжении 22-х лет порядка 228 тыс. грн., а окупаемость составит менее 1,5 года.

Кроме того на ПАО «КВСЗ» на данных тележках освоено серийное производство грузовых вагонов моделей 12-7023, 12-7023-01, 13-7024, 19-7016-01, 19-7053-01, которые имеют разрешения Комиссии Совета полномочных специалистов на курсирование в межгосударственном сообщении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Положение о системе технического обслуживания и ремонте грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении [утверждено на заседании Совета по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества 17 октября 2012 г.]. – М.: Совет по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества, 2012. – 16 с.
2. РД 32 ЦВ 052-2009 Ремонт тележек грузовых вагонов. – М.: ПКБ ЦВ ОАО «РЖД», 2010. – 75 с.
3. ЦВ-0083 Інструкція з деповського ремонту та експлуатації візків вантажних вагонів моделей 18-100, модернізованих з встановленням елементів компанії «А. STUCKI» та колісних пар з нелінійним профілем коліс ITM-73. – К.: Транспорт України, 2006. – 30 с.

УДК 629.4.015:625.03

В.И. Ткачев, Ю. Я. Водяников, Д. А. Шамшей, В.С. Речкалов

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ
НАГРУЖЕННОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА ПРИ СЛУЧАЙНЫХ
ВОЗМУЩЕНИЯХ СО СТОРОНЫ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ НА
КОЛЕСНЫЕ ПАРЫ ТЕЛЕЖЕК**

Пассажирские вагоны нового поколения имеют ряд существенных отличий, к основным из которых следует отнести увеличенную базу вагона и осевую нагрузку, кроме того в рессорном подвешивании используются новые элементы - пневматические рессоры, а также дисковые тормоза. Такие вагоны могут эксплуатироваться со скоростями более 200 км/ч. Очевидно для таких вагонов требуется тщательный динамико-прочностной анализ нагруженности кузова и элементов ходовых частей вагона. Поэтому целью статьи является разработка математической модели пассажирского вагона, учитывающей основные конструктивные особенности вагона при случайных колебаниях. Для решения поставленной задачи использовались основополагающие принципы динамики деформируемых систем, теории прочности и случайных процессов. Математическая модель получена на основе расчетной схемы, в которой кузов вагона рассматривается в виде пространственной конечно-элементной модели, ходовые части (тележки) – как упругие балки, учитываются упруго-диссипативные свойства рельсового пути, в качестве возмущений – случайные неровности рельсового пути. Предложена математическая модель пассажирского вагона, которая учитывает кузов как пространственную конструкцию, упругие свойства ходовых частей и случайные неровности рельсового пути при динамических колебаниях. Практическая значимость состоит в оценке динамической нагруженности конструкции пассажирского вагона, а также прочности кузова в заданном диапазоне скоростей движения при случайных возмущениях со стороны рельсового пути на колесные пары.

В процессе эксплуатации кузова пассажирских вагонов подвергаются весьма интенсивным и сложным воздействиям, которые могут привести к появлению трещин в отдельных элементах. Основной причиной этих разрушений являются интенсивные изгибные колебания кузова. Использование традиционного подхода, сводящегося к введению динамических коэффициентов, в ряде случаев не дает возможности учесть специфику поведения надрессорного строения при различных условиях нагружения.

Поэтому создание пассажирских вагонов нового поколения, предназначенных для скоростей движения более 200 км/ч, в одну из основных выдвигает задачи обеспечения прочности и надежности конструкции. Очевидно, при проектировании таких конструкций необходим предварительный тщательный динамико-прочностной анализ, что требует проведения более детальных теоретических исследований.

© В.И. Ткачев, Ю. Я. Водяников, Д. А. Шамшей, В.С. Речкалов, 2014

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

следований, создание более полных расчетных схем, учитывающих различные особенности конструкции, разработки углубленных математических моделей, находящихся в условиях динамического стохастического воздействия и требующих методов статистической динамики.

Пассажирские вагоны нового поколения имеют ряд существенных отличительных признаков, к основным из которых следует отнести наличие дисковых тормозов и системы пневмоподвешивания, кроме того эти вагоны имеют увеличенную длину по осям сцепления автосцепок.

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что динамика и прочность пассажирских вагонов, кузова которых представляют собой достаточно гибкие тонкостенные конструкции, во многом отлична от вагонов других типов.

В процессе эксплуатации пассажирский вагон (далее вагон) совершает пространственные колебания под воздействием случайных нагрузок со стороны рельсового пути на колесные пары. Вместе с тем, как показали экспериментальные исследования, система пневмоподвешивания кузова обладает свойством уменьшения амплитуд поперечных колебаний, поэтому для оценки динамической нагруженности элементов вагона достаточно рассмотреть вертикальные колебания.

При исследовании колебаний кузова принимаются следующие допущения относительно физических свойств изучаемой конструкции:

- жесткость кузова при ограниченной величине деформаций остается постоянной;
- демпфирование колебаний кузова слабое;
- параметры системы не изменяются с течением времени.

Для построения математической модели и учета основных конструктивных особенностей, кузов вагона представляется в виде пространственной конечно-элементной модели (рис. 1), в качестве обобщенных координат принимаются перемещения в узловых точках (w).

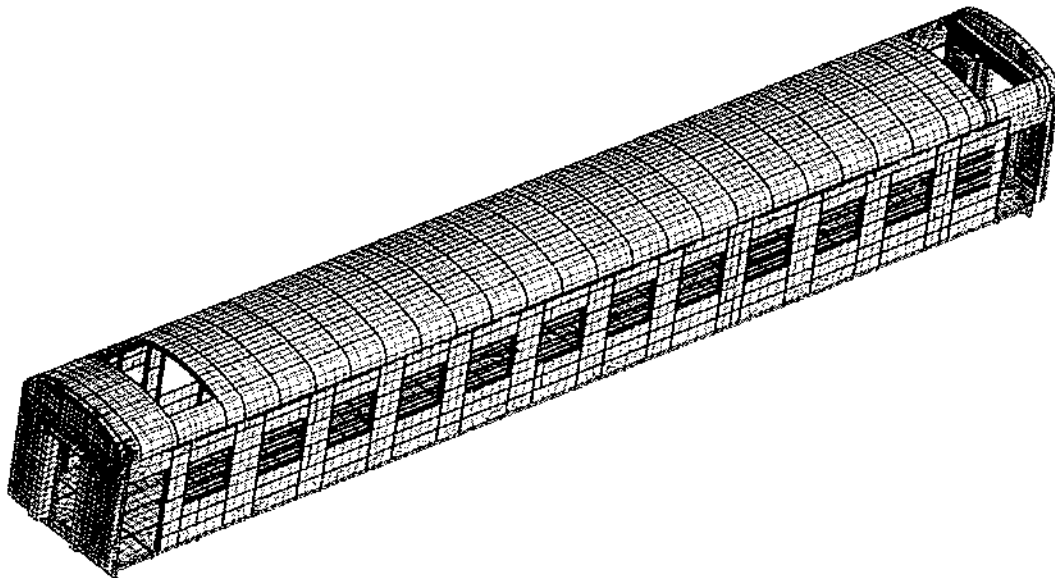


Рис. 1. Конечно-элементная модель кузова

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Расчетная схема пассажирского вагона (рис. 2) рассматривается в виде составной механической системы, состоящей из основной подсистемы (кузов пассажирского вагона), подсистемы второго яруса (тележки) и ряда элементов (упруго-диссипативный путь), через которые на подсистемы второго яруса передаются кинематические случайные возмущения (неровности пути).

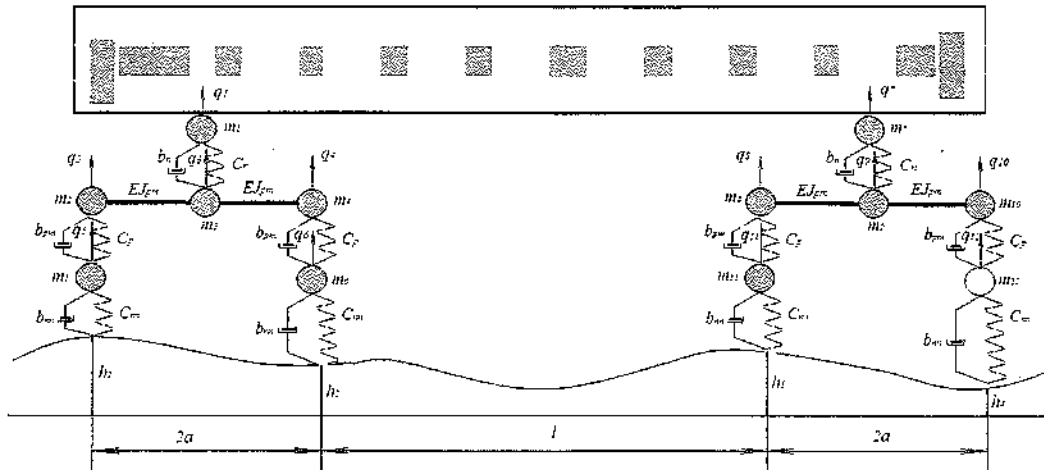


Рис.2. Расчетная схема вагона

(где C_p - жесткость рессорных комплектов тележек; C_m - жесткость рессорных комплектов пневмоподвешивания; $C_{тп}$ - жесткость рельсового пути; q_i - обобщенные координаты сосредоточенных масс; η_i - неровности рельсового пути; $2a$ - база тележки; $b_{пв}$ - коэффициент демпфирования рессорных комплектов пневмоподвешивания; $b_{рм}$ - коэффициент демпфирования рессорных комплектов тележек; $b_{тп}$ - коэффициент демпфирования рельсового пути; $EJ_{тв}$ - жесткость рамы тележки; m_i - массы тележек, сосредоточенные в узлах)

За обобщенные координаты принимаются узловые перемещения кузова и вертикальные перемещения сосредоточенных масс тележек.

Жесткость торцевой стенки кузова вагона в поперечной, относительно продольной оси, плоскости намного превышает жесткость остальной части кузова, что позволяет ввести краевые условия на торцах, запрещающие их перемещения в плоскости стенки. Неоднородность физических моделей, которыми представлена динамическая система, обуславливает неравенство перемещений соприкасающихся узлов кузова и тележек. Это объясняется введенными краевыми условиями, запрещающими перемещения торцевой стенки в поперечной плоскости, и, следовательно, такая расчетная схема позволяет определять перемещения точек кузова, которые обусловлены деформацией оболочки. С другой стороны кузов как элемент транспортного средства опирается на ходовые части, а, значит, его перемещения должны содержать составляющие, обусловленные деформацией подсистемы нижних ярусов. С целью устранения этого противоречия динамическая система разбивается на самостоятельные подсистемы, а их взаимодействие заменяется внутренними неизвестными силами (рис. 3)

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

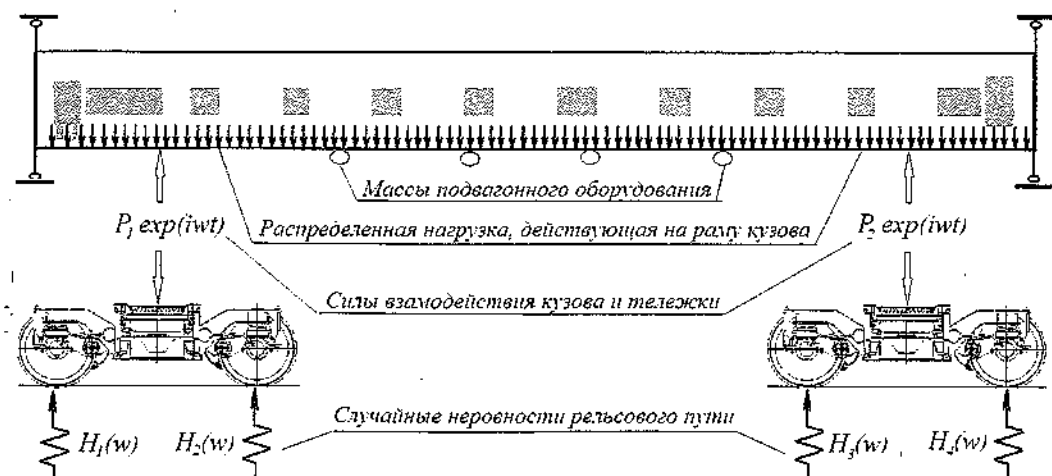


Рис. 3. Силы, действующие на элементы пассажирского вагона

Дифференциальные уравнения колебаний вагона могут быть получены с использованием уравнений Лагранжа второго рода [1]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i, \quad (1)$$

где T , Π , Φ - кинетическая, потенциальная энергии и функция рассеяния системы;

q_i , Q_i - компоненты векторов обобщенных координат и обобщенных сил, не обладающих потенциалом.

Кинетическая и потенциальная энергии динамической системы определяются как суммы кинетических и потенциальных энергий конструктивных элементов вагона.

При выводе дифференциальных уравнений, описывающих вертикальные колебания вагона, принимаются следующие допущения:

- элементы рессорного подвешивания невесомы;
- жесткости элементов подвешивания пропорциональны статическим нагрузкам на них;
- колесные пары движутся по упругому пути с постоянной скоростью;
- боковые колебания функционально не связаны с вертикальными;
- рассматривается движение на прямом участке пути без силы тяги;
- давление и объем воздуха в пневморессоре при колебаниях подчиняется адиабатическому закону при условии отсутствия теплообмена с внешней средой:

$$P \cdot V^{\gamma} = const, \quad (2)$$

где γ - показатель адиабаты.

Кинетическая и потенциальная энергии динамической системы представляется в виде квадратичных форм соответственно скоростей и перемещений узловых точек:

$$T = \frac{1}{2} \{\dot{q}(t)\}^T \cdot [M] \cdot \{\dot{q}(t)\}, \quad (3)$$

$$U = \frac{1}{2} \{q(t)\}^T \cdot [K] \cdot \{q(t)\}, \quad (4)$$

$\{q(t)\}, \{\dot{q}(t)\}$ - векторы узловых перемещений и скоростей;

$[M]$ - матрица масс;

$[K]$ - матрица жесткости.

В соответствии с конечно-элементным представлением, матрица жесткости для тележки имеет размерность шестого порядка. Матрица масс при этом приобретает диагональную структуру, причем ненулевые элементы матрицы стоят только в строках, соответствующих поступательным перемещениям. Это обуславливает три динамические степени свободы, связанные с изменением координат q_p , координаты же φ_i (углы поворота) являются безмассовыми.

Для записи уравнений движения в обычной форме, исключая из общей матрицы жесткости координаты φ_p , получим:

$$[K]_{\hat{A}E} = \frac{3 \cdot E \cdot J_{\partial\partial}}{2 \cdot a^3} \begin{vmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{vmatrix}, \quad (5)$$

$$[I]_{\hat{A}E} = \begin{vmatrix} m_2 & 0 & 0 \\ 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & m_4 \end{vmatrix}, \quad (6)$$

где $2a$ - база тележки;

J_{pm} - эквивалентные моменты инерции поперечного сечения соответственно соединительной балки и тележки.

Потенциальная энергия, обусловленная деформациями рессорных комплектов тележки и упругостью рельсового пути, определится выражением:

$$U_{pm} = \frac{1}{2} C_n (q_1 - q_3)^2 + \frac{1}{2} C_p (q_2 - q_3)^2 + \frac{1}{2} C_p (q_3 - q_0)^2 + \frac{1}{2} C_m (q_4 - h_1)^2 + \frac{1}{2} C_m (q_6 - h_2)^2 + \frac{1}{2} C_n (q_7 - q_9)^2 + \frac{1}{2} C_p (q_8 - q_{11})^2 + \frac{1}{2} C_p (q_{10} - q_{12})^2 + \frac{1}{2} C_m (q_{11} - h_3)^2 + \frac{1}{2} C_m (q_{12} - h_4)^2, \quad (7)$$

где C_p - жесткость рессорных комплектов тележек;

C_n - жесткость рессорного пневмоподвешивания;

C_m - жесткость рельсового пути;

q_i - обобщенные координаты;

h_i - неровности рельсового пути.

Потенциальная и кинетическая энергии динамической системы определится как сумма потенциальных и кинетических энергий, составляющих систему элементов:

$$U = \frac{1}{2} \{W\}^T \times [r] \times \{W\} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \{q\}_{Tj}^T \times [K]_{j}^{\hat{A}E} \times \{q\}_{Tj} + U_{an}, \quad (8)$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$T = \frac{1}{2} \{W\}^T \times [t] \times \{W\} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \{q\}_{Tij}^T \times [M]_{Tij} \times \{q\}_{Tij}, \quad (9)$$

где m - количество тележек;

$\{W\}$ - вектор узловых перемещений конечных элементов кузова;

$[r]$ - матрица жесткости конечных элементов кузова;

$[t]$ - матрица масс конечных элементов кузова.

Функция рассеивания определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{1}{2} \beta_n (\dot{q}_1 - \dot{q}_3)^2 + \frac{1}{2} \beta_{pm} (\dot{q}_2 - \dot{q}_5)^2 + \frac{1}{2} \beta_{pm} (\dot{q}_4 - \dot{q}_6)^2 + \frac{1}{2} \beta_m (\dot{q}_5 - \dot{h}_1)^2 + \frac{1}{2} \beta_{m1} (\dot{q}_6 - \dot{h}_2)^2 + \frac{1}{2} \beta_n (\dot{q}_7 - \dot{q}_9)^2 + \frac{1}{2} \beta_{pm} (\dot{q}_8 - \dot{q}_{11})^2 + \frac{1}{2} \beta_{pm} (\dot{q}_{10} - \dot{q}_{12})^2 + \frac{1}{2} \beta_m (\dot{q}_{11} - \dot{h}_3)^2 + \frac{1}{2} \beta_{m1} (\dot{q}_{12} - \dot{h}_4)^2 \quad (10)$$

Вводя силы P_1 и P_2 , отображающие взаимодействие кузова с тележками, получим следующую систему дифференциальных уравнений, которую представим в матричном виде:

$$\begin{aligned} |t| \cdot \{\ddot{W}(t)\} + |r| \cdot \{W(t)\} &= \{P_1(t), P_2(t)\}; \\ |M|_I \cdot \{\ddot{q}(t)\}_I + |B|_I \cdot \{\dot{q}(t)\}_I + |K|_I \cdot \{q(t)\}_I &= \{Q(t)\}_I; \\ |M|_{II} \cdot \{\ddot{q}(t)\}_{II} + |B|_{II} \cdot \{\dot{q}(t)\}_{II} + |K|_{II} \cdot \{q(t)\}_{II} &= \{Q(t)\}_{II} \end{aligned} \quad (11)$$

при симметричной конструкции вагона относительно продольной и поперечной плоскостях симметрии выполняются следующие равенства:

$$|M|_I = |M|_{II} = |M|, \quad (12)$$

$$|K|_I = |K|_{II} = |K|, \quad (13)$$

где $|t|$, $|r|$ - матрицы соответственно инерционных и жесткостных коэффициентов для конечно-элементной модели кузова;

W , \dot{W} - перемещения узлов конечных элементов и их вторые производные конечно-элементной модели кузова;

$\{P_1(t), P_2(t)\}$ - вектор возмущений передаваемый на кузов со стороны тележек;

$|M|_{II}$ - матрица масс конечно-элементного представления подсистемы второго яруса:

$$|M|_I = |M|_{II} = \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_6 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

$|B|_{II}$ - матрица демпфирования рессорного подвешивания тележек и рельсового пути;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$|B|_I = |B|_{II} = \begin{vmatrix} b_r & 0 & -b_r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{\delta\delta} & 0 & 0 & -b_{\delta\delta} & 0 \\ 0 & 0 & b_r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{\delta\delta} & 0 & -b_{\delta\delta} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b_{ri} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{ri} \end{vmatrix}, \quad (15)$$

$\{q(t)\}_{I(II)}$ - вектор обобщених координат,

$$\{q(t)\}_I^T = \{q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6\}, \quad (16)$$

$$\{q(t)\}_{II} = \{q_7, q_8, q_8, q_9, q_{10}, q_{11}\}, \quad (17)$$

$|K|_{I(II)}$ - матрица жесткости,

$$[K]_I = [K]_{II} = \begin{vmatrix} C_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{1,1}^T + C_{pm} & k_{1,2}^T & k_{1,2}^T & 0 & 0 \\ 0 & k_{2,1}^T & k_{2,2}^T + C_{pm} & k_{2,3}^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{3,1}^T & k_{3,2}^T & k_{3,3}^T + C_{pm} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_p \end{vmatrix}, \quad (18)$$

$\{Q(t)\}_{I(II)}$ - векторы возмущающих воздействий на підсистеми;

$$\{Q(t)\}_I = \begin{vmatrix} P_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ C_n \cdot h_1 + b_{ri} \cdot \dot{h}_1 \\ C_n \cdot h_2 + b_{ri} \cdot \dot{h}_2 \end{vmatrix}, \quad (19)$$

$$\{Q(t)\}_{II} = \begin{vmatrix} P_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ C_n \cdot h_3 + b_{ri} \cdot \dot{h}_3 \\ C_n \cdot h_4 + b_{ri} \cdot \dot{h}_4 \end{vmatrix}, \quad (20)$$

Вводя оператор дифференцирования $D = \frac{d}{dt}$, сведем систему дифференциальных уравнений к стандартной векторно-матричной форме:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$[D(p)] \times \{q(t)\} = [Q(p)] \times \{h(t)\}, \quad (21)$$

где $[D(p)]$ - функциональная полиномиальная матрица размера $(k \times k)$, элементами которой являются функциональные многочлены от p :

$$d_{ij}(p) = m_{ij} p^2 + \beta_{ij} p + C_{ij}, \quad (22)$$

здесь $m_{ij}, \beta_{ij}, C_{ij}$ - инерционные, диссипативные и жесткостные параметры;
 $\{q(t)\}$ - вектор обобщенных координат;

$[Q(p)]$ - функциональная полиномиальная матрица размера $K \times I$ (I число входов), элементами которой являются функциональные многочлены от p :

$$Q_{ij}(p) = \beta_{ij}^n p + C_{ij}^n, \quad (23)$$

здесь β_{ij}^n, C_{ij}^n - диссипативные и жесткостные параметры рельсового пути;
 $\{h(t)\}$ - вектор возмущений.

Основные характеристики исследуемых процессов определяются с использованием матрицы спектральных плотностей выходного процесса $[S]q$ по формуле [2]:

$$[S]_q = [\Phi(j\omega)] \times [S_f(\omega)] \times [\Phi(j\omega)]^T, \quad (24)$$

где ω - текущая частота;

$[S_f(\omega)]$ - матрица взаимных спектральных плотностей входных процессов, размера $I \times I$;

$[\Phi(j\omega)]$ - матрица эрмитово-сопряженная с матрицей $[\Phi(j\omega)]$ размера $K \times I$ амплитудно-частотных характеристик, каждый элемент которой $\varphi_{qi}(j\omega)$ есть амплитудно-частотная характеристика q -ой обобщенной координаты ($q = 1, 2, \dots, K$), соответствующая i -му входу ($i = 1, 2, \dots, I$), $j = \sqrt{-1}$.

Матрица амплитудно-частотных характеристик обобщенных координат определяется из решения уравнения (21):

$$[\Phi(j\omega)] = [D(j\omega)]^{-1} \times [Q(j\omega)], \quad (25)$$

которая получается заменой $p = j\omega$ в операторной матрице системы уравнений (21).

Принимая, что случайные входные воздействия, обусловленные железнодорожной колеей, одинаковые с запаздыванием, зависящим от скорости движения и расстояния между колесными парами, элемент матрицы спектральных плотностей входных процессов определится через спектральную плотность первой колесной пары:

$$S_{ff} = S_{f1} \exp(-j(\tau_i - \tau_k)), \quad (26)$$

тем самым свести задачу к эквивалентной системе с одним входом.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Выводы

Представленная математическая модель вертикальных колебаний пассажирских вагонов позволяет учитывать:

- конструктивные особенности кузова пассажирского вагона в виде пространственной конечно-элементной модели;
- упругие свойства тележек,
- упруго-диссипативные свойства железнодорожного пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазарян В.А. Динамика вагонов / В.А. Лазарян. – М.: Транспорт, 1964. – 250 с.
2. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее приложение к задачам автоматического управления / В.С. Пугачев. – М.: Физматгиз, 1962. - 883 с.

УДК 629.4.023.11.004.64 : 001.891.5

С.А. Чебуров

**ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РАМ БОКОВИХ
(КРЕСЛЕНИК 100.00.002-4) ВИРОБНИЦТВА ПАТ «КСЗ»**

Наведено короткий огляд стану аварійності залізничного рухомого складу з причини руйнування литих деталей візків вантажних вагонів – рам бокових. Викладено аналіз методів контролю відповідності рам бокових вимогам технічної документації. Проведено оцінку відповідності партії деталей «рама бокова, кресленик 100.00.002-4» виробництва Публічного акціонерного товариства «Кременчуцький сталеливарний завод» вимогам нормативної та конструкторської документації за власною розробленою методикою.

Вступ

Публічне акціонерне товариство «Кременчуцький сталеливарний завод» (далі – ПАТ «КСЗ») – одне з найбільших підприємств, котре здобуло ключові позиції на сучасному ринку сталевих литва. Причому це стосується як українського, так і світового ринку. ПАТ «КСЗ» виробляє більше однієї третини всього литва для візків в СНД.

На даний час сталеливарний завод вступив у нову, більш прогресивну фазу свого розвитку. В рамках широкого бізнес-плану проводиться технічне переоснащення виробництва високоавтоматизованим і високотехнологічним обладнанням провідних російських і німецьких фірм, що у майбутньому дозволить найбільш повно та якісно вирішувати виробничі задачі. Проводиться також вдосконалення та пошук нових (ефективних) методів неруйнівного контролю. Неруйнівний контроль – це одна з останніх і, у деяких випадках, єдиною можливою технологічною операцією, яка дозволяє виявляти недопустимі дефекти в технічних об'єктах і тим самим попереджувати виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті.

ПАТ «КСЗ» виробляє вагонне литво протягом 40 років. За цей період спеціалісти підприємства постійно працювали над покращенням якості надресорних балок і бокових рам і, як наслідок, до останнього часу продукція цього виробника вважалася найкращою в СНД.

До надійності та довговічності литих деталей візків вантажних вагонів – балкам надресорним і рамам боковим висуваються підвищені вимоги. Якщо надійність надресорних балок знаходиться на відносно високому рівні, то кількість зламів рам бокових в експлуатації в останній час збільшилося більш ніж у три рази.

Згідно з договором № 916 від 30 вересня 2013 р. Випробувальний центр продукції вагонобудування та ливарного виробництва для вагонобудування ДП «УкрНДІВ» (ВЦ ПВ ДП «УкрНДІВ») як незалежна організація провів у період з 15.10.2013 р. по 31.01.2014 р. оцінку технології контролю якості рам бокових (кресленик 100.00.002-4), код ДКПП 27.52.10.100, код ОКП 31 8381 на відповідність їх характеристик вимогам ОСТ 32.183 «Тележки двухосные грузовых вагонов колеи 1520 мм. Детали литые. Рама боковая и балка надрессорная. Технические условия»

© *С.А. Чебуров, 2014*

[2] і ТТ ЦВ 32-695 «Детали литые из низколегированной стали для вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Рама боковая и балка наддресорная. Технические требования» [3], НБ ЖТ ТМ 02 «Металлопродукция для железнодорожного подвижного состава. Нормы безопасности» [4] і конструкторської документації.

Об'єкт оцінки.

Об'єктами оцінки технології контролю якості були рами бокові (див. рис. 1), які виготовлені за креслеником 100.00.002-4 [1] у відповідності до вимог ОСТ 32.183 [2], ТТ ЦВ 32-695 [3] на ПАТ «КСЗ» у I півріччі 2013 р.

Рама є одним з основних несучих елементів візка вантажного вагона і в процесі експлуатації піддається дії динамічних навантажень.

Кількість зламів бокових рам виробництва ПАТ «КСЗ» за період з 2006 по 2013 рр. склало 12 шт., що у відсотковому відношенні складає 11 % від загальної кількості деталей, виготовлених усіма виробниками. Статистика зламів бокових рам в експлуатації (по всім заводам-виробникам даної продукції) наведена на рис 2. Статистика виявлення на ПТО нових рам бокових з тріщинами на 100 тис. виготовлених деталей за період з 2006 року по січень 2012 року показана на рис 3. У зв'язку з цим Федеральною бюджетною установою «Регистр сертификации на федеральном железнодорожном транспорте» у 2013 році було призупинено дію сертифікату відповідності на раму бокову (кресленик 100.00.002-4). При цьому на складі ПАТ «КСЗ» накопичилися значні обсяги нереалізованої продукції в кількості 13337 шт.

В результаті аналізу інформації про злами рам бокових в експлуатації було встановлено, що найбільш навантаженою та небезпечною є зона внутрішнього кута буксового прорізу 1 (див. рис. 1). Майже 100 % зламів деталей виникло по цій зоні. Більше 70 % випадків зламів відбулося в холодну пору року, коли на фоні зниження пластичних властивостей сталі діють підвищені динамічні сили внаслідок погіршення стану залізничного полотна. Більше 80 % зламів рам припадає на період їх експлуатації від одного до п'яти років. Це свідчить про те, що в експлуатацію попадають деталі, якість яких в зоні внутрішнього кута буксового прорізу не відповідає вимогам нормативної документації.

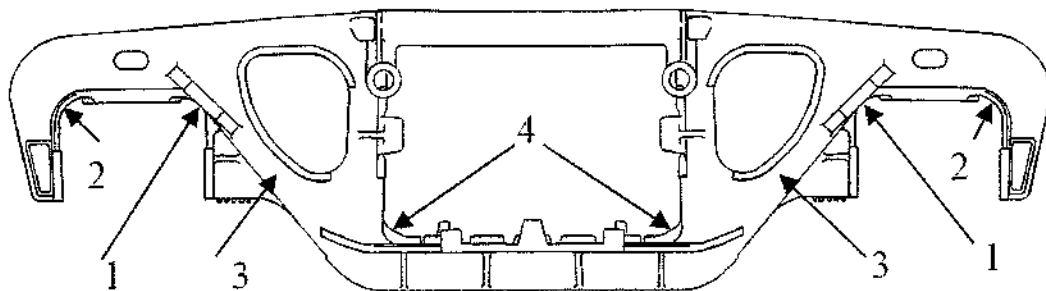


Рис. 1. Загальний вигляд рами бокової, кресленик 100.00.002-4

- 1 – внутрішній кут буксового прорізу;
- 2 – зовнішній кут буксового прорізу;
- 3 – похилий пояс;
- 4 – нижній кут ресорного прорізу.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

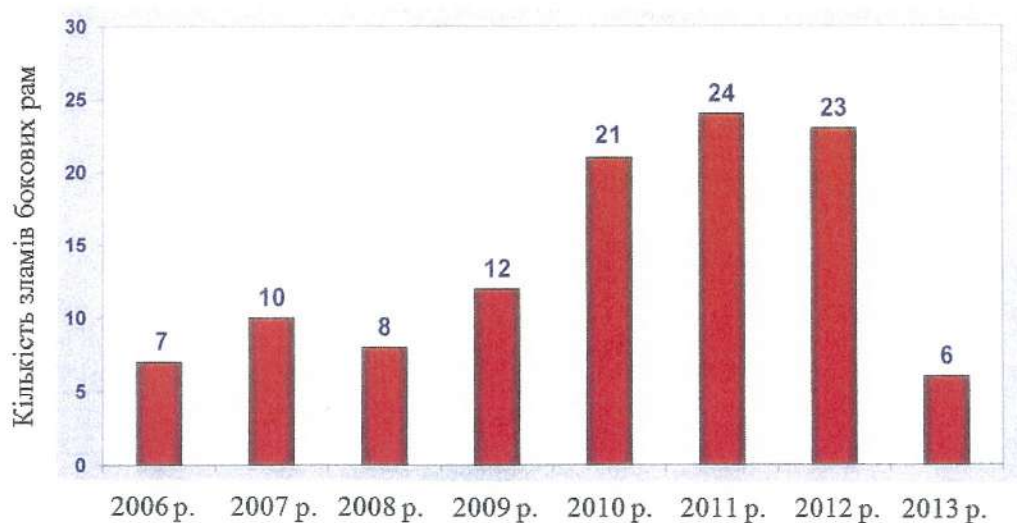


Рис. 2. Статистика зламів бокових рам в експлуатації за 2006 – 2013 рр.

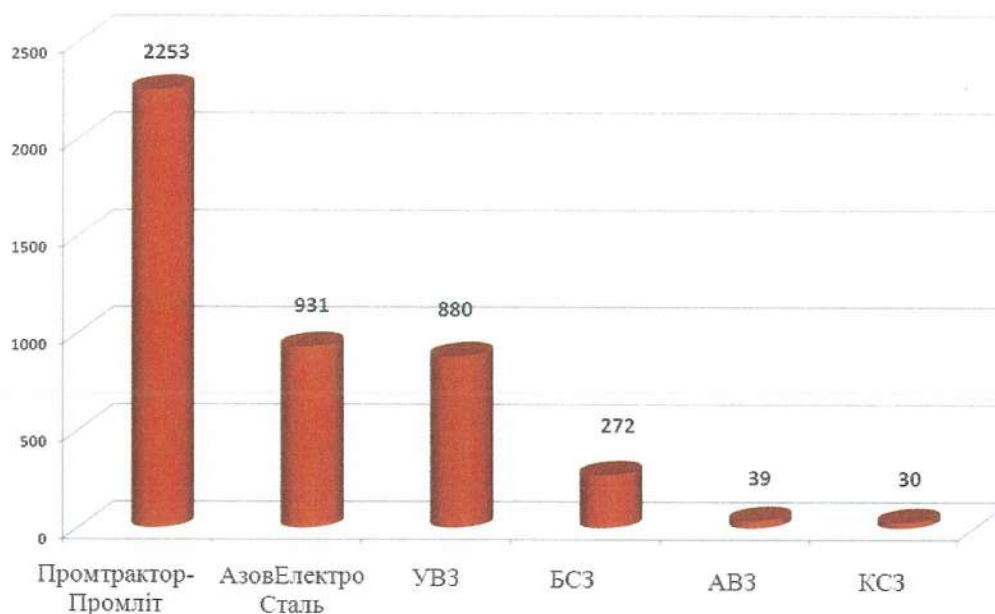
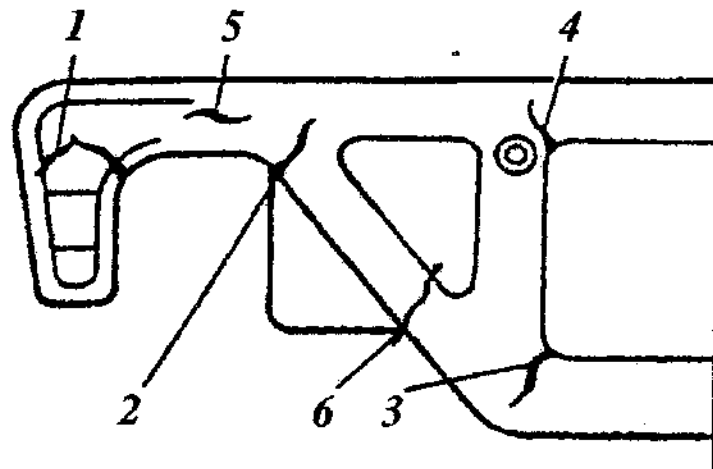


Рис. 3. Виявлення на ПТО рам бокових з тріщинами

Місця зародження тріщин і наступного руйнування рам бокових в експлуатації показані на рис. 4.

Характерні види втомних руйнувань рам бокових в експлуатації представлені на рис. 5.

Щоб покращити ситуацію, що склалася, та підвищити конкурентоздатність рам бокових українських виробників необхідно безумовне дотримання технологічної дисципліни, суворий контроль якості деталей на всіх позиціях контролю, а також впровадження ефективних методів НК.



*Рис. 4. Зони виникнення втомних тріщин рами бокової в експлуатації
1-6 – тріщини*

Моніторингу було піддано 13337 шт. рам бокових, з яких 2627 шт. було проконтрольовано згідно ПМ 6.1.00619-2013 «Рамы боковые тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Неразрушающий контроль. Программа и методика проведения неразрушающего контроля отливок «Рама боковая», чертеж 100.00.002-4 на ПАТ «КСЗ» [5].





Рис. 5. Приклади втомних руйнувань рам бокових в експлуатації

Аналіз методів контролю

Аварії та катастрофи, що відбуваються внаслідок руйнування деталей (в том числі елементів залізничного рухомого складу), в більшості випадків пов'язані з наявністю в них дефектів. Дефектом вважається кожна окрема невідповідність продукції встановленим вимогам. Не існує одного універсального методу контролю, який дозволив би визначити всі властивості об'єкту. Методи контролю поділяються на дві великі групи: руйнівні та неруйнівні. Руйнівні – це методи контролю, при яких може бути порушена придатність об'єкта до подальшої експлуатації. Неруйнівні методи контролю дозволяють оцінити якість продукції без порушення її придатності до подальшого використання, призначені для виявлення дефектів типу порушення суцільності матеріалу, оцінки фізико-хімічних властивостей матеріалу, контролю геометричних параметрів виробу.

В дефектоскопії поняття дефект зазвичай характеризується порушенням суцільності матеріалу, що виявлене засобами неруйнівного контролю (далі – НК).

Оптимальна система НК на підприємстві повинна забезпечити максимальну технічну ефективність контролю при мінімальних затратах. Технічна ефективність НК – це правильність віднесення об'єктів до придатних чи бракованих на основі його (НК) результатів. Актуальність неруйнівних методів контролю полягає у виявленні дефектів не тільки в одиничних зразках, а й у всій партії виробів (100 % контроль), що зведе до мінімуму попадання браку в експлуатацію.

НК, в залежності від фізичних явищ, які закладені в його основу, розподіляються на види, що в свою чергу складаються з методів, які розрізняються за характером взаємодії фізичних полів або речовин з об'єктом, що контролюється, інформативним первинним параметрам і способам отримання первинної інформації.

Система НК технічного стану вузлів і деталей вагонів на підприємствах-виробниках базується на застосуванні візуально-вимірювального, магнітопорошкового, вихрострумовеого, ферозондового, капілярного та акустичних методів контролю.

Візуально-вимірювальний контроль є обов'язковим, першочерговим та одним із найбільш інформативних методів контролю. Згідно з нормативною документацією, перед проведенням НК будь-яким іншим методом, попередньо необхідно візуально оглянути об'єкт контролю на предмет наявності недопустимих дефектів. Візуально-вимірювальний контроль проводять як на різних стадіях виготовлення деталей, так і періодично в процесі експлуатації.

Незважаючи на те, що візуально-вимірювальний метод НК вважається простим, реалізація його достатньо складна тому, що потребує від оператора-дефектоскопіста знання багатьох аспектів, які пов'язані з пошуком дефектів: представлення про матеріали, їх властивості, причини виникнення дефектів, способах їх запобігання та усунення, про взаємозв'язок між механічними властивостями, конструктивними параметрами та технологією виготовлення виробів і фізичними явищами, що застосовуються, про механізми руйнування матеріалів, про фізичні основи різних методів і прийомів під час НК, способах реєстрації, зберігання та обробки результатів НК, перевагах і недоліках різних методів НК.

Візуально-вимірювальний контроль – це єдиний вид НК, який, зазвичай, використовується без будь-якого обладнання з використанням найпростіших засобів вимірювань.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Допустимі дефекти, що виявлені під час візуального огляду, усувають згідно з вимогам нормативної та технологічної документації. Деталі з виявленими під час огляду недопустимими дефектами бракуються та подальшому контролю не підлягають.

Мінімальний розмір дефекту, що виявляється неозброєним оком, дорівнює (0,1 – 0,2) мм, а з оптичною системою – декільком мікрометрам.

Головним недоліком візуально-вимірювального методу контролю є неможливість виявлення внутрішніх дефектів. Недоліками методу також можна вважати неможливість автоматизації контролю та суб'єктивні якості оператора-дефектоскопіста.

Магнітопорошковий метод НК (далі – МПК) заснований на притягненні магнітних часток порошку з феромагнетика силами неоднорідних магнітних полів, які виникають на поверхні намагніченого об'єкта контролю. Над дефектом виникає утворення скупчень магнітних часток у вигляді індикаторних малюнків, які можна реєструвати як візуально, так і за допомогою універсальних оптичних засобів – луп, дзеркал, ендоскопів тощо. Умовну протяжність дефектів визначають за допомогою універсальних засобів вимірювань.

Чутливість МПК (виявлення найменшого за розмірами дефекту) визначається формою, розмірами, шорсткістю об'єкта контролю, його магнітними характеристиками, напруженістю намагнічуючого поля, місцеположенням і орієнтацією дефектів, властивостями магнітних індикаторів, способами їх нанесення на об'єкт контролю, способами реєстрації індикаторного малюнка дефектів, що виявляються. Встановлено три умовних рівня чутливості згідно з ГОСТ 21105 [6], які наведено в табл. 1.

Магнітопорошковий метод включає в себе наступні технологічні операції:

- намагнічування об'єкта контролю;
- нанесення магнітного індикатора;
- огляд намагніченої поверхні та виявлення дефектів.

Таблиця 1. Рівні чутливості МПК-методу

Умовний рівень чутливості	Мінімальна ширина умовного дефекту, мкм	Мінімальна протяжність умовного дефекту, мм	Шорсткість поверхні, мкм
А	2,0	0,5	$R_a \leq 2,5$
Б	10,0		$R_a \leq 10,0$
В	25,0		

Способи МПК:

- спосіб прикладеного поля (далі – СПП), під час якого нанесення магнітного індикатора та огляд поверхні, що контролюється, проводять під час намагнічування об'єкта контролю;

- спосіб залишкової намагніченості (далі – СЗН), під час якого об'єкт контролю спочатку намагнічують, а потім після припинення намагнічування на поверхню, що контролюється, наносять магнітний індикатор і оглядають її.

В якості магнітних індикаторів при МПК використовують магнітні порошки, суспензії та суміші, що полімеризуються.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Застосовують метод в різних галузях промисловості: хімічне машинобудування, суднобудування, автомобілебудування, авіація, залізничний транспорт, під час контролю великогабаритних конструкцій і магістральних трубопроводів тощо. Метод застосовують на всіх стадіях життєвого циклу деталей – під час їх виготовлення, експлуатації та ремонту. Таке широке розповсюдження МПК зумовлено тим, що це один з найбільш чутливих, надійних і продуктивних методів НК, під час якого виявляються поверхневі та підповерхневі дефекти типу порушення суцільності металу: тріщини різного походження, флокени, закотини, надриви, волосовини, розшарування, дефекти зварних з'єднань в деталях, які виготовлені з феромагнітних матеріалів.

В залізничній галузі МПК піддають такі деталі рухомого складу: балки та рами візків вагонів, осі колісних пар, колеса суцільнокатані, клини тягових хомутів та ін.

Перевага МПК – наочність, відносно висока продуктивність і простота реалізації контролю. Можливості методу дозволяють виявляти несутцільності з розкриттям 1 мкм, глибиною 10 мкм і більше, протяжністю 0,5 мм.

Недоліками МПК є неможливість визначення глибини і ширини поверхневих дефектів, розміри підповерхневих дефектів і глибину їх залягання, а також складність автоматизації контролю та суб'єктивність оператора-дефектоскопіста.

Вихрострумний (електромагнітний) метод НК (далі – ВСК) заснований на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться в об'єкті контролю цим полем. Зважаючи на те, що вихрові струми виникають тільки в електропровідних матеріалах, то об'єктами вихрострумного контролю можуть бути вироби, виготовлені з металів, сплавів, графіту, напівпровідників і інших струмопровідних матеріалів.

Метод використовується для виявлення та визначення типу і розмірів дефектів суцільності деталей (дефектоскопія), контролю фізико-механічних властивостей матеріалів (структуроскопія), визначення розмірів об'єктів і параметрів вібрацій (товщинометрія і віброметрія), виявлення струмопровідних об'єктів (пошук металів).

Вихрострумний перетворювач (далі – ВСП) – це пристрій, що складається з однієї або декількох індуктивних обмоток, які поділяються на збуджуючі та вимірювальні, що використовуються для збудження в об'єкті контролю вихрових струмів і перетворення електромагнітного поля, що залежить від параметрів об'єкта, в сигнал перетворювача.

Одною з переваг методу є можливість безконтактного контролю, під час якого можливе переміщення об'єкта контролю відносно ВСП з достатньо високою швидкістю під час, наприклад, виробничого НК. Отримання первинної інформації у вигляді електричних сигналів, безконтактність і висока продуктивність визначають широкі можливості в справі автоматизації вихрострумного контролю. На сигнали перетворювача практично не впливають атмосферний тиск, вологість і забрудненість середовища, радіоактивне випромінювання, забруднення поверхні об'єкта контролю.

ВСК дозволяє виявляти як поверхневі, так і підповерхневі (що залягають на глибині (1 – 4) мм) дефекти та виявляти тріщини, що виходять на поверхню та мають ширину розкриття більше 0,01 мм, глибину більше 0,1 мм і довжину більше 2 мм.

ВТК використовується для контролю продукції як в процесі її виробництва на заводах чорної, кольорової металургії, машинобудівних підприємствах, так і під

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

час експлуатації обладнання складних технічних об'єктів (електростанцій, літаків, ракет, автомобільного, трубопровідного, залізничного транспорту та ін.). Метод застосовують на всіх стадіях життєвого циклу деталей – під час їх виготовленні, експлуатації та ремонту.

В залізничній галузі ВТК піддають такі деталі рухомого складу: балки та рами візків вагонів, колеса суцільнокатані, клини тягових хомутів та ін.

Ферозондовий метод НК (далі – ФЗК) заснований на виявленні ферозондовим перетворювачем (ФП) магнітного поля розсіювання дефекту на намагніченій деталі та перетворення його в електричний сигнал.

ФЗК дозволяє знаходити дефекти за рахунок виявлення просторових викривлень магнітного поля над дефектом. Викривлене поле над дефектом, яке називається полем розсіювання дефекту або полем дефекту, визначається за допомогою ФП, що перетворює градієнт напруженості магнітного поля в електричний сигнал.

Метод слугує для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів типу порушень суцільності: волосовин, тріщин, раковин закотин, плен, ужимин тощо, а також дефектів, що розташовані на глибині до 10 мм і в окремих випадках до 20 мм у виробх правильної форми. За його допомогою проводять контроль якості структури і геометричних розмірів виробів.

Встановлено одинадцять рівнів чутливості методу в залежності від розмірів дефектів і глибини їх залягання (табл. 2).

Таблиця 2. Рівні чутливості ФЗК-методу

Умовні рівні чутливості	Мінімальні розміри дефектів, що виявляються, мм		Максимальна глибина залягання дефекту, мм
	Ширина	Глибина	
Поверхневі			
A1	От 0,002 до 0,005	От 0,007 до 0,15	–
A2	От 0,002 до 0,005		
A3	От 0,002 до 0,005		
A	От 0,002 до 0,005	0,2	
Б	От 0,002 до 0,005	От 0,2 до 1,0	
Підповерхневі			
B1	От 0,02 до 0,004	От 0,2 до 0,15	10
В	0,3	0,5	10
Г1	0,3	От 0,5 до 1,0	20
Г	0,3	От 0,5 до 1,0	10
Д1	От 0,3 до 0,5	От 0,5 до 1,0	30
Д	От 0,2 до 0,5	От 0,5 до 1,0	5

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Мінімальна довжина дефекту, що виявляється – 2 мм.

Чутливість контролюють на стандартних зразках, що мають природні або штучні дефекти.

Існують наступні типи ФП, що застосовують під час контролю деталей вагонів:

- ФП-градієнтометри, які перетворюють в електричний сигнал напруженість магнітного поля, застосовуються для вимірювання градієнта напруженості магнітного поля і дефектоскопіювання;

- ФП-полеміри, що перетворюють напруженість магнітного поля в електричний сигнал. Застосовуються для вимірювання напруженості магнітного поля.

При ФЗК реалізуються два способи контролю (за аналогією з МПК):

- спосіб прикладеного поля (далі – СПП), який полягає в намагнічуванні деталі та реєстрації магнітних полів розсіювання дефектів під час встановленого на деталь і увімкненого намагнічуючого пристрою (далі – НУ);

- спосіб залишкової намагніченості (далі – СЗН), під час якого намагнічування деталей і реєстрація магнітних полів розсіювання дефектів, в остаточному магнітному полі, відбувається після зняття або вимкнення магнітних пристроїв.

За допомогою ФЗК можна контролювати вироби будь-яких розмірів і форм, якщо відношення їх довжини до найбільшого розміру в поперечному напрямленні та їх магнітні властивості дають можливість намагнічування до рівня, що є достатнім для створення магнітного поля розсіювання дефекту, який здатен виявити ФП.

На даний час ферозондові прилади використовуються в дефектоскопії для пошуку дефектів в широкому спектрі виробів машинобудування, транспорту.

Деталі вагонів, що контролюють ферозондовим методом: рами бокові та балки надресорні візків вантажних вагонів, балансири та з'єднувальні балки візків, рами візків, корпуси автозчепів і поглинальних апаратів, тягові хомути та ін.

Капілярний метод НК (далі – КМК) заснований на капілярному проникненні індикаторних рідин, що добре змочують матеріал об'єкта контролю, в порожнини несучільностей і реєстрації індикаторних слідів, що утворюються, візуально або за допомогою перетворювача.

КМК дозволяє виявляти поверхневі тріщини розкриттям 0,001 мм, глибиною 0,01 мм, довжиною більше 0,1 мм та наскрізні дефекти.

Необхідними умовами для виявлення несучільностей є:

- вихід їх на поверхню об'єкта контролю;

- глибина розповсюдження значно перевищує ширину їх розкриття.

Капілярні методи поділяються на три основних методи: кольоровий, люмінесцентний і люмінесцентно-кольоровий.

Чутливість методу визначається за розміру найменших реальних або штучних дефектів, що виявляються. Згідно з ГОСТ 18842 [7] основний параметр дефекту – ширина його розкриття, встановлені п'ять класів чутливості (табл. 3).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 3. Класи чутливості КМК-методу

Клас чутливості	I	II	III	IV	Технологічний
Ширина розкриття дефекту, мкм	Менше 1	От 1 до 10	От 10 до 100	От 100 до 500	Не нормується

Поріг чутливості конкретного способу КМК залежить від умов контролю та дефектоскопічних матеріалів.

Технологія КМК складається з наступних операцій:

- підготовка деталі до контролю, полягає в очищенні поверхні. Поверхню об'єкта контролю очищають водою або органічним очисником. Всі забруднюючі речовини і покриття повинні бути видалені. Після цього поверхня висушується;

- нанесення пенетранту – дефектоскопічного матеріалу, який має можливість проникати в несущільності об'єкта контролю та ініціювати їх (зазвичай червоного кольору). Наноситься методом розпилення, пензлем або зануренням об'єкта контролю в ванну;

- видалення залишків пенетранту виконується промиванням водою, протиранням салфеткою або очисником. При цьому пенетрант повинен бути видалений тільки з поверхні, а не з порожнин можливих дефектів. Після цього поверхня висушується;

- нанесення проявника – дефектоскопічного матеріалу, який призначений для здобуття індикаторного пенетранту з капілярної порожнини несущільності з метою створення чіткого індикаторного малюнка (зазвичай білого кольору);

- пошук дефектів починається відразу після закінчення процесу проявлення і закінчується не більше ніж через 30 хвилин. Інтенсивність фарбування говорить про глибину дефекту. Після проведення контролю проявник видаляють водою або очисником – дефектоскопічним матеріалом, що призначений для видалення індикаторного пенетранту. Може також використовуватися гасник пенетранту – дефектоскопічний матеріал, що призначений для гасіння люмінісценції або кольору остатків відповідних індикаторних пенетрантів на поверхні об'єкта контролю.

КМК застосовують у різних галузях: в машинобудуванні, в атомній, космічній, хімічній і нафтопереробній промисловості, на транспорті тощо.

Переваги КМК – не залежить від матеріалу та форми об'єкта контролю, геометрії та направлення дефектів, швидкість контролю.

КМК один із найбільш розповсюджених методів НК у світі тому, що не потребує складної апаратури, портативний, мобільний і здатен виявляти мікродефекти, котрі недоступні іншим методам НК.

Акустичними методами НК контролюється широкий спектр деталей залізничного рухомого складу: осі локомотивів і вагонів, бандажі та суцільнокатані колеса, колінчасті вали дизелів і компресорів, литі деталі візків вантажних вагонів та ін. (35 – 40) % загального об'єму операцій НК, що проводяться під час виготовлення та ремонту рухомого складу).

Акустичні методи НК розділяють на дві групи: активні, які засновані на випроміненні та прийманні хвиль, і пасивні, що засновані тільки на прийманні хвиль, джерелом яких служить сам об'єкт контролю. При цьому частіше всього викорис-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

товуються пружні хвилі ультразвукового діапазону (ультразвукова (далі – УЗ) дефектоскопія), параметри яких залежать від густини, пружності, анізотропії та інших властивостей матеріалів.

Під час проведення ультразвукового неруйнівного контролю (далі – УЗК) та товщинометрії використовуються ультразвукові хвилі в діапазоні від 0,1 до 20 МГц.

Активні методи розділяють на методи проходження, відбиття, комбіновані, власних коливань і імпедансні. Найбільше розповсюдження отримав луна-імпульсний метод або луна-метод, який відноситься до методів відбиття. За допомогою луна-методу виконують дефектоскопію поковок, виливків, зварних з'єднань, неметалевих матеріалів, визначають фізико-механічні властивості матеріалів та геометричні параметри об'єкта контролю.

Луна-метод НК заснований на здатності УЗ-хвиль, які випромінюються в об'єкт, що контролюється, відбиватися від дефектів з наступною реєстрацією луна-сигналів індикаторами дефектоскопів.

Перевага методу:

- односторонній доступ до об'єкту контролю;
- висока чутливість виявлення внутрішніх дефектів (площина відбивної поверхні від 1 мм²);
- достатньо висока точність визначення координат дефектів.

Недоліки:

- складність контролю якості акустичного контакту;
- низька стійкість до перешкод від поверхневих дефектів;
- залежність амплітуди відбитого сигналу від багатьох факторів: типу дефекту, його розмірів, координат, орієнтації та відбивної здатності.

Пасивні методи засновані на аналізі пружних коливань хвиль, які виникають в самому об'єкті, що контролюється. Відрізняють, наприклад, такі методи як акустико-емісійний (далі – АЕ) метод (отримав найбільше розповсюдження), вібраційно-діагностичний і шумодіагностичний.

Акустична емісія представляє собою випромінення пружних хвиль матеріалом в результаті пластичної деформації твердих середовищ, фазовими перетвореннями в речовинах, розвитку дефектів, тертя, проходження рідких і газоподібних речовин скрізь вузькі отвори чи несучільності, під час перемагнічування матеріалів, в результаті радіаційної взаємодії, при хімічних і електрохімічних реакціях включаючи корозійні процеси. Пьезоперетворювачі, які встановлені на об'єкт контролю, приймають пружні хвилі та дозволяють встановити їх джерело. Робочий частотний діапазон апаратури для АЕ-методу знаходиться в межах від 0,01 до 1,0 МГц.

АЕ-метод – один із найбільш нових, сучасних методів НК, який динамічно розвивається, дозволяє знаходити і реєструвати тільки дефекти, що розвиваються (з приростом (1 – 10) мкм) незалежно від їх орієнтації та розмірів, а саме кваліфікує дефекти не за розмірами, а за ступенем їх небезпеки.

Переваги АЕ-методу:

- виявлення небезпечних дефектів (що розвиваються) в місцях, які недоступні іншим методам НК;
- виділення дефектних зон і оцінка залишкового ресурсу конструкцій на основі статистичних характеристик сигналів від дефектів;
- оперативність оцінки технічного стану об'єктів – немає операцій сканування;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- можливість дистанційного контролю великогабаритних об'єктів;
- визначення часу виникнення та контроль розвитку дефекту в реальному часі;
- можливість моніторингу технічного стану об'єктів упродовж всього терміну їх експлуатації.

Недоліки:

- можливість контролю тільки дефектів, що розвиваються;
- неможливість визначення лінійних розмірів дефектів;
- необхідність навантаження об'єкта контролю робочим навантаженням;
- достатньо висока чутливість до перешкод (вібраційних, кліматичних, акустичних та ін.).

Методом акустичною емісії контролюють такі деталі рухомого складу: литі балки надресорні та рами бокові візків вантажних вагонів, котли залізничних цистерн та ін., які знаходилися якийсь час в експлуатації.

Литі деталі візків вантажних вагонів – рами бокові, що виготовляються на ПАТ «КСЗ», проходять періодично сертифікаційні випробування на відповідність вимогам систем «СС ФЖТ» и УкрСЕПРО (1 раз на три роки) в обсяг яких входять і випробування на втому. Рами бокові піддаються, також, періодичним випробуванням на втому два рази на рік. Це пов'язано з тим, що дані деталі працюють в умовах знакопостійних навантажень, що повторюються, та їх ресурс цілком визначається циклічною міцністю матеріалів, з яких вони сконструйовані.

Метою випробувань на втому являється визначення довговічності чи початку руйнування елемента, що випробовується, підданого дії напруження з амплітудою, яка змінюється в заданій послідовності. Коефіцієнт запасу опору втомі являється одним із основних показників, котрі визначають безпеку руху вагона.

Втомні випробування (за суттю руйнівний контроль) призводять до руйнування об'єкту контролю чи, як мінімум, не гарантують придатності його до експлуатації після випробувань.

Перед проведенням випробувань на втому рами обладнують тензорезисторами для наладки та контролю режиму випробувань за їх показаннями. Загальний вигляд стенду для випробувань на втому ЦДМ-200 Пу, із встановленою рамою боковою, наведений на рис 6.



Рис. 6. Стенд ЦДМ-200 Пу для випробувань на втому рами бокової

Випробування на втому проводяться за методикою «Надресорные балки и боковые рамы литые двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Методики испытаний на усталость» [8].

Схема навантаження рами бокової, під час проведення випробувань на втому, наведена на рис 7.

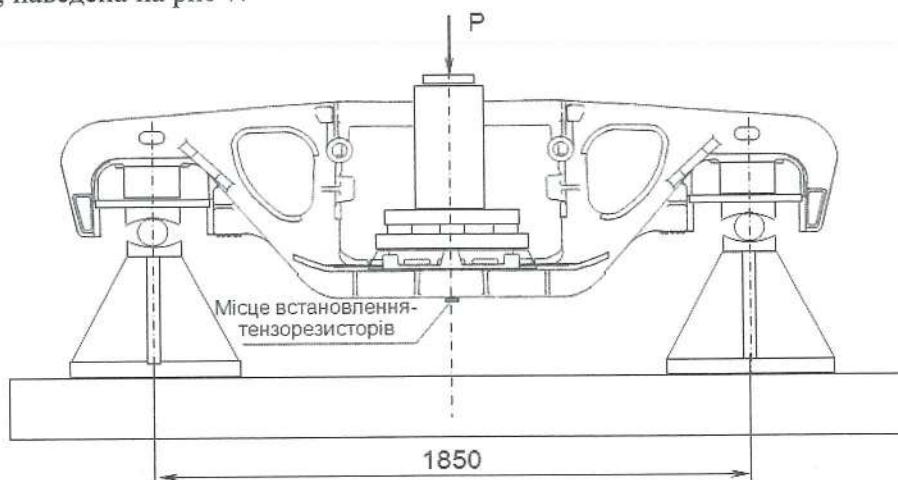


Рис. 7. Схема навантаження рами бокової

Руйнування деталей, в результаті випробувань на втому, виникало по таким місцям, як внутрішній кут буксового прорізу 1, похилий пояс 3, нижній кут ресорного прорізу 4 (див. рис.1).

Характерні види втомних руйнувань і зламів рам бокових після періодичних випробувань на втому представлені на рис. 8 – 10.



Рис. 8. Види втомного руйнування (а) та зламу (б) рами бокової № 107476, яку виготовлено у II півріччі 2012 року



Рис. 9. Види втомного руйнування (а) та зламу (б) рами бокової № 15182, яку виготовлено у I півріччі 2012 року



Рис. 10. Види втомного руйнування (а) та зламу (б) рами бокової № 2960, яку виготовлено у 2005 році

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Методика проведення випробувань

Метою проведення випробувань була перевірка відповідності фактичних значень показників (характеристик) зразків, що випробовуються, вимогам ОСТ 32.183 [2], ТТ ЦВ 32-695 [3] та кресленика 100.00.002-4 [1], надання висновків про відповідність технології неруйнівного контролю рам бокових вимогам нормативної та конструкторської документації для можливості використання під час інспекційного контролю.

Випробування проводилися в діапазонах температур і вологості повітря, що вказані в паспортах на випробувальне обладнання та засоби вимірювань, які використовувалися під час випробувань.

Загальний порядок підготовки до випробувань і методика їх проведення відповідали вимогам спеціально розробленої методики ПМ 6.1.00619-2013 [5].

Дана методика була розроблена виходячи з статистичних даних про місця та характер руйнувань деталі рама бокова, кресленник 100.00.002-4 [1], отриманих в експлуатації та у процесі періодичних випробувань на втому.

Контроль зовнішнього виду, перевірку маркування та клеймування проводили методом візуального огляду об'єктів випробувань.

Контроль якості поверхні проводили магнітопорошковим методом НК способом СПП. Зони контролю, які визначені за результатами моніторингу аварійності рам бокових в експлуатації та результатів періодичних випробувань на втому, показані на рис. 11.

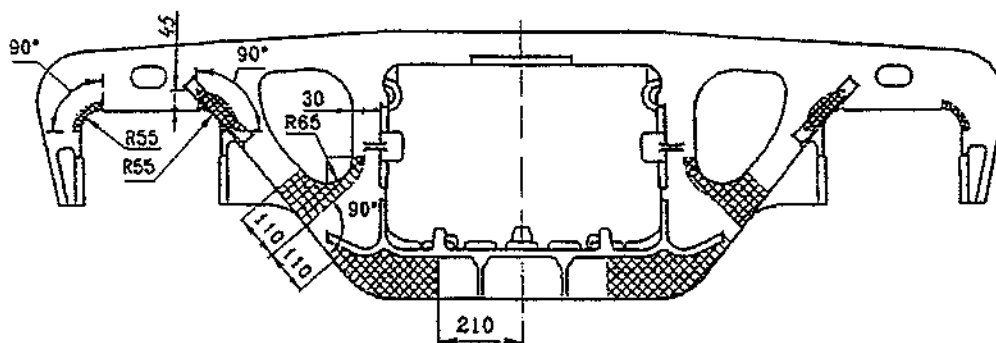


Рис. 11. Зони контролю рами бокової, кресленник 100.00.002-4

Товщини стінок рам бокових в радіусі 55 мм внутрішнього кута буксового прорізу (див. рис.1) визначали в двох точках методом ультразвукової товщинометрії. Шорсткість поверхні в місті виміру при цьому не перевищувала $R_z = 40$ мкм.

Контроль наявності внутрішніх дефектів об'єктів випробувань проводили візуально. Для цього проводилося розрізання деталей за визначеними перерізами (визначені за результатами моніторингу аварійності рам бокових в експлуатації та результатів періодичних випробувань на втому) згідно з рис. 12.

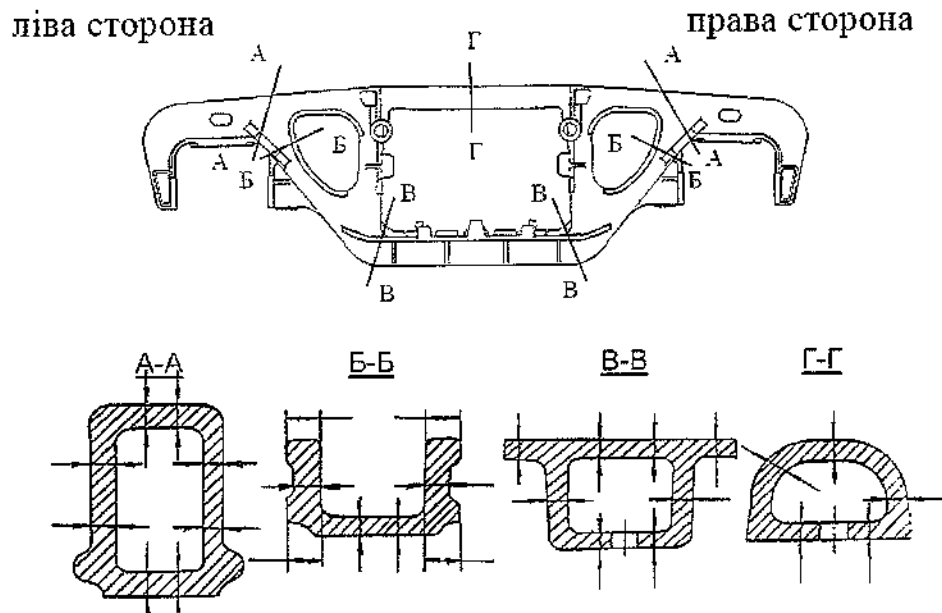


Рис. 12. Схема розрізання рами бокової, кресленик 100.00.002-4

Обробка матеріалів і оцінка результатів

Для оцінки обсягу вибірки застосовували метод статистичного моделювання.

Згідно з розрахунком, кількість деталей, необхідна для проведення контролю, з загальної партії $N = 13337$ шт. (генеральної сукупності), з вірогідністю $P = 0,99$ та граничною помилкою $0,05$ складала 2627 шт.

Результати контролю (візуального огляду, контролю, вимірювань) реєструють в журналах контролю.

Точність результатів контролю оцінюють за величинами похибок засобів вимірювань, що застосовуються, а також за величинами інших факторів, які впливають на точність вимірювань.

Висновки

За результатами проведеної оцінки технології контролю якості рам бокових (кресленик 100.00.002-4) можна зробити наступні висновки:

1. Технологія неруйнівного контролю рам бокових (кресленик 100.00.002-4), що застосовується на ПАТ «КСЗ», відповідає вимогам ОСТ 32.183 [2], ТТ ЦВ 32-695 [3], НБ ЖТ ТМ 02 [4] та кресленника 100.00.002-4 [1].

2. Фактичні показники зразків рам бокових (зовнішній вид, маркування та клеймування, якість поверхні, товщина стінки рам бокових в радіусі 55 мм внутрішнього кута буксового прорізу, внутрішні дефекти), що визначалися, відповідають вимогам ОСТ 32.183 [2], ТТ ЦВ 32-695 [3], НБ ЖТ ТМ 02 [4] та кресленника 100.00.002-4 [1].

3. Матеріали випробувань з моніторингу технології неруйнівного контролю рам бокових (кресленик 100.00.002-4) можуть бути використані під час проведення інспекційного контролю.

ЛІТЕРАТУРА

1. 100.00.002-4 Рама боковая отливка: Кресленик. –Кременчук: ПАТ «КСЗ», 2004. – 2 с.
2. ОСТ 32.183-2001 Тележки двухосные грузовых вагонов колеи 1520 мм. Детали литые. Рама боковая и балка наддресорная. Технические условия. – [Введений в діювід 2002-04-01]. – М.: МПС Росії, 2002. – 23 с.
3. ТТ ЦВ 32-695-2006 Детали литые из низколегированной стали для вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Рама боковая и балка наддресорная. Технические требования. – М.: ВАТ «РЖД», 2006. – 31 с.
4. НБ ЖТ ТМ 02-98 Металлопродукция для железнодорожного подвижного состава. Нормы безопасности. – М.: «ГУП ВНИИЖТ МПС России», 1998. – 125 с.
5. ПМ 6.1.00619-2013 Рамы боковые тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Неразрушающий контроль. Программа и методика проведения неразрушающего контроля отливок «Рама боковая», чертеж 100.00.002-4 на ПАТ «КСЗ». – Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2013. – 16 с.
6. ГОСТ 21105-87 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. [Введен в действие от 1988-01-01]. – М.: Видавництво стандартів, 1987. – 20 с.
7. ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. – [Введений в діювід 1981-07-01]. – М.: Видавництво стандартів, 1987. – 24 с.
8. Наддресорные балки и боковые рамы литые двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Методики испытаний на усталость. – М.: ВАТ «ВНИИЖТ», ВАТ «НИИ вагоностроение», 2010. – 16 с.

УДК 629.4.014.62.004.67 : 001.891.5

Ю.В. Єжов, М.Д. Черкаський, О.І. Войтенко

ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ ЯК РЕАЛЬНИЙ ШЛЯХ ПІДТРИМАННЯ НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ ВАГОНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО ПАРКУ УКРЗАЛІЗНИЦІ У СКЛАДНИХ ЕКОНОМІЧНИХ УМОВАХ

Розглядаються шляхи підтримання необхідної кількості пасажирських вагонів локомотивної тяги експлуатаційного парку Укрзалізниці та можливість їх реалізації у сьогодинішніх складних економічних умовах.

Найважливішими перевагами пасажирського залізничного транспорту в сучасних умовах є його економічність, доступність та екологічність. Для даного виду транспорту характерне широке використання для масових перевезень електроенергії – єдиного джерела енергії, яким Україна забезпечується на 100% за рахунок власного виробітку. В умовах стрімко зростаючих цін на нафтопродукти це може стати вирішальним фактором для підвищення конкурентноздатності залізничного транспорту взагалі, у тому числі пасажирського, та послаблення його залежності від зовнішньоекономічних чинників.

Залізниці України до останнього часу забезпечували потреби населення у перевезеннях. Досягалось це, в основному, за рахунок надлишку технічних потужностей, створених раніше. На теперішній час резерви залізниць у цьому напрямку вичерпані.

Ситуація ускладнюється тим, що у зв'язку з обмеженим придбанням Укрзалізницею нових пасажирських вагонів за останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку пасажирських вагонів локомотивної тяги.

У 2008 році спільним Наказом Мінтрансзв'язку та Мінпромполітики від 14.10.2008 р. № 1259 в Україні був прийнятий документ „Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 - 2020 роки” (далі – КПОЗРС) [1].

Відповідно до даних, наведених в КПОЗРС, із 7536 пасажирських вагонів інвентарного парку станом на 01.01.2008 р. 2890 вагонів (38,3 %) мали термін експлуатації з дати побудови 28-44 роки, тобто давно відпрацювали свій ресурс.

Виходячи з розподілу пасажирських вагонів за роками побудови до 2015 р. чисельність таких вагонів буде складати вже 5654 (75,8%), а до 2020 р. – 7207 (95,6 %).

Тобто у 2020 р. в інвентарному парку пасажирських вагонів Укрзалізниці із 7536 пасажирських вагонів на 01.01.2008 р. залишитися лише 329 вагонів в межах призначеного виробником терміну експлуатації.

© Ю.В. Єжов, М.Д. Черкаський, О.І. Войтенко, 2014

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Згадана КПОЗРС передбачає два напрямки вирішення проблеми забезпечення необхідного рівня пасажирських перевезень:

- придбання нових сучасних пасажирських вагонів;
- продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів за рахунок відновлення їх ресурсу під час проведення капітально-відновлювального ремонту (КВР) після того, як призначений термін експлуатації вагонами буде вичерпаний.

Відповідно до наведеного у згаданій КПОЗРС плану придбання нових пасажирських вагонів по типам та рокам у період з 2008 р. по 2020 р. заплановано придбати 3617 нових вагонів на суму 20003,4 млн. грн. (в цінах 2007 р.). При цьому 3595 вагонів заплановано відремонтувати в об'ємі капітально-відновлювального ремонту (ремонт з відновленням ресурсу несучих елементів кузовів та візків, оновленням внутрішнього та зовнішнього обладнання, заміною всіх систем життєзабезпечення, утворенням сучасного інтер'єру та продовженням терміну експлуатації на 20-23 роки) з сумою витрат 6964,3 млн. грн. (в цінах 2007 р.).

У разі реалізації зазначеної КПОЗРС чисельність інвентарного парку пасажирських вагонів у 2020 р. можна було б довести до 7541 одиниць, що відповідає рівню чисельності інвентарного парку у 2008 р.

Але плани так і залишилися планами.

За інформацією відкритих джерел ЗМІ [2] з 1992 р. до теперішнього часу (тобто за більш ніж 20 останніх років) Укрзалізниця за власні кошти змогла придбати для заміни застарілого парку пасажирських вагонів лише 561 пасажирський вагон, тобто, менше, ніж 9% від всього інвентарного парку, який станом на 01.09.2013 р. складав 6430 одиниць (тобто у порівнянні з 2008 р. вже зменшився на 1106 вагонів) [2]. Якщо у 2008 р. було придбано 180 вагонів, а у 2010 р. – 21 вагон, то у 2012 р. – лише один вагон.

При цьому процес списання пасажирських вагонів не припиняється. У 2013 р. Укрзалізницею було заплановано списати 362 пасажирських вагона, а у 2014 р. – 421 вагон.

Тільки для збереження об'ємів пасажирських перевезень на рівні 2013 р. Укрзалізниці необхідно щорічно поповняти експлуатаційний парк вагонів не менше ніж на 500 одиниць. При цьому щорічно буде необхідно виключати з експлуатації від 500 до 700 пасажирських вагонів, що вичерпали свій ресурс.

Ст.10 Закону України „Про залізничний транспорт” (стаття 10) передбачає, що придбання залізничного рухомого складу для перевезень пасажирів у поїздах далекого слідування та місцевого сполучення повинне здійснюватися за рахунок коштів Державного бюджету України, але до цього часу цільові бюджетні кошти, через їх дефіцит для закупівлі пасажирських вагонів не передбачалися.

У Держбюджеті на 2014 р. Укрзалізниця просила Кабмін передбачити близько \$740 млн. на придбання 493-х пасажирських вагонів (300 купейних, 100 плацкартних, 52 спальних, 41 спеціальний). Але економічна ситуація в Україні цього не дозволяє і у прийнятому Держбюджеті на 2014 р. таких коштів не передбачено.

Коштів залізниць також недостатньо для забезпечення покриття експлуатаційних витрат та оновлення в необхідних обсягах залізничного рухомого складу, зокрема, пасажирських вагонів.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Можливість оновлення інвентарного парку пасажирських вагонів Укрзалізниці за рахунок придбання нових вагонів ілюструє табл. 1.

Таблиця 1. Стан парку пасажирських вагонів Укрзалізниці та можливість його оновлення за рахунок придбання нових вагонів

Чисельність інвентарного парку станом на 01.01.2008 р.	7536 од.
Чисельність інвентарного парку станом на 01.09.2013 р.	6430 од.
Кількість вагонів в інвентарному парку з терміном експлуатації 28 років та більше	3477 од. (54%)
Кількість вагонів в інвентарному парку з терміном експлуатації до 28 років	2953 од. (46%)
Зменшення чисельності парку за період з 2008 р. по 2014 р.	1106 од.
Кількість вагонів, що виключена з експлуатації у 2013 р.	362 од.
Кількість вагонів, що планується виключити з експлуатації у 2014 р.	421 од.
Кількість вагонів з вичерпаним ресурсом, що необхідно у подальшому щорічно виключати з експлуатації	500-700 од.
Необхідне щорічне поповнення парку пасажирських вагонів для збереження об'ємів перевезень на рівні 2013 р.	не менше 500 од.
Середня ціна нового пасажирського вагона у 2013 р.	12 млн. грн.
План придбання Укрзалізницею пасажирських вагонів у 2014 р. за рахунок Держбюджету	490 од. \$740 млн.
Кількість пасажирських вагонів, що придбали залізниці України за період з 1992 р. по 2014 р. (протягом 22-х останніх років)	561 од.

Як випливає з наведеної таблиці, у сьогоденні складних економічних умовах збереження об'ємів пасажирських перевезень навіть на рівні 2013 р. за рахунок придбання нових вагонів представляється нереальним.

Що стосується продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів за рахунок відновлення їх ресурсу під час проведення капітально-відновлювального ремонту, то протягом останніх років зазначений вид ремонту пасажирським вагонам практично не проводився.

Тому на даний час та найближчі роки реальним засобом підтримання необхідної кількості пасажирських вагонів експлуатаційного парку Укрзалізниці слід вважати не придбання нових вагонів, не відновлення ресурсу вагонів, що знаходяться в експлуатації за рахунок проведення їм капітально-відновлювального ремонту, а продовження терміну їх експлуатації за призначений термін на підставі результатів технічного діагностування їх металоконструкцій.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Відмова від продовження терміну експлуатації наявного пасажирського рухомого складу неминуче приведе до неспроможності залізниць задовольнити потребу у пасажирських перевезеннях, негативно вплине на конкурентоспроможність вітчизняного пасажирського залізничного транспорту, а також на всю економіку України, чого допустити не можна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки: ДП „ДНДЦ УЗ”, ДП „УкрНДІВ”. - Київ, 2008. - 654 с.
2. Зачем украинским железнодорожникам бюджетные деньги [електронний ресурс] / Прес-служба Укрзалізниці. – Режим доступу: <http://www.delo.ua>.

УДК 629.4.014.62.004.6 : 001.891.5

Ю.В. Єжов, С.І. Щербаков, О.І. Войтенко

**ТЕХНІЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ
ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ, ЩО ВИСЛУЖИЛИ ПРИЗНАЧЕНИЙ ТЕРМІН, ЯК
МЕТОД ОБГРУНТОВАНОГО ПРОДОВЖЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Розглядаються основні положення документу „Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що вислужили призначений термін, з метою його продовження” ЦЛ-0070 та оцінюється їх придатність для обґрунтованого продовження терміну експлуатації таких вагонів.

Обґрунтовано продовжувати експлуатацію наявного пасажирського рухомого складу, що вислужив призначений термін, можливо лише за результатами його технічного діагностування.

Згідно з ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения, технічне діагностування – це визначення технічного стану об'єкту [1]. Задачами технічного діагностування є контроль технічного стану, пошук місць та визначення причин відмови та прогнозування технічного стану об'єкту.

Якщо об'єктом техніки, технічний стан якого визначається, є пасажирський вагон, то його технічне діагностування являє собою комплекс робіт з обстеження технічного стану металоконструкцій кузова вагона, рам і надресорних балок його візків, а також проведення контрольних випробувань зразків металоконструкцій вказаних елементів.

На даний час чинним нормативним документом в Україні, що регламентує проведення даної роботи, є розроблена Державним підприємством „Український науково-дослідний інститут вагонобудування” (ДП „УкрНДІВ”) спільно з Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) з урахуванням положень нових нормативних та керівних документів Укрзалізниці Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що вислужили призначений термін, з метою його продовження ЦЛ-0070 (далі – „Методика...”), затверджена та введена в дію Наказом Укрзалізниці від 25.06.2008 р. № 304-Ц [4].

Положення зазначеної „Методики...” поширюється на всі типи суцільно-металевих пасажирських вагонів локомотивної тяги магістральних залізниць, що вислужили призначений виробником даних вагонів термін, не тільки загальної мережі експлуатації, але і на вагони на базі пасажирських підрозділів та служб залізниць, які згідно з Наказом Укрзалізниці від 17.05.2011 р. № 199-Ц відносяться до групи службових, службово-технічних та спеціальних.

© Ю.В. Єжов, С.І. Щербаков, О.І. Войтенко, 2014

Відповідно до положень „Методики...” обсяг робіт з технічного діагностування вагонів включає обстеження технічного стану металоконструкції кузова кожного вагона, рам та надресорних балок його візків з використанням методів та засобів неруйнівного контролю та проведення контрольних міцнісних та ресурсних випробувань зразків кузовів різних типів вагонів, стендових випробувань на втому зразків рам і надресорних балок візків [4].

При цьому змінні вузли і елементи кузовів та візків підлягають технічному обслуговуванню і ремонту у встановленому порядку на ці вузли у терміни згідно з технічною документацією на їх експлуатацію і в перелік робіт з технічного діагностування не включаються.

Завданням обстеження технічного стану пасажирських вагонів є виявлення пошкоджень і несправностей їх металоконструкцій, а також визначення фактичних товщин основних несучих елементів кузовів вагонів, рам і надресорних балок візків.

Завданням контрольних випробувань є дослідження міцності зразка кузова пасажирського вагона конкретного типу, зразків рам і надресорних балок його візків. При цьому в обсяг контрольних випробувань включаються наступні їх види:

- статичні випробування кузова;
- випробування кузова на ударні навантаження;
- ударні ресурсні випробування кузова;
- стендові випробування на втому рам та над ресорних балок візків.

Основним завданням статичних випробувань є дослідження напруженого стану металоконструкції зразка кузова вагона конкретного типу, що вислужив призначений термін, з фактичними товщинами елементів при навантаженні розрахунковими статичними зусиллями, а також встановлення факту втрати його металоконструкцією стійкості від таких навантажень.

Завданням випробувань на ударні навантаження є дослідження напруженого стану та міцності металоконструкції зразка кузова вагона конкретного типу з фактичними товщинами елементів при ударах в автозчеп із заданою силою чи швидкістю.

Завданням ударних ресурсних випробувань є експериментальна перевірка довговічності металоконструкції зразка кузова вагона конкретного типу з фактичними (після призначеного терміну експлуатації) товщинами елементів при заданих режимах ударного навантаження, які еквівалентні по руйнуючій дії навантаженням вагона експлуатаційними повздовжніми динамічними силами. При цьому допускається довговічність несучих елементів конструкції кузова оцінювати за коефіцієнтами запасу опору втомі, що розраховуються на підставі результатів динаміко-міцнісних випробувань відповідно до вимог Норм для расчета и проектирования новых и модернизированных вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), 1983 р. та РД 24.050.37.90 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества, 1990 р.

Завданням стендових випробувань на втому є експериментальна оцінка втомної міцності зразків рам і надресорних балок візків.

Згідно з положеннями „Методики...” при обстеженні технічного стану основних несучих елементів та вузлів металоконструкції кузова вагона, рам і надресорних балок візків, підлягають виявленню наступні імовірні пошкодження і несправності:

- деформації, злами, прогини, обриви, пробіони елементів;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- ослаблення кріплення, відсутність вузлів та деталей;
- тріщини елементів та зварних швів;
- пошкодження елементів корозійного характеру.

Відхилення дійсних розмірів від значень, які вказані в технічній документації, визначаються за результатами вимірювань вузлів та деталей універсальними засобами вимірювальної техніки.

При обстеженні технічного стану основних несучих елементів та вузлів металоконструкцій пасажирських вагонів та проведенні контрольних випробувань їх зразків використовується атестоване у встановленому порядку випробувальне обладнання та повірені засоби вимірювальної техніки Випробувального центру ДП «УкрНДІВ».

Обстеження технічного стану металоконструкцій кожного вагона проводиться в три етапи:

- обстеження технічного стану металоконструкцій вагона візуально-оптичним методом з метою визначення місць механічних пошкоджень та деформацій, їх характеру та геометричних параметрів;
- виявлення дефектів в елементах металоконструкцій вагона, які неможливо виявити візуально-оптичним методом, іншими методами неруйнівного контролю;
- визначення ступеня корозійного пошкодження основних несучих елементів металоконструкцій вагона.

При виявленні механічних пошкоджень фахівець, що проводить обстеження, повинен звертати увагу на наявність тріщин (у тому числі в зварних швах), зламів, деформацій, слідів ремонту, спрацювання внаслідок корозії чи тертя; прогинів; обривів; зміни геометрії елементів кузова і рами вагона, рам та надресорних балок візків. При необхідності може проводитися контрольний демонтаж рознімних з'єднань. Усі виявлені пошкодження, їх геометричні характеристики відмічаються у картах технічного стану вагонів.

Під час проведення обстеження елементів металоконструкцій вагонів візуально-оптичним методом нерідко виникає ситуація, коли внаслідок значного корозійного пошкодження поверхні контролю, або наявності на такій поверхні раковин та інших поверхневих дефектів, підрізів від зварювальних робіт, зробити однозначний висновок про наявність в даній зоні тріщини неможливо. У даному випадку повинні використовуватися інші методи неруйнівного контролю. Найбільш достовірними методами для встановлення наявності на поверхнях контролю тріщини є магнітопорошковий та капілярний.

У випадках, коли при використанні магнітопорошкового або капілярного методів контролю неможливо отримати достовірну інформацію про наявність або відсутність тріщин в елементах металоконструкцій вагонів, дозволяється використовувати інші методи неруйнівного контролю.

Визначення ступеня корозійного пошкодження основних несучих елементів металоконструкцій вагонів здійснюється за результатами вимірювання фактичних товщин елементів. Вимірювання проводиться за допомогою ультразвукового товщиноміру у попередньо визначених (з досвіду обстеження металоконструкцій пасажирських вагонів) зонах і перерізах. Результати вимірювань заносяться у відповідні таблиці результатів вимірювань товщин елементів.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Відповідно до положень „Методики...” зразки кузовів вагонів для контрольних випробувань відбираються із партії вагонів, які підлягають діагностуванню у поточному році (вагони, які вислужили призначений термін), в процесі обстеження їх технічного стану. Відбір зразків здійснюється фахівцями, які виконують обстеження технічного стану вагонів, в присутності представника власника вагонів. Зразки повинні мати найбільше напрацювання (термін служби, пробіг), найбільш характерні максимальні допустимі пошкодження, у тому числі виправлені, мінімальні товщини основних несучих елементів.

Для проведення контрольних випробувань кузова відбирається один зразок вагона даного типу на візках.

Для імітації наявності у вагоні пасажирів використовуються попередньо зважені мішки з піском з відповідним їх розміщенням в приміщеннях пасажирського вагона.

Відбір зразків рами та надресорної балки візків вагонів для проведення контрольних випробувань на втому здійснюється в процесі обстеження технічного стану вагонів із партії вагонів, які підлягають діагностуванню у поточному році, після викатки візків з-під вагону з подальшим їх демонтажем. Для випробувань відбираються не менше двох зразків рами та надресорної балки візків кожного типу, які не повинні мати пошкоджень у вигляді тріщин. Зразки повинні мати найбільше напрацювання (термін служби, пробіг), найбільш характерні максимальні допустимі пошкодження, у тому числі виправлені, мінімальні товщини основних несучих елементів.

Контрольні випробування металоконструкцій зразків кузовів вагонів, зразків рам і надресорних балок візків виконуються за окремою НДР, яку доцільно проводити один раз у 5 років. За результатами контрольних випробувань встановлюється можливість продовження терміну служби кузовам та візкам вагонів даного типу, що вислужили призначений термін, а також визначається можливий термін продовження експлуатації вагонам даного типу.

Якщо при проведенні ударних ресурсних випробувань кузова або стендових випробувань на втому рам та надресорних балок візків металоконструкції вказаних елементів будуть доведені до руйнування, може бути визначений їх граничний термін експлуатації.

За результатами обстеження технічного стану металоконструкцій кожного вагона визначається ступінь корозійного або абразивного зносу елементів вагона (шляхом порівняння фактичних та номінальних товщин), проводиться аналіз виявлених несправностей з метою визначення виду ремонту, при якому виявлені несправності повинні бути усунуті, або необхідності виключення вагона (або візка) з експлуатації за критеріями, наведеними у відповідному додатку „Методики...”.

Для встановлення вагону нового призначеного терміну служби визначається також фактична швидкість корозії основних несучих елементів його металоконструкцій (хребтової, шворневих та кінцевих балок, нижніх обв'язок бокових стін, надресорних балок та рам візків).

Залишковий термін служби вагона в цілому по рівню корозійних ушкоджень встановлюється по мінімальному з обчислених залишковому терміну служби його основних несучих елементів металоконструкції кузова. Залишковий термін служби візків по рівню корозійних ушкоджень встановлюється по мінімальному з обчислених залишковому терміну служби їх основних несучих елементів (рам або надресорних балок).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

За результатами контрольних випробувань зразка кузова вагона оцінюється напружений стан і міцність конструкції вагонів даного типу за результатами статичних випробувань і випробувань на співударяння на основі розрахункових режимів шляхом порівняння сумарних напруг від дії випробувальних навантажень з допустимими, можливість продовження його експлуатації та термін можливого продовження шляхом порівняння фактичної кількості співударів еквівалентною силою удару з базовою кількістю циклів співударів.

Якщо при проведенні ударних ресурсних випробувань кузова або стендових випробувань на втому рам та надресорних балок візків металоконструкції вказаних елементів будуть доведені до руйнування, може бути встановлений їх граничний термін експлуатації.

Згідно з вимогами „Методики...” призначення вагону, що підлягає технічному діагностуванню, нового терміну служби здійснюється поетапно (одноразове продовження терміну служби не перевищує п'яти років) за результатами обстеження його технічного стану, результатів контрольних випробувань зразка кузова вагона даного типу та стендових випробувань на втому зразків надресорних балок і рам візків.

Після того, як новий, призначений за результатами технічного діагностування, термін служби вагоном буде вичерпаний, вагон може бути підданий повторному технічному діагностуванню з повторним призначенням нового терміну служби.

За результатами технічного діагностування вагонів організацією, що проводила діагностування, розробляється технічне рішення щодо можливості їх подальшої експлуатації, в якому наводиться новий термін служби для кожного вагона та вид ремонту, що йому рекомендується.

Розроблені технічні рішення повинні бути узгоджені із замовником (власником) вагонів, затверджені керівником організації, що проводила технічне діагностування, і є підставою для подовження терміну служби вагонам, яким виконано технічне діагностування.

Технічним діагностуванням пасажирських вагонів локомотивної тяги наш інститут почав займатися з 1999 р. і займається до теперішнього часу. За вказаний період фахівцями інституту накопичений великий досвід в проведенні зазначеної роботи. Було проведено технічне діагностування 3464-х пасажирських вагонів приписки вагонних дільниць та депо, 447 вагонів за його результатами були виключені з інвентарю, але 3017-ти вагонам термін служби було продовжено, що дозволило залізницям України зберегти чималі кошти, які б необхідно було витратити на придбання нового пасажирського рухомого складу.

Висновки

Таким чином, у 2008 р. в Україні була створена та протягом останніх 5-ти років перевірена на практиці відносно проста та надійна методика обґрунтованого продовження експлуатації пасажирських вагонів локомотивної тяги, що вислужили призначений термін.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. - [чинний від 1991-01-01]. - М.: Госстандарт СССР, 1989. - 7 с.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных). М.:ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. - 260 с.
3. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества: РД 24.050.37-90. М.:ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1990. - 37 с.
4. Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що вислужили призначений термін, з метою його продовження: ЦД-0070.К.:Укрзалізниця, 2008. - 59 с.
5. Третьяков А.В. Продление срока службы подвижного состава: Монография. М.: Издательство МБА, 2011. - 304 с.

УДК 001.891.5 : 629.4.014.62.004.6

Ю.В. Єжов, В.О. Шушмарченко, А.А. Швець

**ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ, ЩО ВИСЛУЖИЛИ
ПРИЗНАЧЕНИЙ ТЕРМІН**

Розглядається можливість обґрунтованого продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів локомотивної тяги, які вислужили призначений термін.

Згідно з положеннями ДСТУ 2860-94 „Надійність техніки. Терміни та визначення” призначений термін служби – це календарна тривалість експлуатації, при досягненні якої експлуатацію об’єкта належить припинити незалежно від його технічного стану [1].

Призначений термін служби до списання вказується розробником в ТУ на конкретні моделі вагонів та візків (28, 30, 40 років). По суті це декларація розробника вагона про мінімально можливу тривалість експлуатації вагонів при перевезенні пасажирів у складі поїздів. Наприклад, згідно з ТУ на пасажирські вагони виробництва Тверського вагонобудівного заводу призначений термін служби до списання вагонів моделей 61-828, 61-4174, 61-4177, 61-4179, 61-4186 складає 28 років, а вагонів більш пізніх моделей 61-4440, 61-4441, 61-4447, 61-4452, 61-4460, 61-4465, 61-4476 – 40 років. Призначений термін служби до списання вагонів виробництва Публічного акціонерного товариства „Крюківський вагонобудівний завод” для вагонів моделей 61-779 та його модифікацій А, Б, В, Д, Е, И, Э, П, Р, 61-788 складає 30 років, а для вагонів моделей 61-7061 – 61-7065 з кузовами з корозійностійких сталей – 50 років.

На даний час в Україні немає чинного національного або міждержавного стандарту, який би встановлював призначений термін служби для кузовів пасажирських вагонів. Що стосується пасажирських візків, то згідно з чинним на даний час в Україні ГОСТ 10527-84 „Тележки двухосные пассажирских вагонов. Магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия” та ДСТУ 4045-2001 „Візки вагонів пасажирських локомотивної тяги” призначений термін служби візків до списання складає 28 років [3, 4].

У країнах ближнього зарубіжжя, наприклад, у Росії з 01.01.2014 р. набув чинності ГОСТ Р 55182-2012 «Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования», який встановлює наступні значення призначеного терміну служби:

- для вагонів з кузовами з маловуглецевої та низьколегованої сталей – 28 років;
- для вагонів з кузовами з корозійностійких матеріалів – 40 років [6].

© Ю.В. Єжов, В.О. Шушмарченко, А.А. Швець, 2014

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Слід зазначити, що призначений термін служби не дає відповіді на питання про те, скільки фактично можуть експлуатуватися металоконструкції кузовів без хребтової балки побудови “VEB Waggonbau Ammendorf GmbH” (НДР), кузова з хребтовою балкою Калінінського вагонобудівного заводу та Ленінградського вагонобудівного заводу ім. Єгорова, рами та надресорні балки пасажирських візків КВЗ-ЦНП-I та КВЗ-ЦНП-II. Тому для обґрунтування можливості продовження терміну служби кузовів та візків пасажирських вагонів необхідно враховувати не їх призначений термін служби, а граничний, тобто, календарну тривалість експлуатації об'єкта, при досягненні якої його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна, наприклад, внаслідок неможливості відновлення його працездатного стану.

Граничний термін експлуатації кузовів та візків пасажирських вагонів різних типів та виробників об'єктивно та обґрунтовано може бути встановлений тільки за результатами спеціальних науково-експериментальних досліджень.

Зазначені науково-експериментальні дослідження включають ресурсні випробування з визначенням максимально можливого терміну експлуатації металоконструкцій кузовів основних типів пасажирських вагонів, що знаходяться в експлуатації в т.ч. після проведення КВР:

- вагон купейного типу виробництва “VEB Waggonbau Ammendorf GmbH”;
- вагон-ресторан виробництва “VEB Waggonbau Ammendorf GmbH”;
- вагон купейного типу габариту 03-ВМ (РІЦ) виробництва “VEB Waggonbau Gorlitz”;
- вагон некупейного типу виробництва Калінінського вагонобудівного заводу;
- вагон некупейного типу виробництва Ленінградського вагонобудівного заводу ім.Єгорова, а також рам та надресорних балок візків КВЗ-ЦНП-I, КВЗ-ЦНП-II.

Після проведення досліджень визначені значення максимально можливого терміну експлуатації для кожного типу кузова пасажирського вагона та візка необхідно буде ввести окремим Наказом Укрзалізниці в якості граничних. Введені таким чином граничні терміни експлуатації будуть поширюватися як на вагони для перевезення пасажирів, так і на вагони на базі пасажирських для інших потреб.

Вказані дослідження - це найбільш правильний та обґрунтований шлях до визначення граничного терміну експлуатації пасажирських вагонів незалежно від їх призначення.

Слід зазначити, що граничний термін експлуатації пасажирського вагона може суттєво перевищувати призначений. Це підтверджують результати проведених в Україні у 2000-2001 рр. експериментальних досліджень.

Першим прикладом таких досліджень є контрольні випробування кузовів пасажирських вагонів купейного та некупейного типів, рам та надресорних балок візків КВЗ-ЦНП-I, проведених Випробувальним центром Державного підприємства „Український науково-дослідний інститут вагонобудування” у 2000 р.

За результатами зазначених контрольних випробувань кузовів вагонів купейного та некупейного типів після 30 років експлуатації було встановлено, що напруження в основних несучих елементах кузовів від дії вертикальних статичних та поздовжніх ударних навантажень не перевищують допустимих. При цьому кузова зазначених вагонів витримали без будь-яких пошкоджень елементів металоконструкції кількість поздовжніх ударних навантажень, що еквівалентна кількості аналогічних навантажень, які отримує пасажирський вагон за 6 років експлуатації.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

За результатами контрольних стендових випробувань рам та надресорних балок візків КВЗ-ЦНІІ-І після 30 років експлуатації на втому було встановлено, що фактичний залишковий ресурс рами складає 18,5 років, надресорної балки – не менше 28 років. Тобто фактичний граничний термін служби рам візків КВЗ-ЦНІІ-І (від побудови) складає 48,5 років, надресорних балок – 58 років.

Другим прикладом експериментального визначення граничного терміну експлуатації пасажирських вагонів є проведені у 2001 р. Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) теоретичні та експериментальні дослідження з оцінкою залишкового ресурсу пасажирських вагонів купейного та некупейного типів після капітально-відновлювального ремонту (КВР) на ВАТ „Дніпровагонрембуд” (ВАТ „ДВРБ”).

Для проведення досліджень були відібрані два пасажирські вагони після КВР на ВАТ „ДВРБ”: вагон купейного типу побудови 1964 р. та вагон некупейного типу побудови 1976 р.

У кузовах зазначених вагонів під час КВР були замінені металевий настил підлоги, підвіконний пояс бокової стіни, елементи каркасу між вікнами, встановлені трубчаті перегородки між відсіками внутрішніх приміщень кузовів. При цьому балки рами, надвіконний пояс, елементи даху залишилися без заміни або підсилень.

За результатами проведених в рамках досліджень металоконструкції кузова вагона купейного типу ресурсних ударних випробувань було встановлено, що ресурс несучих елементів кузова після КВР складає не менше 25 років. При цьому не було зафіксовано тріщин основного металу та зварних швів, деформацій.

За результатами проведених в рамках досліджень металоконструкції кузова вагона некупейного типу, рам та надресорних балок його візків стендових вібраційних випробувань на обладнанні ГКБ „Южное” було встановлено наступне:

- ресурс рами візка КВЗ-ЦНІІ-І виробництва “VEB Waggonbau Ammendorf GmbH” з дати побудови складає 41 рік;
- ресурс рами візка КВЗ-ЦНІІ-І виробництва Калінінського вагонобудівного заводу з дати побудови складає 44 роки;
- ресурс надресорної балки візка КВЗ-ЦНІІ-І з дати побудови складає 51 рік;
- ресурс кузова вагона некупейного типу складає 23 роки після КВР.

Висновки

Наведені результати досліджень підтверджують, що термін служби пасажирських вагонів, що вислужили призначений термін, в обґрунтованих випадках може бути продовжений.

При цьому кузовам вагонів після КВР термін експлуатації може бути продовжений на термін до 23-х років відповідно до вимог конкретних технічних умов на КВР і зазначений термін продовження експлуатації для кузовів таких вагонів приймається в якості граничного.

Граничний термін експлуатації пасажирських візків з урахуванням результатів вищезазначених досліджень не повинен перевищувати 41 рік.

Що стосується пасажирських вагонів з вичерпаним призначеним терміном служби, які не проходили КВР, то граничний термін їх експлуатації обґрунтовано може бути встановлений лише за результатами відповідних науково-експериментальних досліджень. Без їх проведення продовжувати термін служби таким вагонам можна лише поетапно на відносно нетривалий термін в залежності від фактичного технічного стану їх металоконструкцій.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. - [чинний від 1996-01-01]. - К.: Держстандарт України, 1994. - 8 с.
2. ГОСТ 12406-79 Вагоны пассажирские магистральных железных дорог колес 1520 мм. Технические условия. - [не діє в Україні]. - М.: Госстандарт СССР, 1979. - 9 с.
3. ГОСТ 10527-84 Тележки двухосные пассажирских вагонов. Магистральных железных дорог колес 1520 мм. Технические условия. - [чинний від 1986-01-01]. - М.: Госстандарт СССР, 1984. - 7 с.
4. ДСТУ 4045-2001 Візки вагонів пасажирських магістральних локомотивної тяги. Загальні технічні умови. - [чинний від 2002-01-01]. - К.: Держстандарт України, 2001. - 8 с.
5. ГОСТ Р 51690-2000 Вагоны пассажирские магистральных железных дорог колес 1520 мм. Общие технические условия. - [чинний в РФ від 2002-01-01]. - М.: Госстандарт России, 2001. - 8 с.
6. ГОСТ Р 55182-2012 Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования. - [чинний в РФ від 2014-01-01]. - М.: Госстандарт России, 2012. - 18 с.
7. Протокол ВЦ ПВ УкрНДІВ № 157 від 10.08.2000 р. контрольних випробувань купейного пасажирського вагона. - Кременчук, 2000. - 17 с.
8. Протокол ВЦ ПВ УкрНДІВ № 158 від 15.08.2000 р. контрольних випробувань плацкартного пасажирського вагона. - Кременчук, 2000. - 16 с.
9. Протокол ВЦ ПВ УкрНДІВ № 165 від 26.10.2000 р. контрольних випробувань рам і надресорних брусів візків пасажирських вагонів. - Кременчук, 2000. - 20 с.
10. Отчет о научно-исследовательской работе «Проведение теоретических и экспериментальных исследований с оценкой срока службы пассажирского вагона после капитально-восстановительного ремонта, выполненного согласно требованиям ТУ У 32.01116130-99, «Руководства по капитально-восстановительному ремонту пассажирских вагонов № ЦЛ 0012» по условиям, технологии и конструкторской документации ОАО «Днепровагонремстрой». - Днепропетровськ: ДІТ, 2001. - 198 с.

УДК 629.4.014.62.004.6 : 001.891.5

Ю.В. Єжов, Ю.С. Павленко

**ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ПРОДОВЖЕННЯ
ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ
ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЇХ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ**

Розглядаються основні проблемні питання проведення технічного діагностування пасажирських вагонів з використанням Методики технічного діагностування пасажирських вагонів, що вислужили призначений термін, з метою його продовження ЦЛ-0070 та шляхи їх вирішення у сьогоденній складній економічній ситуації.

Під час проведення технічного діагностування пасажирських вагонів локомотивної тяги, що вислужили призначений термін, з метою продовження їх експлуатації, виникають окремі проблемні питання, вирішувати які необхідно у сьогоденній складній економічній ситуації.

Перша проблема пов'язана з проведенням контрольних міцнісних та ресурсних випробувань зразків кузовів різних типів вагонів, стендових випробувань на втому зразків рам і надресорних балок візків, що передбачені вимогами розділу 5 Методики технічного діагностування пасажирських вагонів, що вислужили призначений термін, з метою його продовження ЦЛ-0070 (далі – „Методика...”) [1].

Слід зазначити, що встановлена в „Методиці...” періодичність проведення контрольних випробувань не є стандартизованою. Така періодичність була запропонована авторами „Методики...” виходячи з можливих змін в умовах експлуатації пасажирського рухомого складу на залізницях України протягом п'ятирічного періоду.

При цьому 13-ти річний досвід проведення робіт з технічного діагностування свідчить про те, що періодичність контрольних випробувань, коли суттєвих змін в умовах експлуатації пасажирського рухомого складу не відбувається, на якість і результати роботи не впливає.

Тому необхідність проведення контрольних випробувань у кожному конкретному випадку повинні встановлювати організації, які виконують технічне діагностування.

Крім того, необхідно враховувати, що під час технічного діагностування пасажирських вагонів, металоконструкції яких суттєво не відрізняються від

- Проведение тормозных испытаний на стендах базовых металлоконструкций пасажирських вагонів Тверського вагонобудівного заводу, заводу Аммендорф (НДР) або Ленінградського вагонобудівного заводу ім. Єгорова, наведених в Альбомі типів пасажирських вагонів, які експлуатуються в Україні ЦЛ-0054, можуть використовувати результати раніше проведених контрольних випробувань, оформлених відповідними протоколами акредитованих в НААУ випробувальних центрів (лабораторій).

Дана проблема може бути вирішена шляхом внесення в „Методику...” відповідної зміни щодо періодичності проведення контрольних випробувань.

© Ю.В. Єжов, Ю.С. Павленко, 2014

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Друга проблема стосується технічного діагностування з продовженням терміну служби вагонів службових, службово-технічних та спеціальних на базі пасажирських вагонів після 41 року експлуатації.

Вказане питання виникло після проведеного Укрзалізницею аналізу парку службово-технічного та спеціального рухомого складу. За результатами проведеного аналізу було встановлено, що на даний час на залізницях України налічується 405 службових та службово-технічних вагонів віком понад 41 рік. Із зазначених вагонів 131 вагон експлуатується. Одночасне виключення їх з експлуатації буде мати негативні наслідки для робіт, що проводяться на коліях різними службами залізниць та може привести до їх зупинки на невизначений термін.

Дана проблема була винесена на розгляд Науково-технічної Ради Укрзалізниці, яка відбулася 16 січня 2014 р. Відповідно до протокольного рішення зазначеної Науково-технічної Ради в „Методику...” необхідно внести зміни, які б передбачали можливість проведення технічного діагностування з обґрунтованим продовженням терміну експлуатації вагонів службових, службово-технічних та спеціальних на базі пасажирських вагонів після 41 року експлуатації.

Методика проведення обстеження технічного стану металоконструкцій кузовів та візків таких вагонів, на нашу думку, не повинна принципово відрізнятися від методики обстеження вагонів загальної мережі експлуатації або службово-технічних та спеціальних вагонів з терміном експлуатації менше, ніж 41 рік, але повинна мати певні відмінності, які стосуються, у першу чергу, умов проведення обстеження та забезпечення обов'язкового доступу до місць, які приховані під внутрішньою обшивкою кузова в зонах найбільш вірогідного виникнення тріщин або пошкоджень корозійного характеру, а також періодичності проведення діагностування та призначенні таким вагонам нового терміну експлуатації.

Що стосується умов проведення обстеження технічного стану вагона після 41 року експлуатації, то воно повинне проводитись в умовах цеху вагоноремонтного підприємства (на даний час абсолютна більшість вагонів обстежується на відкритих площадках, де на якість проведення робіт негативно впливають погодні фактори).

Що стосується доступу до зон вірогідного виникнення тріщин або пошкоджень корозійного характеру, то частина таких зон сьогодні при обстеженні вагонів з терміном експлуатації до 41 року недосяжна в наслідок особливості їх конструкції і тому наявність в них пошкоджень механічного або корозійного характеру можливо визначати лише по їх зовнішнім ознакам (значним прогинам, деформаціям елементів металоконструкції в даних зонах). Тому до початку обстеження металоконструкцій кузова з терміном експлуатації 41 рік та більше кузов повинен бути підготовлений. Підготовка передбачає демонтаж внутрішньої підвіконної обшивки до металу в зоні з'єднання стійок бокових стін та нижніх обв'язок в туалетах, в котельному відділенні та в середній частині кузова.

При цьому, якщо під час проведення технічного діагностування виникне підозра стосовно наявності небезпечних пошкоджень механічного або корозійного характеру в інших місцях (зонах), ремонтне підприємство за вказівкою фахівця організації, що проводить діагностування, проводить демонтаж внутрішніх елементів до металу у вказаних місцях.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Всі інші роботи проводяться у відповідності до вимог „Методики...”.

Що стосується періодичності проведення діагностування та призначенні таким вагонам нового терміну експлуатації, то за результатами технічного діагностування організація, що проводить роботи, розробляє технічне рішення, у якому повинен бути наведений висновок про можливість його подальшої експлуатації протягом одного року та вид необхідного ремонту для відновлення несучої здатності його металоконструкції. Тому періодичність проведення технічного діагностування для таких вагонів також складає 1 рік.

Оформлене технічне рішення надається власнику вагона.

На підставі технічного рішення власник вирішує питання виконання вагону рекомендованого виду ремонту або виключення його з інвентарного парку, якщо за результатами діагностування визначена непридатність вагона для подальшої експлуатації.

Робота з продовження терміну служби такого вагона може продовжуватися за потребою власника до моменту, коли за висновком, наведеним у технічному рішенні, подальша експлуатація вагона буде признана неприпустимою.

Порядок технічних обслуговувань та ремонтів таких вагонів протягом всього нового призначеного терміну служби залишається незмінним.

Висновки

Запропонований порядок поетапного продовження терміну служби вагонів службових, службово-технічних та спеціальних на базі пасажирських вагонів після 41 року експлуатації, на нашу думку, дозволить підвищити якість проведення обстеження їх технічного стану та тримати під контролем технічний стан металоконструкцій таких вагонів протягом всього нового призначеного терміну експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. ЦЛ-0070 Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження. - К.: Укрзалізниця, 2008. - 59 с.
2. ЦЛ-0054 Альбом типів пасажирських вагонів, які експлуатуються в Україні. - К.: Укрзалізниця, 2008. - 59 с.

УДК 629.4.027.4.004.65 : 001.891.5

О.М. Білецький, Ю.М. Дзюба, В.Д. Стражник

**ДО ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛІСНИХ ПАР
ВІЗКІВ МОДЕЛЕЙ 68-7007/7012**

Наведено результати та висновки порівняння експлуатаційних характеристик колісних пар, обладнаних колесами зі сталі марок 1 та 2 за ДСТУ ГОСТ 10791:2006, візків моделей 68-7007/7012 при їх експлуатації у складі пасажирських вагонів моделі 61-799Э у складі поїзда № 11/12 «Київ-Сімферополь».

Публічним акціонерним товариством „Крюківський вагонобудівний завод” (далі ПАТ „КВБЗ”) розроблено та поставлено на серійне виробництво пасажирські візки моделей 68-7007/7012, які встановлюються під пасажирськими вагонами модельного ряду 61-779.

У період з грудня 2009 р. по грудень 2010 р. було проведено обстеження технічного стану візків моделей 68-7007/7012 при їх підконтрольній експлуатації. Обстеженню технічного стану підлягали 18 візків, по 9 візків моделі 68-7007/7012 відповідно, які експлуатувались у складі пасажирських вагонів моделі 61-799Э, при їх підконтрольній експлуатації в складі поїзда № 11/12 «Київ-Сімферополь». Технічні обстеження стану візків проводились на оглядовій канаві пункту технічного обслуговування вагонів ЛВЧД-1 «Київ-Пасажирський» Південно-Західної залізниці. Пробіг пасажирських вагонів по закінченню спостереження склав (510-530) тис. км.

В експлуатації знаходилися візки моделей 68-7007/7012 з колісними парами, обладнаними як колесами зі сталі марки 1, так і колесами зі сталі марки 2 за ДСТУ ГОСТ 10791 [1] (див. табл. 1). Згідно з ДСТУ ГОСТ 10791 колеса зі сталі марки 1 призначені для пасажирських вагонів локомотивної тяги, а колеса зі сталі марки 2 – для вантажних вагонів, проте, допускається їх використання для пасажирських вагонів при вмісті вуглецю не більш, ніж 0,63 %.

Під час підконтрольної експлуатації візків моделей 68-7007/7012 виконувалось обстеження технічного стану колісних пар, а саме: контроль товщини і висоти гребня коліс, товщини обода коліс, величини прокату, наявності навару, повзуна на поверхні кочення коліс, підрізу гребня колеса. Дані щодо пробігу вагонів в експлуатації та технічного стану коліс колісних пар, кількості переточок коліс наведені в табл. 1.

© *О.М. Білецький, Ю.М. Дзюба, В.Д. Стражник, 2014*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1. Дані щодо пробігу вагонів в експлуатації та технічного стану коліс колісних пар і кількості переточок коліс

Ч/ч	Зав. номер вагона	Марка сталі колеса за ДСТУ ГОСТ 10791 [1]	Загальний пробіг на 06.12.2010 р., тис. км	Кількість переточок коліс	Порядковий номер та причина переточки	Пробіг на момент проведення переточки, тис. км
1	2	3	4	5	6	7
1	051	2	171 ^Д (пробіг на початку підконтрольної експлуатації – 178,5)	2	1: сітка мікротріщин	121
					2: проведення регламентованої переточки при КР-1	290
2	052	2	163 ^Д (пробіг на початку підконтрольної експлуатації – 180,5)	1	1: проведення регламентованої переточки при КР-1	235
3	053	2	171 ^Д (пробіг на початку підконтрольної експлуатації – 146,0)	1	1: проведення регламентованої переточки при КР-1	290
4	290	1	525	1	1: сітка мікротріщин, вищербина бракувальних розмірів	250
5	295	1	525	2	1: сітка мікротріщин	230
					2: сітка мікротріщин	525
6	296	1	509	1	1: сітка мікротріщин	250
7	297	1	523	2	1: сітка мікротріщин	290
					2: сітка мікротріщин	444
8	298	1	507	2	1: сітка мікротріщин	230
					2: сітка мікротріщин	470
9	299	1	511	1	1: сітка мікротріщин	270

^Д пробіг після виконання вагонам капітального ремонту КР-1 на ВАТ «КВБЗ».

За результатами аналізу переточок колісних пар вагонів можна відмітити, що переточки по дефектам поверхні кочення коліс мали місце на вагонах, обладнаних колесами зі сталі марки 1 за ДСТУ ГОСТ 10791 [1].

Графічне відображення зносу гребеня та темпів зносу гребеня (знос гребеня на 10 тис. км пробігу) у залежності від пробігу вагонів з колесами із сталі марки 2 за ДСТУ ГОСТ 10791 [1] (на прикладі вагонів зав. №№ 051, 052) наведено на рис. 1, вагонів з колесами із сталі марки 1 за ДСТУ ГОСТ 10791 [1] (на прикладі вагонів зав. №№ 295, 296) наведено на рис. 2.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

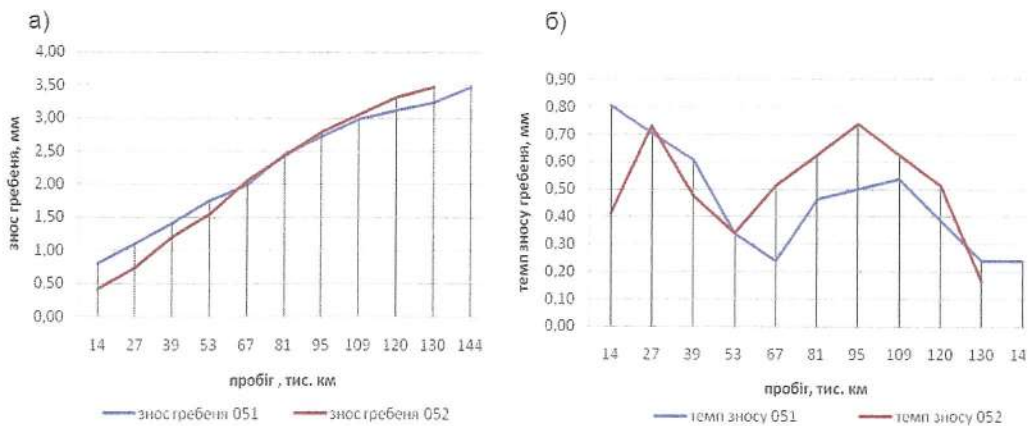


Рис. 1. Колеса зі сталі марки 2
а – знос гребня коліс; б – темп зносу гребеня

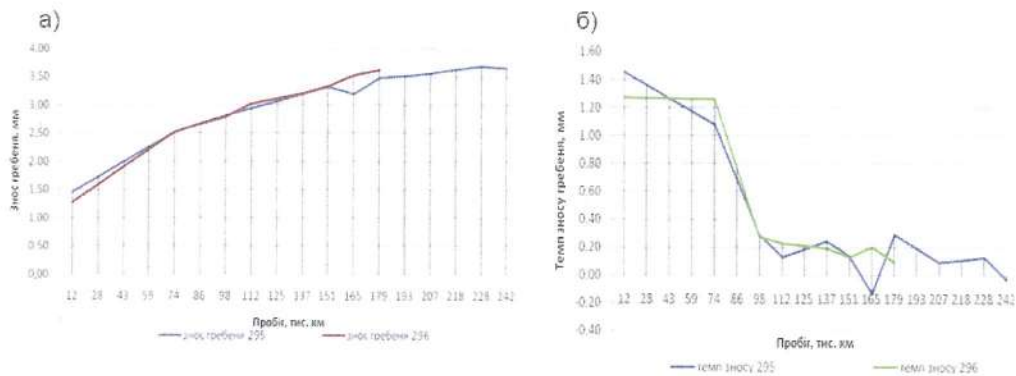


Рис. 2. Колеса зі сталі марки 1
а – знос гребня коліс; б – темп зносу гребеня

У початковий період експлуатації після переточки коліс (пробіг біля 100 тис. км, товщина гребеня після переточки (31-33) мм) спостерігався інтенсивний знос гребенів коліс. Результати зносу гребенів коліс у початковий період наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Знос гребенів коліс у початковий період

Вагон (марка сталі колеса)	Пробіг, тис. км	Знос гребеня, мм
051 (марка 2)	109	2,99
052 (марка 2)	106	3,05
295 (марка 1)	98	2,82
296 (марка 1)	98	2,79

Пробіг вагонів зав. №№ 051, 052 до зносу гребеня на 1 мм коліс із сталі марки 2 склав 36,45 тис. км і 34,75 тис. км відповідно. Пробіг вагонів зав. №№ 295, 296 до зносу гребеня на 1 мм коліс із сталі марки 1 склав 34,75 тис. км і 35,13 тис. км відповідно.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

У наступний період експлуатації знос гребенів коліс суттєво зменшився. Результати зносу гребенів коліс у період після 100 тис. км експлуатації наведені у табл. 3.

Таблиця 3. Темп зносу гребенів коліс

Вагон (марка сталі колеса)	Загальний пробіг, тис. км	Пробіг після 100 тис. км, тис. км	Загальний знос гребеня, мм	Знос після 100 тис. км, мм
051 (марка 2)	144	35	3,46	0,47
052 (марка 2)	130	24	3,47	0,42
295 (марка 1)	242	144	3,65	0,83
296 (марка 1)	179	81	3,61	0,82

Аналіз зносу гребеня коліс із сталей марок 1 і 2 за ДСТУ ГОСТ 10791 [1] (знос гребеня на 10 тис. км пробігу вагона) у початковий (пробіг біля 100 тис. км, товщина гребеня після переточки 31÷33 мм) і наступний (пробіг від 100 тис. км до 130÷242 тис. км) періоди експлуатації наведений у табл. 4.

Таблиця 4. Аналіз темпу зносу гребенів коліс

Вагон (марка сталі коле- са)	Початковий період (пробіг 100 тис. км), мм	Наступний період (пробіг після 100 тис. км), мм	Зменшення, рази
051 (марка 2)	0,27	0,13	2,08
052 (марка 2)	0,29	0,18	1,61
295 (марка 1)	0,29	0,06	4,83
296 (марка 1)	0,28	0,10	2,80

Висновки

Під час огляду колісних пар візків моделі 68-7007/7012 при їх підконтрольній експлуатації фіксувалися випадки появи гострокінцевого накату та сітки мікротріщини на поверхні катання коліс. Переважна частина цих випадків була зафіксована на вагонах з колесами зі сталі марки 1.

Основною причиною переточок колісних пар була сітка мікротріщин на поверхні катання коліс. Переточка колісних пар по цій причині проводилась на усіх шести вагонах з колесами зі сталі марки 1 після пробігу (230-290) тис. км. та на одному вагоні з колесами зі сталі марки 2 після 121 тис. км. На трьох з шести вагонах з колесами зі сталі марки 1 була проведена повторна переточка коліс після пробігу (154-295) тис. км. У зв'язку з цим рекомендовано застосування для візків моделей 68-7007/7012 коліс зі сталі марки 2.

За результатами вимірювань товщини гребеня коліс візків мод. 68-7007/7012 в експлуатації слід відмітити підвищену інтенсивність зносу в початковий період експлуатації (після переточки коліс) до пробігу біля 100 тис. км. При наступній експлуатації інтенсивність зносу по товщині гребеня зменшується більш ніж у два рази.

Згідно з Тимчасовою інструкцією для забезпечення безпеки руху денних пасажирських поїздів із швидкістю до 140 км/год [2] товщина гребенів коліс в експлуатації повинна бути не менше, ніж 30 мм. З метою підвищення ресурсу колісних пар

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

(збільшення пробігу між обточуванням) вважаємо за доцільне провести експериментальні дослідження по визначенню показників безпеки сходу колісної пари з рейок пасажирського вагона на візках моделі 68-7007/7012 при значенні товщини гребеня колеса в діапазоні від 25 мм до 30 мм в діапазонах швидкості руху до 160 км/год.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колеса суцільнокатані. Технічні умови. (ГОСТ 10791-2004, ІДТ): ДСТУ ГОСТ 10791:2006. [Чинний від 2006-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України 2006. – II, 28 с.: табл. – (Національний стандарт України).

2. Тимчасова інструкція для забезпечення безпеки руху денних пасажирських поїздів із швидкістю до 140 км/год. Затверджена наказом від 05.08.2004 р. № 165-Ц Генерального директора «Укрзалізниці», – К.: Державна адміністрація залізничного транспорту України Укрзаліниця, 2004. - 44 с.

УДК 629.432.048.4.001.41: 001.891.5

В.О. Ветчинкін, Г.С. Ігнатов, С.Д. Речкалов, С.В. Шмаков

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИМУСОВОЇ
ВЕНТИЛЯЦІЇ ВАГОНІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ В УМОВАХ РУХУ
ПОЇЗДА В ТУНЕЛІ**

У роботі розглядаються результати досліджень примусової системи вентиляції салонів головного та проміжного вагонів метрополітену в умовах руху поїзда в тунелі виробництва Публічного акціонерного товариства „Крюківський вагонобудівний завод”.

Для метрополітену актуальним є питання підвищення рівня комфортності рухомого складу. Одним з основних параметрів безпеки у відповідності з санітарними правилами є показник комфортності - кількість зовнішнього повітря, що подається у пасажирські салони вагонів з розрахунку на одного пасажера. На даний час парк рухомого складу метрополітену складають вагони метрополітену типу «Е» та його модифікацій, що були виготовлені в період з 1964 року по 1980 рік та мають природну систему вентиляції (черпаки).

Публічне акціонерне товариство „Крюківський вагонобудівний завод” (далі - ПАТ „КВБЗ”) виготовив вагони метрополітену мод. 81-7036 – головний та мод. 81-7037 – проміжний. Вагони обладнані примусовою системою вентиляції для подачі зовнішнього повітря. До складу системи вентиляції на головному вагоні входить 6 вентиляторів, на проміжному - 7 вентиляторів. Для поліпшення повітрообміну в салонах вагонів в нижній частині кожної бокової двері встановлені жалюзі.

На першому етапі ДП „УкрНДІВ” спільно з фахівцями ПАТ „КВБЗ” в стаціонарних умовах провів випробування з визначення параметрів системи вентиляції головного та проміжного вагонів метрополітену моделей 81-7036 та 81-7037 на відповідність вимогам технічного завдання 81.7036ТЗ [1]. Випробування з визначення кількості зовнішнього повітря, що подається в салони вагонів, проводились згідно методичних положень, що наведені у СОУ МПП 45.060-262 [2]. Вимірювання проводились у решіток забору зовнішнього повітря. Решітки розташовані на даху вагона. За результатами випробувань кількість зовнішнього повітря, що подається системою вентиляції в головний вагон, склала 9676 м³/год (на одного пасажера – 52 м³/год), в проміжний – 9771 м³/год (на одного пасажера – 55 м³/год). Кількість зовнішнього повітря, що подається в салони вагонів, відповідає технічному завданню.

Під час руху вагона в тунелі у решітки забору зовнішнього повітря відбувається ефект ежекції. Потік повітря, який рухається над решіткою, захоплює за собою повітря із решітки та перешкоджає вентилятору подавати повітря у вагон. Зі збільшенням швидкості руху поїзда кількість повітря, що подається у вагон, повинна зменшуватися. У зв'язку з цим встає питання - чи буде достатньо зовнішнього (свіжого) повітря пасажирам при максимальній швидкості руху поїзда в тунелі 90 км/год.

© *В.О. Ветчинкін, Г.С. Ігнатов, С.Д. Речкалов, С.В. Шмаков, 2014*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

На другому етапі для оцінки впливу швидкості руху вагонів метро в тунелі на продуктивність системи вентиляції (впливу ефекту ежекції) були проведені додаткові випробування системи вентиляції в умовах руху поїзда. Додаткові випробування включали в себе визначення параметра (швидкість руху повітря в насадку), який прямо характеризує обсяг повітря, що подається в салон вагона.

З огляду на те, що тип, конструкція, монтаж, схема підключення й керування всіх вентиляторів в пасажирських салонах головного та проміжного вагонів ідентичні, вважаємо достатнім провести вимірювання швидкості руху повітря в насадку, що створюється вентиляторами на початку, середині та кінці салону. Вимірювання проводились в умовах руху поїзда в тунелі зі швидкостями (0 - 75) км/год з інтервалом ~ 10 км/год. За результатами вимірювань були побудовані графіки, де відображені значення швидкості руху повітря в насадку при різних швидкостях руху поїзда в тунелі й на підставі цих даних побудована лінія регресії (див. рис. 1 і 2).

Для переходу від швидкості руху повітря до кількості зовнішнього повітря, враховуючи прямо пропорційну залежність між цими параметрами, був отриманий коефіцієнт перерахування, який обчислювався шляхом ділення кількості зовнішнього повітря, що отримано біля решітки на даху вагона (на першому етапі), на швидкість руху повітря, що обчислено по формулі лінії регресії при швидкості руху поїзда, рівній нулю.

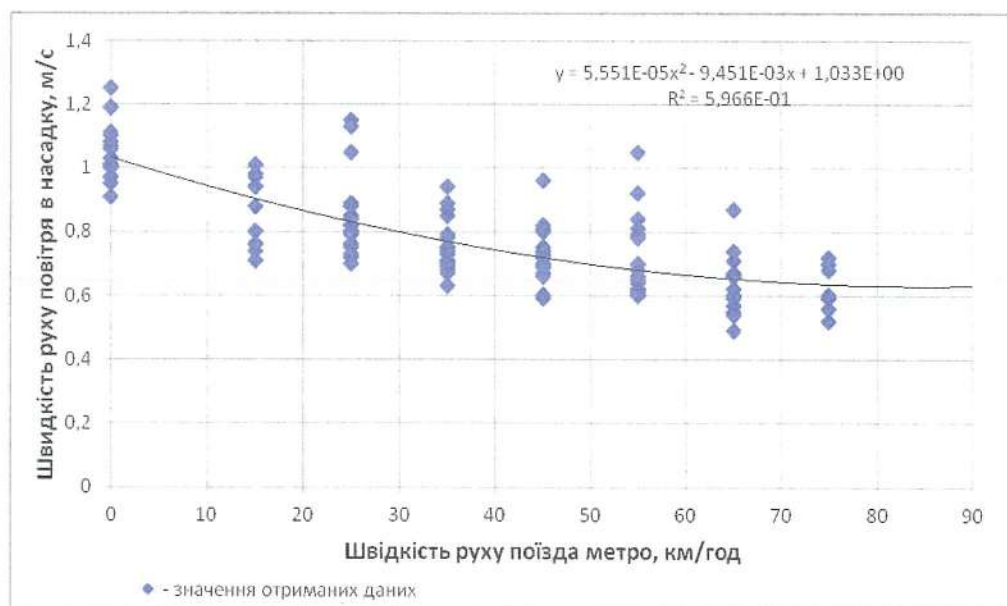


Рис. 1. Графік змінювання швидкості руху повітря у насадку, що встановлювався на виході з вентиляторів подачі зовнішнього повітря в салоні головного вагона мод. 81-7036

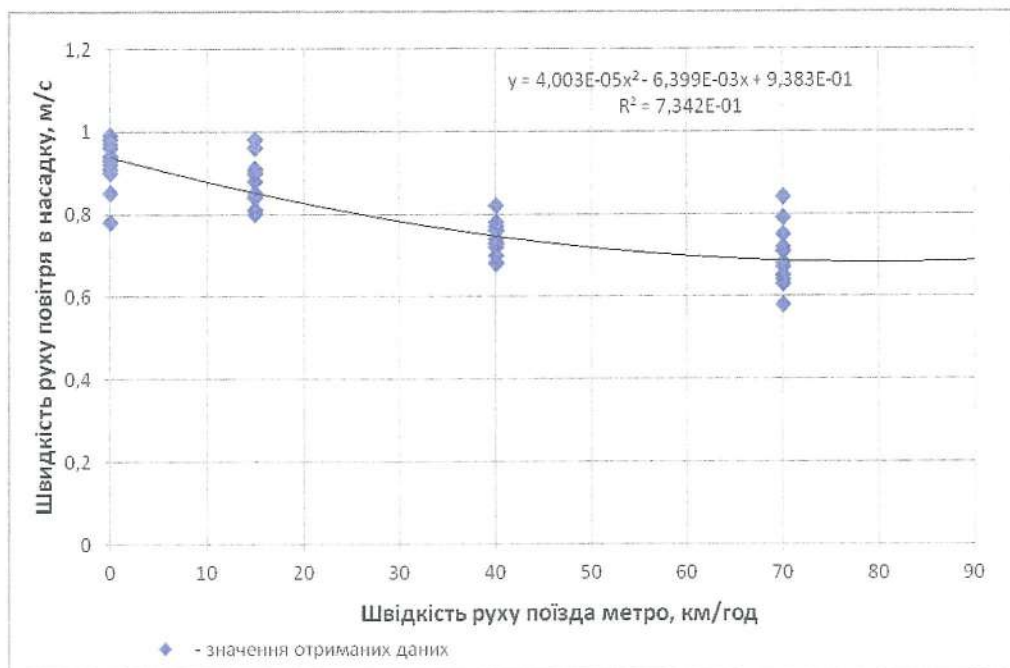


Рис. 2. Графік змінювання швидкості руху повітря у насадку, що встановлювався на виході з вентиляторів подачі зовнішнього повітря в салоні проміжного вагона мод. 81-7037

По даним, отриманих за додатковими випробуваннями методом екстраполяції, визначено, що кількість зовнішнього повітря, яка подається системою вентиляції у пасажирські салони вагонів з розрахунку на одного пасажирів в умовах руху поїзда в тунелі зі швидкістю 90 км/год складає:

- 32 м³/год у головному вагоні, для розрахункової номінальної пасажиромісткості 187 людей;
- 40 м³/год у проміжному вагоні, для розрахункової номінальної пасажиромісткості 179 людей.

При допустимому значенні кількості повітря на одного пасажирів 10 м³/год [1].

Під час досліджень використовувалось сучасне вимірювальне обладнання: цифровий прилад TESTO 445 з зондом для вимірювання швидкості руху повітря «нагрівальна струна». Прилад дозволяє в автоматичному режимі проводити обробку результатів вимірювання та збереження даних в енергонезалежній пам'яті з подальшою обробкою на персональному комп'ютері. Прилад TESTO 445 має діапазон вимірювання швидкості руху повітря від 0,1 м/с до 20 м/с. Похибка вимірювання приладу складає $\pm (0,03 + 0,04V)$ м/с.

Висновки

На підставі аналізу результатів випробувань визначено наступне:

- кількість зовнішнього повітря, що подається в салони головного та проміжного вагонів, в стаціонарних умовах відповідає технічному завданню;
- кількість зовнішнього повітря, що подається в салони головного та проміжного вагонів, в умовах руху поїзда в тунелі зменшувалась, що підтверджує дію ефекту ежекції;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- кількість зовнішнього повітря, що подається в салони вагонів, в умовах руху поїзда в тунелі зменшувалась для головного вагона на 38 %, для проміжного - на 27 % з розрахунку на одного пасажирів;

- кількість зовнішнього повітря, що подається в салони головного та проміжного вагонів, в умовах руху поїзда в тунелі відповідає технічному завданню.

Результати досліджень можуть бути використані для доопрацювання наявних конструкцій примусових систем вентиляції вагонів для метрополітену та під час проектування нових систем з метою забезпечення вимог нормативних документів щодо комфортності та безпеки пасажирів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технічне завдання 81.7036ТЗ. Вагони для метрополітену мод. 81-7036 – головний вагон, мод. 81-7037 – проміжний вагон. - Кременчук: ПАТ «КВБЗ», 2008. - 44 с.
2. СОУ МПП 45.060-262:2008 Вагони пасажирські. Методи випробувань. - Київ: Міністерство промислової політики України, 2008. – 17 с.

УДК 629.4.-592.117 : 001.891.5

А.В. Гречко, Ю.Я. Водяников, Л.С. Ольгард, Д.А. Донченко

**ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ.
ИССЛЕДОВАНИЯ, АНАЛИЗ И ОЦЕНКА
ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Описаны основные особенности тормозных систем пассажирских вагонов с колодочным и дисковым тормозами. Показано, что вагоны нового поколения оборудуются электронной системой управления тормозами, включая противоюзную защиту. Предложен расчетно-экспериментальный метод определения характеристик тормозных систем пассажирских и грузовых вагонов с использованием математической модели, входными данными для которой являются результаты ходовых тормозных испытаний. Расчетные исследования позволяют провести анализ свойств тормозной системы во временной области. Апробация метода на примере пассажирского вагона с дисковым тормозом показала хорошее совпадение с результатами экспериментальных исследований и может быть использована для оценки характеристик тормозных процессов вагонов во временной области. Описан программный комплекс для исследования тормозных систем единиц подвижного состава. Показаны его основные достоинства, состоящие в дружественном для пользователя интерфейсе, а также возможности расширения диапазона исследуемых параметров. Приведены расчетные зависимости для пересчета тормозной эффективности пассажирского вагона с дисковым тормозом на тормозную эффективность колодочного тормоза.

Задача создания конкурентоспособных конструкций транспортных средств подвижного состава железных дорог, обеспечивающих надежность в эксплуатации и улучшенные показатели комфорта, выдвигает повышенные требования к конструкции основных узлов вагонов и, в частности, к тормозным системам, отвечающих требованиям международных стандартов.

В этой связи дальнейшее развитие железнодорожного транспорта предусматривает существенное качественное изменение автотормозной техники, связанное с необходимостью повышения удельной тормозной силы поездов, особенно в диапазоне высоких скоростей, и улучшением управляемости длинносоставными поездами при движении их в тормозных режимах.

Создание высокоскоростного пассажирского движения в одну из основных выдвигает задачи создания высоконадежных и эффективных тормозных систем.

Решение указанных задач связано с большими конструкторскими, расчетными и исследовательскими работами, успех которых во многом будет зависеть от выбранных способов расчета, правильности принятых исходных положений и расчетных нормативов, а также методики исследования различных процессов и работоспособности тех или иных элементов нового тормозного оборудования.

© *А.В. Гречко, Ю.Я. Водяников, Л.С. Ольгард, Д.А. Донченко, 2014*

За последние годы в ряде научно-исследовательских учреждений, промышленных предприятий СНГ и в Европе накоплен большой опыт по конструированию и исследованию автотормозной техники. Кроме того, осуществлены экспериментальные и теоретические исследования сцепления колес с рельсами при торможении. Изысканы новые фрикционные материалы, в результате чего появились нормативы в виде зависимости коэффициентов трения от скорости движения и других факторов. Проведены расчеты, а также исследования электрических цепей и электрической аппаратуры для тормозной системы поезда.

В настоящее время на большинстве пассажирских вагонах используются колодочные тормоза с приводом от одного тормозного цилиндра, расположенного в средней части рамы вагона, и рычажной передачи, обеспечивающей двухстороннее нажатие колодок на колеса (рис. 1).

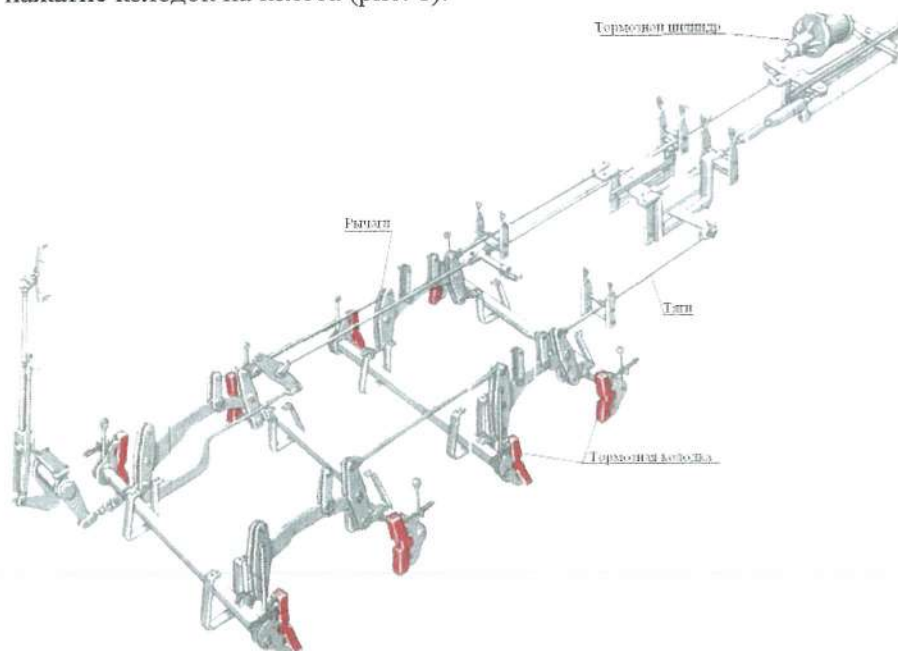


Рис. 1. Тормозная рычажная передача пассажирского вагона с колодочным тормозом

Поскольку кинетическая энергия поезда прямо пропорциональна квадрату его скорости движения, то для ее быстрого перевода в тепловую и механическую требуются мощные и эффективные тормозные средства. Пара трения колодка-колесо при скоростях выше 160 км/ч не успевает отводить возникающее тепло даже при чугунных тормозных колодках.

Кроме того, применение колодочных тормозов приводит к перегреву колес, их износу и появлению дефектов на поверхности катания.

Это вызывает необходимость переноса тепла с поверхности катания колеса на специальные, хорошо вентилируемые диски, устанавливаемые на оси колесной пары (рис. 2) или непосредственно на каждом колесе (рис. 3).

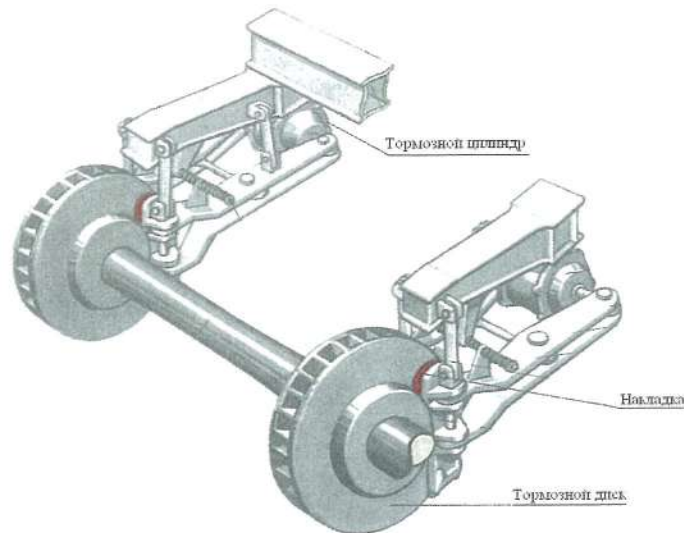


Рис. 2. Дисковый тормоз, установленный на оси колесной пары

Такая конструкция обеспечивает ряд преимуществ, связанных с возможностью выбора хороших фрикционных характеристик пары трения, ее необходимой площади, быстрого отвода тепла, а также применения простейшей рычажной передачи с минимальными потерями и высоким быстродействием.

Одним из недостатков дискового тормоза является отсутствие очистки поверхности катания колеса, что на загрязненных рельсах приводит к уменьшению силы сцепления практически в два раза и повышает вероятность возникновения юза. Попытки использовать для этих целей специальные очищающие колодки или создавать колодочно-дисковые тормоза не дали положительного результата. В первом случае не достигаются необходимые усилия, а во втором - механическая часть тормоза существенно усложнялась, что снижало ее эффективность и создавало трудности в обслуживании.

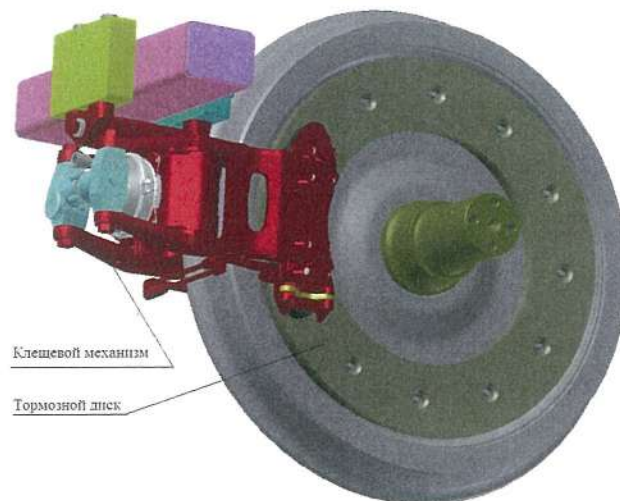


Рис. 3. Дисковый тормоз, установленный на колесе колесной пары

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

В этой связи перспективным является применение быстродействующих электронных противоюзных устройств с такими алгоритмами работы, которые позволяют управлять движением колесных пар, создавая их небольшое проскальзывание и самоочищение без существенных повреждений. При этом каждый вагон поезда, оборудованный указанными устройствами, «просушивает» рельсы и улучшает условия торможения для последующего вагона.

Особенно актуально применение таких устройств в связи с широким использованием в последние годы лубрикаторов для снижения износа гребней колес и рельсов и не дающих гарантий отсутствия используемой смазки на поверхности катания.

Дальнейшее увеличение тормозной эффективности поездов для освоения скоростей 160 км/ч и более требует применения тормозов, эффективность которых не ограничивается силой сцепления колеса с рельсом. К ним относятся магниторельсовый (МРТ) и вихретоковый тормоза. Первый имеет четыре индукционных тормозных башмака на вагоне, расположенных между колесными парами тележек на высоте около 140 мм над рельсами в нерабочем состоянии. Фрикционная поверхность башмаков выполнена из серого чугуна с глобулярным графитом, а приводятся они в рабочее положение пневматическим приводом на расстоянии 10-15 мм над рельсами. Затем в обмотки подается электрический ток от аккумуляторных батарей вагона и за счет сил самоиндукции происходит прижатие каждого тормозного башмака к рельсам с усилием около 100 кН. Этим создается тормозная сила, направленная в сторону, противоположную движению. Величина ее не регулируется, и при скорости 20 км/ч МРТ выключается, чтобы не создавать чрезмерных замедлений и не разряжать аккумуляторы.

МРТ снижает тормозной путь на 30-40 % по отношению к тому, который получается при полном служебном торможении. Его применение также актуально на карьерном транспорте при крутых спусках 60 % и более, а также в городских условиях на трамваях при пониженном сцеплении колес с рельсами.

Главным недостатком этого тормоза является необходимость содержания большого аккумуляторного хозяйства (для обеспечения автономности) со всеми вытекающими последствиями. Мощность потребляемой электроэнергии составляет около 6 кВт на вагон. Кроме того, вес вагона, оборудованного МРТ, возрастает примерно на 5 %, как и его стоимость.

Вихретоковый тормоз конструктивно похож на дисковый тормоз или МРТ. В нем применяются постоянные магниты с высокой коэрцитивной силой, которые при торможении приближаются к диску (алюминиевому) или рельсу на расстояние около 5 мм, но не соприкасаются с ними, наводя в последних вихревые токи (токи Фуко). Более известны конструкции такого тормоза с ферромагнитным сердечником и обмоткой. За счет взаимодействия магнитных полей возникает сила, направленная против движения. При токах в катушках тормозного башмака от 250 до 500А тормозная сила находится в пределах 2,5-8,0 кН.

Преимуществом этого тормоза является отсутствие износа, а недостатком - снижение эффективности при уменьшении скорости движения. Вес башмаков вихретоковых тормозов составляет примерно 870 кг на одну тележку, что в 1,7 раза больше, чем у МРТ. Кроме того, при интенсивном движении поездов, применяющих такой тормоз, возникают ограничения по допустимому нагреву рельсов. По этой причине этот тормоз пока не вышел за рамки экспериментальных испытаний.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Необходимо заметить, что на высокоскоростном подвижном составе наряду с рассмотренными широко применяются электрические тормоза (реостатные или рекуперативные), которые имеют ряд преимуществ по сравнению с фрикционными тормозами и используются в сочетании с ними.

Реализация высокоскоростного пассажирского движения со скоростями 200 км/ч и более, как показывает мировой опыт, возможна с использованием электроподвижного состава.

Тормозная система высокоскоростных поездов оснащается следующими видами тормозов:

- электродинамическим тормозом;
- электропневматическим прямодействующим фрикционным дисковым тормозом;
- пневматическим не прямодействующим фрикционным дисковым тормозом (резервный, автоматический);
- автоматическим стояночным тормозом с пружинным аккумулятором, который воздействует на накладку фрикционного дискового тормоза вагона;
- магниторельсовым тормозом (при необходимости).

Пневматическое оборудование тормозной системы высокоскоростного поезда по своему функциональному назначению может быть представлено в виде следующих составных частей:

- система питания тормоза сжатым воздухом;
- приборы управления и контроля;
- приборы безопасности;
- приборы торможения и отпуска;
- тележечное тормозное оборудование.

Управление тормозами осуществляется контейнерным блоком (рис. 4), который располагается в подвагонном пространстве и содержит функционально увязанные между собой блоки (модули), представленные на рис. 5.

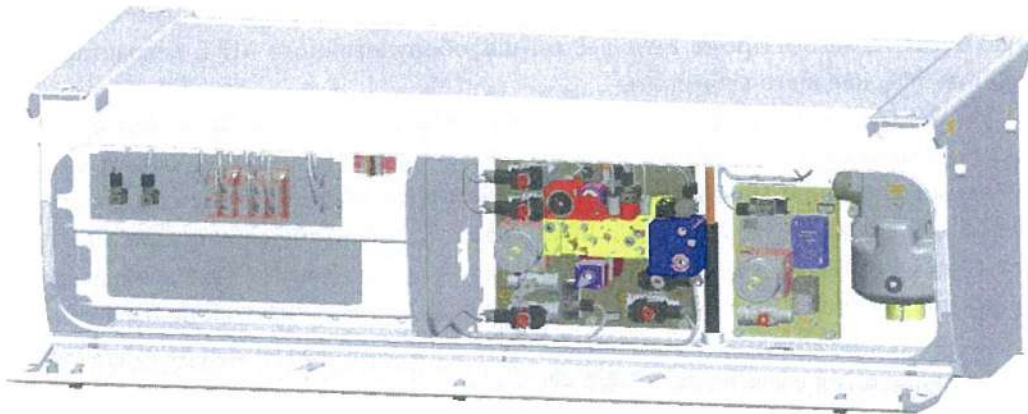


Рис. 4. Контейнерный блок

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

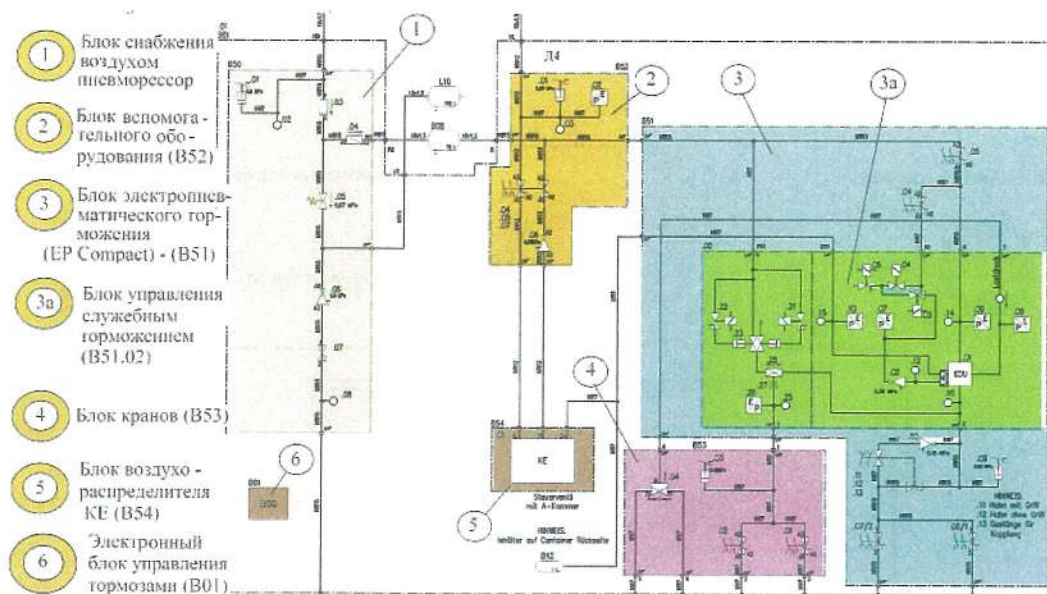


Рис. 5. Пневматическая схема контейнерного блока тормозного оборудования

Каждый из блоков в свою очередь может состоять из набора электропневматических и других пневматических приборов, призванных выполнять определенные функции, например, таких как:

- электропневматические клапаны;
- редукционные, обратные клапаны;
- датчики давления;
- реле давления;
- фильтры;
- разъединительные краны и пр.

Кроме того, в контейнере находится воздухораспределитель типа KE и элементы непрямого электропневматического тормоза.

Одной из функций тормозной системы является возможность перераспределения тормозной эффективности поезда с учетом выхода из строя (отказа тормоза) одного или нескольких вагонов поезда. В этой ситуации автоматически повышается тормозная сила пропорционально тормозной массе вагонов, на которых зафиксирован отказ.

Тормозная система вагонов оснащена электронной системой противоюзной защиты (рис. 6), в состав которой входят блок управления и сигнализатор давления, расположенные в тормозном контейнере, клапаны противоскольжения, установленные в подвагонном пространстве в непосредственной близости от тележки, датчики скорости и полюсные колеса, установленные в буксовых узлах тележек.

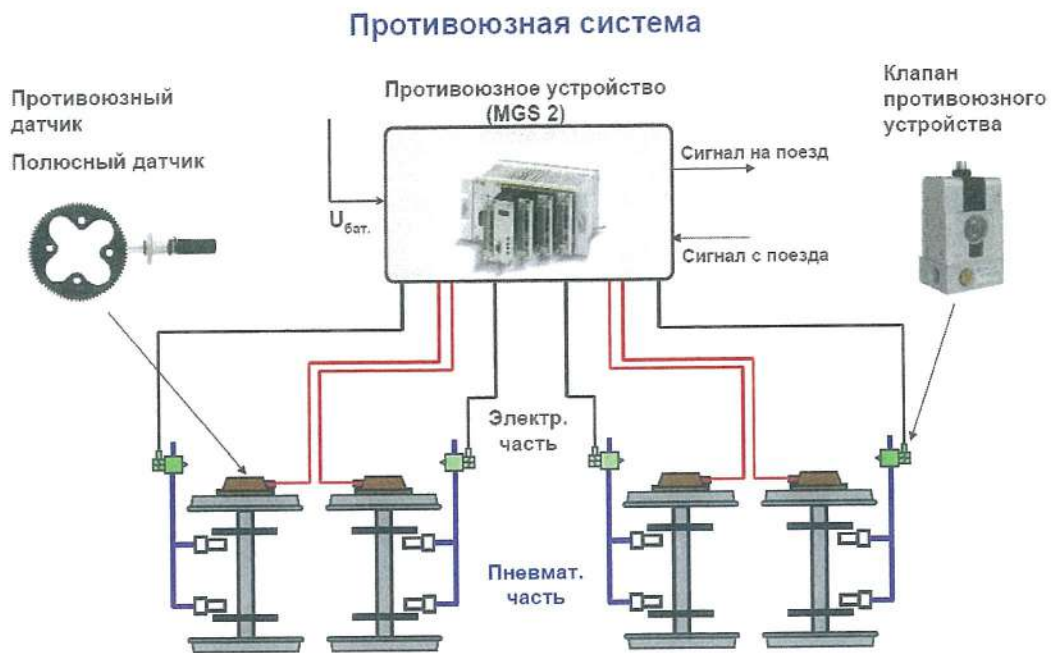


Рис. 6. Противоюзная защита

Принцип действия электронной системы противоюзной защиты заключается в том, что при помощи полюсных колес и датчиков скорости, блок управления определяет базовую скорость каждого вагона и угловую скорость каждой оси в отдельности. В случае отклонения в угловой скорости одной или нескольких осей от базовой скорости вагона, блок управления подает команду на соответствующие клапаны противоскольжения, обеспечивая кратковременное снижение давления в тормозных цилиндрах соответствующих осей, тем самым выравнивая угловую скорость начинающих скольжение колесных пар.

Управление тормозом осуществляется по заранее настраиваемой компьютерной программе, в которой задаются опорные параметры для выработки требуемого действия с учетом поступающего сигнала из пульта управления.

Тормозная эффективность пассажирских вагонов оценивается по величине тормозного коэффициента, определяемого отношением суммарных расчетных сил нажатия колодок (накладок) к брутто вагона, критерием тормозной эффективности является тормозная путь при максимальных допустимых скоростях движения.

На тормозную эффективность вагона оказывает влияние множество факторов: передаточное число рычажной передачи; давление и выход штока тормозного цилиндра; сила нажатия колодок (накладок); коэффициент трения; брутто вагона (осевая нагрузка), коэффициент сцепления колеса с рельсом.

При проектировании тормозных систем в одну из актуальных выдвигается задача выбора таких параметров тормозной системы, которые удовлетворяют требованиям по безопасности движения и, в частности, тормозной эффективности. Наиболее успешно такие задачи решаются оптимизационными математическими методами.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Для оптимизации параметров колодочной тормозной системы в качестве функции цели принимаются тормозные пути $|S(V, i)|$ на спусках i (%):

$$f(\bar{x}) = (|S(V, i)| - S(\delta_p, V, i)) \geq 0 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $|S(V, i)|$ - максимально допустимые значения тормозных путей поезда на нормированных спусках;

$S(\delta_p, V, i)$ - область допустимых значений D тормозных коэффициентов определяемых неравенствами:

- по условию соответствия тормозного коэффициента минимально допустимому нормативному значению

$$\delta_p \left(|p_{max}| \leq p_{min} \geq |p_{min}|, |l_{min}^{max}| \leq l_{min} \geq |l_{min}^{min}| \cdot n_{pn} \cdot Q_{\delta p} \cdot \eta_{торм} \right) \geq |\delta_p^{norm}|, \quad (2)$$

- по условию недопущения юза

$$\delta_p \left(|p_{max}| \leq p_{min} \geq |p_{min}|, |l_{min}^{max}| \leq l_{min} \geq |l_{min}^{min}| \cdot n_{pn} \cdot Q_{\delta p} \cdot \eta_{торм} \right) \varphi_{тр} \geq |\psi|, \quad (3)$$

здесь $|p_{max}|$ и $|p_{min}|$ - соответственно максимальные и минимальные нормированные значения давления сжатого воздуха в тормозных цилиндрах;

$|l_{min}^{max}|$ и $|l_{min}^{min}|$ - соответственно максимальные и минимальные нормированные значения выхода штока тормозного цилиндра;

n_{pn} - передаточное число рычажной передачи;

$Q_{\delta p}$ - брутто вагона;

$\eta_{торм}$ - к.п.д тормозной рычажной передачи;

$\varphi_{тр}$ - коэффициент трения;

$|\psi|$ - допустимый коэффициент сцепления колеса с рельсом.

В качестве оценки тормозной эффективности высокоскоростных поездов целесообразно использовать тормозные пути, так как основное требование к высокоскоростным поездам является сохранение нормативного тормозного пути при значительно большей скорости движения поездов.

Для оценки тормозной эффективности пассажирских вагонов с дисковыми тормозами предлагается использовать удельную тормозную силу, критерием для которой является тормозной путь. Такой выбор обусловлен тем, что для дисковых тормозов коэффициент трения является постоянной величиной и не зависит от скорости движения при торможении, а его величина зависит от типа используемой тормозной накладки.

В этом случае функция цели имеет вид:

$$f(\bar{x}) = (|S(V, i)| - S(B_T, V, i)) \cdot (|S(V_{max})| - S(B_T, V_{max})) \geq 0 \rightarrow \min, \quad (4)$$

при условии недопущения юза $B_T \geq |\psi|$ и допустимой температуры диска при максимальной скорости в начале торможения $T(B_T, V_{max}) \leq |T_{max}|$,

где B_T - удельная тормозная сила;

$|S(V, i)|$ - допустимые значения тормозных путей поезда на нормированных спусках;

$S(B_T, V, i)$ - расчетный тормозной путь поезда на нормированных спусках;

$|S(V_{max})|$ - допустимый тормозной путь поезда на площадке при максимальной конструкционной скорости;

$S(B_T, V_{max})$ - расчетный тормозной путь поезда на площадке при максимальной конструкционной скорости;

i - величина уклона пути, ‰.

Для решения поставленной задачи используется алгоритм глобального поиска статистического метода оптимизации. Выбор метода оптимизации обусловлен тем, что он позволяет эффективно решать многоэкстремальные задачи.

Основной задачей при проектировании дисковой тормозной системы является выбор таких параметров клещевого механизма, которые обеспечивают:

- требуемую тормозную эффективность вагона в составе поезда;
- безюзовое торможение вагона (отсутствие юза колес при торможении);
- допустимую температуру нагрева диска при торможении;
- удержание вагона ручным тормозом на спуске нормированной крутизны.

Критерием обеспечения требуемой тормозной эффективности вагона является выполнение неравенства:

$$b_T = \frac{r_{mp}}{R_K} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n K_{oi}}{Q+T} \cdot \varphi_{mp} \cdot 1000 > [b_T], \quad (5)$$

где $[b_T]$ - минимально допустимая удельная тормозная сила, обеспечивающая максимально допустимую нормативной и конструкторской документацией скорость движения и тормозные пути;

K_{oi} - действительная сила нажатия i -ой накладки на диск, тс;

T - тара вагона, тс;

$Q_{бр}$ - вес пассажиров и багажа;

r_{mp} - радиус трения тормозного диска, мм;

R_K - расчетный радиус колеса по кругу катания, мм;

φ_{mp} - коэффициент трения диска и накладки.

Выбор параметров клещевого механизма производится по тормозному пути, заданному технической документацией на проектируемый пассажирский вагон и может быть представлен в виде следующего алгоритма.

1. Определяется минимальная удельная тормозная сила дискового тормоза, при которой реализуется заданный технической документацией тормозной путь пассажирского поезда. При заданных значениях тормозного пути и скорости в начале торможения удельная тормозная сила определяется с использованием итерационной формулы:

$$b_{T,i+1} = \frac{1}{|S| - \frac{V_0 \cdot i_n}{3,6}} \cdot \sum_n \frac{4,17 \cdot (v_n^2 - v_{n-1}^2)}{1000 + \frac{\omega_{ox}}{b_{T,i}} + \frac{i_c}{b_{T,i}}}, \quad (6)$$

где V_0 - скорость в начальный момент торможения, км/ч;

v_{n+1} и v_n - конечная и начальная скорость поезда в принятом расчетном интервале скоростей, км/ч;

$b_{T,i}$ - удельная тормозная сила i -ой итерации, т/тс;

ω_{ox} - удельное основное сопротивление, кгс/тс;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

i_c - уклон, ‰, для площадки $i_c = 0$;
 $|S|$ - принятое допустимое значение тормозного пути пассажирского поезда на площадке, м;

Итерационный процесс прекращается при достижении выполнения неравенства:

$$\frac{\text{abs}(b_{T,i+1} - b_{T,i-1})}{b_{T,i+1}} \cdot 100 < \xi, \quad (7)$$

здесь ξ - заданная точность вычисления, %.

2. Определяется эффективная площадь тормозного цилиндра клещевого механизма по формуле:

$$F_{\text{eff}} = \left(\frac{R_k \cdot |b_T| \cdot (Q + T) \cdot m}{r_{\text{mp}} \cdot n \cdot i \cdot \eta \cdot \phi_{\text{mp}}} + K_{\text{mp}} \right) \cdot \frac{10}{P_{\text{н}}}, \quad (8)$$

где: Q - полезная нагрузка, кН;

T - тара вагона, кН;

r_{mp} - радиус трения тормозного диска, мм;

R_k - расчетный радиус колеса по кругу катания, для новых колес, мм;

$P_{\text{н}}$ - давление в тормозном цилиндре при экстренном пневматическом торможении, кПа;

m - количество тормозных накладок тормозного блока, как правило, клещевой механизм имеет две накладки, $m = 2$;

n - количество дисков, установленных на вагоне;

i - передаточное число рычажной передачи клещевых механизмов;

η - КПД клещевого механизма;

K_{mp} - усилие возвратной пружины;

ϕ_{mp} - коэффициент трения накладки и диска;

$|b_T|$ - допустимое значение удельной тормозной силы, соответствующее заданному значению тормозного пути;

3. Из ближайшего значения типоразмерного ряда клещевых механизмов с учетом рассчитанной эффективной площади тормозного цилиндра выбирается тип тормозного цилиндра.

4. Производится уточненный расчет тормозного пути пассажирского поезда для выбранного типа тормозного цилиндра.

5. Если расчетное значение тормозного пути поезда больше заданного, то выбирается следующий по порядку тип тормозного цилиндра и повторяется расчет тормозного пути.

6. Проверяется условие отсутствия юза. В случае не выполнения условия отсутствия юза оценивается процент превышения над допустимым коэффициентом сцепления колеса с рельсом и принимается решение о снижении удельной тормозной силы, при необходимости тормозная система дополняется магниторельсовым тормозом.

7. Производится проверка на температуру нагрева диска при торможении, которая не должна превышать рабочую температуру 350 °С.

8. Определяются тормозные пути на спусках 6 ‰ и 10 ‰ и сравниваются с нормированными значениями.

Движение пассажирского поезда при торможении как единой массы при неустановившемся торможении описывается нелинейным дифференциальным уравнением [1]:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = -\zeta \cdot \{b_T(\delta_p(t), \varphi_{mp}) + w_{ox}(v) \pm i\}, \quad (9)$$

где ζ - замедление поезда под действием удельной замедляющей силы;

(v) - удельное основное сопротивление движению;

$\pm i$ - величина уклона пути;

$\delta_p(t)$ - расчетный (действительный для дискового тормоза) коэффициент силы нажатия колодок (накладок);

φ_{mp} - коэффициент трения колодок или накладок;

b_T - удельная тормозная сила;

φ_{mp} - коэффициент трения.

Процесс возрастания тормозной силы поезда представляется в виде непрерывной интегрируемой в квадратурах функции или аппроксимируется кусочно-линейной функцией времени.

В зависимости от решения конкретных задач при тормозных расчетах используются следующие методы решения дифференциальных уравнений движения:

- аналитический метод расчета по интервалам скорости (метод суммирования);

- аналитический метод расчета интегрированием уравнения движения поезда при установившемся торможении;

- метод расчета численным интегрированием по интервалам времени;

- графический метод;

- метод расчета по номограммам;

- численное интегрирование системы дифференциальных уравнений.

В практике расчетных исследований стран СНГ наибольшее распространение получил метод численного интегрирования уравнения движения поезда по интервалам скорости, при этом разрешающее уравнение имеет вид [2]:

$$S_T = \frac{V_0 \cdot t_H}{3.6} + \sum_n \frac{4.17 \cdot (v_n^2 - v_{n+1}^2)}{b_T + w_{ox} + i_c}, \quad (10)$$

где V_0 - скорость в начальный момент торможения, км/ч;

v_{n+1} и v_n - конечная и начальная скорость поезда в принятом расчетном интервале скоростей, км/ч;

b_T - удельная тормозная сила, т/тс;

w_{ox} - удельное основное сопротивление, кгс/тс;

i_c - уклон, ‰, для площадки $i_c = 0$;

t_H - время подготовки автотормозов к действию, с.

Численное интегрирование дифференциальных уравнений осуществляется методами вычислительной математики.

Дифференциальное уравнение движения (8) представляет обыкновенное дифференциальное уравнение и относится к классу задач Коши. Из всего многообразия численного решения задачи Коши наибольшее распространение получил метод Рунге-Кутты [3], основанный на вычислении приближенного решения y_{i-1} в узле $x_{i-1} = x_i + h$ в виде линейной комбинации с постоянными коэффициентами:

$$y_{i+1} = y_i + p_{q1} \cdot k_1(h) + p_{q2} \cdot k_2(h) + \dots + p_{qq} \cdot k_q(h) \quad (11)$$

Дифференциальное уравнение в методе Рунге-Кутты приводится к системе дифференциальных уравнений первого порядка, при этом классическим вариантом записи метода Рунге-Кутты 4-го порядка является следующая схема:

$$k_{1i} = h \cdot f(x_i, y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{ni}), \quad (12)$$

$$k_{2i} = h \cdot f(x_i + \frac{h}{2}, y_{1i} + \frac{k_{1i}}{2}, \dots, y_{ni} + \frac{k_{1i}}{2}), \quad (13)$$

$$k_{3i} = h \cdot f(x_i + \frac{h}{2}, y_{1i} + \frac{k_{2i}}{2}, \dots, y_{ni} + \frac{k_{2i}}{2}), \quad (14)$$

$$k_{4i} = h \cdot f(x_i + h, y_{1i} + k_{3i}, \dots, y_{ni} + k_{3i}), \quad (15)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6} \cdot (k_{1i} + 2 \cdot k_{2i} + 2 \cdot k_{3i} + k_{4i}), \quad (16)$$

$$x_{i+1} = x_i + h. \quad (17)$$

В соответствии с особенностью изменения силы нажатия накладок (колодок), математическая модель движения пассажирского вагона с учетом изменения тормозной силы во времени от нулевого значения до установившегося может быть представлена дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = -\zeta \cdot \{ b_T \cdot U(t) \cdot H(t - t_1) \cdot H(t_2 - t) + b_T \cdot H(t - t_2) + w_{os}(v) \pm i \}, \quad (18)$$

где $U(t)$ - функция, учитывающая неустановившееся торможение обусловленное нарастанием тормозной силы (давления в тормозном цилиндре);

$H(t)$ - функция Хевисайда - кусочно-постоянная функция, которая определяется формулой:

t_1 - время от начала торможения до начала прижатия тормозных накладок к диску обусловленное преодолением силы отпускной пружины, с;

t_2 - время от начала торможения до установившегося давления в тормозном цилиндре, с;

Приведение дифференциального уравнения (18) второго порядка к системе дифференциальных уравнений первого в методе Рунге-Кутты производится путем ввода дополнительных аргументов:

$$H(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0 \\ 1 & \text{при } x \geq 0 \end{cases} \quad (19)$$

Начальными условиями для решения системы уравнений являются: $y_1(t=0) = 0$; $\frac{dy_1}{dt}(t=0) = V_0$, где V_0 - скорость в начале торможения.

Немецкой фирмой «KNORR-BREMSE» предложена следующая формула для определения тормозного пути пассажирского поезда в принятых обозначениях методики расчета:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$S = \frac{V_0^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot b} + \frac{V_0 \cdot (2 \cdot t_0 + t_1)}{3,6 \cdot 2}, \quad (20)$$

где V_0 - скорость движения поезда в начале торможения;
 t_0 - время свободного движения, с;
 t_1 - время наполнения тормозного цилиндра сжатым воздухом до 95 %;
 b - замедление поезда при торможении, м/с², определяемое по формуле:

$$S = \frac{V_0^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot b} + \frac{V_0 \cdot (2 \cdot t_0 + t_1)}{3,6 \cdot 2}, \quad (21)$$

здесь μ_B - коэффициент трения;
 r_m - средний радиус трения, мм;
 d_L - диаметр колеса, мм;
 w - масса вагона с учетом вращающихся частей, кг;
 i_G - передаточное число тормозного блока;
 η_G - КПД тормозного блока;
 p_c - давление в тормозном цилиндре, КПа;
 A_k - эффективная площадь тормозного цилиндра, см²;
 F_G - усилие возвратной пружины, Н;
 i_s - уклон. Выполненный сравнительный анализ методов расчетных исследований тормозного пути подвижного состава свидетельствует, что наилучшее совпадение с экспериментальными исследованиями показал метод численного интегрирования Рунге-Кутты, который может быть использован для уточненной оценки тормозного пути.

Достаточно эффективным является использование математической модели для определения дополнительных характеристик тормозной системы при анализе результатов ходовых тормозных испытаний. При этом в математической модели в качестве аргументов используются фактические характеристики тормозной системы, полученные в результате экспериментальных исследований.

В качестве примера на рис. 7, 8 и 9 представлены результаты математического моделирования тормозных процессов по результатам ходовых тормозных испытаний электропоезда.

Экспериментальные исследования тормозных систем. Задачи создания конкурентноспособных конструкций транспортных средств, обеспечивающих высокую безопасность, надежность в эксплуатации и улучшенные показатели комфорта, выдвигают повышенные требования к конструкции основных узлов, отвечающих требованиям международных стандартов.

При проектировании единиц подвижного состава нового поколения и, в частности вагонов, особое значение приобретают вопросы совершенствования методов исследования их характеристик и свойств.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

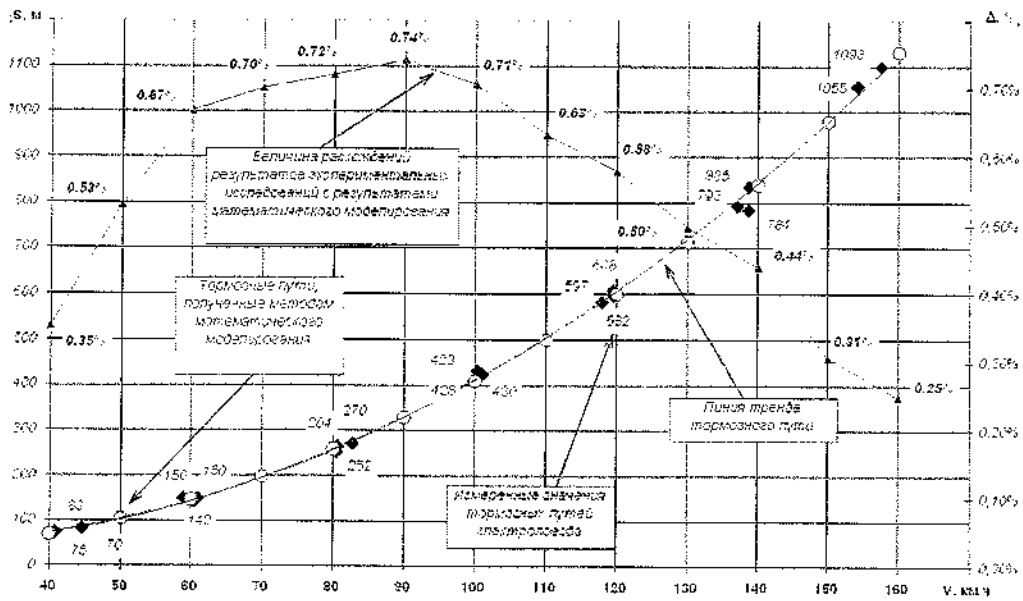


Рис. 7. Расчетные и экспериментальные значения тормозных путей

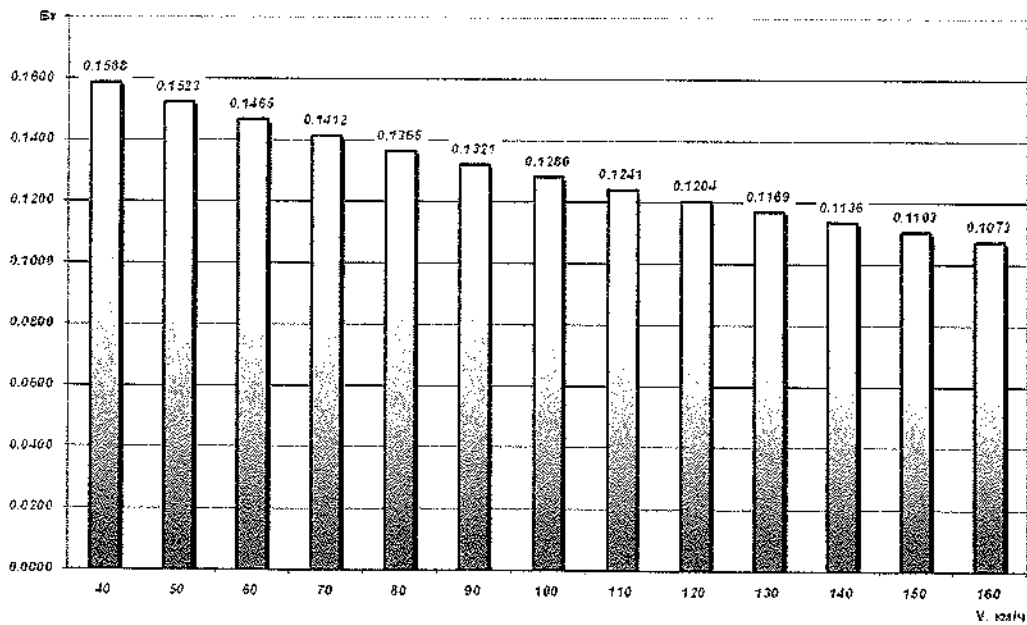


Рис. 8. Фактические значения удельной тормозной силы электропоезда

Указанные исследования требуют применения более совершенных способов и методов оценки тормозной эффективности вагонов и новых тормозных систем.

Важным разделом исследований является выбор методов получения, обработки и анализа экспериментальных данных. Обработка данных сводится к систематизации всех значений, классификации, анализу. Результаты экспериментов должны быть сведены в удобочитаемые формы записи – таблицы, графики, формулы, по-

звояючіе быстро сопоставлять и анализировать полученные результаты. Размерность всех параметров должна соответствовать единой системе физических величин. Особое внимание в методике должно быть уделено математическим методам обработки и анализу опытных данных, в том числе установлению эмпирических зависимостей, аппроксимации связей между варьируемыми характеристиками, установлению критериев и доверительных интервалов.

В этой связи, дальнейшее развитие тормозных систем и повышение тормозной эффективности вагонов невозможно без применения новых более углубленных методов экспериментального исследования и анализа процессов торможения. Такие исследования невозможно провести без проверки конструктивных и технических решений на конкретном вагоне в условиях экстренных торможений при различных скоростях движения. Кроме того, определение эффективности тормозной системы является одним из основных видов специальных поездных испытаний опытных вагонов.

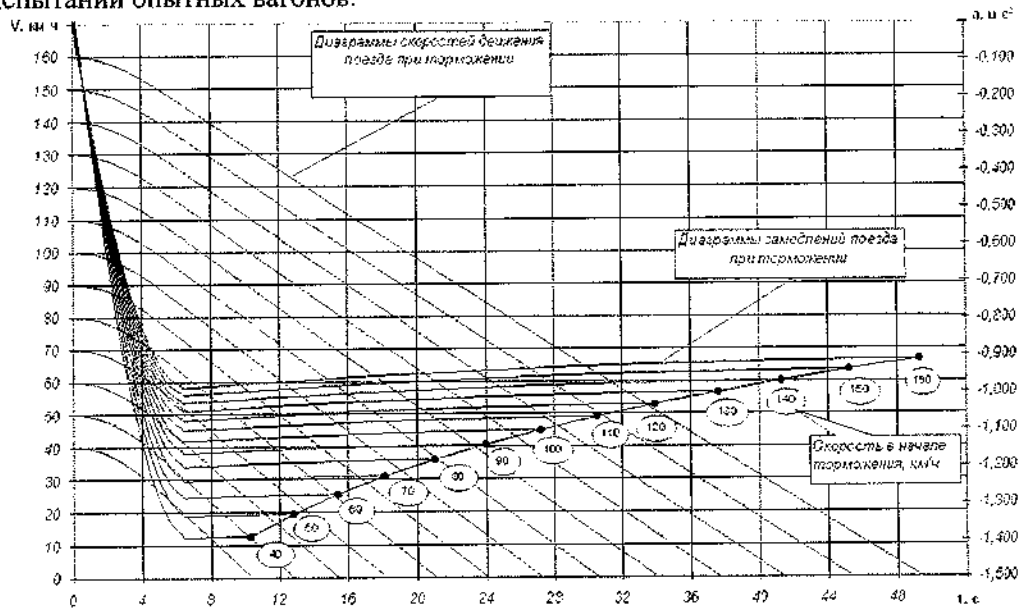


Рис. 9. Швидкості та гальмування електричного поїзда

Найбільш перспективним вважається автоматизація проведення випробувань, яка дозволяє звести до мінімуму кількість помилок, викликаних людським фактором, підвищити точність обчислень і скоротити час на проведення випробувань.

Найбільш важливими і складними вважаються ходові гальмівні випробування одиниць рухомого складу, по результатам яких оцінюється гальмівна ефективність. Як правило, ходовим гальмівним випробуванням піддається один вагон.

Такі випробування проводяться методом «бросання», а гальмівний шлях досліджуваного вагона визначається як різниця відстаней, проходимих вагоном-лабораторією при прямому і зворотному руслах. Для визначення швидкості і гальмівного шляху на вагоні лабораторії встановлюється датчик обертів (рис. 10).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Для определения характеристик процессов торможения исследуемой тормозной системой вагона в ГП «УкрНИИВ» разработано программное обеспечение (ПО) WideBrakeTest, зарегистрированное в Государственной службе интеллектуальной собственности Украины (Свидетельство о регистрации авторского права на произведение от 14.12.2012 № 46785). ПО WideBrakeTest функционирует в среде выполнения NET Framework версий 3.5 и выше, что позволяет использовать его на всех аппаратных и программных платформах, на которые портирована данная среда выполнения.

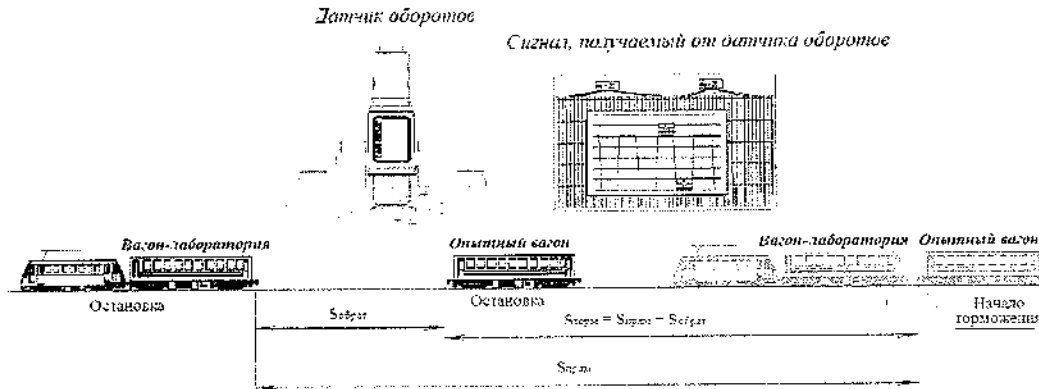


Рис. 10. Определение тормозного пути опытного вагона методом «бросания»

Результаты расчетов могут быть выведены в формате MS Excel. Это ПО полностью обладает графическим интерфейсом, максимально упрощенным для возможности работы с ним без специальной подготовки оператора. Работа с программой организована таким образом, что оператор лишен возможности модифицировать исходные данные или каким-то образом вмешаться в алгоритм вычисления необходимых параметров.

Программный комплекс позволяет в едином режиме времени записывать и исследовать различные по своей физической природе процессы торможения (рис. 11):

- скорость и тормозной путь;
- изменение давления в тормозных приборах;
- изменение давления в баллонах пневмоподвешивания;
- температуру нагрева диска при торможении;
- изменения скорости и тормозного пути при срабатывании противоюзного устройства;
- фактические коэффициенты трения фрикционных пар;
- величины замедлений при торможении, а также инерционные силы, действующие на вагон или поезд;
- фактические значения удельных тормозных сил или тормозных коэффициентов.

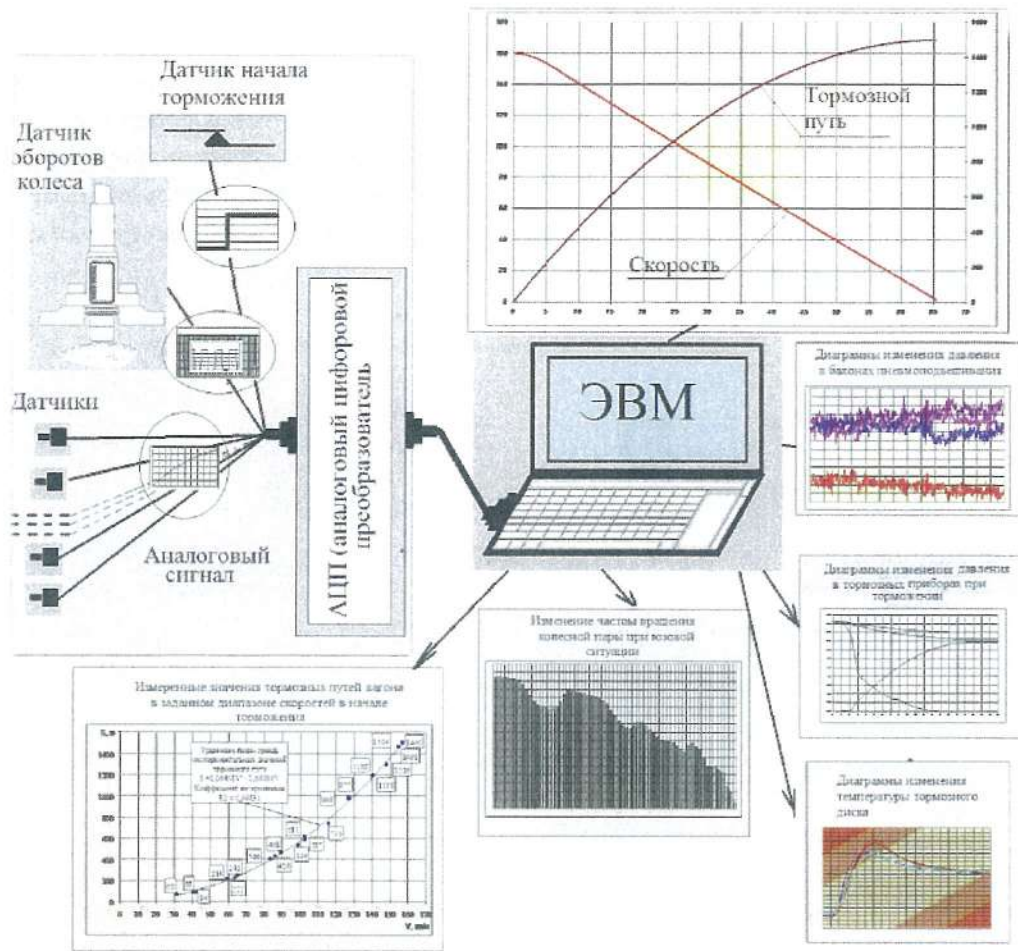


Рис. 11. Структура входной и выходной информации

В настоящее время в Украине для колодочных тормозных систем действует нормативная документация [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], которая регламентирует требования к пассажирским вагонам с колодочными тормозами для скоростей движения до 160 км/ч включительно.

Тормозная эффективность колодочных тормозов оценивается по величине тормозного коэффициента (расчетного коэффициента силы нажатия колодок), определяемого как отношение суммарной расчетной силы нажатия колодок на колеса к весу вагона. Для допустимых максимальных скоростей движения поездов установлено единое наименьшее тормозное нажатие в пересчете на чугунные колодки на каждые 100 тс веса поезда (табл. 1).

Таблиця 1. Єдине найменше гальмівне нажаття для пасажирських поїздів [6]

Максимальна швидкість руху, км/ч	Найменше гальмівне нажаття на 100 т ваги поїзда	Розрахунковий коефіцієнт сили нажаття колодок в пересіченні на чугунні колодки
до 120 км/ч включительно	60	0,6
від 120 км/ч до 130 км/ч включительно	68	0,68
від 130 км/ч до 140 км/ч включительно	78	0,78
від 140 км/ч до 160 км/ч включительно	80	0,80

Крім того, для швидкості 160 км/ч гальмівний коефіцієнт для пасажирського поїзда з композиційними колодками при електропневматичному гальмуванні повинен бути не менше 0,28, при пневматичному - 0,3 [2]. Гальмівні шляхи пасажирських поїздів визначаються за таблицями або номограмами в залежності від величини гальмівного коефіцієнта. Гальмівні шляхи пасажирського поїзда на нормованих спусках 6 ‰ і 10 ‰ регламентуються Інструкцією [7].

Вибір параметрів важільної передачі гальмівної системи для пасажирських вагонів з колодочним гальмом здійснюється в відповідності з Інструкцією [4] виходячи з вагових характеристик вагона, а також від типу гальмівної колодки (композиційна або чугунна). Так, наприклад, для пасажирських вагонів з тарою 53-65 т передаточне число важільної передачі для чугунних колодок повинно складати 12, а для композиційних - 5,3 [4].

Очевидно, гальмівна ефективність пасажирських поїздів з дисковими гальмами повинна задовольняти вказаним нормативним вимогам. Разом з тим, суттєві відмінності колодочних і дискових гальмівних систем не дозволяють використовувати існуючі нормативи напряму до дискових гальмівних систем і вимагають перерахунку (проєцирування) їх гальмівної ефективності на колодочний гальм.

В дискових гальмах реалізація гальмівної сили здійснюється кліщевими механізмами шляхом прижаття накладок до дисків, розташованими на осях колесних пар, а гальмівна сила приводиться до поверхні катання колеса через відношення радіуса тертя до радіусу колеса.

Розрахунково-експериментальним методом встановлені мінімальні значення удільної гальмівної сили дискового гальма, відповідні єдиному найменшому гальмівному нажаттю чугунних колодок на 100 т ваги пасажирського поїзда (табл. 2).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблица 2. Минимальные допустимые по эффективности торможения удельные тормозные силы дискового тормоза

Максимальная скорость движения, км/ч	Удельная тормозная сила	Тормозное нажатие на 100 тс веса поезда, тс	Расчетный коэффициент силы нажатия чугунных колодок
		В пересчете на чугунные колодки	
до 120 км/ч включительно	0,0600	60	0,6
от 120 км/ч до 130 км/ч включительно	0,0660	68	0,68
от 130 км/ч до 140 км/ч включительно	0,0738	78	0,78
от 140 км/ч до 160 км/ч включительно	0,0725	80	0,80

Кроме того, получены формулы для пересчета удельной тормозной силы пассажирского вагона с дисковым тормозом на тормозной коэффициент пассажирского вагона с колодочным тормозом соответственно с композиционными и чугунными колодками (табл. 3).

Таблица 3. Формулы для пересчета тормозной эффективности дискового тормоза на колодочный

V, км/ч	Композиционные колодки	Чугунные колодки
1	2	3
20	$\delta_{pk} = 3,02 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 5,45 \cdot b_T$
30	$\delta_{pk} = 3,10 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 6,13 \cdot b_T$
40	$\delta_{pk} = 3,19 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 6,75 \cdot b_T$
50	$\delta_{pk} = 3,23 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 7,31 \cdot b_T$
60	$\delta_{pk} = 3,35 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 7,81 \cdot b_T$
70	$\delta_{pk} = 3,45 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 8,27 \cdot b_T$
75	$\delta_{pk} = 3,42 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 8,48 \cdot b_T$
80	$\delta_{pk} = 3,49 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 8,68 \cdot b_T$
90	$\delta_{pk} = 3,55 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 9,06 \cdot b_T$
100	$\delta_{pk} = 3,61 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 9,41 \cdot b_T$
110	$\delta_{pk} = 3,66 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 9,73 \cdot b_T$
120	$\delta_{pk} = 3,71 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 10,03 \cdot b_T$
130	$\delta_{pk} = 3,76 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 10,30 \cdot b_T$
140	$\delta_{pk} = 3,80 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 10,56 \cdot b_T$
150	$\delta_{pk} = 3,85 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 10,80 \cdot b_T$
160	$\delta_{pk} = 3,89 \cdot b_T$	$\delta_{pc} = 11,02 \cdot b_T$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Выводы

Основное отличие колодочных и дисковых тормозов состоит в реализации тормозной силы: в колодочном тормозе тормозная сила реализуется на поверхности колеса, в дисковом – на тормозном диске.

Пассажи́рские вагоны для высокоскоростного движения оборудуются электронной системой управления и имеют несколько видов тормозных систем.

Предложенная методика оптимизации по выбору тормозных характеристик позволяет учесть основные ограничения, обусловленные как недопущением юза колеса, так и температурой нагрева.

Предложен аппаратно-программный комплекс, позволяющий исследовать основные процессы торможения в едином режиме времени.

Для приведения тормозной эффективности дискового тормоза к существующей нормативной базе для колодочного тормоза получены формулы для их пересчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенюк П.Т. Правила тормозных расчетов / П.Т. Гребенюк. - Труды ВНИИЖТ. - М.: Интекст, 2004. – 112 с.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 260 с.
3. Копченова Н.В.. Вычислительная математика в примерах и задачах / Н.В. Копченова, И.А. Марон. – М.: Наука, 1972. – 367 с.
4. ЦВ-ЦЛ-0013 Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів. К.: Транспорт України, 2005. – 160 с.
5. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України. – К.: Транспорт України, 2002. -143 с.
6. ЦШ-0001 Інструкція з сигналізації на залізницях України. – К.: ТОВ «Інпрес», 2008. – 160 с.
7. Иноземцев В.Г. Нормы и методы расчета автотормозов / В.Г. Иноземцев, П.Т. Гребенюк. – М.: Транспорт, 1971. – 56 с.
8. Правила технічної експлуатації залізниць України, затвержені Наказом Міністерства України N 411 від 20.12.96. К.: ТОВ «Видавничий дім «Сам», 2003. – 133 с.
9. Гребенюк П.Т. Тяговые расчеты: справочник / П.Т. Гребенюк, А.Н. Долганов, А.И. Скворцова. - М.: Транспорт, 1987. – 272 с.

УДК 006.86(02)

И.И. Федорак, Ю.Я. Водяников, О.А. Федорак

**К ВОПРОСУ О ВАЛИДАЦИИ МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ ЕДИНИЦ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Представлен анализ и особенности экспериментальных исследований транспортных средств подвижного состава железных дорог, в частности вагонов. Показано, что испытания вагонов должны проводиться с использованием методов и методик в соответствии с утвержденной нормативно-технической документацией. Установлено, что методики, которые написаны на основе утвержденной регламентированной нормативной документации на проведение испытаний единиц подвижного состава железных дорог, имеют статус стандартных. Основная трудность при валидировании методик испытаний вагонов состоит в отсутствии критериев для оценки показателей валидации.

Вопросы гармонизации отечественных и международных стандартов являются актуальными и призваны способствовать повышению конкурентоспособности отечественной продукции и, следовательно, упрощению доступа на европейский рынок.

На решение указанных вопросов направлена система технического регулирования, приведение которой к нормам и стандартам ЕС осуществляется путем решения трех стратегических задач:

- адаптации законодательства Украины к требованиям законодательства ЕС;
- гармонизации нормативно-правовой базы с международными и европейскими;
- модернизации инфраструктуры качества.

Важнейшим этапом для решения поставленных задач является внедрение системы менеджмента (системы качества) в соответствии с требованиями ИСО 9001 и ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Настоящий стандарт устанавливает общие требования к компетентности лабораторий в проведении испытаний и/или калибровки, включая отбор образцов, испытания и калибровку, проводимые по стандартным методам, нестандартным методам и методам, разработанным лабораторией.

Это позволит осуществить признание результатов испытаний и калибровки разными странами при условии, что лаборатория работает в соответствии с требованиями указанного стандарта и если она аккредитована органами по аккредитации, которые заключили соглашения о взаимном признании с подобными органами других стран, применяющими настоящий стандарт.

Для оценки характеристик свойств любого объекта при испытаниях необходимо [1]:

- выбрать параметры, которые характеризуют интересующие свойства объекта;
- установить степень точности или достоверность, с которой следует определять выбранные параметры, а также допуски, нормы точности и т.д.;
- описать процедуру отбора и подготовки проб;

© *И.И. Федорак, Ю.Я. Водяников, О.А. Федорак, 2014*

- выбрать методы и средства измерительной техники для достижения необходимой точности или достоверности;
- обеспечить готовность оборудования и средств измерительной техники к выполнению своих функций посредством аттестации или прослеживаемости измерений;
- создать необходимые условия для проведения испытаний и обеспечить их учет;
- провести квалификационную обработку измерений и оценку их неопределенности результата и на этой основе сформулировать решение.

Для понимания последующего изложения приведем некоторые термины и определения. В первую очередь определим такие понятия, как верификация, валидация, методика и метод.

Верификация (в переводе с английского верификация (verification) – проверка) – подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены [2]. При проведении верификации не обязательно проводить испытания. Например, для измерительного оборудования верификация предполагает непосредственное сравнение метрологических характеристик этого оборудования и метрологических характеристик, указанных в техническом паспорте. Эквивалентом термина «верификация» может быть «тестирование», «проверка».

Валидация (в переводе с английского - validion) – это пригодность, ратификация, утверждение, легализация, придание юридической силы. Иными словами, валидация представляет комплекс экспериментов по изучению свойств объекта с целью получения документальных доказательств того, что результаты этих экспериментов при определенных условиях будут отвечать установленным требованиям заказчика. К валидации следует относить факт утверждения акта испытаний изделия со свидетельством того, что оно соответствует требованиям ТУ и признано годным для эксплуатации.

Метод испытаний – правила применения определенных принципов и средств испытаний [3]. Метод испытаний может быть стандартным либо разработанным под конкретные цели испытаний, и в этом случае он должен быть *аттестованным*.

Методика испытаний определяется как организационно-методический документ, включающий описание метода испытаний, средств и условий испытаний, отбор проб, алгоритм выполнения операции по определению одной или нескольких взаимосвязанных характеристик свойств объекта, формы представления данных и оценивания точности, достоверности результатов, требования техники безопасности и охраны окружающей среды [3]. Таким образом, методика испытаний – это обобщенное понятие, включающее в себя совокупность процедур использования методов и средств испытаний, последовательное выполнение которых направлено на получение результата испытаний с гарантированной точностью и/или достоверностью. С этой целью методика должна быть *верифицирована, аттестована и валидирована*.

Под валидацией методики (оценкой пригодности методики) понимается подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что методика исследования объекта может быть применена для конкретного объекта или группы объектов [3]. Таким образом, основная цель валидации методики – гарантия, что выбранная методика будет давать воспроизводимые и достоверные результаты, соответствующие поставленной цели.

Согласно требованиям п. 5.4.5.2 ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 лаборатория должна валидировать:

- нестандартные методы;
- методы, разработанные или усовершенствованные лабораторией;
- стандартные методы, используемые вне области их применения;
- расширения и модификации для подтверждения того, что эти методы подходят для применения по назначению.

Железнодорожный подвижной состав является специфическим видом транспорта, предназначенным для массовой перевозки грузов и пассажиров. Так как перевозимые железнодорожным транспортом грузы могут представлять повышенную, высокую и особо высокую степени опасности, то к подвижному составу предъявляются особые требования по обеспечению безопасности движения, сохранности груза и пассажиров. Очевидно, что с целью обеспечения безопасной эксплуатации таких конструкций подвижной состав должен соответствовать единым требованиям норм безопасности независимо от конструктивного исполнения, а оценка его качества осуществляться по единым методикам.

Указанные требования, методы и методики регламентированы нормативно-технической документацией (НД), инструкциями, правилами и используются как при проектировании новых единиц подвижного состава, так и при проведении экспериментальных исследований [4]-[14].

Учитывая высокие требования, предъявляемые к транспортным средствам железных дорог, широкое распространение получили предварительные экспериментальные исследования отдельных элементов вагона на специальных стендах: узлов ходовых частей (тележек), ударно-тяговых приборов, пружин рессорного подвешивания, отдельных элементов тормоза, для пассажирских вагонов – системы жизнеобеспечения и системы электрооборудования и т.п.

Методики проведения испытаний на прочность и ходовые качества вагонов регламентированы в соответствующих разделах РД [5, 6], к ним относятся:

- статические испытания на прочность;
- испытания вагонов на прочность при соударении;
- испытания на прочность при погрузке и выгрузке;
- ходовые прочностные и ходовые динамические испытания;
- испытания на усталость.

В этом же документе представлены приборы и оборудование для испытаний.

Так, например, для прочностных и динамических испытаний в качестве первичных измерительных преобразователей (датчиков) применяются:

- тензорезисторы с базой от 10 до 20 мм для измерения микрореформаций (напряжений) и сил в элементах конструкции;
- преобразователи перемещений (прогибомеры, ходомеры) индуктивные, реохордные, пластинчатые и специальные;
- ускоренимеры (акселерометры) различной конструкции с использованием частотных фильтров;
- преобразователи давления, манометры, специальные динамометры.

Для регистрации показателей нагруженности при статических испытаниях рекомендуется использовать автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс на базе ЭВМ.

При испытаниях на соударение, на прочность при погрузке и выгрузке используются специальные электронные запоминающие устройства.

Ходовые тормозные испытания вагонов согласно [7] должны осуществляться только методом «бросания». Для испытания тормозов вагонов используются методики и типовая установка, представленные в инструкции [8].

Следует отметить, что основные нормативные значения измеряемых показателей задаются в виде интервала с верхней и нижней границей, либо в виде верхнего или нижнего пороговых значений. Так, например, коэффициент вертикальной динамики для грузовых вагонов не должен превышать величины 0,65, коэффициент схода с рельс – не менее 1,3, коэффициент запаса усталости – не менее 1,5 и т.д. Для тормозной системы регламентируются значения тормозных коэффициентов, давления в тормозных цилиндрах, значения тормозных путей на нормированных спусках и т.д. Такая особенность обусловлена тем, что на показатели качества рельсового транспортного средства влияет множество случайных факторов: технология сборки, механические свойства материала, состояние рельсового пути, физико-механические свойства груза, погодные условия (ветер, температура, атмосферные осадки) и т. п. Тормозная эффективность и тормозные пути поезда зависят от множества факторов, к основным из которых относятся:

- давление в тормозных цилиндрах в зависимости от загрузки вагона;
- выход штока тормозного цилиндра, обусловленного износом тормозных колодок;
- давление в тормозной магистрали;
- скорости распространения тормозной волны при торможении поезда;
- коэффициент сцепления колеса с рельсом;
- коэффициент трения колеса и колодки, который может меняться в широких пределах 0,2-0,4.

Указанные особенности вызывают значительные трудности в оценке отдельных характеристик валидации методики, которая состоит в отсутствии критериев оценки показателей валидирования.

В заключение следует подчеркнуть, что методики и методы для экспериментальных исследований качества подвижного состава железных дорог (обеспечения безопасной эксплуатации) строго регламентированы и получены на основе многолетних исследований различных конструкций вагонов (полувагонов, хопперов, платформ, цистерн, крытых вагонов и т. д.). Такие методики являются стандартизованными.

Выводы

Испытания единиц подвижного состава производится по регламентированным и утвержденным методикам.

Так как нарушение технического регламента может привести к значительным людским и материальным потерям, то весь подвижной состав должен проходить испытания в соответствии с утвержденными методиками.

Методики, которые написаны на основе утвержденной регламентированной нормативной документации на проведение испытаний единиц подвижного состава железных дорог, имеют статус стандартных и, следовательно, не должны проходить проверку на пригодность (валидации).

Вместе с тем, для анализа результатов целесообразно определить неопределенность измерений.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ ISO 9000:2007 Система управління якістю. Основні положення та словник термінів. – [Чинний від 2008-01-01]. - К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 29 с.
2. ДСТУ ISO 9001:2007 Система управління якістю. Вимоги. – [Чинний від 2001-10-01]. - К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 29 с.
3. ГОСТ 16504:81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – [Действует с 1982-01-01]. – М., 1981. – 25 с.
4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
5. РД 24.050.37-90 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1990. – 49 с.
6. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – М.: ГосНИИВ, 1995. – 101 с.
7. НБ ЖТ ЦВ 01-98 Вагоны грузовые железнодорожные. Нормы безопасности. - М.: МПС России, 1998. – 14 с.
8. ЦВ-ЦЛ-0013 Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів. К.: Транспорт України, 2005. – 160 с.
9. Гребенюк П.Т. Правила тормозных расчетов / П.Т. Гребенюк. - Труды ВНИИЖТ. - М.: Интекст, 2004. – 112 с.
10. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України. – К.: Транспорт України, 2002. -143 с.
11. ЦШ-0001 Інструкція з сигналізації на залізницях України. – К.: ТОВ «Інпрес», 2008. – 160 с.
12. Иноземцев В.Г. Нормы и методы расчета автотормозов / В.Г. Иноземцев, П.Т. Гребенюк. – М.: Транспорт, 1971. – 56 с.
13. Правила технічної експлуатації залізниць України, затверджені Наказом Міністерства України N 411 від 20.12.96. К.: ТОВ «Видавничий дім «Сам», 2003. – 133 с.
14. Гребенюк П.Т. Тяговые расчеты: справочник / П.Т. Гребенюк, А.Н. Долганов, А.И. Скворцова. - М.: Транспорт, 1987. – 272 с.

УДК 629.4.077-592.117.001.4

Д.В. Федосов-Никонов, И.И. Федорак, Ю.Я. Водяников, А.Н. Стринжа

**ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЕДИНИЦ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Рассмотрены критерии оценки остаточного ресурса подвижного состава железных дорог. Остаточный ресурс вагона определяется по трем критериям: достижению напряжений предела текучести, по пределу выносливости и по накопленным повреждениям при воздействии ударных нагрузок. Первый критерий применяется при низкой коррозионной стойкости материала вагона и обусловлен воздействием как атмосферных осадков, так и агрессивной средой. Вторым критерий применяется для определения долговечности конструкции и характеризуется коэффициентом запаса усталости, равным или меньшим единицы. Третий критерий используется для обоснования установленного срока службы вагона. Приведены расчетные зависимости, а также пример результатов испытаний на соударение вагона-цистерны модели 1404.

Диагностирование вагонов проводится в соответствии с «Положением о продлении сроков службы грузовых и рефрижераторных вагонов участников соглашений о совместном использовании грузовых и рефрижераторных вагонов в международном сообщении», утвержденного на заседании Совета по железнодорожному транспорту стран СНГ, Грузии, Литовской, Латвийской и Эстонской республик.

Настоящим документом устанавливается порядок продления срока службы грузовых и рефрижераторных вагонов государств - участников Соглашений о совместном использовании грузовых и рефрижераторных вагонов в международном сообщении, назначенный срок службы которых истекает или истек. Основным критерием установления возможности продления срока службы грузовых и рефрижераторных вагонов является наличие у них остаточного ресурса (или возможности его возобновления), оцениваемое путем проведения технического диагностирования. Допускается проводить продление срока службы грузовым вагонам постройки не ранее 1964 года, при этом общий срок службы вагонов с учетом продления не должен превышать полуторного назначенного срока службы, указанного в Технических условиях (далее - ТУ) завода - изготовителя на базовый вагон. В исключительных случаях при предоставлении разработчиком ТУ на КРП обоснованных материалов, общий срок службы с учетом продления может превышать полуторный назначенный срок службы, указанный в ТУ завода-изготовителя на базовый вагон, но не более удвоенного, если это предусмотрено ТУ на КРП. Отсчет нового срока службы вагона устанавливается с даты выдачи Технического решения.

© Д. В. Федосов-Никонов, И.И. Федорак, Ю.Я. Водяников, А.Н. Стринжа, 2014

Работы проводятся организацией - исполнителем (организация исполнитель - специализированная организация или ремонтное предприятие, которое проводит техническое диагностирование, определяет и устанавливает новый срок службы вагона), имеющей Свидетельство на право проведения работ по техническому диагностированию с целью продления срока службы грузовых и рефрижераторных вагонов (далее - Свидетельство), выданное Комиссией Совета и включенной в перечень организаций, имеющих право на проведение работ по техническому диагностированию с целью продления сроков службы грузовых и рефрижераторных вагонов государств - участников Соглашений о совместном использовании грузовых и рефрижераторных вагонов в международном сообщении. Указанное Свидетельство было выдано ДП «УкрНИИВ» 27.02.2009 г.

Принятое направление на увеличение назначенного срока службы грузовых и пассажирских вагонов обуславливает необходимость проведения ряда исследований, важнейшей составной частью которых является обследование технического состояния вагонов в эксплуатации, а также обоснование возможности такого продления путем проведения ресурсных испытаний конструкции вагона.

Решение поставленной задачи требует разработки методики, которая подразумевает проведение ряда исследований, включающие сбор и первичную обработку информации о техническом состоянии вагонов, обработку и анализ полученной информации, определение показателей надежности, исследование зависимости коррозионной стойкости материала от времени эксплуатации, оценку остаточного ресурса конструкции вагона.

Критерием оценки остаточного ресурса вагона является исчерпание конструкцией несущей способности. Исчерпание несущей способности характеризуется тремя показателями:

- достижением в ответственных узлах вагона напряжений предела текучести при действии статической нагрузки с учетом коэффициента динамики, такие напряжения возникают при снижении временного сопротивления поперечного сечения элемента конструкции вследствие высокой интенсивности коррозии материала;
- пределом выносливости, характеризуемым коэффициентом запаса, равным или меньше единицы;
- числом циклов продольных ударных нагрузок (соударений), характеризуемых числом накопленных повреждений.

Выбор оценочного показателя для определения остаточного ресурса производится исходя из результатов диагностирования вагона.

Методика определения коррозионной стойкости материала элементов вагона от воздействия окружающей среды и атмосферы.

Целью исследования является оценка коррозионной стойкости материала элементов вагона к воздействию атмосферы и агрессивной среды, получение функциональной зависимости утонения поперечного сечения конструктивных элементов от времени эксплуатации (срока службы).

Величина коррозии определяется как разность между фактическими (замеренными) толщинами и номинальными, определяемыми по чертежам.

Данные замеров толщин (утонения элементов) группируются по сроку службы вагонов с интервалом времени наработки Δt и подвергаются статистической обработке, состоящей в определении [1]:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

– математического ожидания

$$\bar{m}_{\Delta_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} h_{ij}}{n_i}, \quad (1)$$

где h_{ij} – значение j -ой случайной величины толщины стенки в i -ом интервале;

n_i – количество замеров в i -ом интервале;

m_{Δ_i} – математическое ожидание случайной величины в i -ом интервале

– среднеквадратического отклонения

$$S_{\Delta_i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} (h_{ij} - m_{\Delta_i})^2}{n_i - 1}}. \quad (2)$$

Случайные величины в каждом временном срезе группируются на классы (интервалы) по правилу Штюргеса [2]:

$$k \approx 1 + \lg(n_i), \quad (3)$$

где k – число классов.

Проверка нулевой гипотезы о равенстве (однородности) средних оценивается с помощью критерия Стьюдена.

Оценкой σ^2 служит выборочная полная (общая) дисперсия S^2 , а интервальной оценкой математического ожидания a – выборочное общее среднее \bar{m}_{Δ_i} . Доверительные интервалы для a и σ^2 , для $p = \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} - 1$ степеней свободы определяются из выражений [2]:

$$\bar{m}_{\Delta_i} - \frac{S_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} n_{ij}}} t_{\alpha, p} < a < \bar{m}_{\Delta_i} + \frac{S_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} n_{ij}}} t_{\alpha, p}, \quad (4)$$

$$\frac{S_i^2 \left(\sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} - 1 \right)}{\chi_{p, 1}^2} < \sigma^2 < \frac{S_i^2 \left(\sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} - 1 \right)}{\chi_{p, 2}^2}. \quad (5)$$

Значения $t_{\alpha, p}$, $\chi_{p, 1}^2$ и $\chi_{p, 2}^2$ определяются по таблицам в зависимости от числа степеней свободы и выборочного уровня доверительной вероятности ($P=0,95$).

По данным замеров толщины элемента для каждого временного среза строятся кумулятивная линия, гистограмма и полигон распределения, по которым производится выбор теоретического закона распределения.

Для нормального распределения плотность вероятности случайной величины определяется формулой [3]:

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2}, \quad (6)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение теоретического распределения;

μ – среднее значение (математическое ожидание) теоретического распределения.

Проверка гипотезы нормального распределения для класса выборок выполняется с использованием критерия Пирсона.

В случае проявления функциональной зависимости величины утонения от времени эксплуатации, производится выравнивание методом наименьших квадратов математических ожиданий отклонений толщин элементов от номинальных значений. В качестве аппроксимирующей функции принят полином относительно независимой переменной t – времени наработки. В качестве полинома выбирается линейный, квадратичный и кубический

$$\begin{aligned} f_1(t) &= a + bt \\ f_2(t) &= a + bt + ct^2 \\ f_3(t) &= a + bt + ct^2 + dt^3 \end{aligned} \quad (7)$$

где a, b, c, d – неизвестные коэффициенты.

Выбор полинома производится исходя из наименьшей величины остаточной дисперсии, определяемой по формуле [3]:

$$\bar{S}_{ост}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i - m_i^*)^2}{N - 1 - p} \quad (8)$$

где m_i – математическое ожидание случайной величины в i -ом интервале;

m_i^* – аналитическое значение этой же величины;

N – количество интервалов времени наработки;

p – число степеней свободы, а также максимального значения критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{\Delta}^2}{S_{m_0}^2} \quad (9)$$

где S_{Δ}^2 – дисперсия случайной величины при уровне значимости 5%.

Коэффициенты a, b, c, d определяются путем решения системы алгебраических уравнений, которые имеют вид:

– для полинома первой степени

$$\begin{cases} an + b \sum_i x_i = \sum_i y_i \\ a \sum_i x_i + b \sum_i x_i^2 = \sum_i x_i y_i \end{cases} \quad (10)$$

– для полинома второй степени

$$\begin{cases} an + b \sum_i x_i + c \sum_i x_i^2 = \sum_i y_i^2 \\ a \sum_i x_i + b \sum_i x_i^2 + c \sum_i x_i^3 = \sum_i x_i y_i \\ a \sum_i x_i^2 + b \sum_i x_i^3 + c \sum_i x_i^4 = \sum_i x_i^2 y_i \end{cases} \quad (11)$$

– для полинома третьей степени

$$\begin{cases} an + b \sum_i x_i + c \sum_i x_i^2 + d \sum_i x_i^3 = \sum_i y_i \\ a \sum_i x_i + b \sum_i x_i^2 + c \sum_i x_i^3 + d \sum_i x_i^4 = \sum_i x_i y_i \\ a \sum_i x_i^2 + b \sum_i x_i^3 + c \sum_i x_i^4 + d \sum_i x_i^5 = \sum_i x_i^2 y_i \\ a \sum_i x_i^3 + b \sum_i x_i^4 + c \sum_i x_i^5 + d \sum_i x_i^6 = \sum_i x_i^3 y_i \end{cases} \quad (12)$$

Как показывают результаты диагностирования, интенсивность коррозии металла при воздействии природных факторов имеет линейный характер, а агрессивных сред – нелинейный. По выбранному полиному зависимости утонения элементов конструкции от времени эксплуатации определяется остаточный ресурс, при котором временное сопротивление поперечного сечения станет равным минимально допустимому по условию достижения предела текучести:

$$\frac{M}{W(h_{kp})} = \sigma_m, \quad (13)$$

где l - изгибающий момент от статической нагрузки с учетом коэффициента динамики;

W - момент сопротивления поперечного сечения элемента или узла вагона.

$h_{до}$ - критическое значение толщины стенок поперечного сечения элемента, определяемое по формуле:

$$h_{kp} = h_{ном} - \Delta h(T_p), \quad (14)$$

где h_{nom} - номинальная толщина стенок элемента или узла вагона;

$\Delta h(T_p)$ - утонение толщины стенок элемента или узла вагона за время T_p ;

T_p - остаточный ресурс, время за которое утонение стенок станет критическим.

Так как временное сопротивление пропорционально площади поперечного сечения, то минимальная площадь поперечного сечения определится по формуле:

$$F_{kp} = F_{ном} \cdot \frac{\sigma_{ф}}{\sigma_m}, \quad (15)$$

где F_{nom} - номинальная площадь поперечного сечения элемента, соответствующая конструкторской документации;

$\sigma_{ф}$ - фактические напряжения в элементе конструкции;

σ_m - предел текучести материала.

Расчетные соотношения для определения остаточного ресурса несущих элементов вагона по пределу выносливости.

Исходным соотношением для определения срока службы несущих элементов конструкции вагона является выражение [4]:

$$n = \frac{\sigma_{a.N}^m}{\sigma_s}, \quad (16)$$

где n – коэффициент запаса;

$\sigma_{a,N}^n$ – расчетный предел выносливости при симметричном цикле напряжений, приведенной к базе испытаний $N = 10^7$, полученной на основе проведения стендовых вибрационных испытаний несущих элементов;

σ_s – эквивалентное расчетное эксплуатационное напряжение, приведенное к напряжению симметричного цикла и базе испытаний $N = 10^7$;

$[n]$ – допускаемый коэффициент запаса сопротивлению усталости.

Предел выносливости натурной детали [4]:

$$\sigma_{a,N}^n = \bar{\sigma}_{a,N}^n (1 - z_p v_{\sigma_{a,N}}), \quad (17)$$

где $\bar{\sigma}_{a,N}^n$ – медианное значение предела выносливости детали;

z_p – квантиль распределения при вероятности $P = 0,95$;

$v_{\sigma_{a,N}}$ – коэффициент вариации предела выносливости детали, принимаемое для сталей равным 0,07.

При определении предела выносливости натуральных деталей путем проведения вибрационных испытаний используется формула [4]:

$$\bar{\sigma}_{a,N}^n = \sqrt[m]{\frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^k \sigma_{m_i}^m n_{m_i}}, \quad (18)$$

где $\sigma_{a,N}^n$ – предел выносливости натуральных деталей, определяемый в результате стендовых вибрационных испытаний;

$m = 4$ – рекомендуемое значение показателя степени кривой усталости элементов вагона;

σ_{m_i} – величины напряжений, полученные в процессе вибрационных испытаний и приведенные к эквивалентным симметричным;

n_{m_i} – количество циклов нагружения, реализованное на i -ом интервале;

k – количество интервалов нагружения.

Согласно нормативной документации влияние асимметрии циклов динамических напряжений на накопление усталостных повреждений в конструкции не учитывается, поэтому принимается

$$\sigma_{m_i} = \sigma_{sa_i}$$

Вместе с тем, для проведения проверочного расчета коэффициента запаса по сопротивлению усталости и оценки остаточного ресурса, влияние асимметрии циклов нагружения учитывается путем его приведения к амплитудам эквивалентных симметричных циклов с использованием идеализации Гудмана диаграммы предельных амплитуд циклов и приведения их к эквивалентной амплитуде симметричного предельного цикла по подобию амплитуд [5]:

$$\sigma_{sa_i} = \frac{\sigma_{sa_i}}{(1 - \sigma_{sm_i} / \sigma_s)}, \quad (19)$$

где σ_{sa_i} – амплитуды динамических напряжений, полученные в процессе испытаний;

σ_{sm_i} – амплитуды постоянных составляющих напряжений, реализованных в процессе испытаний;

σ_s – предел прочности элемента равен пределу прочности материала.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Расчетные величины амплитуд динамических напряжений определяются по формуле [4]:

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{T_p f_s d_s}{N_0}}, \quad (20)$$

здесь T_p – суммарное действие эксплуатационных нагрузок;

f_s – центральная (эффективная) частота процесса изменения динамических напряжений;

d_s – удельная наработка несущей конструкции (определяет различие условий эксплуатации однотипных несущих элементов).

Эффективная частота изменения динамических напряжений определяется по формуле [4]:

$$f_s = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{cm}}}, \quad (21)$$

где $a=1,1$ и $a=1,6$ соответственно для кузова пассажирского вагона и обрессоренных частей тележки;

$g = 9,81$ – ускорение свободного падения;

f_{cm} – статистический прогиб вагона.

Величина T_p согласно действующим нормативам вычисляется по формуле [4]:

$$T_p = 3600 \cdot T_e \cdot \frac{L_a}{V}, \quad (22)$$

здесь T_k – проектный (календарный) срок службы вагона;

L_e – среднегодовой пробег пассажирского вагона;

V – средняя техническая скорость движения вагона.

Оценка ресурса элемента по критерию усталостной долговечности при многоцикловом динамическом нагружении производится по формуле [4]:

$$T_k = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right) \cdot N_0}{B f_s d_s}, \quad (23)$$

где удельная наработка d_s определяется в соответствии с формулой [4]:

$$d_s = \sum_{i=1}^n K_{v_i} \sum_{k_{s2}}^{k_{s1}} P_{v_i} \sum_{\sigma_{s_i}^m} P_{\sigma_i}, \quad (24)$$

здесь K_{v_i} – средняя доля протяженности прямых ($i=1$), кривых участков пути ($i=2$) и стрелочных переводов ($i=3$) в общей длине железнодорожных линий;

P_{v_i} – доля времени, приходящаяся на эксплуатацию в i -ом интервале скоростей;

σ_{s_i} – уровень (разряд) амплитуды динамических напряжений;

P_{σ_i} – частота (вероятность) появления амплитуд напряжений с уровнем σ_{s_i} в i -ом интервале скоростей движения вагона.

Долговечность конструкции вагона определяется по формуле (21), в которой коэффициент запаса принимается равным единице ($[n]=1$), а остаточный ресурс – как разность долговечности и назначенного технической документацией срока службы.

Оценка остаточного ресурса при испытаниях на соударение

При испытаниях на соударение в качестве исходного (эксплуатационного) спектра нагружения вагона принимается обобщенное распределение повторяемости продольных сил сжатия и растяжения, установленное [4]. Обобщенное распределение принимается в предположении об одинаковом повреждающем воздействии растягивающих и сжимающих продольных сил в каждом интервале их распределения.

Величина эквивалентного усилия соударения $D_{уд}$, приведенная к расчетной базе испытаний, определяется по формуле [6]:

$$P_{экс} = \frac{N_{общ}^{расч}}{N_{д}} \cdot \sum_{i=1}^n F_i^m \cdot p_i \quad (25)$$

где $N_{общ}^{расч}$ - общее расчетное количество циклов действия импульсов продольных ударных сил;

F_i и p_i - величины динамических продольных сил и их частоты, определяемые по табл. 5.3 и 5.4 [6];

m - показатель степени кривой усталости, $m = 4$.

Общее расчетное количества циклов действия (импульсов) продольных сил в течение рассматриваемого расчетного периода эксплуатации вагона определяется с учетом общесетевого коэффициента пробега по формуле [6]:

$$N_{общ}^{расч} = N_{общ}^{год} \cdot T_{расч} \cdot k_{реж} \cdot k_{уд} \quad (26)$$

где $N_{общ}^{год}$ - общее количество циклов действия ударных продольных сил за один год $N_{общ}^{год} = 20200$ [6];

$T_{расч}$ - расчетный период эксплуатации;

$k_{реж}$ - коэффициент, учитывающий влияние порожнего пробега, $k_{реж} = 1$ [6];

$k_{уд}$ - коэффициент, учитывающий несимметричность нагружения конструкции, $k_{уд} = 0,6$ [6].

В качестве примера рассмотрим результаты оценки остаточного ресурса вагона цистерны (далее цистерны) модели 15-1404 [7]. Выбор режима нагружения осуществляется с учетом следующих данных, характеризующих условия эксплуатации:

- назначенный срок службы цистерны до списания 20 лет;
- коэффициент порожнего пробега $K=0,45$;
- ориентировочный среднесуточный пробег составляет 297 км/сутки.

Общее расчетное количество циклов нагружения цистерны за срок службы 1 год составит:

$$N_{общ}^{расч} = N_{общ}^{год} \cdot T_{расч} \cdot k_{реж} \cdot k_{уд} = 20200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6 = 12120 \text{ циклов.} \quad (27)$$

По данным табл. 5.3 [6] и $P_{экс} = 2,5$ МН базовое число циклов составит:

$$N_{д} = \frac{12200}{2,5^4} \cdot (0,25^4 \cdot 0,12575 + 0,6^4 \cdot 0,28520 + 1^4 \cdot 0,28025 + \\ + 1,4^4 \cdot 0,0029 + 1,8^4 \cdot 0,07724 + 2,2^4 \cdot 0,03592 + 2,6^4 \cdot 0,00978 + \\ + 3^4 \cdot 0,0029 + 3,4^4 \cdot 0,0003 + 3,8^4 \cdot 0,00007) \cong 1118 \quad (28)$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Учитывая, что исследуемый вагон не проходит сортировку на горках, экспертно уменьшаем число эквивалентных сил умножением на коэффициент, равный 0,5, тогда расчетное число циклов составит:

$$n_p = 1118 \cdot 0,5 = 559. \quad (29)$$

С учетом повторных ударов число соударений определится по формуле (письмо ВНИИЖТ от 09.11.89 № В-29/95), при этом усилие второго удара принимается равным 90 % усилия первого удара, а в качестве эквивалентной силы принимается величина 2,5 МН:

$$n_p' = \frac{P_{\text{экв}}^4 \cdot n_p}{P_{\text{экв}}^4 + 0,9^4 \cdot P_{\text{экв}}^4} = \frac{2,5^4 \cdot 559}{2,5^4 \cdot (1 + 0,9^4)} = 337. \quad (30)$$

Расчетная сила накопленных повреждений D_p на 1 год составит:

$$D_p = n_p' \cdot P_{\text{экв}}^4 = 337 \cdot 2,5^4 = 13185 \text{ МН}^4. \quad (31)$$

Испытания цистерны на соударение проводились путем накатывания вагона-бойка на цистерну, стоящую в упоре. Гистограмма распределения сил соударения представлена на рис. 1, а сумма накопленных повреждений – в табл.

Время наработки цистерны на ударные воздействия составило:

$$T_p = 82727,33 / 13185 = 6,27 \text{ года},$$

что позволяет продлить срок службы цистерны на 5 лет.

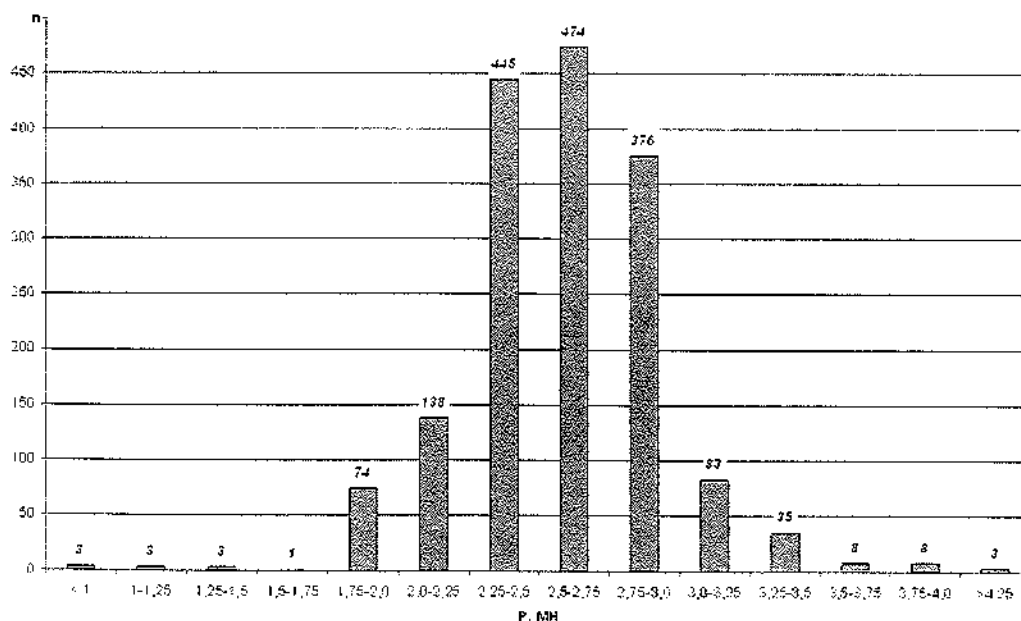


Рис. 1. Гистограмма распределения продольных сил при соударении

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблица 1. Полигон сил соударения, полученных в результате испытаний цистерны на соударение

Интервал сил соударения	Середина интервала	Частота	Накопленные повреждения
1	2	3	4
< 1	1.0	3	3.0
1-1,25	1.3	3	4.81
1,25-1,5	1.38	3	10.72
1,5-1,75	1.63	1	6.97
1,75-2,0	1.88	74	914.61
2,0-2,25	2.13	138	2813.94
2,25-2,5	2.38	445	14158.41
2,5-2,75	2.63	474	22505.86
2,75-3,0	2.88	376	25688.53
3,0-3,25	3.13	83	7915.5
3,25-3,5	3.38	35	4541.12
3,5-3,75	3.63	8	1381.41
3,75-4,0	3.88	8	1803.75
>4.25	4.25	3	978.76
Итого			82727,39

Выводы

Изложенная методика расчетных исследований позволяет:

- осуществить дифференцированную оценку остаточного ресурса каждого вагона с использованием результатов ресурсных испытаний и фактических геометрических параметров несущих элементов;
- получить прогнозируемую предельную оценку остаточного ресурса по группе вагонов исходя из фактического ресурса вагона-аналога и аналитической зависимости коррозионного износа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учебное пособие для вузов / Е. Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1988. – 239 с.
2. Гутер Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Р. С. Гутер, Б. В. Овчинский. – М.: Наука, 1970. – 255 с.
3. Степанов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник / М.Н. Степанов. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
5. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / В. П. Когаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
6. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – М.: ГосНИИВ, 1995. – 101 с.
7. Исследования, разработка и обоснование рекомендаций по увеличению назначенного полного срока службы вагонов цистерн моделей 15-1406 15-1404, 1408 эксплуатационного парка ПО «Ангарскнефтеоргсинтез: Отчет о НИР (этап 2) / ГП «УкрНИИВ»; рук. Лагута В. С., исп. Донченко А. В., Волянников Ю. Я. – Кременчуг, 1992. – 220 с. – № ГР 01910039382. – Инв. № 638.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- Білецький Олександр Миколайович* завідувач науково-дослідної лабораторії ДП "УкрНДІВ".
- Василенко Віктор Сергійович* інженер-програміст I категорії ДП "УкрНДІВ".
- Ветчинкін Віталій Олександрович* молодший науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Водянінков Юрій Якович* к.т.н., провідний науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Войтенко Олена Ігорівна* молодший науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Гречко Андрій Валентинович* завідувач науково-дослідної лабораторії ДП "УкрНДІВ".
- Дзюба Юрій Миколайович* науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Донченко Анатолій Володимирович* к.т.н., академік Транспортної Академії України, директор ДП "УкрНДІВ".
- Донченко Денис Анатолійович* завідувач науково-дослідної групи ДП "УкрНДІВ".
- Єзюв Юрій Віталійович* завідувач науково-дослідної лабораторії ДП "УкрНДІВ".
- Ігнатюв Георгій Сергійович* головний конструктор ПАТ "КВБЗ".
- Лутошин Сергій Віталійович* технічний директор ПАТ "КВБЗ".
- Можсейко Євген Рудольфович* головний конструктор вантажного вагонубудування ПАТ «КВБЗ».
- Ольгард Леонід Шимонович* заступник директора з наукової роботи ДП "УкрНДІВ".
- Павленко Юрій Сергійович* старший науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Речкалов Владислав Сергійович* інженер I категорії ДП "УкрНДІВ".
- Речкалов Сергій Дмитрович* к.т.н., науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Стражник Василь Дмитрович* інженер-конструктор II категорії ПАТ "КВБЗ".
- Стриньжа Андрій Миколайович* завідувач науково-дослідної лабораторії ДП "УкрНДІВ".
- Ткаченко Олег Петрович* заступник начальника Головного управління розвитку і технічної політики – начальник Управління метрології, технічного регулювання та інформації Укрзалізничці.
- Ткачов Валерій Іванович* завідувач науково-дослідної лабораторії ДП "УкрНДІВ".
- Федорак Іван Ігорович* молодший науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Федорак Оксана Олександрівна* молодший науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Федосов-Ніконов Дмитро В'ячеславович* старший науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Чебуров Сергій Анатолійович* завідувач науково-дослідної лабораторії ДП "УкрНДІВ".
- Черкаський Максим Дмитрович* старший науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Шамшей Дмитро Олександрович* завідувач науково-дослідної групи ДП "УкрНДІВ".
- Швець Андрій Анатолійович* інженер II категорії ДП "УкрНДІВ".
- Шелейко Тетяна Володимирівна* к.т.н., старший науковий співробітник ДП "УкрНДІВ".
- Шкабров Олег Анатолійович* заступник технічного директора - начальник ПКУ ПАТ "КВБЗ".
- Шмаков Сергій Володимирович* провідний інженер ДП "УкрНДІВ".
- Шушмарченко Василь Олександрович* провідний інженер ДП "УкрНДІВ".
- Щербаков Сергій Іванович* інженер I категорії ДП "УкрНДІВ".

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Наукове та науково-виробниче видання

Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»

*Державного підприємства «Український
науково-дослідний інститут вагобудування»*

Випуск 10
(українською та російською мовами)

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації серії
КВ № 19098-7888Р від 08.06.2012 р., видане Державною реєстраційною службою
України*

Статті друкуються мовою оригіналу.

Відповідальний за випуск: Донченко Д.А.
Редактори: Донченко Д.А., Бокач М.В.
Комп'ютерна верстка: Донченко Д.А.

Підписано до друку 10.05.2014 р.
Формат паперу 60x84 $\frac{1}{8}$ Умовн. друк. арк. 10,7 Тираж 100 пр.

Видавництво ДП «УкрНДІВ»
Адреса редакції, видавця:
вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621
www.ukrndiv.com.ua