УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Дьомін Ростислав Юрійович

УДК: 629.4.083.001.76

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ЕКІПАЖНИХ ЧАСТИН ЕЛЕКТРОВОЗІВ ТИПУ ЧС2

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Державному підприємстві «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» Міністерства інфраструктури України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Тартаковський Едуард Давидович,
Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра «Експлуатація та ремонт рухомого складу», завідувач кафедри

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кельріх Мусій Борисович,
Державний економіко-технологічний університет транспорту, кафедра «Вагони», завідувач кафедри ;

кандидат технічних наук, доцент
Костюкевич Олександр Іванович,
Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, кафедра «Залізничний транспорт», доцент кафедри

Захист відбудеться " *18* " *жовтня 2011* р. о *14^{00}* годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7, УкрДАЗТ, *ауд. 1.417.*

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий " *14* " *жовтня* 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Прохорченко А.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. За «Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки», затвердженою наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 року №1259, передбачено створення локомотивів нового покоління з високим рівнем безпеки руху та якісно поліпшеними експлуатаційними характеристиками. Водночас, у зв'язку з фізичним і моральним зносом існуючого рухомого складу, зокрема локомотивного парку, важливим напрямком забезпечення експлуатаційної роботи залізничного транспорту в досяжній перспективі є раціональне використання наявного тягового рухомого складу (ТРС) в межах призначеного й подовженого термінів служби. Тому впродовж останніх років за завданнями Державної адміністрації залізничного транспорту України (Укрзалізниці) інтенсивно виконуються науково-технічні розробки щодо збільшення термінів служби тягового рухомого складу без погіршення показників безпеки руху.

Актуальність теми. Встановлена на залізничному транспорті України система подовження строку служби ТРС стає малоефективною у випадках значного перевищення тривалості експлуатації нормативного терміну. Про це, зокрема, свідчить поява дефектів в несучих конструкціях екіпажних частин. Зазначена проблема є особливо актуальною для пасажирських електровозів ЧС2, парк яких на Південній та Придніпровській залізницях вже має напрацювання понад 40-45 років. Тому особливої актуальності набувають розробки науково обґрунтованих технічних рішень щодо поетапного подовження строку служби несучих конструкцій одиниць ТРС.

У зв'язку з суттєвими відмінностями конструктивного виконання локомотивів, виявилося, що дотримання чинних норм проектування не забезпечує вимог до динаміки та міцності тягового рухомого складу поза межами призначеного строку служби. З цього випливає актуальність і гостра практична потреба удосконалення методів розрахунків і випробувань ТРС з урахуванням конструкційних особливостей його механічних частин.

Основним чинником, що лімітує подовження терміну експлуатації локомотивів зверх призначеного, є міцність несучих конструкцій екіпажної частини, що безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів. З цього виникає необхідність у вирішенні наукової задачі удосконалення системи подовження терміну служби несучих конструкцій екіпажних частин для призначення додаткового періоду експлуатації локомотивів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з програмними завданнями щодо подовження строку служби тягового рухомого складу України і виконувалася за планами науково-дослідних робіт на замовлення Укрзалізниці за завданнями, виданими Державному підприємству «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» (ДНДЦ УЗ), за темами «Дослідження динамічної навантаженості несучих конструкцій електровоза ЧС-2 засобами комп'ютерного моделювання» (№ держ. реєстрації 0109U005140) і

«Прогнозування залишкового ресурсу несучих конструкцій екіпажної частини електровоза ЧС-2» (№ держ. реєстрації 0109U005139). Автор є відповідальним виконавцем зазначених науково-дослідних робіт.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в удосконаленні технології подовження терміну служби екіпажних частин пасажирського тягового рухомого складу на основі уточнення і подальшого розвитку розрахунково-експериментальних методів аналізу динамічної навантаженості та прогнозування довговічності й діагностики несучих конструкцій ходових частин.

Для досягнення сформульованої мети роботи вирішувались наступні завдання:

- провести аналіз фактичних даних щодо загальних пробігів електровозів типу ЧС2 та отримати їх розподіли відносно типових експлуатаційних режимів;
- оцінити технічний стан несучих елементів екіпажної частини електровозів за пробігом і провести контрольні розрахунки з визначення нормативних показників напружено-деформованого стану та опору втомі рам візків;
- на підставі статистичної інформації щодо механічних пошкоджень екіпажної частини встановити елементи несучої конструкції електровоза, від яких залежить рішення щодо подальшої експлуатації;
- побудувати математичну модель динаміки електровоза ЧС2 з врахуванням конструктивних особливостей та типових експлуатаційних режимів, включаючи режими вибігу, тяги й гальмування, та визначити характеристики динамічної навантаженості вузлів та деталей, що найбільш часто виходять з ладу;
- за визначеними експериментальними даними щодо характеристик динамічного навантаження елементів механічної частини електровоза ЧС2 здійснити перевірку адекватності комп’ютерної моделі його динаміки;
- за допомогою розробленої комп’ютерної моделі динаміки електровоза типу ЧС-2 шляхом імітаційного моделювання отримати характеристики динамічних навантажень рам візків відповідно до типових експлуатаційних режимів;
- методами математичного моделювання й чисельного аналізу провести оцінку довговічності конструкційних елементів та визначити ресурс рам ходових частин з урахуванням особливостей навантаження за типовими експлуатаційними режимами;
- на підставі отриманих проблемних зон і оцінок довговічності рами візка розробити рекомендації з обстеження технічного стану і модернізації ходових частин з метою забезпечення безпечної експлуатації електровозів типу ЧС2 за межами призначеного строку служби;
- розробити пропозиції щодо удосконалення діагностування та моніторингу екіпажної частини локомотивів з метою підвищення їх точності та достовірності.

Об'єкт дослідження – процеси, що визначають експлуатаційну навантаженість пасажирського тягового рухомого складу та обумовлюють втомну міцність екіпажної частини.

Предмет дослідження – довговічність несучих конструкцій рам візків електровоза ЧС2 з урахуванням впливу динамічної навантаженості при типових експлуатаційних режимах.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі завдань застосовувались методи імітаційного моделювання динамічної навантаженості просторових систем твердих тіл, методи аналізу напружено-деформованого стану пружних тіл на базі методу кінцевих елементів, методи теоретичної механіки, теорії коливань, математичної статистики, спектрального аналізу, технічної діагностики, методи та засоби експериментального дослідження напружено-деформованого і вібраційного стану конструкцій.

Наукова новизна одержаних результатів:

Вперше:

– розроблено комп'ютерну модель динаміки електровоза ЧС2, яка дозволяє проводити чисельний експеримент з визначення показників динаміки і навантаженості екіпажної частини у режимах руху, які складно повною мірою відтворити в умовах натурного експерименту;

– отримано залежності показників напружено-деформованого стану несучих елементів екіпажної частини від характеристик динамічного навантаження, що дозволило дослідити вплив типових експлуатаційних режимів на динаміко-міцнісні характеристики локомотива;

– шляхом поєднання динамічного моделювання, розрахунку довговічності і технічної діагностики уточнено прогнозну оцінку допустимої тривалості експлуатації пасажирського ТРС.

Дістав подальшого розвитку комплексний підхід до вирішення наукової задачі удосконалення методів оцінки довговічності та діагностування несучих конструкцій ТРС, що дозволило забезпечити підвищення точності та достовірності результатів розрахунків;

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці комплексу науково-технічних заходів з забезпечення експлуатації одиниць тягового рухомого складу, що вичерпали призначений при виготовленні ресурс несучих металоконструкцій. На основі запропонованих методичних рекомендацій щодо удосконалення засобів та процедур контролю технічного стану екіпажних частин запропоновано нове технічне рішення щодо модернізації рам візків, яке прийнято до впровадження в локомотивному господарстві Укрзалізниці. Розроблена методика надання дозволу на експлуатацію електровозів ЧС2 впроваджена у вигляді регламенту під час обслуговування локомотивів на Придніпровській та Південній залізницях.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційних досліджень отримані автором самостійно. Статті [3, 4] підготовлено одноосібно. В працях з співавторами особистий внесок автора

полягає в наступному:

– на основі аналізу можливостей сучасного програмного забезпечення щодо математичного моделювання динаміки машин запропоновано часткове заміщення витратних експериментальних досліджень динамічних властивостей модернізованих рейкових екіпажів комп'ютерним моделюванням [1, 7];

– розвинуто підхід до оцінювання втомної довговічності несучих конструкцій ТРС шляхом уточнення за результатами чисельного аналізу схеми динамічного навантаження несучих конструкцій екіпажної частини відповідно до типових умов експлуатації досліджуваних локомотивів [2];

– за результатами аналізу технічного стану ТРС з тривалим експлуатаційним терміном визначено техніко-технологічні умови, за яких можливе подовження строку служби екіпажної частини [5, 8];

– рекомендовано оцінювання втомної довговічності несучих конструкцій локомотивів проводити за величиною їх пробігу з урахуванням характеристик експлуатаційної навантаженості екіпажної частини [6];

– запропоновано алгоритм проведення оцінки міцності та втомної довговічності екіпажних частин ТРС, побудований на основі поєднання комп'ютерного моделювання та натурного експерименту [9];

– для поточного контролю технічного стану ходових частин рухомого складу запропоновано в оригінальному пристрої використання датчиків віброприскорень, розташованих за визначеною схемою [10].

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідались на І Міжнародній науково-практичній конференції «Наука в транспортному вимірі» (м. Київ, 2005 р.), на ІІ Міжнародній науково-практичній конференції «Наука в транспортному вимірі: пасажирські перевезення» (м. Київ, 2006 р.), на Восьмій науково-практичній конференції «Перспективи впровадження технічних засобів безпеки руху на залізницях України» (м. Миргород, 2008 р.), на XVIII і XIX Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми розвитку рейкового транспорту» (м. Ялта, АР Крим, 2008 і 2009 рр.), на IV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (м. Київ, 2008 р.), на науково-технічному семінарі «Технічна діагностика несучих конструкцій локомотивів, строк служби яких подовжено» (м. Київ, ДНДЦ УЗ, 2008 р.); на V Міжнародній науково-практичній конференції «Технічне регулювання. Сертифікація, діагностика і безпека на залізничному транспорті» (м. Ялта, АР Крим, 2009 р.), на Міжнародній партнерській конференції «Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов» (м. Севастополь, 2010 р.).

Робота в повному обсязі доповідалась на розширеному засіданні кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Української державної академії залізничного транспорту (УкрДАЗТ) (м. Харків, 2010 р.) та на науковому семінарі Державного підприємства «Державний науково-

дослідний центр залізничного транспорту України» (м. Київ, 2011 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 16 наукових праць: 10 – у фахових виданнях, затверджених ВАК України (9 статей та патент України), а також 6 додаткових (2 статті й 4 доповіді в матеріалах конференцій).

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 212 сторінок тексту, включаючи 64 ілюстрації та 14 таблиць по основному тексту, список використаних джерел з 128-ми найменувань на 15-ти сторінках, 3 додатки на 33-х сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету й завдання дослідження, представлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

Перший розділ присвячено огляду літератури за темою дисертації та обґрунтуванню вибору напрямів необхідних досліджень.

Розглянуто розвиток фундаментальних та прикладних досліджень, спрямованих на вирішення питань подовження термінів служби рейкового рухомого складу. В галузі ТРС значні напрацювання у зазначеному напрямку належать науковій школі МІІТ під керівництвом А.М. Савоськіна. Зокрема, розвинуто методи визначення напруженого стану несучих деталей рухомого складу. В МІІТ вперше було розроблено методики випробувань на втому крупногабаритних несучих конструкцій екіпажних частин ТРС.

Ґрунтовні розробки зі створення наукових основ вирішення проблем подовження строку служби ТРС виконані колективом науковців ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна під керівництвом Є.П. Блохіна. Одну з перших спроб дати наукове обґрунтування можливості подовження строку служби рам візків ТРС було здійснено в кандидатській дисертації В.П. Кулєшова. Подальшому розвитку науково-технічних підходів до розв’язання практичних проблем подовження терміну експлуатації несучих конструкцій конкретних одиниць ТРС присвятив свою дисертаційну роботу І.М. Грущак. Методи оцінки ресурсу несучих конструкцій рухомого складу розвинуто В.Л. Горобцем. Ним, зокрема, на основі узагальнення досвіду відповідних досліджень запропоновано експериментально-теоретичний метод оцінки витривалості й ресурсу несучих конструкцій рухомого складу, а також удосконалено методи і засоби стендових випробувань на експлуатаційні вібрації крупногабаритних об’єктів.

Значний вклад в розвиток наукових основ подовження терміну служби ТРС за визначеним остаточним ресурсом зварних несучих конструкцій внесено науковцями ІЕЗ ім. Є. О. Патона Національної академії наук (НАН України) під керівництвом В.І. Дворецького. Аналізуючи стан нормативно-технічного забезпечення робіт з подовження призначеного строку служби рухомого складу, він, зокрема, звернув увагу на неунормованість правил і

вимог, на основі яких мають прийматися рішення про уведенню в експлуатацію рухомого складу, строк служби якого вичерпано.

Наукові основи удосконалення засобів ресурсних випробувань вагонів розроблені М.Б. Кельріхом. За допомогою запропонованих ним технічних засобів і методів проведено експериментальні дослідження динаміки та міцності залізничних цистерн, у тому числі таких, що призначені для перевезень небезпечних вантажів.

З огляду попередніх напрацювань щодо подовження строків служби рухомого складу виходить, що визначення достовірних характеристик динамічного навантаження того чи іншого рейкового екіпажу стає одним з головних, коли йдеться про подовження експлуатації за межами строку, призначеного виробником. Це завдання тісно пов’язане з дослідженнями динаміки рейкових екіпажів.

Фундаментальні основи динаміки рухомого складу залізниць були закладені науковими працям ряду видатних вчених-залізничників. Особливих успіхів у вивченні динамічної навантаженості рухомого складу досягнуто в науковій школі механіки залізничного транспорту, заснованій в Україні академіком В.А. Лазаряном. Комплексні розробки в галузі динаміки рухомого складу залізниць послужили основою для подальшого розвитку методів і засобів досліджень у вказаній галузі, включаючи математичне моделювання.

Значимим досягненням в галузі розробок спеціалізованого програмного забезпечення в країнах СНД стало створення в лабораторії обчислювальної механіки БГТУ під керівництвом Д.Ю. Погорєлова програмного комплексу UM. Застосування ПК UM відкриває широкі можливості стосовно визначення характеристик динамічної навантаженості екіпажних частин.

За результатами приведеного аналізу традиційних методів і засобів технічного обстеження несучих конструкцій відмічено, що на етапі подовження строку служби все більше уваги потрібно приділяти питанням діагностування і моніторингу стану існуючого рухомого складу. Теоретичні основи функціонування бортових автоматизованих систем діагностування локомотивів опрацьовані Б.Є. Боднарем. Завдяки розробкам наукової школи Е.Д. Тартаковського в УкрДАЗТ створено системи технічного діагностування , випробувань та поточного утримання ТРС. Вагомий вклад у розвиток оригінальних підходів до вирішення проблем контролю технічного стану ТРС внесено науковим колективом Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля (СНУ ім. В. Даля) під керівництвом О.Л. Голубенка.

На підставі аналітичного огляду відповідної науково-технічної літератури і нормативної документації визначено необхідність подальшого удосконалення технологій подовження терміну служби екіпажних частин електровозів типу ЧС2 на основі достовірної оцінки динамічної навантаженості екіпажних частин, розвитку методів прогнозування залишкового ресурсу їх несучих конструкцій і поліпшення системи контролю

технічного стану ходових частин.

У **другому розділі** наведено результати аналізу фактичних даних щодо еволюційних змін у технічному стані несучих частин екіпажів електровозів ЧС2 у залежності від їх пробігу. На підставі відомостей, наданих Придніпровською та Південною залізницями, проведено аналіз умов експлуатації електровозів ЧС2. За даними про допустимі швидкості руху локомотивів і вагонів на перегонах побудовано гістограму розподілу пробігу за швидкостями руху, характерних для умов експлуатації електровозів. Встановлено, що найбільша частка пробігу припадає на швидкісний діапазон 80-100 км/год.

За даними щодо плану і профілю колії за маршрутами курсування електровозів ЧС2 обчислено розподіл довжини ділянок колії за радіусами кривих і ухилами. Визначено, що середньодобовий пробіг електровозів цього типу становить 268 км за добу. На підставі результатів оцінок пробігів електровозів ЧС2 та дослідження технічного стану їх екіпажних частин зазначено, що пробіг більший за 5 млн. км відповідає граничному стану несучих конструкцій щодо втомної міцності.

За результатами оцінки технічного стану екіпажних частин встановлено, що найбільша частина дефектів припадає на рами візків. Зазначено, що до втрати тріщиностійкості схильні визначені зварні з’єднання . Крім того, відмічено появу тріщин в основному металі на зовнішніх та внутрішніх бічних поверхнях бокових балок. Як показав аналіз відмов через дефекти рам візків електровозів ЧС2 Південної залізниці, частота появи та кількість тріщин зростає зі збільшенням пробігу вище чотирьох млн. км.

Проведений аналіз напружено-деформованого стану рами візка за нормативними навантаженнями показав, що максимальні розрахункові напруження становлять 120-140 МПа, тобто нижче рівня допустимих напружень. Відмічено, що місця виявлених тріщин співпадають з найбільш напруженими місцями, встановленими за результатами розрахунків. Разом з тим, такої відповідності не спостерігається для випадків появи тріщин в основному металі.

За нормативними розрахунками значення коефіцієнта запасу опору втомі рам візків , що задовольняє умовам міцності несучих конструкцій рам візків впродовж призначеного строку служби. Натомість експлуатаційна практика показує, що за межами призначеного строку служби умови міцності порушуються. Ця обставина доводить необхідність поглиблених досліджень міцнісних характеристик рам візків та нових підходів до оцінки і забезпечення їх довговічності за межами призначеного строку служби. Третій розділ дисертації присвячено розробці комп’ютерної моделі електровоза ЧС2 для дослідження динамічної навантаженості екіпажної частини під час руху з різними швидкостями прямолінійними і криволінійними ділянками колії з реальними нерівностями у режимах тяги, вибігу й гальмування. Математична модель динаміки електровоза ЧС2 розроблена за допомогою програмного комплексу UM. Побудова комп’ютерної моделі проводилась з використанням підходу системи твердих тіл, що з прийнятною точністю описує коливання складових механічної системи.

Комп’ютерну модель для дослідження динаміки електровоза ЧС2 розроблено за методом підсистем. За структурою (рис. 1) модель містить центральне тіло «Кузов», підсистеми візків з тілами «Фасонна балка» та «Рама візка» і підсистеми колісно-моторних блоків (КМБ), до яких, у свою чергу, входять як підсистеми

колісні пари (КП).

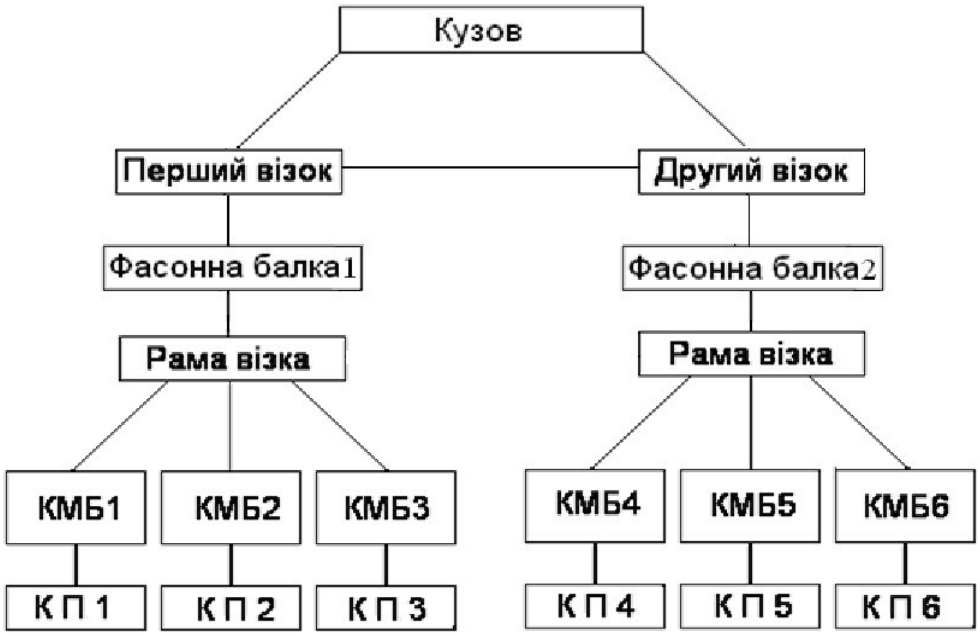


Рис. 1. Підсистеми комп'ютерної моделі електровоза ЧС2

Підсистема КМБ, крім колісної пари, включає наступні частини-тіла: корпус тягового двигуна, ротор, корпус редуктора, малу шестерню, дві букси й листові ресори. В цій системі зосереджено реалізацію тяги. В моделі тягові характеристики задаються на підставі визначення обертального моменту:

, (1)

де – сила тяги за зчепленням коліс з рейками; – передаточне число передачі; r – радіус кола кочення; – обертальна швидкість ротора.

Залежність сили тяги по обмеженню за зчепленням від швидкості руху апроксимована за допомогою логарифмічної регресії, у вигляді

, (2)

де – швидкість руху в м/с.

Залежність коефіцієнта тертя від швидкості апроксимована у вигляді виразу

. (3)

На динамічне навантаження електровоза суттєво впливає стан колії. Для моделювання нерівностей колії використано алгоритм формування реалізацій випадкового процесу за наданими функціями спектральної щільності. При цьому вихідною інформацією слугують функції спектральної щільності, що запропоновані ВНДІЗТ для проведення розрахунків вимушених коливань рухомого складу і отримані на підставі вимірювань й обробки даних з різних ділянок колії 1520 мм.

Загальна комп'ютерна модель динаміки електровоза ЧС2 включає 83 тіла, що пов'язані шарнірами й силовими елементами, і має 107 степенів вільності. Модель

параметризовано, тобто основні інерційні та геометричні параметри, а також параметри елементів першого й другого ступенів підвішування, задані з використанням ідентифікаторів, що дозволяє змінювати значення цих параметрів в процесі моделювання динаміки електровоза.

Остаточно рівняння руху досліджуваної механічної системи мають наступний вигляд:

Equation 3.0

, (4)

Equation 3.0 , Equation 3.0 ,

де Equation 3.0 – матриця мас; Equation 3.0 і Equation 3.0 – стовпчики сил інерції й узагальнених сил; Equation 3.0 – множники Лагранжа, що відповідають силам реакцій в розрізаних шарнірах;

– матриця Якобі рівнянь зв'язків після виключення з них допоміжних координат.

Для експериментальної перевірки комп'ютерної моделі динаміки електровоза ЧС2 використано дані вимірювань прискорень локомотива цього типу, виконаних під час його рейсової поїздки. У якості оцінок адекватності математичної моделі використано коефіцієнт розбіжності Тейла :

, (5)

де і – прогнозовані й експериментальні значення; – кількість значень, що перевіряються.

За стандартними відхиленнями прискорень кузова і рами візка, визначених за даними вимірювань, і таких, що отримані за комп'ютерною моделлю динаміки електровоза ЧС2, розраховано коефіцієнти розбіжності Тейла Equation 3.0 . Отримані значення не перевищують 0,11, що свідчить про незначні розходження розрахункових і експериментальних даних.

За результатами спектрального аналізу реалізацій прискорень, зареєстрованих в дослідному рейсі і отриманих за результатами моделювання, визначено основні частоти екіпажної частини. Загальне відносне середнє відхилення розрахункових і отриманих за результатами вимірювань частот дорівнює 7,17 %. Отже експериментально отримані частоти достатньо близькі до розрахункових.

Четвертий розділ присвячено прогнозуванню залишкового ресурсу несучих конструкцій рам візків. Для отримання інформації щодо навантаженості рами візка в комп'ютерній моделі сформовано змінні, що відбивають динамічні навантаження несучих конструкцій.

Систему навантажень рами візка під час руху електровоза ЧС2 складають такі сили і моменти:

- сили інерції $F^I = [X^I, Y^I, Z^I]$;

- сили, що діють у колисковому підвішуванні внаслідок роботи листових ресор, $F_j^L = [X_j^L, Y_j^L, Z_j^L]$, де j = $\overline{1,4}$ – номер кронштейну;

- сили, що діють у елементах першого ступеня підвішування, $F_{ki}^B = [X_{ki}^B, Y_{ki}^B, Z_{ki}^B]$, де k = $\overline{1,3}$ – номер колісної пари, і = $\overline{1,4}$ – місце розташування пружного або в'язкого елемента щодо колісної пари;

- сили, що діють у міжвізковому з'єднанні, $F^S = [X^S, Y^S, Z^S]$;

- сили, що діють в шворньовому вузлі, $F^{SH} = [X^{SH}, Y^{SH}, Z^{SH}]$;

- сили в підвісках редукторів $F_k^R = [X_k^R, Y_k^R, Z_k^R]$;

- сили в підвісках тягових двигунів $F_k^D = [X_k^D, Y_k^D, Z_k^D]$;

- обертові моменти від тягових двигунів M_k^D;

- сили, що виникають у повідках при взаємних переміщеннях поперечної фасонної балки і рами візка, $F_l^F = [X_l^F, Y_l^F, Z_l^F]$, де l = $\overline{1,2}$ – номер повідка.

Схема силового навантаження рами візка, яку побудовано у відповідності до розробленої динамічної моделі електровоза ЧС2, наведена на рис. 2. Показані тут вектори сил приведені до проекцій на поздовжню, поперечну і вертикальні вісі. Вони змінюються під час руху безперервно і залежать від умов експлуатації, а саме, швидкості руху, технічного стану, плану і профілю ділянки колії та режиму руху електровоза.

За результатами розрахунків шляхом комп'ютерного моделювання динаміки електровоза ЧС2 сформовано блоки вхідних даних для подальшої оцінки опору втомі рам візків за пробігом в умовах багатокомпонентного навантаження конструкції з врахуванням всього комплексу експлуатаційних навантажень.

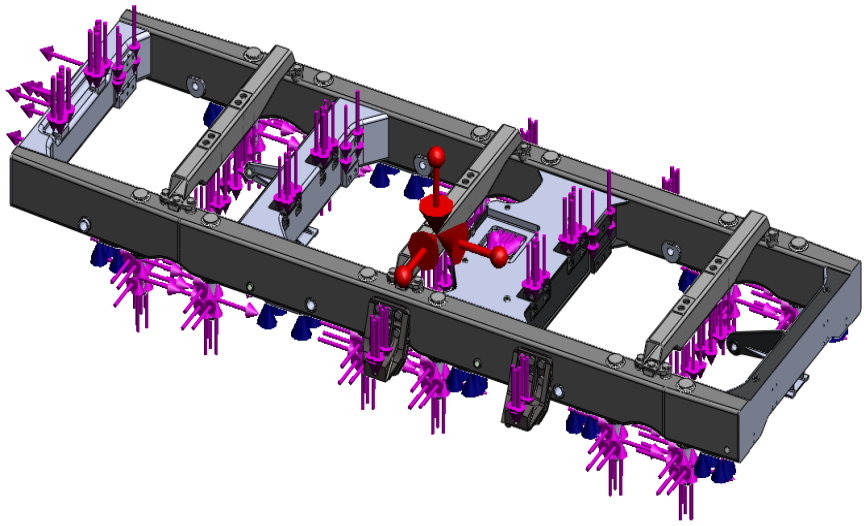


Рис. 2. Схема навантаження рами візка

Для встановлення раціонального набору типових експлуатаційних режимів локомотива проведено оцінку відносної частки кожного режиму в загальному напрацюванні. Визначаючи відносні частки типових експлуатаційних режимів локомотива, необхідно враховувати їх ймовірнісний характер, що є наслідком значного розкиду параметрів руху. За А.М. Савоськіним тривалість інтервалів безперервної експлуатації рухомого складу за певної швидкості руху пропонується враховувати на підставі щільності

розподілу ймовірності, що апроксимована за допомогою закону розподілу Пірсона у вигляді

Equation 3.0

, (6)

де – гамма функція; Equation 3.0 і Equation 3.0 – безрозмірні параметри; Equation 3.0 і Equation 3.0 – параметри швидкості, що залежать від типу рухомого складу.

Відповідно запропонованому підходу визначено типові експлуатаційні режими для електровоза ЧС2 і їх відносні частки або вагові коефіцієнти щодо пробігу. Весь швидкісний діапазон до попадання швидкості руху електровоза в означені інтервали обчислюються за формулою

, (7)

де і – початок і кінець інтервалу ( ).

Для визначення відносного розподілу пробігу за різними чинниками або відносних часток розподілу за кожним експлуатаційним режимом використано ідею методу ієрархій Т. Сааті. При цьому розглядаються три рівні чинників: тип ділянки колії за планом, швидкість та режим руху, котрі поєднуються між собою з врахуванням можливих сполучень при експлуатації, як це показано на рис. 3.

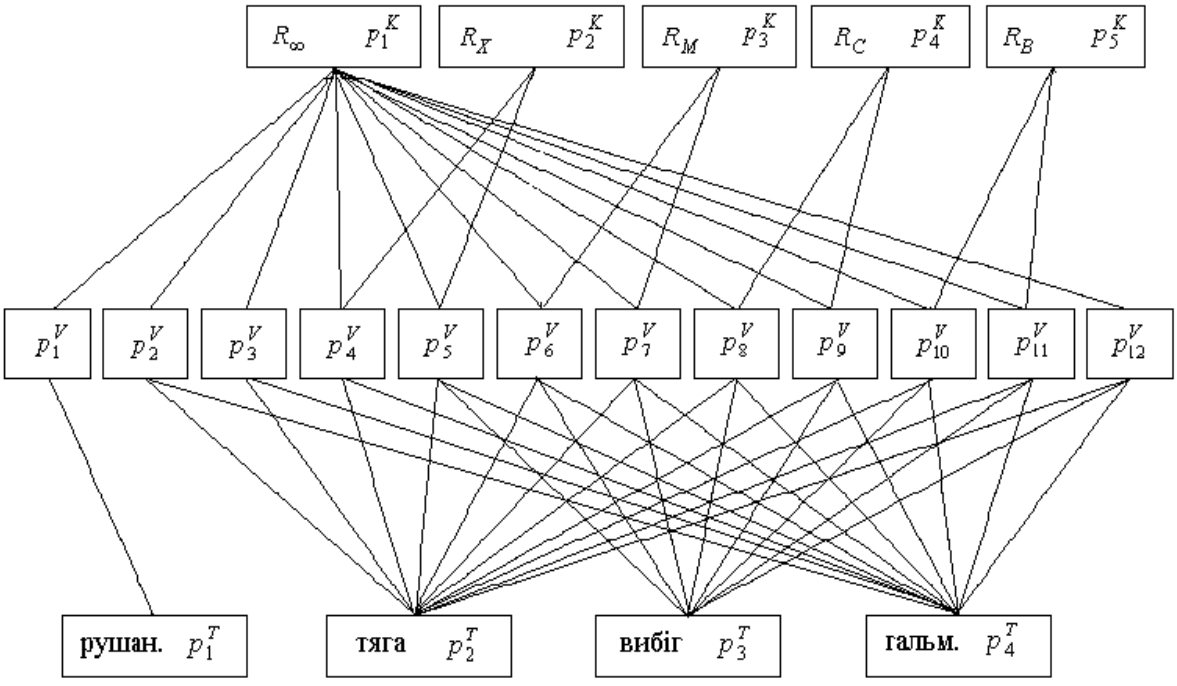


Рис. 3. Схема сполучень експлуатаційних чинників

Шляхом комп'ютерного моделювання обчислено навантаження, яким піддається рама візка під час руху різними ділянками колії зі швидкостями від 10 км/год до 120 км/год. Для сил та моментів, що діють на раму візка, сформовані криві навантаження відповідно до розробленої схематизації експлуатаційних режимів. Отримані реалізації кожного навантаження приєднуються один до одного за експлуатаційними режимами і ваговими коефіцієнтами. Таким чином утворюється хронологія навантажень приведена до середньодобового пробігу.

На підставі розрахункових реалізацій навантажень, схематизованих і приведених до середньодобового пробігу, виконано розрахунок ресурсу рами візка електровоза ЧС2 у пакеті COSMOSWorks. При розрахунку втомної довговічності обчислюється напруження в кожній точці конструкції в залежності від терміну служби. При цьому для встановлення розподілу навантажень за часом щодо циклу використовується метод «дощу». Визначений прогноз терміну служби (ресурсу) відрізняється для різних місць рами візка (рис. 4).

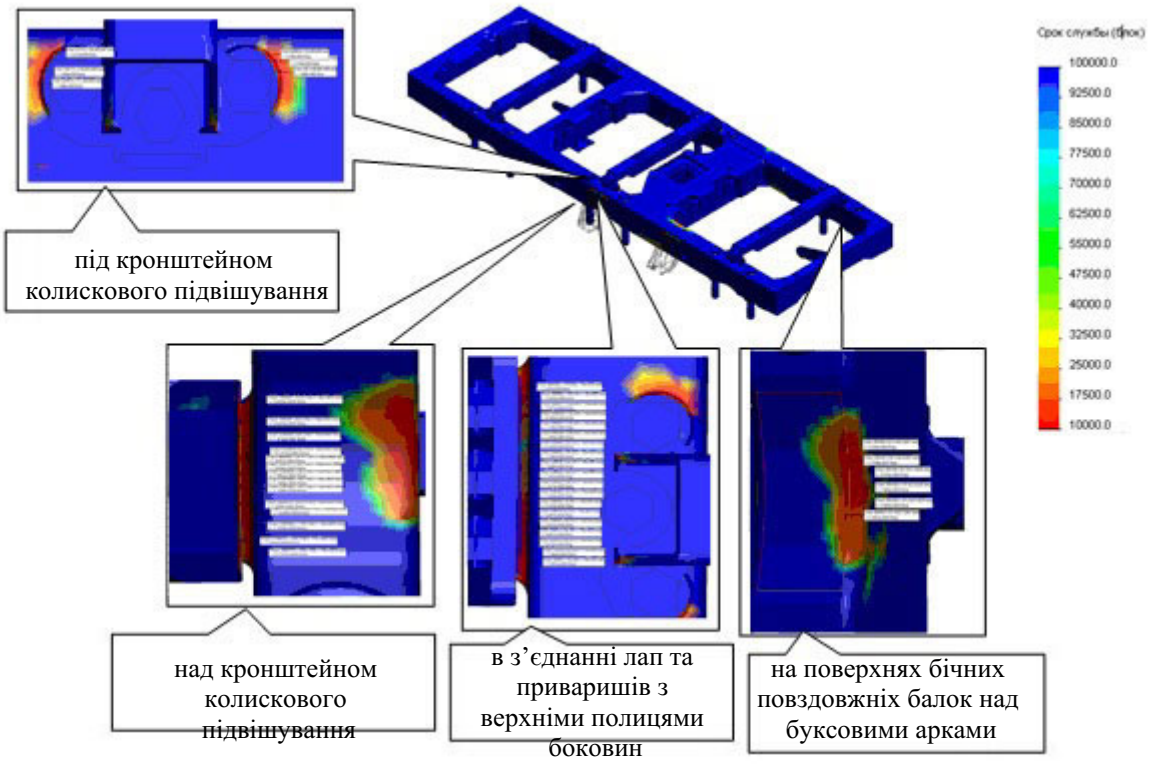


Рис. 4. Оцінки втомної довговічності рам візків

П'ятий розділ присвячено проблемі удосконалення процедур подовження призначеного терміну служби екіпажної частини електровоза ЧС2. У цьому розділі містяться рекомендації, які випливають з результатів досліджень, висвітлених у попередніх розділах. Головний сенс рекомендацій полягає в тому, що в умовах необхідності функціонування застарілої техніки слід виконувати роботи з її утримання в належному стані, користуючись сучасними техніко-технологічними засобами, пристроями і відповідними нормативними документами.

Зазначено, що в умовах тривалої експлуатації технічний стан несучих конструкцій ТРС переходить на якісно інший рівень в порівнянні з проектним. Із збільшенням тривалості експлуатації втомні пошкодження накопичуються. Виникнення тріщин втоми в несучих конструкціях вимагає розробляти і впроваджувати проекти модернізації, які дозволять усувати причини втрати конструкцією тріщиностійкості і надалі запобігати виникненню тріщин втоми.

При опрацюванні технічних рішень та реалізації проектів модернізації рам візків з метою подовження строку служби екіпажних частин електровозів ЧС2 за рекомендаціями в обов'язковому порядку належить проводити розрахунки на міцність та опір втомі із застосуванням сучасних засобів комп'ютерного моделювання з урахуванням новітніх технологічних методів щодо усунення тріщин втоми в несучих конструкціях та запобігання їх виникнення.

Ефективність запропонованих підходів до модернізації екіпажних частин доведено на конкретних прикладах усунення тріщин в рамах візків з подальшою експериментальною перевіркою. Для цього проведено контрольні ходові випробування локомотивів, несучу спроможність рам візків яких відновлено за удосконаленою технологією.

У разі повного вичерпування несучих здатностей рам візків пропонується заміняти їх на модифіковані конструкції нового виробництва з застосуванням нових технологічних прийомів у відповідності до розроблених технічних вимог. При проектуванні, виготовленні та випробуваннях рам візків нової конструкції рекомендується використовувати сучасні підходи до нормативних оцінок міцності несучих елементів екіпажних частин, динамічних якостей локомотивів та їх дії на колію.

Розроблено алгоритм доведення міцності та втомної довговічності модернізованих екіпажних частин тягового рухомого складу. Алгоритм базується на виконанні за уточненими моделями розрахунків на міцність, проведенні ходових випробувань за спрощеними схемами і використанні результатів натурних випробувань у розрахунках на втомну довговічність.

Для забезпечення безпечної експлуатації електровозів ЧС2 з подовженим строком служби запропоновано періодичне застосування сучасних засобів неруйнівного контролю. Крім того, рекомендовано постійний моніторинг технічного стану ходових частин бортовими системами діагностування, зокрема автоматизованою системою поточного контролю технічного стану механічної частини рухомого складу вітчизняної розробки.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують актуальне науково-технічне завдання удосконалення технології подовження терміну служби екіпажних частин пасажирського тягового рухомого складу на основі уточнення і подальшого розвитку розрахунково-експериментальних методів аналізу динамічної навантаженості та прогнозування довговічності й діагностики несучих конструкцій ходових частин. На підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень зроблено наступні висновки:

1. Виходячи з потреби достовірних даних про навантаження, яким піддаються несучі конструкції екіпажних частин локомотивів під час тривалої експлуатації, стосовно електровозів типу ЧС2 проаналізовано типові режими їх функціонування у конкретних умовах експлуатації. За результатами аналізу визначено пробігові розподіли за швидкістю руху та параметрами плану і профілю колії. На підставі результатів оцінок пробігів електровозів ЧС2 та дослідження технічного стану їх екіпажних частин можна вважати, що пробіг більший за 5 млн. км відповідає граничному стану несучих конструкцій щодо втомної міцності.

2. На підставі результатів оцінки технічного стану екіпажних частин електровозів ЧС2 встановлено, що найбільша частина дефектів припадає на рами візків. Виявлено зварні з'єднання та зони основного металу, що схильні до втрати тріщиностійкості.

3. За результатами аналізу напружено-деформованого стану типової рами візка встановлено, що максимальні розрахункові напруження не перевищують допустимого рівня. Відмічено, що місця виявлених тріщин співпадають з найбільш напруженими зонами , встановленими за результатами розрахунків. Разом з тим, такої відповідності не спостерігається для випадків появи тріщин в основному металі.

4. Для визначення характеристик динамічної навантаженості екіпажної частини у типових режимах руху електровоза ЧС2 прямолінійними та криволінійними ділянками колії з різними параметрами за планом, профілем та технічним станом розроблено математичну модель динаміки електровоза, реалізацію якої виконано за допомогою програмного комплексу UM. Створена модель враховує конструкційні особливості локомотива і відтворює реальні умови, що супроводжують його рух у штатних ситуаціях. Порівняльним аналізом даних натурного експерименту, проведеного з електровозом ЧС2, і результатів математичного моделювання доведено адекватність розробленої комп'ютерної моделі динаміки електровоза.

5. Шляхом комп'ютерного моделювання досліджено характеристики навантажень, яким піддається екіпажна частина під час руху електровоза ЧС2 колією з типовими нерівностями у режимах тяги, вибігу і гальмування. За результатами розрахунків сформовано блоки вхідних даних для подальшої оцінки опору втомі рам візків за пробігом в умовах багатокомпонентного навантаження конструкції з врахуванням всього комплексу експлуатаційних навантажень.

6. Представлено новий підхід до оцінки втомної довговічності несучих конструкцій екіпажної частини локомотивів на основі схематизації типових експлуатаційних режимів й визначення відносної частки кожного з них в загальному напрацюванні. Запропонована схематизація експлуатаційної навантаженості локомотивів та розроблений алгоритм визначення вагових коефіцієнтів типових режимів їх руху створює основи для підвищення достовірності комплексної оцінки показників втомної довговічності екіпажної частини.

7. На підставі розрахункових реалізацій навантажень, схематизованих і приведених до середньодобового пробігу, виконано розрахунок ресурсу рами візка електровоза ЧС2. За розрахунком надано прогнозні оцінки щодо ресурсу найбільш напружених елементів рам візків.

8. При опрацюванні технічних рішень та реалізації проектів модернізації рам візків з метою подовження строку служби екіпажних частин електровозів ЧС2 за наданими рекомендаціями в обов'язковому порядку належить проводити розрахунки на міцність та опір втомі із застосуванням сучасних засобів комп'ютерного моделювання з урахуванням новітніх технологічних методів щодо усунення тріщин втоми в несучих конструкціях та запобігання їх виникнення. На прикладах відновлення несучої здатності рам візків з виявленими тріщинами та подальшої експериментальної перевірки доведено ефективність запропонованих підходів до модернізації екіпажних частин під час капітально-відновного ремонту електровозів ЧС2.

9. У разі повного вичерпування несучих здатностей рам візків пропонується заміняти їх на модифіковані конструкції нового виробництва за удосконаленими технологіями на основі запропонованих технічних вимог. При проектуванні, виготовленні та випробуваннях рам візків нової конструкції рекомендується використовувати сучасні підходи до нормативних оцінок міцності несучих елементів екіпажних частин, динамічних якостей локомотивів та їх дії на колію.

10. Розроблено алгоритм доведення міцності та втомної довговічності екіпажних частин тягового рухомого складу на основі поєднання комп'ютерного моделювання та натурного експерименту. Алгоритм базується на виконанні за уточненими моделями розрахунків на міцність, проведенні ходових випробувань за спрощеними схемами і використанні експериментальних даних у розрахунках на втомну довговічність.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Матеріали дисертаційної роботи викладені у наступних публікаціях фахових видань, які внесені до переліку ВАК України:

1. Демин Ю.В. Математическое моделирование и динамика подвижного состава железных дорог / Ю.В. Демин, А.Ю. Черняк, Р.Ю. Демин // Залізничний трансп. України. – 2007. – № 4. – С. 3-8.

2. Оцінка втомної довговічності несучих конструкцій тягового рухомого складу / Г.Ю. Черняк, Р.Ю. Дьомін, П.О. Гриндей, А.В. Мостович // Залізничний трансп. України. – 2008. – № 3. – С. 15-17.

3. Дьомін Р.Ю. Моделювання динамічної навантаженості несучих конструкцій електровоза ЧС2 / Р.Ю. Дьомін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 5-6. – С. 52-56.

4. Дьомін Р.Ю. Оцінка адекватності комп'ютерної моделі динаміки електровоза ЧС2 / Р.Ю. Дьомін // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2009. – № 4 (134). Ч. 1. – С. 74-78.

5. Дворецький В.І. Технічний стан і ресурс несучих конструкцій тягового рухомого складу / В.І. Дворецький, Р.Ю. Дьомін // Залізничний трансп. України. – 2009. – № 2/1. – С. 34 -37.

6. Дьомін Р.Ю. До оцінки втомної довговічності несучих конструкцій екіпажної частини локомотивів / Р.Ю. Дьомін, Г.Ю. Черняк // Залізничний трансп. України. – 2010. – № 1. – С. 38-40.

7. Сучасні підходи до нормативних оцінок міцності несучих елементів екіпажних частин, динамічних якостей локомотивів та їх дії на колію / І.Є. Батюшин, С.Г. Грищенко, Р. Ю. Дьомін, Ю.В. Дьомін, Г.Ю. Черняк // Локомотив-информ. – 2010. – № 2. – С.24-27.

8. Повышение долговечности конструкций железнодорожного подвижного состава с длительной наработкой / В.И. Дворецкий, Е.Ф. Явдощина, Р.Ю. Демин, А.Ю. Черняк // Залізничний трансп. України. – 2010. – № 5. – С. 50-54.

9. Гриндей П.О. Доведення міцності та втомної довговічності екіпажних частин тягового рухомого складу / П.О. Гриндей, Р.Ю. Дьомін // Залізничний трансп. України. – 2011. – № 1. – С. 56-57.

10. Пат. 83459 Україна, МПК (2006) B61K 9/00. Пристрій для поточного контролю механічної частини рухомого складу залізниць / Г.М. Кірпа, Ю.В. Дьомін, Р.Ю. Дьомін, Д.В. Дмитрієв. – № u2003076579; заявл. 14.07.03; опубл. 25.07.08, Бюл. № 14.

Додатково матеріали дисертаційної роботи викладено в працях:

11. Демин Ю. В. Компьютерная система контроля состояния ходовых частей пассажирских вагонов / Ю.В. Демин, Р.Ю. Демин, Д.В. Дмитриев // Залізничний трансп. України. – 2003. – №5. – С.4-6.

12. Демин Ю.В. Эксплуатационные испытания автоматизированной системы текущего контроля технического состояния ходовых частей пассажирских вагонов и пути / Ю.В. Демин, Д.В. Дмитриев, Р.Ю. Демин // Залізничний трансп. України. – 2005. – №3/1. – С.107-114.

13. Демин Р.Ю. Бортовая диагностика экипажной части локомотива / Р. Ю. Демин, А.Ю. Черняк // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління економіка і технології. Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції. Серія «Техніка, технологія». Київ: ДЕТУТ, 2008. – С. 43–44.

14. Дьомін Р.Ю. Застосування капілярного неруйнівного контролю при контролі технічного стану рухомого складу / Р.Ю. Дьомін, Ю.В. Браславець // Восьма науково-практична конференція «Перспективи впровадження технічних засобів безпеки руху на залізницях України». Зб. доп., 2 – 4 вересня 2008 р., Миргород. – С. 24-27.

15. Дьомін Р.Ю. Контролепридатність при технічному діагностуванні несучих конструкцій тягового рухомого складу з метою подовження призначеного терміну служби / Р.Ю. Дьомін, О.В. Ліщинський // Восьма науково-практична конференція «Перспективи впровадження технічних

засобів безпеки руху на залізницях України». Зб. доп., 2 – 4 вересня 2008 р., Миргород. – С. 28-29.

16. Демин Р.Ю. О современных подходах к оценке ходовых и прочностных качеств тягового подвижного состава / Р.Ю. Демин, А.Ю. Черняк // Міжнародна партнерська конференція «Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов». Зб. доп., 13-14 травня 2010 р., Севастополь. – С. 51.

АНОТАЦІЯ

Дьомін Р.Ю. Удосконалення технології подовження терміну служби екіпажних частин електровозів типу ЧС2. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2011.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню науково-технічного завдання удосконалення технології подовження терміну служби екіпажних частин пасажирського тягового рухомого складу.

За результатами оцінки технічного стану екіпажних частин електровозів типу ЧС2 встановлено, що найбільша частина дефектів приходиться на рами візків. Вказано, що місця виявлених тріщин співпадають з найбільш напруженими зонами, встановленими за розрахунковими даними. Разом з тим, такої відповідності не спостерігається для випадків появи тріщин в основному металі.

Для визначення характеристик динамічної навантаженості екіпажної частини в типових режимах руху електровоза ЧС2 ділянками колії з різними параметрами плану, профілю і технічним станом розроблена математична модель динаміки електровоза, реалізацію якої виконано за допомогою програмного комплексу UM. Порівняльним аналізом даних натурного експерименту і результатів математичного моделювання доведена адекватність розробленої комп'ютерної моделі.

Представлено новий підхід до оцінки втомної довговічності несучих конструкцій екіпажної частини локомотивів на основі схематизації типових експлуатаційних режимів і визначення відносної частки кожного з них у загальному напрацюванні.

Розроблено рекомендації щодо технічних рішень відносно проектів модернізації рам візків з метою подовження терміну служби екіпажних частин електровозів ЧС2. Запропоновано алгоритм доказу міцності і втомної довговічності модернізованих екіпажних частин тягового рухомого складу.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, екіпажна частина, несучі конструкції, рами візків, подовження терміну служби, динамічна навантаженість, ресурс, довговічність, контроль технічного стану.

АННОТАЦИЯ

Дёмин Р.Ю. Усовершенствование технологии продления срока службы экипажных частей электровозов типа ЧС2. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2011.

Диссертационная работа посвящена решению научно-технической задачи усовершенствования технологии продления срока службы экипажных частей пассажирского тягового подвижного состава.

Проведен анализ типичных режимов эксплуатации электровозов типа ЧС2. По результатам анализа определены распределения пробега по скорости движения и параметрам плана и профиля пути. При этом отмечено, что пробег более пяти млн. км соответствует предельному состоянию несущих конструкций по показателям усталостной прочности.

По результатам оценки технического состояния экипажных частей электровозов ЧС2 установлено, что наибольшая часть дефектов приходится на рамы тележек. Выявлено, что к потере трещиностойкости склонны определенные в работе сварные соединения. Кроме того, отмечено появление трещин в основном металле. Указано, что места обнаруженных трещин совпадают с наиболее напряженными зонами, установленными по результатам расчетов. Вместе с тем, такого соответствия не наблюдается для случаев появления трещин в основном металле, например, на внешних и внутренних боковых поверхностях боковых балок над арками букс.

Для определения характеристик динамической нагруженности экипажной части в типовых режимах движения электровоза ЧС2 по участкам пути с различными параметрами плана, профиля и техническим состоянием разработана математическая модель динамики электровоза, реализованная с помощью программного комплекса UM. Сравнительным анализом данных натурного эксперимента и результатов математического моделирования доказана адекватность разработанной компьютерной модели. По результатам компьютерного моделирования динамики электровоза ЧС2 сформированы блоки входных данных для последующей оценки сопротивления усталости рам тележек по пробегу в условиях многокомпонентного нагружения конструкции с учетом всего комплекса эксплуатационных нагрузок.

Представлен новый подход к оценке усталостной долговечности несущих конструкций экипажной части локомотивов на основе схематизации типовых эксплуатационных режимов и определения относительной доли каждого из них в общей наработке. Предложенная схематизация эксплуатационной нагруженности локомотивов и разработанный алгоритм определения весовых коэффициентов типовых режимов их движения обеспечивает повышение достоверности комплексной оценки показателей усталостной долговечности экипажной части.

Разработаны рекомендации относительно технических решений по проектам модернизации рам тележек с целью продления срока службы экипажных частей электровозов ЧС2. На конкретных примерах восстановления несущей способности рам тележек с выявленными трещинами и дальнейшей экспериментальной проверки доказана эффективность предложенных подходов к модернизации экипажных частей при капитально-восстановительном ремонте электровозов.

В случае полного исчерпания несущей способности рам тележек предлагается замена их на модифицированные конструкции нового производства с применением усовершенствованных технологий на основе предлагаемых технических требований. При проектировании, изготовлении и испытаниях рам тележек новой конструкции рекомендуется использовать современные подходы к нормативным оценкам прочности несущих элементов экипажной части, динамических качеств локомотивов и их воздействия на путь.

Разработан алгоритм доказательства прочности и усталостной долговечности экипажных частей тягового подвижного состава. Алгоритм базируется на выполнении по уточненным моделям прочностных расчетов, проведении ходовых испытаний по упрощенным схемам и использовании результатов натурных испытаний и компьютерного моделирования в расчетах на усталостную долговечность.

Для обеспечения безопасной эксплуатации электровозов ЧС2 с продленным сроком службы предложено периодическое использование современных средств неразрушающего контроля, а также рекомендован мониторинг технического состояния ходовых частей бортовыми системами диагностирования.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, экипажная часть, несущие конструкции, рамы тележек, продление срока службы, динамическая нагруженность,

ресурс, долговечность, контроль технического состояния.

THE SUMMARY

Diomin R.Yu. Improvement of service term extension technology of carriage parts of electric locomotives as ChS2. – Manuscript.

The thesis for competition on an academic degree of candidate of technical sciences on a specialty 05.22.07 – rolling stock of railways and traction of trains. – Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2011.

Dissertation is devoted the decision of scientific and technical task of improvement technology of service term lengthening of carriage parts of passenger traction rolling stock.

It is set as a result of estimation of the technical state of carriage parts of electric locomotives of ChS2 that most part of defects is on the bogie frames. It is indicated that the places of found out cracks coincide with the tensest areas, set from calculation data. At the same time, such accordance is not observed for the cases of appearance of cracks in a parent metal.

To determine the characteristics of dynamic loading of carriage part in typical modes of motion of electric locomotive ChS2 by lots of different options plan, profile and technical state the mathematical model of electric locomotive is developed, which implementation is performed using the software system UM. Adequacy of the developed computer model is well-proven the comparative analysis of experimental data and results of simulation.

A new approach to the estimation of fatigue life of bearing structures of carriage part of locomotives based on the schematization of typical operating conditions and determines the relative contribution of each of them in total operating time is presented.

Recommendations are developed in relation to technical decisions in relation to the projects of bogie frames modernization with the purpose of service term lengthening of carriage parts of electric locomotives ChS2. The algorithm of proof of durability and tireless longevity of the modernized carriage parts of traction rolling stock is offered.

Keywords: traction rolling stock, carriage part, bearings constructions, bogie frames, extension of service term, dynamic loading, resource, longevity, control of the technical state.

Дьомін Ростислав Юрійович

УДК: 629.4.083.001.76

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ЕКІПАЖНИХ ЧАСТИН ЕЛЕКТРОВОЗІВ ТИПУ ЧС2

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск доц. Агулов А.Ф.

Підписано до друку _12.09.2011 р._
Формат 60х84 1/16. Папір офсетний.
Умовн.-друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1.
Замовлення № 404. Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТ. Свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТ, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.