

В. І. Дворецький¹, Ю. В. Демченко¹, О. Ф. Явдощина¹, В. І. Федоренко²

¹Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ

²КП "Київський метрополітен", Київ

ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО РЕМОНТУ І МОДЕРНІЗАЦІЇ РАМ ВІЗКІВ ВАГОНІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Анотація: представлено рішення проблеми подовження призначеного строку служби рам візків вагонів метро за рахунок відновлювального ремонту з модернізацією окремих вузлів.

Ключові слова: Метрополітен, рама візка, строк служби, зварювання, втома, розрахунок на втому, ремонт, модернізація.

В інвентарному парку КП "Київський метрополітен" близько 600 візків вагонів вже відпрацювали призначений строк служби. За чинними нормативами їх повинні вивести з експлуатації. Однак обставини, що склалися, вимагають продовження строку їх експлуатації із забезпеченням водночас належної безпеки перевезення пасажирів. Метою пропонуваного інноваційного проекту була розробка на основі експериментально-теоретичних досліджень методів, засобів та конструктивно-технічних рішень щодо проведення відновлювального ремонту візків вагонів для продовження строку служби на 15 років. При його виконанні були проведені відновлення і дослідна експлуатація рам візків за Технічними рішеннями ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ та розроблені технічні умови для відновлення рам візків інвентарного парку КП "Київський метрополітен" з метою продовження строку служби на 15 років, але не більш 31-го року від дати виготовлення.

У промислово розвинутих країнах Заходу проблема продовження ресурсу несучих конструкцій вирішується зазвичай за рахунок їх реконструкції і пов'язана з великими витратами. В останній час Німеччина і США проводять експериментально-аналітичні оцінки залишкового ресурсу тягового рухомого

складу і прогінних будов автодорожніх мостів для планування їх заміни і реконструкції. В даному проекті науково-технічне вирішення проблеми визначення і гарантованого забезпечення залишкового ресурсу рам візків є логічним продовженням розвитку ймовірно-статистичного підходу до розрахунку на втому [1, 2, 3]. Цей підхід був розроблений в ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України і введений в практику проектування у вигляді методичних вказівок Держстандарту СРСР [4, 5]. Він дає можливість диференційовано враховувати вплив факторів конструктивно-технологічного виконання елементів і їх експлуатаційної навантаженості на втому та визначати довговічність зварних конструкцій, що значно збільшує точність розрахункових оцінок порівнянних технічних рішень. На основі цього підходу з використанням сучасних технологій була розроблена методологія гарантованого забезпечення ресурсу для продовження строку служби несучих конструкцій рухомого складу за рахунок модернізації вузлів [6, 7].

Для вирішення проблеми оцінки залишкового ресурсу візків вагонів метро і введення їх в подальшу експлуатацію за призначенням було обґрунтовано комплекс наукових, технічних, організаційних і правових заходів,

Спільні інноваційні проекти

спрямованих на забезпечення безпеки протягом заново встановленого строку служби. Сформульовані загальні положення та вимоги системного підходу до забезпечення безпеки експлуатації, які ґрунтуються на результатах технічної діагностики, правилах розрахунків і проектування конструкцій, врахуванні експлуатаційної навантаженості та втомних елементів. Значна увага приділялася підвищенню якості з'єднань, застосуванню нових технологічних процесів, включаючи зміцнюючу обробку.

Прийнятий підхід визначає можливості подальшого використання рам візків за призначенням і продовження строку їх служби та встановлює:

- порядок проведення, а також необхідні методи та обсяги обстеження технічного стану вузлів рам візка;
- розробку заходів по їх відновленню та забезпеченню працездатного і справного стану;
- критерії безпечної експлуатації, методи оцінки по них залишкового ресурсу та заміни вказаного в НТД призначеного строку служби;
- відповідальність організацій, що виконують роботи по обстеженню технічного стану, та ремонтних підприємств і експлуатаційників за забезпечення залишкового ресурсу, який вимагається;
- вимоги до кваліфікації персоналу і технічного оснащення організацій-виконав-

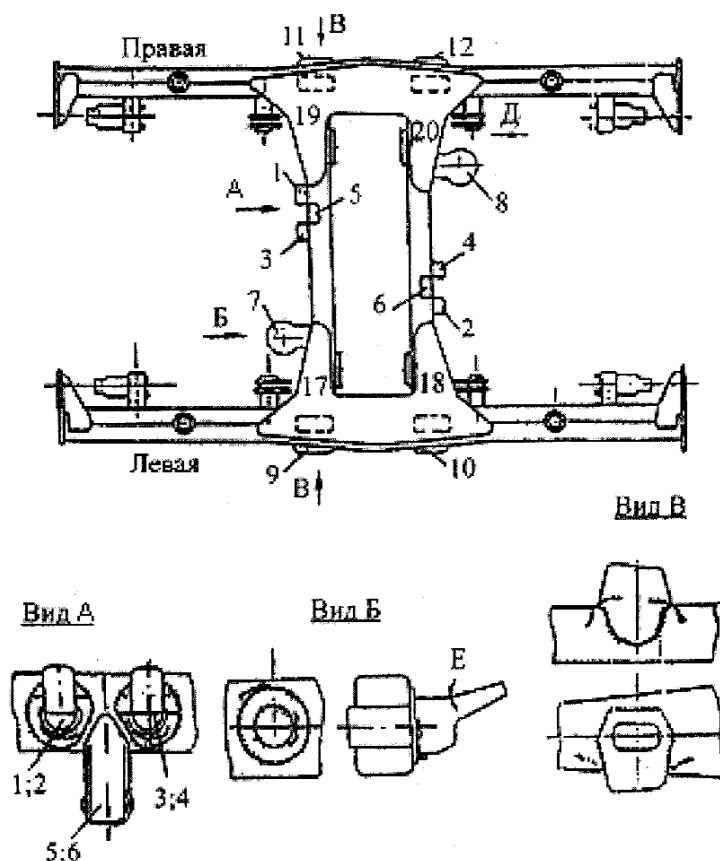


Рис. 1. Місця, де найчастіше зустрічаються тріщини на рамах: 1, 2, 3, 4 – верхні кронштейни кріплення електродвигуна; 5, 6 – нижні кронштейни кріплення електродвигуна; 7, 8 – кронштейни кріплення редуктора; 9, 10, 11, 12 – кронштейни (тумби) кріплення повідців букси

ців і ремонтних підприємств, що виконують обстеження технічного стану та ремонт візків вагонів з вичерпаним строком служби [3, 7].

Проблема продовження строку служби вагонів метро ускладнюється в першу чергу станом рам візків. Основним недоліком рам візків є виникнення в них передчасних втомних тріщин [8, 9, 10, 11]. Поява втомних тріщин є свідченням того, що призначений строк служби вагонів не забезпечено та вимагає розробки заходів по підвищенню довговічності рам візків.

Найбільш небезпечними і масовими пошкодженнями повідцевої рами візка вагона є тріщини в зонах зварних з'єднань кронштейнів кріплення редуктора, кронштейнів кріплення повідців, кронштейнів кріплення електродвигунів, а також тріщини по основному металу перерахованих вище вузлів. Такі пошкодження починають з'являтися вже в першій третині визначеного строку служби і продовжують виникати повторно після проведеного ремонту. Встановлено, що тріщини з'являються внаслідок дії змінних експлуатаційних напружень і обумовлені недостатньо повним врахуванням особливостей опору втоми елементів рами візка і зварних з'єднань [8, 9]. На сьогоднішній день втомний характер цих тріщин не викликає сумнівів. Приклади розташування втомних тріщин показано на рис. 1.

У вузлах кріплення електродвигунів тріщин втоми повідцевої рами візка в початковий період експлуатації з'являються по зварних швах у верхніх кронштейнів. При цьому напрацювання до першої відмови вузлів кронштейнів на різних поперечних балках однакові з точністю до декількох сот кілометрів пробігу. Це дає підстави стверджувати, що інтенсивність силової дії від двигуна на передню і задню поперечні балки практично однакова. Такі тріщини зазвичай

зароджуються у верхній частині зварного шва, який з'єднує фланець кронштейна з вертикальною стінкою поперечної балки. В подальшому тріщини розвиваються по шву або по металу фланця. У вузлах кріплення електродвигуна з'являються також втомні тріщини в зварних швах і по тілу нижнього кронштейна. Напрацювання візків до появи втомних тріщин у верхніх кронштейнах в середньому приблизно на 10 % менше, ніж у нижньому. Це пояснюється значно більшою деформацією нижніх кронштейнів порівняно з верхніми. Значна деформативність нижнього кронштейна електродвигуна обумовлює збільшення впливу дії двигуна на верхні кронштейни. При несприятливих умовах (неодноразове включення двигунів у роботу, пробуксовка однієї з колісних пар та ін.) експлуатаційні змінні напруження перевищують відповідні значення опору втоми елемента конструкції і – як результат – виникають тріщини. При недостатньо жорсткому закріпленні електродвигуна на верхніх кронштейнах робота вузла значно погіршується.

У процесі реалізації проекту були узагальнені випадки і місця утворення тріщин у вузлах шпінтонних рам візків вагонів та визначено причини їх виникнення. Проведено вибір пошкоджень вузлів шпінтонних рам візків в умовах експлуатації Київського та інших метрополітенів СНД. Проаналізовано відомості більше як про 300 пошкоджень і причини їх появи. Показано, що найчастіше передчасні пошкодження спостерігаються у середніх шпінтонних вузлах [10, 11]. Пошкодження у вигляді тріщин втоми поширюється по зварному з'єднанню шпінтонної втулки з бковиною та переходять в основний метал балки. Тріщини зароджуються за штатних умов експлуатації рухомого складу в рамах, що відповідають технічним вимогам на їх виготовлення. Аналіз причин виникнення пошкоджень свідчить про конструктивно-технологічні недоліки в рішенні шпінтонних вузлів,

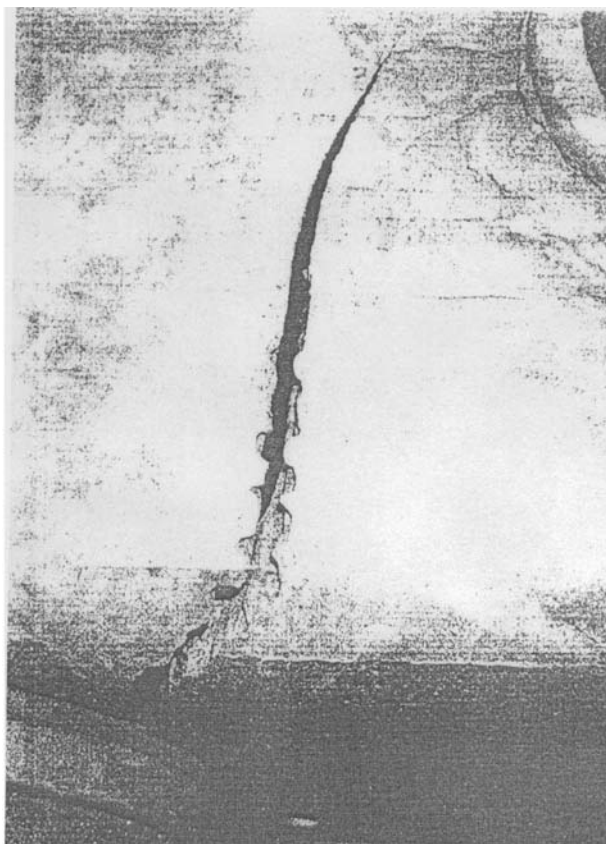


Рис. 2. Приклад пошкодження повздожньої балки в околі шпінтонного вузла

зокрема вузла з'єднання шпінтонної втулки з повздожньою балкою. Приклад пошкодження такого вузла наведено на рис. 2.

Впроваджені методи ремонту вузлів кріплення тягового двигуна й повідкових кронштейнів полягають передовсім у розробці і зварюванні виявлених тріщин по спеціальній технології з наступною зміцнюючою обробкою наклепом або оплавленням зони переходу від шва до основного металу. Розробка тріщин виконується електродуговим способом спеціальними електродами марки АНР-ЗМ, або механічним способом. Зварюють одержані розробки механізованою зваркою в середовищі CO_2 дротом Св-08Г2С діаметром 1,2 мм на режимах: $I_{зв} = 120\text{--}150$ А, $U_d = 18\text{--}22$ В, $V_{зв} \leq 25$ м/год; витрати CO_2 становлять

7–9 л/хв. При такому ремонті вузлів суттєво підвищується опір втомі, але не змінюються умови їх роботи й не знижується експлуатаційна навантаженість. Цей метод добре зарекомендував себе при ремонті пошкоджених рам протягом призначеного строку служби. Проте для продовження призначеного строку служби необхідний відновлювальний ремонт, що істотно збільшує довговічність вузлів кріплення тягового двигуна й повідкових кронштейнів. Для обох вузлів рами розроблені технічні проекти конструктивно-технологічної модернізації з метою забезпечення строку служби після відновлювального ремонту протягом 15 років. Ця мета досягається за рахунок зміни силової схеми роботи вузлів і зниження виникаючих у їхніх елементах експлуатаційних напружень.

Для підвищення довговічності вузла кріплення тягового двигуна проводиться посилення нижнього кронштейна двома косинками, в результаті чого навантаження рівномірно сприймається всіма кронштейнами, що приводить до значного зниження змінних напружень в елементах, особливо в місцях пошкоджень. В існуючій конструкції вузла верхні й нижні кронштейни розташовані у різних перетинах поперечної балки й зв'язані між собою тільки через відносно тонкі листи балки. Вони не утворюють єдиної, досить жорсткої силової структури, тому довговічність вузла знижується під дією вторинних накладених напружень, викликаних динамікою тягового двигуна. У запропонованій нами конструкції додаткові посилення нижнього кронштейна встановлені таким чином, що підвищують жорсткість вузла в цілому й передають зусилля в ті перетини балки, у яких розташовуються верхні кронштейни. У такому випадку не менше, ніж у три рази знижується зусилля, що визначає депланацію нижнього пояса поперечної балки в зоні приварки п'яти нижнього кронштейна й не менше, ніж у два рази зменшуються зусилля, що ініціюють схо-

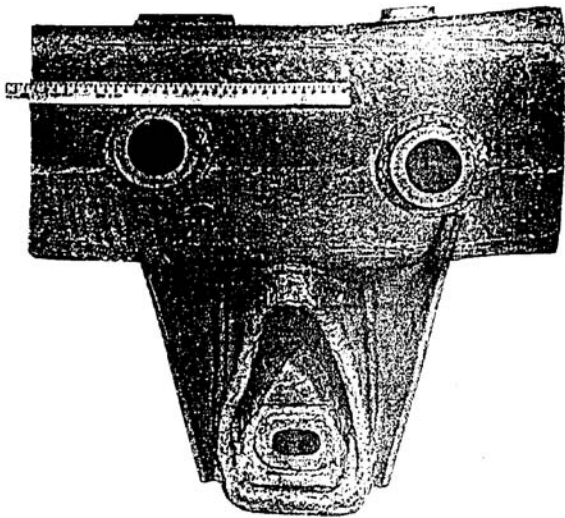


Рис. 3. Схема посилення вузла приварки нижнього кронштейна кріплення електродвигуна

дження-розходження штатних ребер нижнього кронштейна. Загальний вид посиленого вузла підвіски тягового електродвигуна показано на рис. 3.

Строк служби вузла повідкового кронштейна продовжується за рахунок зміни силової схеми роботи з консольної на рамну, зниження в його елементах змінних експлуатаційних напружень загального й місцевого згину й розвантаження кронштейна від крутної дії повідця. Це досягається постановкою додаткової з'єднувальної планки, що зв'яже між собою обидва повідкові кронштейни кожного боку рами візка й замикає їх таким чином через повздовжню балку в рамну конструкцію. При цьому з'єднувальна планка ставиться замість існуючих накладок на штатні болти. Схема модернізації вузлів повідкових кронштейнів наведена на рис. 4.

Кожна колісна пара візка передає зусилля тяги на раму через свої два повідцевих кронштейни. У процесі експлуатації тягові двигуни включаються й розвивають максимальне зусилля зі зсувом у часі. При існуючій конструкції вузла кожен повідцевий кронштейн самостійно сприймає від повідця зусилля ру-

шання, гальмування, поперечного вигину та ін., у тому числі максимальні, та передає їх на повздовжню балку. Після установки з'єднувальної планки повздовжні зусилля перерозподіляються на два кронштейни й за рахунок неодноразовності впливу зовнішніх сил максимальне зусилля розподіляється між двома кронштейнами рівномірно. Виникаючі при цьому змінні експлуатаційні напруження знаходяться нижче, ніж у несполучених кронштейнів не тільки через перерозподіл сил на обидва кронштейни, але й за рахунок утворення реактивних згинальних моментів у вузлах з'єднання додаткової планки з повідцевими кронштейнами.

Для гарантованого забезпечення розглянутої схеми взаємодії елементів вузла з'єднувальна планка під дією виникаючих у ній зусиль не повинна зміщуватися відносно кронштейна. Для цього на етапі дослідної експлуатації було випробуване болто-клейове й болтове кріплення планки до хвостовика повідця. Болто-клейові з'єднання задовільно працюють в умовах змінного динамічного навантаження і в процесі експлуатації не потребують спеціального обслуговування. Все ж вони досить специфічні за технологією й підвищу-

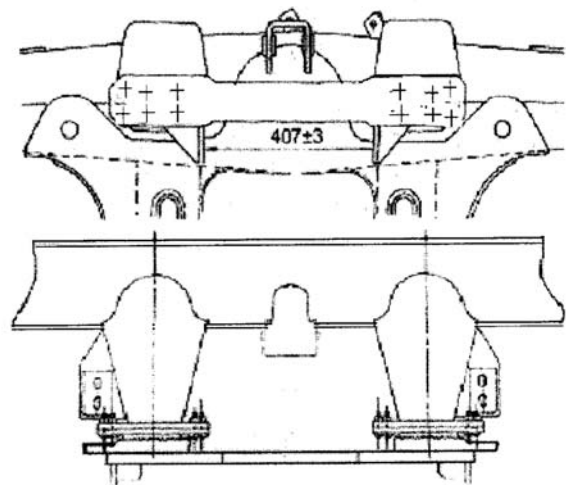


Рис. 4. Схема модернізації вузлів повідцевих кронштейнів

ють трудомісткість заміни повідців. Результати випробувань і виконаний аналіз показують, що встановлена на штатних болтах при нормованому зусиллі затягування гайок планка забезпечує передачу без взаємного переміщення поздовжнього зусилля не менше 3 000 кгс.

Заводи-виробники вагонів з метою уникнення недоліків повідцевих рам з початку 1990-х років випускають вагони з шпінтонними рамами. Проте, як показала експлуатація, шпінтонні рами виявились ще більш небезпечними, ніж повідцеві. В рамках інноваційного проекту був проведений аналіз роботи шпінтонних рам, вивчена статистика пошкоджень рам парку вагонів КП "Київський метрополітен" та детально проаналізована робота шпінтонного вузла.

Верхній шов приварки шпінтонної втулки до боковини зварений по розробці зі скосом однієї крайки. При цьому зазор між елементами, що з'єднуються, змінюється від 0 до + 0,5 мм. Такий зазор при скосі тільки однієї крайки не завжди забезпечує рівномірне проплавлення кореня шва. На окремих ділянках таких швів утворюються несплавлення й непровари кореня шва на стороні нескошених крайок, які різко знижують опір втомі шпінтонного вузла. Особливості конструкторського рішення вузлів варки шпінтонних втулок і їх вплив на напружено-деформований стан відповідних елементів з врахуванням передачі на них експлуатаційних навантажень і їх розподілу у вузлі свідчать, що експлуатаційні змінні напруження можуть перевищувати опір втомі зварного з'єднання. Це є основною причиною виникнення передчасних пошкоджень. Зроблено висновок про необхідність модернізації шпінтонного вузла з метою забезпечення його експлуатаційної довговічності.

Відновлювальний ремонт шпінтонних рам полягає в заміні існуючого верхнього шва зварювання втулки на новий, а також в поси-

ленні поздовжніх балок рами (рис. 5). Для збереження проектного положення шпінтона технологія ремонту передбачає поетапну вирізку верхнього шва приблизно на 120° кола, аргонодугове зварювання кореня шва, в подальшому заварювання розробки в середовищі CO₂ дротом суцільного перерізу діаметром 1,2 мм марки Св-08Г2С за вказаною вище технологією. Після зміцнення оплавленням в середовищі Ar, зачистки та контролю якості виконується посилення зони шпінтонних вузлів приваренням накладок на верхній і нижній пояси поздовжніх балок. Важливою особливістю проекту підсилення є те, що кожна верхня і нижня накладки з'єднуються з обома шпінтонними вузлами і приварюються до існуючих посилюючих косинців. Таким чином створюється єдиний силовий елемент поздовжньої балки, який за рахунок перерозподілу експлуатаційних навантажень приблизно на 30 % знижує амплітуди напруження в найбільш небезпечних зонах рами візка.

У Київському метрополітені впроваджені ТУ № І-РВ.02.-2003, які розроблені в НТК "ІЕЗ ім. Є. О. Патона" НАН України і після відповідної модернізації дають можливість продовжити строк служби повідкових рам візків вагонів метрополітену на 15 років, але не більше 31-го року. Застосування запропонованих технологій привело до продовження строку служби 516 рам повідкових візків, які

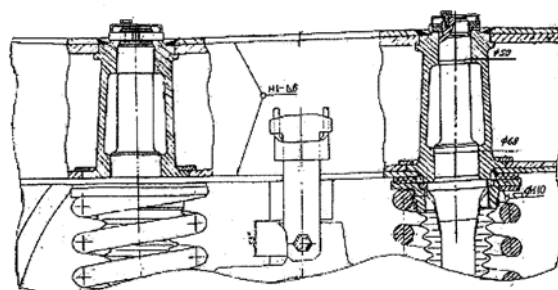


Рис. 5. Посилення поздовжніх балок шпінтонної рами

експлуатуються більше 16 років. За час експлуатації модернізованих рам (біля 4-х років з моменту дослідження) не було зафіксовано жодного випадку появи тріщин або зламу прямих повідців. На відновлювальний ремонт з метою продовження строку служби шпінтонних рам розроблені ТУ-РВШ.ОЗ.-2005. Підсилення згідно з цими ТУ вузлів зварення шпінтонних втулок в повздовжні балки забезпечує суттєве (на 10 років) продовження строку служби рам візків.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Дворецкий В. И.** Расчёт ресурса сварных металлоконструкций при случайном нагружении. // Надежность и долговечность машин и сооружений. – 1984. – № 5. – С. 40–47.
2. **Труфяков В. И., Дворецкий В. И., Михеев П. П. и др.** Прочность сварных соединений при переменных нагрузках. – К.: Наук. думка, 1990. – 256 с.
3. **Дворецкий В. И.** Оценка остаточного ресурса сварных несущих конструкций и продление срока их службы. // Автоматическая сварка. – 2000. – № 9–10. – С. 37–42.
4. РД 40-551-85. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Расчетно-экспериментальные методы оценки сопротивления усталости сварных соединений. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 52 с.
5. РД 50-694-90. Методические указания. Надёжность в технике. Вероятностный метод расчёта на усталость сварных конструкций. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 84 с.
6. **Лашко А. Д., Кулешов В. П., Дворецкий В. И.** Об оптимальных сроках эксплуатации тягового подвижного состава. // Железнодорожный транспорт Украины. – 2001. – № 1. – С. 2–5.
7. **Дворецкий В. И.** Нормативно-техническое обеспечение работ по продлению назначенного срока службы подвижного состава. // Железнодорожный транспорт Украины. – 2005. – № 3/2. – С. 28–32.
8. **Мейснер Б. А., Белоусов В. Н.** Методы расчета сопротивления усталости сварных конструкций железнодорожного подвижного состава. // Статист. вопр. прочности и динамики машин. – Рига: РПИ, 1986. – С. 71–77.
9. **Ципуришвили В. Б., Крайчик М. М.** Повреждаемость сварных рам тележек вагонов метрополитена. // Сварочное производство. – 1993. – № 1. – С. 12–14.
10. **Закс М. Н., Куряк А. Л., Каляжнов Ю. В.** Повышение надежности рамы тележки метрополитена мод. 81 – 717/714. // Тяжелое машиностроение. – 1995. – № 4. – С. 16–19.
11. Международная Ассоциация "МЕТРО". / Материалы совещания. – Киев, 2003 г.

В. И. Дворецкий, Ю. В. Демченко, Е. Ф. Явдошина, В. И. Федоренко. ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗОБНОВИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА И МОДЕРНИЗАЦИИ РАМ ТЕЛЕЖЕК ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА.

Аннотация: Представлено решение проблемы продления назначенного срока службы рам тележек вагонов метро за счёт восстановительного ремонта с модернизацией отдельных узлов.

Ключевые слова: Метрополитен, рама тележки, срок службы, сварка, усталость, расчёт на усталость, ремонт, модернизация.

V. I. Dvoretzkiy, U. V. Demchenko, O. F. Yavdoschina, V. I. Fedorenko. TECHNOLOGY OF RENEWAL AND MODERNIZATION OF SUBWAY CAR BOGIE FRAME.

Abstract: Presented the solution of a problem of assigned lifetime prolongation of subway car bogie frame by complete renovation with modernization of separate components.

Keywords: Subway, bogie frame, lifetime, welding, metal fatigue, fatigue calculation, renovation, modernization.

Надійшла до редакції 06.06.06