

УДК 625.151

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ДЛЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КИЇВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ

Кандидати техн. наук В. Д. Бойко, В. М. Молчанов, старш. викл. Т. Д. Артюхович

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КИЕВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Кандидаты техн. наук В. Д. Бойко, В. Н. Молчанов, старш. преп. Т. Д. Артюхович

SWITCH'S WEAR-RESISTANCE INVESTIGATION FOR OPERATING CONDITIONS OF KIEV UNDERGROUND RAILWAY

Ph.d. tehn. V. D. Boiko, V. M. Molchanov, engineer, pg. T. D. Artiukhovych

Представлено результати досліджень зносу основних металевих елементів стрілки і хрестовини стрілочних переводів для умов експлуатації в головних коліях Київського метрополітену. Дослідження дозволили встановити основні закономірності формування зносу стрілочних переводів для різного конструктивного оформлення та різних умов експлуатації, що надає можливість прогнозувати знос і обґрунтовано встановити нормативні строки служби основних елементів переводів метрополітену.

Ключові слова: стрілочні переводи, стрілка, гостряк, хрестовина, знос, умови експлуатації, строки служби.

Представлены результаты исследования износа основных металлических элементов стрелки и крестовины стрелочных переводов для условий эксплуатации в главных путях Киевского метрополитена. Исследования позволили установить основные закономерности формирования износа стрелочных переводов для разного конструктивного оформления и разных условий эксплуатации, что дает возможность прогнозировать износ и установить нормативные сроки службы основных элементов переводов метрополитена.

Ключевые слова: стрелочные перевodos, стрелка, остряк, крестовина, износ, условия эксплуатации, сроки службы.

Maintenance of track and switches of differs significantly from main-line railway. This is caused by other operating conditions of rail track and switches. In underground railway used special project switches, also there is difference at the construction of rolling-stock chassis, slab track in tunnel, more frequently dynamic load on track. This difference significantly impacts on power dynamics of way's interaction (switches) with rolling-stock, and accordingly structural will be has other characteristics of abrasive resistance. Researches of abrasive resistance of railway constructions for underground railway operating conditions are almost absent. At the same time are not correctly used this results of researches for main-line railway.

That is why, the presented results of wear's researches main metal details switch's point and cross for operating conditions on the Kiev underground main-line railway is actual. Research should make it possible to achieve main regularities of configuring switches' wear for different switch's design patterns and different operating conditions, making it possible to highly predictive of depreciable life, and consequently makes it possible to more effectively allows using of financial and material resources.

Key words: switch, switch tongue, frogs, wear, working conditions, operating life.

Вступ. Стрілочні переводи, на відміну від звичайної колії, мають складнішу конструкцію і працюють у важчих умовах експлуатації, що призводить до підвищеної зношуваності їхніх окремих елементів. Зокрема для магістральних залізниць проблема зносу гостряків, рамних рейок і хрестовин досліджується досить широко як у вітчизняних, так і закордонних наукових колах, однак для метрополітенів подібні дослідження фактично відсутні. Метою даного дослідження безпосередньо і є прогнозування зносостійкості найбільш зношуваних елементів стрілочних переводів для можливості раціонального й ефективного ведення стрілочного господарства метрополітенів, особливо з урахуванням обмеженого фінансування колійної інфраструктури.

Аналіз попередніх досліджень. Найбільш широко робота стрілочних переводів у різних експлуатаційних умовах досліджувалася в Санкт-Петербурзькому університеті шляхів сполучення (раніше ЛПЗТ) науковою школою під керівництвом професорів С. В. Амеліна та В. Ф. Яковлева [1]; також значний внесок у створення концепції ведення стрілочного господарства зроблено ученими ВНДІЗТ. На сьогодні в Росії дослідженням стрілочних переводів займається Стрілочна лабораторія ВНДІЗТ під керівництвом професора Б. Е. Глюзберга [2], а в Україні визнаним фахівцем з даної проблематики є професор Е. І. Даніленко [3, 4]. За кордоном при вивченні процесів зносу елементів стрілочних переводів найчастіше застосовують методи математичного моделювання, зокрема метод скінченних елементів [5, 6]. Отримані в наведених джерелах результати і підходи можна прийняти за основу для дослідження зносостійкості стрілочних переводів в умовах метрополітенів.

Мета і задачі досліджень. Визначити зносостійкість поверхні кочення основних металевих елементів стрілочних переводів для умов експлуатації метрополітену. Встановити функціональні залежності

зносу від комплексу експлуатаційних факторів, що дозволить у подальшому прогнозувати знос основних елементів стрілочних переводів залежно від пропущеного тоннажу з урахуванням умов експлуатації, що у свою чергу дозволить обґрунтовано та якісно планувати роботи поточного утримання і заміну непридатних елементів переводів, а отже, давати можливість раціонально використовувати матеріальні і фінансові ресурси.

Актуальність. Конструкції залізничної колії і стрілочних переводів метрополітену мають відмінності порівняно з магістральними залізницями. Крім того, відрізняються умови експлуатації залізничної колії і стрілочних переводів, використовуються стрілочні переводи спеціальних проектів, а також є відмінність у конструкції ходових частин рухомого складу. Ці відмінності суттєво впливають на силову динаміку взаємодії колії (стрілочних переводів) з рухомих складом, а отже, елементи конструкції колії будуть мати інші характеристики зносостійкості. Дослідження зносостійкості конструкцій залізничної колії для умов експлуатації метрополітенів практично відсутні. У той самий час використовувати результати подібних досліджень, що проводились для магістральних залізниць, некоректно.

Основний матеріал. Вертикальний знос поверхні кочення несучих металевих елементів стрілочних переводів є одним з двох головних критеріїв, що визначають термін працездатності конструкції (другий критерій – дефектність) [1, 3, 4]. У відсотковому співвідношенні вихід металевих елементів стрілочних переводів з тих чи інших причин на різних лініях і категоріях колій може бути різним і визначатись насамперед різницею в експлуатаційних умовах, у яких працюють дані конструкції, що підтверджено дослідженнями провідних вчених [1–5]. При цьому дефекти в масовому порядку починають розвиватися лише після зносу поверхні кочення на 4–6 мм, тобто фактично після реалізації

нормованої величини зносу. Практично проблема ураження дефектами стрілок і хрестовин більше пов'язана з якістю металу і особливостями конструкції та меншою мірою – з особливостями експлуатації.

Процеси і закономірності формування вертикального зносу поверхні кочення хрестовин достатньо добре вивчені та неодноразово викладені в наукових працях [1–4]. Зокрема встановлено, що для жорстких хрестовин, виготовлених з високоманганової сталі, втрата висоти елемента в процесі експлуатації, яка визначається як сумарний вертикальний знос, відбувається в результаті реалізації декількох одночасних процесів: за рахунок зминання металу – у результаті дії великих контактних тисків і за рахунок стирання металу – внаслідок фрикційної взаємодії між колесами та поверхнею кочення, а також за рахунок осідання конструкції в період припрацювання.

Існує декілька підходів до прогнозування зносостійкості стрілочних переводів, але найповніше процеси формування зносу залежно від умов експлуатації (крім пропущеного тоннажу) викладено в роботах [1, 3, 4], де за основу прийнята аналітична залежність

$$h = a\sqrt{T} + b \cdot T. \quad (1)$$

У виразі (1) позначено:

T – тоннаж, пропущений по конструкції хрестовини;

a і b – числові коефіцієнти, які мають конкретні значення для кожної конструкції, місця розміщення перерізу на хрестовині та експлуатаційних факторів [3, 4].

Перевага того чи іншого фізичного процесу визначає інтенсивність накопичення зносу поверхні кочення елементів стрілочних переводів за конкретний період експлуатації та відображується певними значеннями коефіцієнтів “ a ” і “ b ” формули (1).

Так, у початковий період експлуатації накопичення зносу відбувається внаслідок

інтенсивного зминання металу за рахунок пластичних деформацій. Цей період роботи переважно характеризується коефіцієнтом “ a ”. На наступному етапі інтенсивність нарощення зносу зменшується, а переважає стирання та винос частинок металу з поверхні кочення за рахунок фрикційних сил, які реалізуються при перекочуванні коліс по поверхні хрестовини. У цей період найбільше навантаження бере на себе коефіцієнт “ b ”. При цьому необхідно враховувати, що процес стирання і виносу частинок металу присутній на всіх стадіях роботи конструкції, і цей процес фізично пов'язаний зі зминанням металу, який також присутній на заключному етапі, але значно менше впливає на формування сумарної величини зносу. Обидва ці процеси взаємопов'язані до появи так званого «перенаклепу», який супроводжується дефектами контактнотомленого викришування металу на поверхні кочення.

За наведеною методикою проведено комплекс досліджень [1, 3, 4, 7] зносостійкості стрілочних переводів різних типів і марок на дерев'яних і залізобетонних брусах і для різних умов експлуатації магістральних залізниць. Ці дослідження дозволили прогнозувати зносостійкість металевих елементів стрілочних переводів, на основі чого були встановлені нормативні строки служби стрілочних переводів для різних умов експлуатації залізниць [7, 8].

На сьогодні фінансування колійної інфраструктури метрополітенів недостатнє, а пошук додаткових ресурсів для подовження строків експлуатації конструкцій потребує відповідних експериментальних і теоретичних досліджень. Одним зі шляхів обґрунтованого прогнозування зносостійкості є встановлення впливу експлуатаційних умов на формування зносу поверхні кочення металевих елементів стрілки й хрестовини.

Для встановлення зносостійкості основних металевих елементів стрілочних переводів були проведені комплексні

експлуатаційні дослідження зносостійкості стрілочних переводів головних колій Київського метрополітену залежно від умов експлуатації.

У дослідженні були задіяні стрілочні переводи, які експлуатуються в підземних і наземних ділянках на головних коліях Святошинсько-Броварської, Куренівсько-Червоноармійської та Сирецько-Печерської ліній. Дослідження зносостійкості проводились на 37 стрілочних переводах (62 % загальної кількості), у тому числі на 22 (52 %) стрілочних переводах типу Р50 марки 1/9 і 15 (83 %) переводах типу Р65 марки 1/9.

Досліджувані конструкції відрізнялися характеристиками пропущеного при експлуатації тоннажу, а також мали різні умови експлуатації (переважний напрямок руху поїздів – пошерсний (ПШ) або протишерсний (ПРШ), різні швидкості руху та ін.). Вихідні експлуатаційні дані були надані Службою колії, тунельних споруд і будівель Київського метрополітену.

На стрілочних переводах встановлена швидкість руху V по прямому напрямку складала $V_{max} = 80$ км/год, по боковому напрямку – до $V_{max} = 40$ км/год.

Вантажонапруженість G , млн т бруто/р., ділянок метрополітену складала: на Святошинсько-Броварській лінії – 25,23 млн т/р.; на Куренівсько-Червоноармійській лінії – 21 млн т/р.; на Сирецько-Печерській лінії – 17,1 млн т/р.

Пропущений тоннаж T з моменту вкладання до часу натурних досліджень по хрестовинах типу Р50 становив від 13,1 до 133,4 млн т, а по хрестовинах типу Р65 – від 24,6 до 106,2 млн т. Для елементів стрілки типу Р50 пропущений тоннаж становив від 31,3 до 367,4 млн т, а типу Р65 – від 224,7 до 397,7 млн т.

Розподіл стрілочних переводів за переважним напрямком руху був таким: з переважним ПШ напрямком руху для типу Р50 і Р65 – 13 і 10 відповідно, а з переважним ПРШ напрямком руху – 9 і 5 відповідно.

Для дослідження зносу елементів стрілочних переводів використана стандартна методика, що регламентована нормативними документами метрополітену та ПАТ «Укрзалізниця» [8–13]. При вимірюванні вертикального зносу вусовиків осердя хрестовин за початковий (розрахунковий) приймався рівень кочення колеса відповідно до робіт [8–11, 14], який знаходиться на незношуваних поверхнях вусовиків за лінією врізання.

Вимірювання вертикального зносу вусовиків і осердь виконувався в таких перерізах: для вусовиків – горло хрестовини (Г), математичний центр хрестовини (МЦХ), перерізи 12, 20 і 30 мм осердя; для осердя – у перерізах 12, 20, 30, 40 і 50 мм. Схема розмітки основних перерізів і відстані до місця вимірювання зносу на елементах хрестовини хрестовин стрілочних переводів типу Р65 і Р50 марки 1/9 прийняті відповідно до робіт [9, 12–14]. Вертикальний знос вусовиків і осердя хрестовини визначається як різниця між проектним (з урахуванням реального значення підвищення вусовика по лінії врізки у відповідних перерізах осердя) і фактичним вимірним підвищенням у відповідних перерізах.

Під час досліджень зносостійкості стрілки стрілочних переводів типу Р65 і Р50 марки 1/9 проводились вимірювання вертикального та бокового зносу окремо для прямого та бокового гостряків і рамних рейок за методикою [8–11]. Знос гостряків (прямолінійний і криволінійний) вимірювався в контрольних перерізах 5, 20, 50 і 65 мм, а знос рамних рейок вимірювався біля вістря гостряка за межами бокового стругання головки рейки (обидві рамні рейки). Основні розміри, схема розмітки перерізів гостряків ОР65 та ОР50 з характеристиками поздовжнього та поперечних профілів у контрольних перерізах прийнято відповідно до типових проектів [9, 13, 14]. Величини вертикального і бокового зносу гостряків і рамних рейок встановлювались за правилами, визначеними нормативними

документами [9–11]. При дослідженні також фіксувались дефекти на металевих елементах стрілочних переводів.

Результати натурних вимірювань вертикального зносу на вусовиках і осердях хрестовин дозволили провести апроксимацію та встановити аналітичні залежності у вигляді функції (1). Графічна інтерпретація результатів досліджень вертикального зносу на хрестовинах

стрілочних переводів типу Р50 і Р65 марки 1/9 для різних умов експлуатації (переважний ПШ і ПРШ рух поїздів) представлені на рис. 1 для вусовиків, а на рис. 2 – для осердь, де точково умовними позначеннями вказано розсіювання досліджуваних величин зносу у функції від пропущеного тоннажу для найбільш зношуваних перерізів.

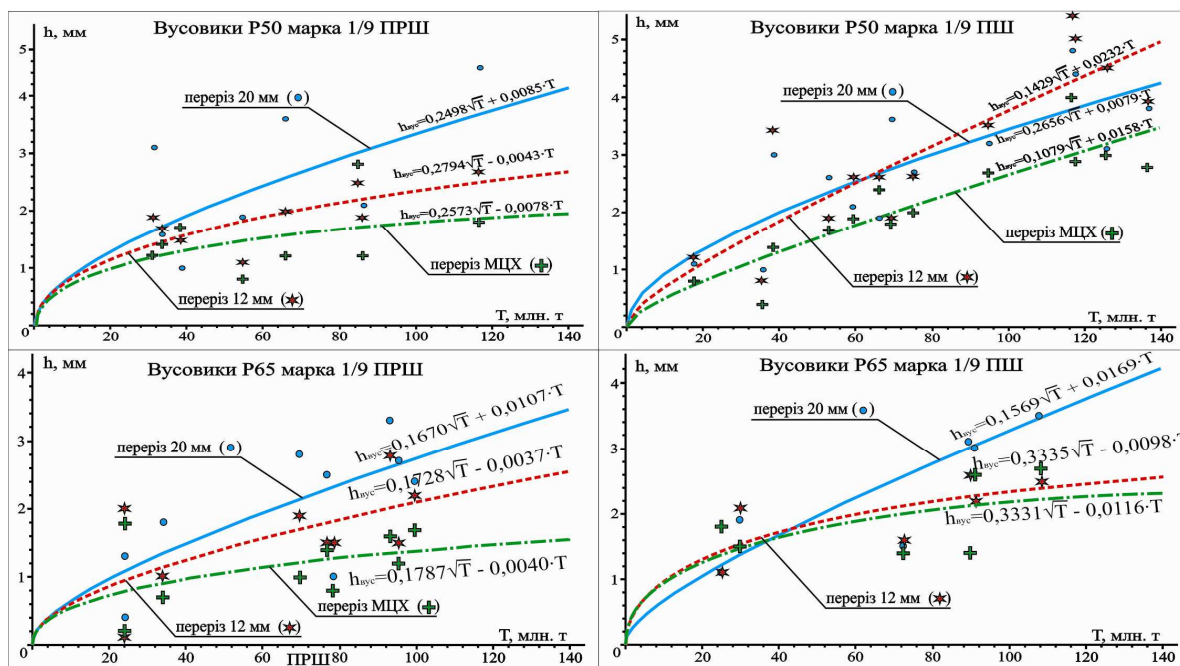


Рис. 1. Результати дослідження зносу вусовиків для хрестовин типів Р50 і Р65 марки 1/9 для головних колій Київського метрополітену

Аналіз зносостійкості елементів хрестовин проводився з урахуванням основних закономірностей формування зносу, які детально описані в роботах [1-5, 7, 8]. Отримані результати натурного зносу хрестовин розглядались окремо для хрестовин типу Р65 і Р50; різних перерізів вусовиків і осердь, переважних ПШ та ПРШ напрямків руху поїздів; різного діапазону значень пропущеного тоннажу.

Отримані аналітичні залежності $h = f(T)$ дають можливість прогнозувати формування зносу в зоні перекочування на вусовиках хрестовин від горла до перерізу

30 мм осердя та на осерді від перерізу 12 мм до перерізу 50 мм.

Враховуючи те, що нормативи зносу хрестовин встановлюються [9–11] по зносу осердя в перерізі 40 мм або зносу на вусовиках у перерізі навпроти 20 мм осердя, для проведення подальшого сумісного аналізу на рис. 3,а наведено залежності $h = f(T)$ для переводів типу Р50 марки 1/9 при переважних ПШ і ПРШ напрямках руху для вусовиків у перерізі 20 мм осердя та осердя в перерізі 40 мм, а на рис. 3,б наведено аналогічні залежності для хрестовин типу Р65 марки 1/9.

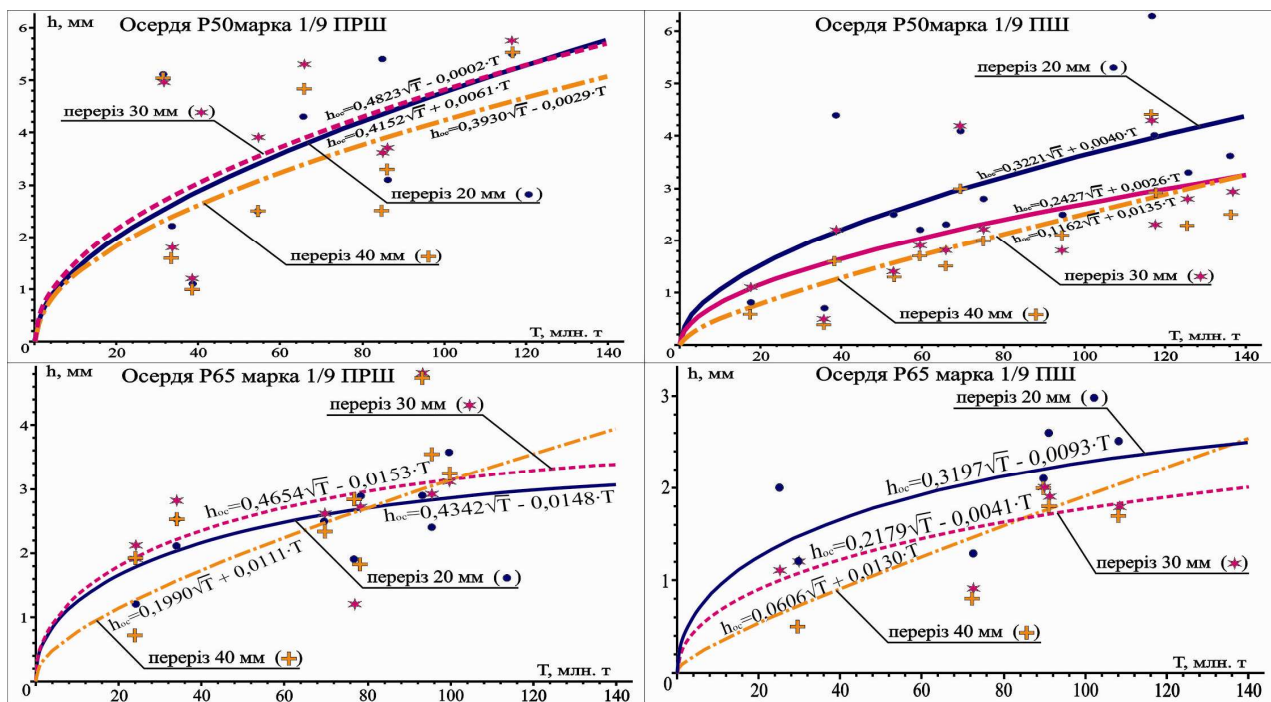


Рис. 2. Результати дослідження зносу осердь для хрестовин типів P50 і P65 марки 1/9 для головних колій Київського метрополітену

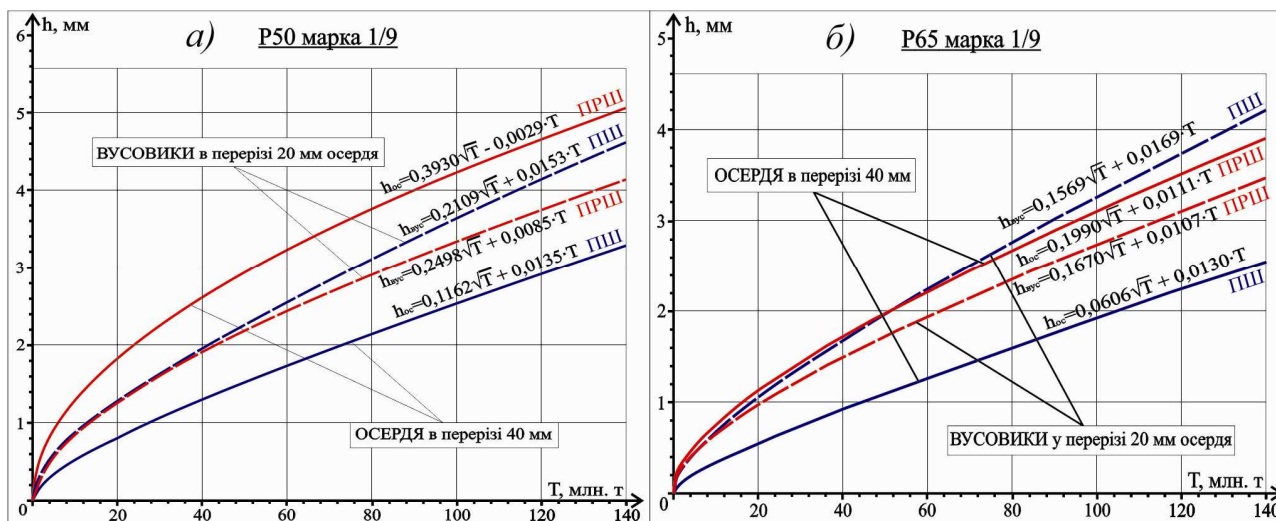


Рис. 3. Підсумкові залежності зносу від пропущеного тоннажу для осердь і вусовиків хрестовин типів P50 і P65 марки 1/9 у нормованих перерізах

Дослідження зносостійкості гостряків і рамних рейок стрілочних переводів проводилося на тих самих стрілочних переводах, що і для хрестовин.

Оцінки та аналіз результатів вимірювання зносостійкості гостряків і

рамних рейок виконувалися окремо для стрілочних переводів типу P65 і P50, окремо для переважних ПШ і ПРШ напрямків руху поїздів, а також окремо для прямого і бокового напрямів.

Обробка фактичних значень зносу гостряків при різних величинах пропущеного тоннажу в різних перерізах та апроксимація отриманих натурних значень зносу при відповідній вантажонапруженості дозволила встановити аналітичні залежності зносу елементів $h = f(T)$ у характерних перерізах.

Для оцінки можливого напрацювання тоннажу були встановлені значення інтенсивності формування вертикального і бокового зносу для рамної рейки та різних перерізів прямих і криволінійних гостряків. Інтенсивність, мм/1 млн т брутто, вертикального зносу елементів стрілки були отримані такі:

- *пошєрсні переводи типу P50*: для рамних рейок – 0,0009-0,0224; для прямих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0003-0,0147; для прямих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0004-0,0032; для кривих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0007-0,0037; для кривих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0014;

- *протишєрсні переводи типу P50*: для рамних рейок – 0,0005-0,0115; для прямих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0011-0,0065; для прямих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0016; для кривих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0003-0,0033; для кривих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0008;

- *пошєрсні переводи типу P65*: для рамних рейок – 0,0013-0,0076; для прямих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0009-0,0037; для прямих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0004-0,0021; для кривих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0003-0,00317; для кривих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0007;

- *протишєрсні переводи типу P65*: для рамних рейок – 0,0003-0,0062; для прямих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0013-0,0023; для прямих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0008; для кривих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,001-0,0023; для кривих

гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0008.

Висновки. Аналіз зносостійкості елементів хрестовин стрілочних переводів типу P65 і P50 марки 1/9 на дерев'яних брусах типової конструкції, що експлуатуються в головних коліях київського метрополітену, дозволив встановити таке:

1. Найбільш інтенсивне накопичення зносу поверхні кочення відбувається на початковій стадії експлуатації хрестовин у період пропускання перших 20-30 млн т брутто.

2. Осердя хрестовин найбільш інтенсивно зношуються в перерізі 20 мм.

3. Вусовики хрестовин найбільш інтенсивно зношуються в зоні напроти перерізів сердечника 20 мм і 12 мм і меншою мірою – у зоні математичного центра хрестовини.

4. Знос вусовиків у найбільш зношуваній зоні (від математичного центра хрестовини та перерізом 20 мм осердя) при ПШ русі відбувається більш інтенсивно порівняно зі зносом осердь. Така закономірність може змінюватись при ПРШ напрямку руху, коли починає викришуватися осердя.

5. Найбільший прогнозований вертикальний знос вусовиків у перерізі 20 мм осердя при пропусканні близько 140 млн т брутто може досягати для переводів типу P50 – 4,6 мм при ПШ і 4,1 мм при ПРШ русі поїздів; для переводів типу P65 – 4,2 і 3,5 мм відповідно.

Найбільший прогнозований вертикальний знос осердь у перерізі 40 мм при пропусканні близько 140 млн т брутто може досягати для переводів типу P50 – 3,2 мм при ПШ і 5,0 мм при ПРШ русі поїздів; для переводів типу P65 – 2,5 і 3,5 мм відповідно.

6. Порівняльний аналіз зносостійкості рейкових елементів стрілочних переводів типу P50 і P65, що експлуатуються в головних коліях Київського метрополітену, показав, що за інтенсивністю зносу гостря-

ків і рамних рейок стрілочні переводи обох типів працюють практично рівноцінно.

7. Отримані фактичні значення зносостійкості основних елементів стрілочних

переводів є основою для прогнозування нормативних строків їх служби залежно від пропущеного тоннажу та експлуатаційних умов.

Список використаних джерел

1. Совершенствование ведения стрелочного хозяйства [Текст] / под ред. С.В. Амелина. – М.: Транспорт, 1983. – 240 с.
2. Руководство по ведению стрелочного хозяйства [Текст] / ОАО «РЖД»; Департамент пути и сооружений; ОАО «ВНИИЖТ». – М., 2009. – 240 с.
3. Даниленко, Э. И. Прогнозирование износа элементов рельсовых нитей с учетом эксплуатационных факторов [Текст] / Э. И. Даниленко // Сб. науч. трудов ПИИЖТ. – С.Пб., 1992. – С. 80-85.
4. Стрелочные переводы железных дорог Украины (Технология производства, эксплуатация в пути, расчеты и проектирование) [Текст] / [Э.И. Даниленко, С.Д. Тараненко, А.П.Кутах]; под ред. д.т.н. профессора Э.И. Даниленко. – К., 2001. – 296 с.
5. Jingmang Xu, Ping Wang, Li Wang, Rong Chen. Effects of profile wear on wheel-rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout. *Advances in Mechanical Engineering*. 2016, Vol. 8(1) 1–14.
6. M. Wiest, W. Daves, F.D. Fischer, H. Ossberger. Deformation and damage of a crossing nose due to wheel passages. *Original Research Article. Wear, Volume 265, Issues 9–10, 30 October 2008.* – P. 1431-1438.
7. Експлуатаційні випробування стрілочних переводів на залізобетонних брусах марки Р65 1/11 та 1/9 українського та російського виробництва [Текст]: звіт про НДР (заключний) / Київ. ун-т економ. і технолог. трансп. – №372/02-1027.02-Цтех. – К., 2003. – 150 с.
8. Даніленко, Е. І. Положення про нормативні строки служби стрілочних переводів у різних експлуатаційних умовах [Текст] / Е.І. Даніленко, М.І. Карпов, В.Д. Бойко. – К.: Транспорт України, 2003. – 30 с.
9. Даніленко, Е. І. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст] / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган [та ін.]. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 495 с.
10. Інструкція по текущему содержанию пути и контактного рельса метрополитенов [Текст]: Ц Метро/4013. – М.: Транспорт, 1984. – 152 с.
11. Технічні вказівки на експлуатацію рейок та елементів стрілочних переводів Київського метрополітену [Текст]: затв. 29.12.2001 р. наказом начальника КП “Київський метрополітен” № 289-Н.
12. ГОСТ 28370-89 Крестовины сборные марок 1/11 и 1/9. Основные размеры [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 9 с.
13. ДСТУ 4814:2007 Рейки вістрякові типів ОР50 і ОР65. Загальні технічні умови [Текст]: чинний з 2007-07-30. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 19 с.
14. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів [Текст] / Е.І. Даніленко, А.М. Орловський, А.П. Татуревич [та ін.]. – Дніпропетровськ: Арт-Пресс, 2000. – 81 с.

Бойко Володимир Дмитрович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.

Молчанов Віталій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.

Артюхович Тетяна Дмитрівна, старший викладач кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.

Boiko Volodymyr Dmytrovych, PhD in Engineering sciences, docent of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Molchanov Vitalii Mykolaiovych, PhD in Engineering sciences, docent of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Artiukhovych Tetiana Dmytrivna, senior lecturer of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Стаття прийнята 06.04.2017 р.