

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ

На правах рукопису

Овчинніков Олександр Олександрович

УДК 625.42:625.143

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ПІДРЕЙКОВИХ ПІДКЛАДОК
НА КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНКАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ
ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАСТИЧНОГО ЗМАЩЕННЯ**

Спеціальність 05.22.06 – Залізнична колія

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Колія та колійне господарство» Української державної академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Шраменко Володимир Павлович, Українська державна академія залізничного транспорту, завідувач кафедри «Колія та колійне господарство», м. Харків

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Косарчук Валерій Володимирович, Державний економіко-технологічний університет транспорту, завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка», м. Київ

кандидат технічних наук, доцент
Патласов Олександр Михайлович, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, доцент кафедри «Колія та колійне господарство», м. Дніпропетровськ

Захист дисертації відбудеться «04» жовтня 2012 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.820.01 в Державному економіко-технологічному університеті транспорту за адресою: Україна, 03049, м. Київ-49, вул. М. Лукашевича, 19

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного економіко-технологічного університету транспорту, Україна, 03049, м. Київ-49, вул. М. Лукашевича, 19

Автореферат розісланий «_____» _____ 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 26.820.01,
кандидат технічних наук, доцент

_____ М.І.Карпов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Найбільш зручним і економічним видом пасажирського транспорту у великих містах є підземні залізниці. Серед найважливіших переваг цього виду транспорту – велика швидкість перевезення та здатність освоювати масові пасажиропотоки. Так, наприклад, три лінії Харківського метрополітену експлуатаційною довжиною близько 50 км із 28 станціями щодоби обслуговують більше 800 000 пасажирів.

Очевидні переваги підземного міського залізничного транспорту створюють передумови для його безперервного розвитку та удосконалення. Зважаючи на це, особливо важливого значення набувають завдання підвищення довговічності споруд і конструкцій метрополітенів, забезпечення стійкої роботи всього устаткування, відповідального за безпеку та безперебійність руху поїздів, у першу чергу колії та її елементів, зниження витрат на поточне утримання та ремонт колії і тунельних споруд, що особливо актуально в умовах вимог до енерго- та ресурсозбереження в усіх галузях економіки країни.

Особливу небезпеку для метрополітенів, незрівнянно більшу, ніж для магістральних залізниць, становить уширення колії у кривих ділянках внаслідок зношення упорних реборд підрейкових підкладок скріплення типу «Метро» на зовнішній рейковій нитці. Причиною цього є конструктивні особливості скріплення та великі навантаження на реборду підкладки, вплив тертя за наявності абразивних продуктів зношення елементів колії та забруднення тунелю, що виникають при проходженні поїздів по кривих ділянках колії в метрополітені. Також слід зазначити, що міцність та стійкість до спрацювання рейкової сталі значно перевищує аналогічні характеристики матеріалу підкладок (сталь марки Ст3).

Ситуація ускладнюється через нерівномірність укладання підрейкових підкладок типу «Метро» (не витримується перпендикулярність розташування підкладок відносно осі зовнішньої рейкової нитки), що приводить до хаотично виникаючого надмірного спрацювання торцевих частин упорних реборд. Зважаючи на обмеженість часу у нічне «вікно», велику трудомісткість та незручність контролю величини та інтенсивності зношення безпосередньо в колії через важкодоступність місць спрацювання, небезпека від непередбачуваного уширення колії на таких ділянках є досить суттєвою. Це привело до вжиття таких заходів як масова заміна підкладок по закінченні піврічного терміну їх експлуатації, тобто до досягнення критичної (5 мм) величини зношення, в обов'язковому порядку. Наприклад у Харківському метрополітені, за даними служби колії та тунельних споруд, щорічно замінюється до 480 тонн (до 30000 штук) підрейкових підкладок скріплення типу «Метро» з метою недопущення катастрофічної величини уширення колії у кривих радіусом до 1000 м.

Виходячи із особливості роботи колії метрополітену, на відміну від роботи наземних залізниць, яка полягає в тому, що протягом близько 18 годин

на добу відсутній контроль за її станом, а також беручи до уваги при цьому, що по кожній колії метрополітену щодня може проходити до 500 пасажирських поїздів зі швидкістю 60 - 80 км/год., стає очевидною необхідність висунення підвищених вимог до надійності залізничної колії метрополітену.

Одним з ефективних способів вирішення проблеми зменшення інтенсивності зношення підрейкових підкладок на криволінійних ділянках колії є використання пластичних мастил, що вводяться в зону взаємодії рейки і підкладки. Ефективність такого способу зумовлена тим, що всі процеси зношення протікають у приповерхневих шарах сполучення «кромка подошви рейки – реборда підкладки».

Відповідно до викладеного, у даній роботі було поставлено завдання підвищення терміну служби підрейкових підкладок типу «Метро» шляхом використання пластичних мастил. Виходячи із одержаних у роботі результатів досліджень та впровадження наданих рекомендацій вдалося подовжити термін служби підрейкових підкладок в 1,5 - 1,7 разу, залежно від радіуса кривих, при одноразовому введенні мастила у досліджуване сполучення тертя.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Тема дисертаційної роботи та її зміст пов'язані із виконанням науково-дослідних робіт кафедри «Колія та колійне господарство» Української державної академії залізничного транспорту, спрямованих на удосконалення конструкції та технології утримання і ремонтів залізничної колії метрополітену, ресурсозбереження відповідно до заходів, визначених Програмами розвитку Харківського метрополітену державного та регіонального рівнів, а саме: Постановою Кабінету Міністрів України від 7 березня 2006 р. №257 «Про затвердження Державної програми будівництва та розвитку мережі метрополітенів на 2006 – 2010 роки»; рішенням XXI сесії V скликання Харківської обласної ради № 480-V «Про затвердження обласної Програми будівництва та розвитку Харківського метрополітену на 2007 - 2012 роки»; Постановою Кабінету Міністрів України від 16 жовтня 2008 року № 927 «Про внесення змін до Державної цільової програми підготовки та проведення в Україні фінальної частини чемпіонату Європи 2012 року з футболу»; Програмою розвитку та модернізації залізничного транспорту України на 1998 - 2010 роки. Автор дисертаційної роботи взяв участь у науково - дослідних роботах, що виконувались на замовлення КП «Харківський метрополітен», за такими темами: № 676-05/ПТС Харківського метрополітену «Проектування заходів щодо посилення конструкції залізничної колії в Харківському метрополітені із застосуванням ресурсозберігаючих технологій» (виконання 22.05.08 р. - 29.05.09 р.), № 183-02/ПТС Харківського метрополітену (державний реєстраційний №0110U006991) «Перегляд інструктивних вказівок про організацію контролю рейок, ремонту та обслуговування дефектоскопних засобів в колійному господарстві метрополітену» (виконання 11.02.10 р. - 01.04.10 р.), № 415-06/ПТС Харківського метрополітену (державний реєстраційний №0112U002476)

«Дослідження роботи рейок в умовах КП «Харківський метрополітен» для оцінки можливості підвищення їх експлуатаційного ресурсу» (виконання 09.06.11 р. - 31.12.11 р.), та у розробці відомчого нормативно-технічного документа «Рекомендації з підвищення строків служби підрейкових підкладок в кривих ділянках колії», затвердженого та введеного в дію наказом служби колії та тунельних споруд КП «Харківський метрополітен» від 22.02.2012 р. №74.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є підвищення призначеного ресурсу підрейкових підкладок типу «Метро» на криволінійних ділянках колії шляхом використання пластичних мастил.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити ряд науково-технічних завдань, основними з яких є такі:

- провести аналіз роботи проміжних рейкових скріплень типу «Метро» в колії метрополітену та визначити шляхи підвищення їх призначеного експлуатаційного ресурсу;
- визначити навантаження та контактні тиски у скріпленні «Метро»;
- розробити теоретичні основи закономірності зношення підкладок на криволінійних ділянках колії метрополітену за наявності змащувального матеріалу. Визначити періодичність змащення та ресурс підкладок у сполученні «кромка подошви рейки – реборда підкладки»;
- провести стендові та експлуатаційні дослідження для встановлення закономірностей зношення підкладок у сполученні «кромка подошви рейки – реборда підкладки» за наявності змащення.

Об'єкт дослідження – процес зношення упорної реборди підрейкової підкладки типу «Метро» на криволінійних ділянках колії метрополітену.

Предмет дослідження – проміжне рейкове скріплення типу «Метро».

Методи дослідження. Дослідження впливу дії пластичного змащення на ресурс підрейкового скріплення типу «Метро» проводилися із застосуванням теорії надійності, методу системного аналізу, сучасних положень фізики, триботехніки, механіки.

При проведенні експериментальних досліджень використовувалися методи математичної статистики та елементів теорії планування експериментальних досліджень, сучасні методи та засоби технічних вимірювань.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше встановлено закономірність процесу зношення підкладки у сполученні «кромка подошви рейки – реборда підкладки» при використанні пластичного мастила.

2. Дістали подальшого розвитку теоретичні основи процесів зношення в застосуванні до сполучення «кромка подошви рейки – реборда підкладки» при використанні пластичного мастила.

3. Вперше встановлено раціональну періодичність введення пластичного мастила в сполучення «кромка подошви рейки – реборда підкладки».

Практичне значення отриманих результатів

1. Розроблено спосіб підвищення ресурсу скріплення типу «Метро» на криволінійних ділянках колії метрополітену шляхом використання пластичних мастил.

2. Розроблено методику введення мастила між поверхнями тертя у скріпленні типу «Метро» та визначення періодичності змащення в експлуатаційних умовах.

3. Результати досліджень використано при розробці відомчого інструктивного документа Харківського метрополітену «Рекомендації з підвищення строків служби підрейкових підкладок в кривих ділянках колії», наказ про затвердження та введення в дію від 22.02.2012 р. № 74-ПТС, щодо використання пластичних змащень для підвищення термінів служби підкладок у скріпленнях типу «Метро».

4. Наукові результати використовуються в навчальному процесі Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації при УкрДАЗТ для фахівців залізниць та метрополітенів, а також у дипломному проектуванні за спеціальністю «Залізничні споруди та колійне господарство».

Результати роботи підтверджуються відповідними документами та матеріалами впровадження.

Особистий внесок здобувача

В роботах, опублікованих зі співавторами та особисто здобувачем, було отримано такі наукові результати, представлені до захисту:

- результати і методика пошукових [1] та стендових [5] випробувань впливу змащення на інтенсивність зношення реборди підкладки типу «Метро»;

- визначення процесів, пов'язаних з механізмом зношення в поверхневих шарах пари тертя «кромка підошви рейки – реборда підкладки» [2];

- розроблено модель зношення сполучення «кромка підошви рейки - підкладка», яка дозволяє прогнозувати ресурс такого сполучення та встановлювати закономірність спрацювання розглянутого сполучення з урахуванням введення мастильного середовища між поверхнями тертя [3];

- експлуатаційні дослідження впливу змащення на інтенсивність зношення реборд підкладок у метрополітені [4] виконано самостійно в повному обсязі.

Апробація результатів дисертаційної роботи

Результати роботи доповідались і обговорювались:

- на 69 – 73 міжнародних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту і фахівців залізничного транспорту (м.Харків, 2007 – 2011р.);

- на секції «Залізнична колія» 70-ї міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2010 р.) Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна;

- на засіданні технічної ради служби колії та тунельних споруд КП «Харківський метрополітен» (протокол від 20.02.2012 р.).

Повністю результати дисертаційної роботи доповідались на засіданні кафедри «Колія та колійне господарство» за участю фахівців кафедр «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» та «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини» Української державної академії залізничного транспорту 29.11.2011р. (м. Харків) та на міжкафедральному семінарі кафедр «Залізнична колія та колійне господарство», «Будівельні конструкції та споруди» і «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту 14 березня 2012 р. (м.Київ).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 5 наукових робіт у спеціалізованих виданнях, затверджених ВАК України як фахові, та 1 тези доповідей.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, основних результатів і висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 168 сторінок, зокрема 123 сторінки основного тексту, 17 таблиць і 30 рисунків за текстом, список використаних джерел на 11 сторінках, який містить 117 найменувань, і 9 додатків на 34 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність досліджень процесу зношення підрейкових підкладок типу «Метро» на криволінійних ділянках колії метрополітену при використанні пластичних мастил, надано загальну характеристику роботи та сформульовано мету і задачі досліджень.

У **першому розділі** проведено аналіз умов роботи підрейкових скріплень типу «Метро» на коліях метрополітену. Встановлено, що на кривих ділянках колії найбільш зношуваним елементом скріплення є упорна реборда підкладки, а головними чинниками зношення сполучення «кромка подошви рейки - упорна реборда підкладки» є процеси, які можуть бути ідентифіковані як фреттинг-корозія, що характеризується такою схемою: переміщення і деформація поверхонь під дією змінних дотичних та ударних напружень - корозія (електрохімічна, електро- або під дією комплексу факторів) - руйнування окисних та забруднювальних плівок - розкриття чистого металу і місцями схоплювання поверхонь - адсорбція кисню на оголених від продуктів корозії ділянках. Відмінні особливості такого виду руйнування відомі як у фундаментальних дослідженнях, так і в досить численних експериментальних даних. Вони дозволили розробити ряд відповідних методів захисту від такого виду пошкодження деталей машин і механізмів, що привело до подовження їх довговічності. Найбільш суттєвий внесок у рішення цієї проблеми зробили відомі вчені: А.Я. Аляб'єв, А.С. Ахматов, М.Л. Голего, Д.М. Гаркунов, В.А. Зорін, І.В. Крагельський, І.А. Одінг, М.С. Островський, А.В. Рябченков, В.В. Шевеля, А. Бартель, І. Мінг, Р. Уотерхауз та ін..

В галузі залізничного транспорту, як в Україні, так і за кордоном (Російська Федерація, США, Канада, Німеччина та ін.) багато уваги приділяється дослідженню взаємодії колеса і рейки та вирішенню проблеми підвищення їх довговічності, в тому числі і шляхом лубрикації поверхонь взаємодії. Значний науковий внесок у вирішення проблеми запобігання зношення елементів верхньої будови колії належить таким відомим вченим як В.Г. Альбрехт, С.В. Амелін, М.Ф. Веріго, Е.І.Даніленко, В.М. Єрмаков, Х.У. Дітце, М.І. Карпущенко, М.Д. Кравченко та ін.. Однак характер та умови взаємодії, навантаження, хімічний склад сталі та характеристики поверхонь контакту «колесо – рейка» та «підшва рейки – реборда підкладки» і, як наслідок, механізм їх зношення суттєво відрізняються.

Аналіз сучасних методів захисту поверхонь від фретинг-корозії або схожих видів руйнування сполучень контакту технічних систем «метал – метал» показав, що найбільш ефективним для сполучення «кромка підшви рейки – упорна реборда підкладки» скріплення типу «Метро» є введення в зону контакту поверхонь пластичних мастил. Такий метод, порівняно з іншими, має малу трудомісткість, а зношення поверхонь уповільнюється за рахунок створення на них змащувальної плівки, яка зменшує напруження в зоні контакту, суттєво уповільнює окислювальні процеси та переводить умови роботи поверхні із сухого тертя до граничного змащення. Незважаючи на безперечні переваги, метод введення пластичних мастил до зон тертя «кромка підшви рейки – реборда підкладки» скріплення типу «Метро» у зовнішніх рейкових нитках кривих ділянок колії раніше не вивчався, теоретичні та експериментальні дослідження щодо дозування та періодичності введення мастил в зону тертя не проводились. Саме тому в роботі постала потреба у проведенні досліджень впливу пластичних мастил на ресурс сполучення «кромка підшви рейки – упорна реборда підкладки» з урахуванням потрібної періодичності введення мастила, яка визначалася за критерієм фретингостійкості мастильного матеріалу.

У **другому розділі** наведено теоретичні основи процесу зношення сполучення «кромка підшви рейки – упорна реборда підкладки» як при сухому терті, так і при введенні в зону контакту поверхонь змащувального матеріалу, а також розроблено модель ресурсу вказаного сполучення з урахуванням граничного зношення та раціональної періодичності введення змащувального матеріалу в зону контакту.

З урахуванням особливостей схеми скріплення типу «Метро» було визначено найбільш уразливу зону тертя, до якої надалі вводилося пластичне мастило. Базуючись на власних спостереженнях роботи вузла скріплення під час руху поїздів щодо кінематики переміщення поверхонь тертя за допомогою відеозйомки, а також на відомих даних про стан навколишнього середовища та особливості конструкції скріплення, встановлено основні види зношення, притаманні розглянутому сполученню при його розташуванні у кривій ділянці колії метрополітену. До таких видів зношення відносяться:

фретинг-корозія, схоплювання, окислювальне зношення, втомлювальне зношення, абразивне й електрокорозійне зношення.

Зважаючи на те, що сумарна швидкість спрацювання вказаного сполучення від зазначених видів впливу є досить високою (за даними Харківського метрополітену – заміна підкладок у кривих проводиться один раз на півроку), в роботі запропоновано вводити в зону 6 (рис. 1) пластичний

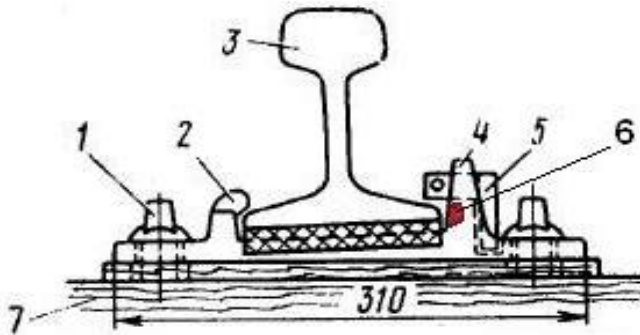


Рис. 1. Схема скріплення типу «Метро»: 1 – шуруп; 2 – лапа; 3 – рейка; 4 – висока реборда, 5 – маятниковий штир; 6 – місце зношення; 7 – дерев'яна шпала або коротиш

змащувальний матеріал. В цьому випадку внесок у сумарне спрацювання реборди підкладки кожного з видів зношення перерозподіляється наступним чином: зменшуються абразивне та втомлювальне зношення, а зношення при схопленні, окислювальне та електрокорозійне зношення впливають несуттєво. Такі ефекти мають місце завдяки властивостям граничного змащувального шару, що утворюється з молекул

поверхнево-активних речовин (ПАР), які містяться у пластичних мастилах як присадки. Як відомо, молекули ПАР, завдяки своїй поверхневій активності, утворюють на металевих поверхнях граничні шари кристалічної будови, яким притаманна анізотропія механічних та електричних властивостей. Це дозволяє їм зменшити механічне напруження в контактній поверхні тертя, запобігти окисленню цих поверхонь та підвищити рівень електроізоляції поверхонь одна від одної. Позитивні ефекти, пов'язані із введенням в зону тертя змащувального матеріалу, залежать від міцності граничного шару ПАР та зовнішніх навантажень на нього, які спричиняють деструкцію молекул. Тому ці ефекти тривають лише деякий час, або «латентний період» (від лат. *latens, latentis* - прихований, невидимий), який визначається за критерієм фретингостійкості змащувального матеріалу, після чого закономірності процесу зношення сполучення повертаються до варіанта сухого тертя. З метою встановлення необхідної періодичності введення змащувального матеріалу в подальших дослідженнях постала потреба у розкритті закономірностей процесу зношення сполучення «кромка підшви рейки – упорна реборда підкладки» як при сухому терті, так і за наявності пластичного мастила.

Згідно з висновками А.С. Ахматова, можна припустити, що в загальному вигляді процес зношення елементів сполучення, що досліджувалось, при одноразовому введенні змащувального матеріалу, складається з трьох етапів (рис. 2), а саме: періоду створення рівноважної шорсткості поверхонь тертя, або періоду припрацювання за наявності змащувального матеріалу; періоду сталого зношення, що також протікає за

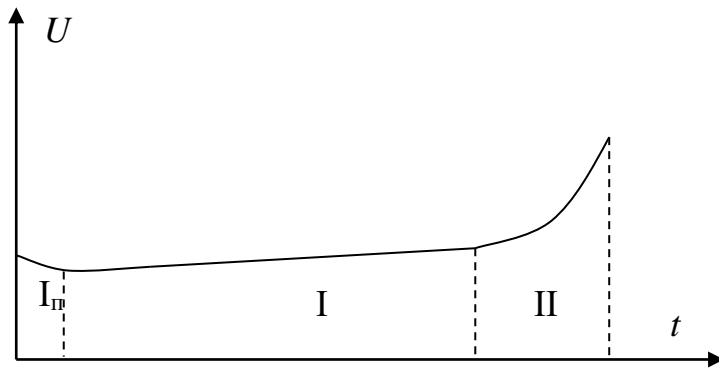


Рис. 2. Зміння величини зношення сполучення «кромка підшви рейки - підкладка» при одноразовому варіанті використання змащення

для варіанту одноразового введення мастила складається з тривалості другого (I) та третього (II) періодів та обмежується величиною гранично допустимого зношення. В загальному вигляді закономірність процесу зношення в кожному з періодів можна записати таким чином:

$$U(t) = a + b \cdot t^\alpha, \quad (1)$$

де $U(t)$ – поточна величина зношення реборди підкладки;
 t – час експлуатації;
 a, b, α – емпіричні коефіцієнти.

Якщо нехтувати періодом припрацювання та припустити, що в сухому терті є періоди сталого і катастрофічного зношення, загальний процес зношення можна представити у вигляді, наведеному на рис. 3. Такий варіант

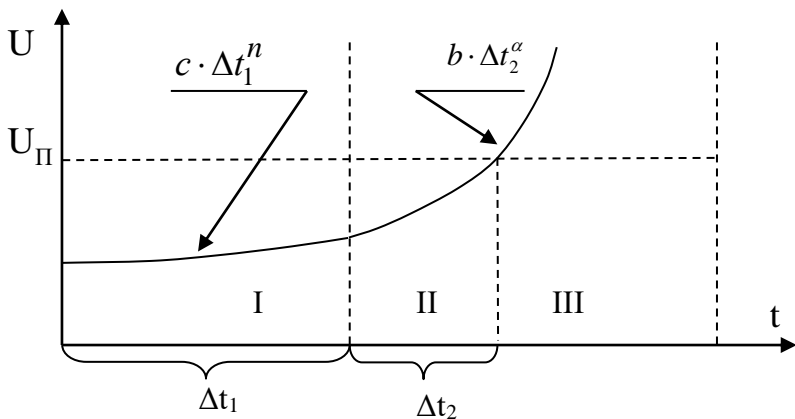


Рис. 3. Зміна закономірності процесу зношення сполучення у випадку одноразового використання мастила: I - зона наявності змащувального матеріалу; II - зона відсутності змащувального матеріалу; III - зона катастрофічного зношення

експлуатації сполучення, тому характер кривої зношення в цілому відрізняється від варіанта відсутності мастильного матеріалу в сполученні

наявності змащувального матеріалу; періоду швидкого зношення, який спостерігається за умов сухого тертя після спрацювання (втрати властивостей) змащувального матеріалу.

Оскільки період припрацювання (I_n) складає не більше 2% від життєвого циклу сполучення, його ресурс

використання змащування поверхонь тертя у сполученні, що розглядається, приведе до істотного загальмування зношення на ранній стадії його розвитку, а закономірність зміни процесу зношення надалі (після закінчення «латентного періоду») буде близькою до варіанта відсутності мастильного середовища. Зменшення зношення буде властивим тільки початковому періоду

«рейка – підкладка». В загальному вигляді величина і характер зношення при одноразовому введенні змащувального матеріалу до гранично призначеного зношення можна описати виразом:

$$U(t) = c \cdot \Delta t_1^n + b \cdot \Delta t_2^\alpha. \quad (2)$$

Перший член виразу (2) відповідає спрацюванню сполучення за наявності змащувального матеріалу до закінчення працездатності мастила, а тому величина Δt_1 є ні що інше, як «латентний період», або фретингостійкість. А.С. Ахматов і М.С. Островський пропонують визначати цю величину за таким виразом:

$$\Delta t_1 = \kappa_1 \cdot R_a \cdot e^{\frac{-\kappa_2 \cdot A \cdot N \cdot f}{R_a}}, \quad (3)$$

де R_a - середнє відхилення мікропрофілю поверхні тертя;
 A - амплітуда відносного зсуву при вібрації;
 N - нормальне навантаження;
 f - частота вібрації;
 κ_1 і κ_2 - емпіричні коефіцієнти.

Друга частина виразу (2) відповідає процесу роботи підкладки у сполученні після втрати мастилом змащувальних властивостей.

З урахуванням (3) вираз (2) буде мати такий вигляд:

$$U(t) = c \cdot (\kappa_1 \cdot R_a \cdot e^{\frac{-\kappa_2 \cdot A \cdot N \cdot f}{R_a}})^n + b \cdot \Delta t_2^\alpha. \quad (4)$$

У випадку, коли ресурс T_p підрейкової підкладки обмежений її граничним зношенням U_n , модель для визначення ресурсу при одноразовому використанні змащувального матеріалу має вигляд системи рівнянь:

$$\begin{cases} U_n = c \cdot (\kappa_1 \cdot R_a \cdot e^{\frac{-\kappa_2 \cdot A \cdot N \cdot f}{R_a}})^n + b \cdot \Delta t_2^\alpha \\ T_p = \Delta t_1 + \Delta t_2 \end{cases}. \quad (5)$$

Максимального ресурсу підрейкової підкладки можна досягти, якщо усунути варіант сухого тертя за рахунок періодичного введення пластичного змащувального матеріалу. Для цього випадку закономірність розвитку руйнування у часі можна представити рівними ділянками зміни величини зношення сполучення, що відбувається за час роботи однієї дози змащувального матеріалу (рис. 4). За умови рівномірної періодичності

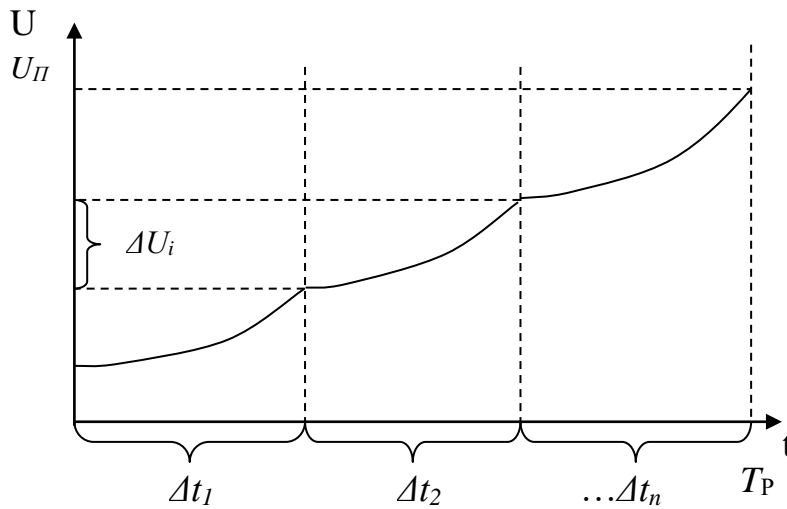


Рис. 4. Закономірність процесу зношення реборди підкладки за періодичного введення пластичного мастила

введення змащувального матеріалу, тобто $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_n = \Delta t_{зм}$, ресурс сполучення можна визначити за формулою:

$$T_p = t_{зм} \cdot n, \quad (6)$$

де $t_{зм}$ - час між введенням пластичного мастила (періодичність змащення);

n - кількість обслуговувань сполучення (введень мастила) за

життєвий цикл підрейкової підкладки.

За однакової закономірності процесу зношення реборди підкладки залежність (6) можна записати таким чином:

$$T_p = \frac{U}{\Delta U_i} \cdot n \cdot t_{зм}. \quad (7)$$

В цій моделі $t_{зм}$ також дорівнює фретингостійкості змащувального матеріалу, а ΔU_i визначається як перший член рівняння (2). Для визначення ресурсу сполучення «кромка підшви рейки – упорна реборда підкладки» за отриманими моделями (5) або (7) необхідно дослідним шляхом встановити значення емпіричних коефіцієнтів. У зв'язку із цим проводились експериментальні дослідження процесу спрацювання сполучення в експлуатаційних умовах.

У **третьому розділі** викладено методику та результати стендових випробувань скріплення типу «Метро» із застосуванням пульсаційної установки «МУП-50» в галузевій лабораторії підрейкових основ та спеціаліобетону УкрДАЗТ. Використання такої установки дозволило змодельовати реальні величини навантаження на реборду підкладки (рис. 5) та визначити величини зношення реборди підкладки у сполученні «кромка підшви рейки – упорна реборда підкладки» як при сухому терті, так і при додаванні змащувального пластичного матеріалу, не враховуючи деяких умов експлуатації, а саме: забруднення вузла скріплення в тунелі та ударних впливів підшви рейки при накочуванні колес рухомого складу в зону скріплення. Величина зношення визначалась за фактичною товщиною упорної реборди до та після випробувань.

Навантаження, що прикладались до випробувального зразка, складали $N = 42$ кН за частотою $f = 3$ Гц відповідно до фактичних навантажень та їх

циклічності у метрополітені. Кількість циклів навантаження при випробуваннях на стенді відповідає 6-місячному терміну роботи в експлуатаційних умовах. У таблиці 1 наведено результати досліджень.

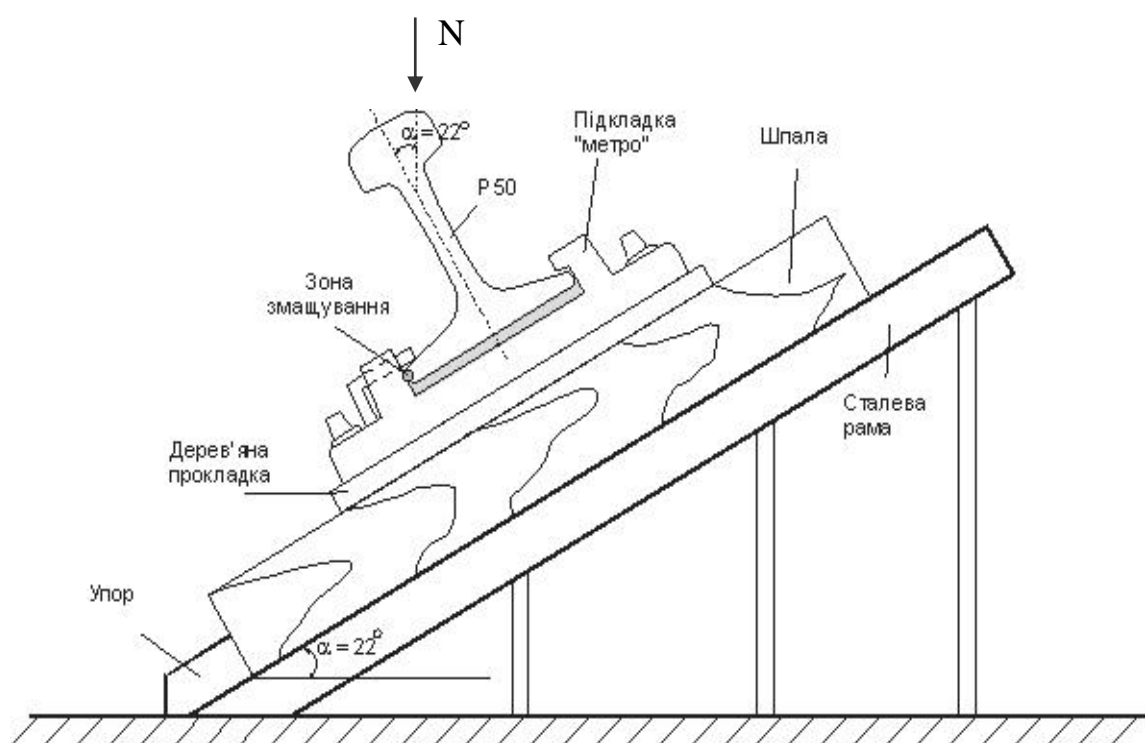


Рис. 5. Схема розташування скріплення типу «Метро» на стенді

Таблиця 1

Результати стендових досліджень

Підрейкова підкладка типу "Метро" без застосування мастил			
Тривалість випробувань, год.	Кількість циклів навантаження	Товщина реборди до випробувань, мм	Товщина реборди після випробувань, мм
21	801000	30,9	30,5
Підрейкова підкладка типу "Метро" із застосуванням мастил			
21	801000	31,5	31,3

Отримані результати підтвердили позитивний вплив змащувального матеріалу на процес спрацювання досліджуваного сполучення. Так, для варіанта сухого тертя величина зношення складала $\Delta U = 0,4$ мм, а для варіанта змащення, за рівних умов навантаження, $\Delta U = 0,2$ мм. Таким чином спостерігається зменшення зносу упорної реборди в 2 рази. Однак у цих дослідженнях не вивчалась фретингостійкість змащувального матеріалу та періодичність його введення в зону тертя.

У **четвертому розділі** наведено методика та результати експлуатаційних випробувань взаємодії елементів сполучення «кромка

підшви рейки – реборда підкладки» на криволінійних ділянках колії в тунелі метрополітену. Випробування проводились на двох криволінійних ділянках колії з однаковим радіусом – 400 м, відразу після заміни спрацьованих підкладок новими. На кожній з ділянок випробуванням підлягали скріплення зовнішньої нитки кривих, причому половина скріплень працювала без змащення, а друга половина скріплень – із використанням пластичного мастила (рис. 6).

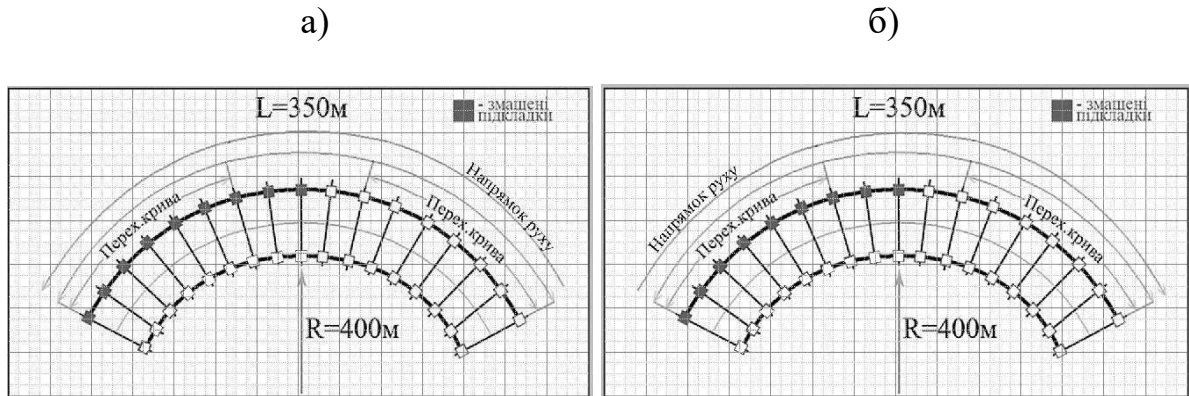


Рис. 6. Схема розташування дослідних скріплень типу «Метро» у кривих ділянках: а) парний напрям руху; б) непарний напрям руху

Змащувальний матеріал вводився в зону тертя скріплень один раз за період, зазначений у Наказі метрополітену «Про норми утримання по ширині колії в кривих ділянках» від 30 грудня 2010 р. № 487. Вимірювання величини зношення реборд підкладок на дослідних ділянках проводилось щомісяця, а на контрольних ділянках – через 6 місяців експлуатації відповідно до періодичності контролю, встановленої Наказом метрополітену від 30 грудня 2010 р. № 487. Це дозволило визначити закономірності зношення реборд підкладок як за наявності змащувального матеріалу на дослідних ділянках, так і без нього після спрацювання, тобто по закінченні «латентного періоду».

Величина зношення реборди підкладки у сполученні оцінювалась за середнім значенням фактичного зазору між кромкою підшви рейки та ребордою підкладки для всіх випробуваних скріплень з однаковими умовами експлуатації. Результати випробувань наведено на рис.7.

За результатами випробувань отримано такі емпіричні залежності:

- 1) зміна зазору Δ (мм) у часі при експлуатації без мастила

$$\Delta_1 = 2 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot t^{1,77}, \quad (8)$$

де 2 – конструктивний зазор, мм;

- 2) зміна зазору Δ (мм) у часі при експлуатації зі змащенням на початковому етапі

$$\Delta_2 = 2 + 0,01 \cdot t; \quad (9)$$

3) зміна зазору Δ (мм) у часі при експлуатації зі змащенням на заключному етапі («латентний період» закінчився)

$$\Delta_3 = 2 + 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot t^{1,67}. \quad (10)$$

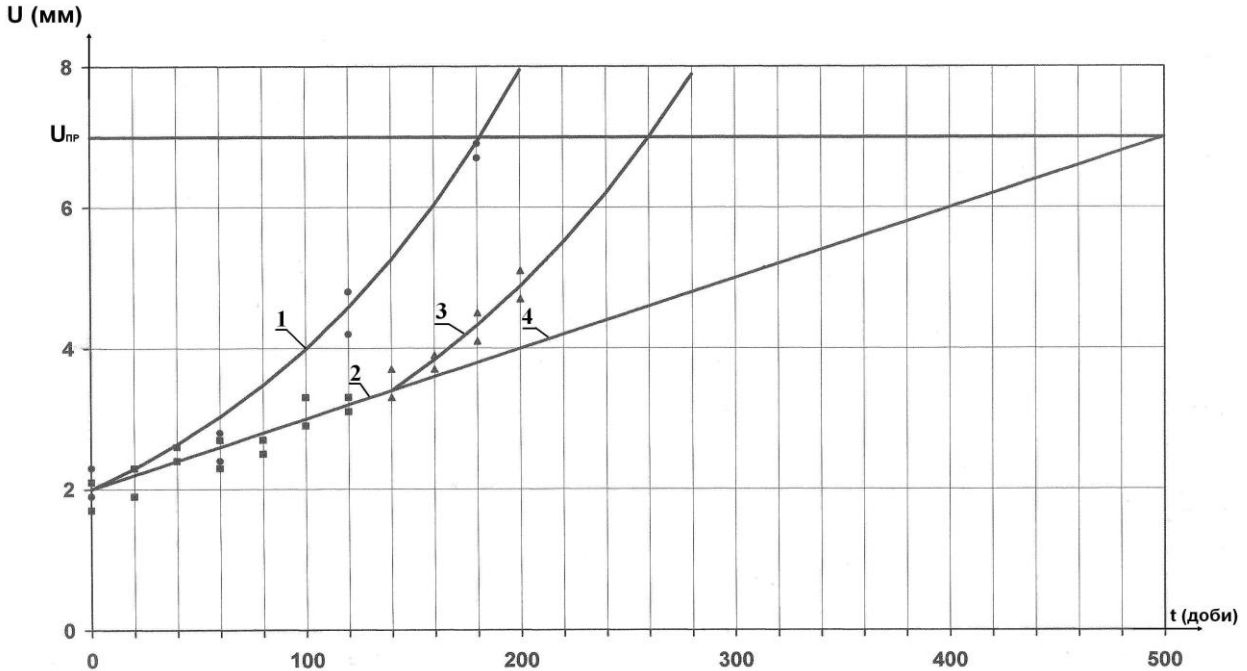


Рис. 7 Результати експлуатаційних випробувань: 1 – зміна зазору між кромкою підшви рейки та ребордою підкладки без мастила; 2 – зміна зазору між кромкою підшви рейки та ребордою підкладки з мастилом на першому етапі; 3 – зміна зазору між кромкою підшви рейки та ребордою підкладки з мастилом на другому етапі; 4 – зміна зазору між кромкою підшви рейки та ребордою підкладки при багаторазовому застосуванні мастила (екстраполяція).

Проведені випробування довели, що за відсутності змащувального матеріалу зношення реборд підкладок досягає свого граничного стану за умови безпечного руху поїздів у метрополітені приблизно через 180 діб, а при введенні мастила між поверхнями взаємодії одноразово – досягає 260 діб. Ці дані дозволяють стверджувати, що ресурс їх збільшується за рахунок одноразового введення мастила. При одноразовому введенні змащувального матеріалу по досягненні 140 діб відбувається прискорення процесу зношення реборди підкладки, що свідчить про закінчення «латентного періоду» застосованого матеріалу, і, як результат, для цього матеріалу встановлено величину його фретингостійкості та періодичність його введення в зону тертя скріплень типу «Метро». Отримані залежності (9) і (10) дозволили в остаточному вигляді записати теоретичні моделі (11) і (12) для визначення ресурсу скріплень:

- при одноразовому використанні змащувального матеріалу:

$$\begin{cases} U_n = 0,01 \cdot \Delta t_1 + 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta t_2^{1,67} \\ \Delta t_1 = \kappa_1 \cdot R_a \cdot e^{\left(\frac{-\kappa_2 \cdot A \cdot N \cdot f}{R_a}\right)} \\ T_p = \Delta t_1 + \Delta t_2 \end{cases}, \quad (11)$$

де Δt_1 – зміна зазору між кромкою підошви рейки та упорною ребордою на першому етапі (з мастилом);

Δt_2 – зміна зазору на другому етапі (після витрати мастила у сполученні «кромка підошви рейки – реборда підкладки»);

- при періодичному змащенні

$$T_p = \frac{U_n}{0,01 \cdot \Delta t_1} \cdot \kappa_1 \cdot R_a \cdot e^{\frac{-\kappa_2 \cdot A \cdot N \cdot f}{R_a}}. \quad (12)$$

Граничне зношення реборд підкладок без змащення, за умови безпечного руху поїздів у кривих, складає 5 мм за період до 180 діб, тоді як їх періодичне змащення підвищує ресурс до 500 діб, або в 2,8 рази.

У **п'ятому розділі** розроблено практичні рекомендації щодо впровадження періодичного введення пластичного змащувального матеріалу в сполучення «кромка підошви рейки – упорна реборда підкладки», що працюють на криволінійних ділянках колії метрополітену, а також наведено техніко-економічну оцінку ефективності впровадження результатів досліджень.

Техніко-економічний і соціальний ефекти від запропонованих у дисертації заходів досягається за рахунок: 1) суттєвого підвищення безпеки руху пасажирських поїздів завдяки зменшенню вірогідності раптового наднормативного уширення колії у кривих; 2) подовження терміну служби шпал завдяки збільшенню періоду між заміною підкладок, які пов'язані зі свердленням шпал; 3) економії матеріалів та трудових ресурсів при поточному утриманні колії.

ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

1. В підрейкових скріпленнях типу «Метро» у кривих ділянках колії метрополітену найбільше зношення відбувається в поверхневих шарах сполучення «кромка підошви рейки – реборда підкладки», причому підкладка зазнає більш інтенсивного руйнування через властивості матеріалу виготовлення (сталь Ст3). Зношення підкладок відбувається через процеси, властивості яких є близькими до фретинг-корозії, яка супроводжується явищами схоплення поверхонь, абразивного руйнування, втомлювальними та

втомлювально-корозійними процесами. Сукупна дія цих видів зношення обмежує ресурс підкладок до 180 діб, тому підвищення їх ресурсу є актуальною науковою задачею.

2. Серед існуючих методів підвищення ресурсу поверхонь, що руйнуються при фретинг-корозії, найбільш ефективним способом для подовження ресурсу підкладок типу «Метро» є введення в зону контакту поверхонь пластичних мастил. Такий метод, у порівнянні з іншими, має малу трудомісткість, а зношення поверхонь зменшується за рахунок створення на них змащувальної плівки, яка зменшує напруження в зоні контакту та суттєво уповільнює окислювальні процеси, переводить взаємодію поверхонь із сухого тертя до граничного змащення.

3. На основі розрахункової схеми силових впливів, що діють у системі «колесо – рейка – підкладка» на криволінійних ділянках колії метрополітену, встановлено величини діючих бічних та вертикальних навантажень на контактуючі поверхні сполучення «кромка підшви рейки – упорна реборда підкладки». Ці навантаження мають вібраційно-ударний характер і змінюються у діапазоні 0–17 кН для бічного та 0–39 кН для вертикального навантаження. За таких умов змащувальний матеріал повинен мати високу стійкість у часі до зовнішніх силових впливів.

4. При використанні мастил у сполученні «кромка підшви рейки – реборда підкладки» в момент дії максимальних навантажень пара тертя перебуває у режимі граничного змащення. Головною умовою для такого режиму є неперевикнення межі текучості граничного шару (мастильний шар не витікає із зазору сполучення). Якщо зазначити, що поверхнево-активні речовини, які знаходяться на поверхні тертя, формують мастильну плівку, то можна використовувати частину кривої класичного закону Гука, що дозволяє встановити максимально допустимі значення для діючих вертикальних та горизонтальних навантажень у сполученні. Якщо діючі навантаження не перевищують допустимих значень (до 10^3 МПа), то гранична змащувальна плівка приблизно рівномірно розподіляє поверхні контакту та зменшує їх зношення. Це триває протягом часу, за якого відбувається фізичне витиснення змащення за межі сполучення, після чого сполучення знову працює в режимі сухого тертя. Такий час оцінюється за критерієм фретингостійкості змащувального матеріалу.

5. На основі теоретичних досліджень розроблено моделі ресурсу сполучення «кромка підшви рейки – реборда підкладки» у криволінійних ділянках колії метрополітену як для варіанта одноразового використання пластичного мастила, так і для його використання із заданою періодичністю. Отримані моделі дозволяють прогнозувати ресурс сполучення при вказаних варіантах експлуатації, а також встановлювати потрібну періодичність введення змащувального матеріалу та кількість обслуговувань сполучення за життєвий цикл.

6. Стендовими дослідженнями скріплень типу «Метро» із використанням пульсаційної установки МУП-50 встановлено, що введення

змащувального матеріалу до зони контакту «кромка підошви рейки – реборда підкладки» зменшує зношення упорної реборди до 2 разів, у порівнянні із сухим тертям.

7. Експлуатаційними випробуваннями підкладок скріплень типу «Метро», що працюють у кривих ділянках колії Харківського метрополітену, встановлені закономірності зношення підрейкових підкладок для варіанта їх сухого тертя, одноразового та періодичного змащення, а також визначено фретингостійкість випробуваного пластичного мастила і, як результат, необхідну періодичність його введення. Отримані залежності підтвердили результати теоретичних досліджень щодо розвитку зношення сполучення в різних умовах експлуатації, а саме: при одноразовому введенні змащувального матеріалу середній ресурс підкладок збільшується в 1,6 разу, а при визначеному розрахунками багаторазовому введенні змащувального матеріалу – в 2,8 разу.

8. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблено практичні рекомендації з використання періодичного введення пластичних мастил до сполучення «кромка підошви рейки – реборда підкладки» у кривих ділянках колії метрополітену, а також виконано техніко-економічну оцінку ефективності впровадження результатів досліджень від використання розробленого методу. Економічний ефект тільки за прямими витратами і при одноразовому змащенні поверхні руйнування підкладки в Харківському метрополітені складає до 93 тис. грн. за рік на 1 км колії у криволінійних ділянках.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Овчинніков О.О. Підвищення строків служби підрейкових підкладок типу «Метро» / Венцель Є.С., Почепецький С.О., Овчинніков О.О. //Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 91. – С. 21-25.

2. Овчинніков О.О. Фізичні основи процесу зношування в сполученні «підошва рейки – реборда підкладки» при змащуванні / Лисіков Є.М., Шраменко В.П., Овчинніков О.О. [та ін.] //Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 103. – С. 206-210.

3 Овчинніков О.О. Теоретична модель механізму зношування підрейкових підкладок в кривих ділянках колії метрополітену / Шраменко В.П., Овчинніков О.О. //Зб. наук. праць УкрДАЗТ.– Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип.111. – С. 236-243.

4. Овчинніков О.О. Дослідження впливу змащення на інтенсивність зносу реборд підкладок в метрополітені / Овчинніков О.О. //Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 113. – С. 193-198.

5. Овчинніков О.О. Стендові випробування впливу змащення на інтенсивність зношення реборди підрейкової підкладки типу «Метро» /

Овчинников О.О., Шраменко В.П. //Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. – С. 167-172.

6. Овчинников О.О. Дослідження зношення підрейкових підкладок в метрополітені / Овчинников О.О., Шраменко В.П. // «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта»: тезисы докл. 70-й Международной научно-практической конференции (г. Днепропетровск, 15–16 апреля 2010 г.). – Д.: ДИИТ, 2010. – С. 164.

АНОТАЦІЯ

Овчинников Александр Александрович. Підвищення ресурсу підрейкових підкладок на криволінійних ділянках залізничної колії метрополітену шляхом застосування пластичного змащення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – Залізнична колія. – Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, 2012.

Дисертація присвячена розробці методу підвищення ресурсу підрейкових підкладок типу «Метро» за рахунок введення пластичного змащувального матеріалу до зони тертя в сполученні «кромка підшви рейки– реборда підкладки». В роботі розроблено фізичні основи впливу змащувальних матеріалів на процес зношення підкладок, а також встановлено моделі визначення ресурсу підкладок для варіантів їх експлуатації при сухому терті, при одноразовому і багаторазовому введенні змащувального матеріалу з рівною періодичністю.

Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено, що одноразове введення змащувального матеріалу приводить в середньому до збільшення ресурсу підкладок в 1,6 разу, а при багаторазовому введенні зі встановленою періодичністю, за критерієм фретингостійкості, ресурс збільшується до 2,8 разу.

Розроблено практичні рекомендації щодо використання методу періодичного введення змащувального матеріалу в зони тертя підрейкових підкладок типу «Метро» при їх експлуатації на кривих ділянках колії метрополітену.

Ключові слова: підрейкова підкладка, упорна реборда, зношення, змащувальний матеріал, фретингостійкість, ресурс.

АННОТАЦИЯ

Овчинников Александр Александрович. Повышение ресурса подрельсовых подкладок на криволинейных участках железнодорожного пути метрополитена путем применения пластичной смазки. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 – Железнодорожный путь. – Государственный экономико-технологический университет транспорта, Киев, 2012.

Диссертация посвящена разработке метода повышения ресурса подрельсовых подкладок типа «Метро» за счет введения пластичного смазочного материала в зону трения в сопряжении «кромка подошвы рельса – реборда подкладки».

Установлено, что на кривых участках пути метрополитена наиболее изнашиваемым элементом скрепления является упорная реборда подкладки, а основными причинами износа являются процессы, которые могут быть идентифицированы как фреттинг-коррозия, характеризующаяся следующей схемой: перемещение и деформация поверхностей под воздействием переменных касательных и ударных напряжений – коррозия (электрохимическая, электрокоррозия или под воздействием комплекса факторов) – разрушение окисных и загрязняющих пленок – раскрытие чистого металла и локальное схватывание поверхностей – адсорбция кислорода на оголенных от продуктов коррозии участках.

Анализ современных методов защиты поверхностей от фреттинг-коррозии или подобных видов разрушения сопряжений контакта технических систем «металл – металл» показывает, что наиболее эффективным для сопряжения «кромка подошвы рельса – упорная реборда подкладки» скреплений типа «Метро» является введение в зону контакта поверхностей пластичных масел.

В работе разработаны физические основы влияния смазочных материалов на процесс изнашивания подкладок, а также установлены модели определения ресурса подкладок для вариантов их эксплуатации при сухом трении, при единоразовом и многократном внесении смазочного материала с равной периодичностью.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что единоразовое внесение смазочного материала приводит в среднем к увеличению ресурса подкладок в 1,6 раза, а при многократном внесении с установленной периодичностью, по критерию фреттингостойкости, ресурс увеличивается до 2,8 раза.

Разработаны практические рекомендации по использованию метода периодического внесения смазочного материала в зоны трения подрельсовых подкладок типа «Метро» при их эксплуатации в кривых участках пути метрополитена

Ключевые слова: подрельсовая подкладка, упорная реборда, износ, смазочный материал, фреттингостойкость, ресурс.

THE SUMMARY

Ovchinnicov Oleksandr Oleksandrovych. Resource increase of underrail bearing plates, in curved underground railway track sections, by means of consistent lubricants. - Manuscript.

The dissertation, for scientific degree of Candidate of technical sciences, in the specialty 05.22.06 – Railway track - State Economy and Technology University

of Transport, Kiev, 2012.

The dissertation is devoted to the development of methods of the “Metro” type rail bearing plate resource increase at the expense of the consistent lubricants insertion into the friction zone of coupling “foot rail edge – plate flange. Physical principles of the influence of lubricants on the process of the plate wear have been worked out in the dissertation, also models of the plate resource for the variants of their operation under dry friction, one-time and repeated lubricant insertion, with equal frequency have been established.

It was established theoretically and experimentally established, that the one-time lubricant insertion leads to resource increase of the plates under study by 1,6 times, and when inserted repeatedly, with equal frequency, according to the parameter of fretting resistance, the resource increases by up to 2,8 times.

Practical recommendations, as to the use of method of repeated insertion of the consistent lubricants into the friction zones of underrail bearing plates of the “Metro” type.

Key words: underrail bearing plate, thrust flange, wear, lubricant, fretting resistance, resource.

Овчинніков Олександр Олександрович

УДК 625.42:625.143

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ПІДРЕЙКОВИХ ПІДКЛАДОК
НА КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНКАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ
ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАСТИЧНОГО ЗМАЩЕННЯ**

Спеціальність 05.22.06 – Залізнична колія

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 08.08.12. Формат 60x84/16.
Папір 80 г/м². Друк ризограф. Ум.друк. арк. 1,0
Тираж 100 прим. Вид. № 124/12. Зам.№ 583

Відділення редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94