

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**



СОРОКА ОЛЬГА ОЛЕКСІВНА

УДК 625.151:625.4:629.067

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА СТРОКІВ СЛУЖБИ
СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РІЗНИХ
ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ: МАГІСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ТА
МЕТРОПОЛІТЕНІВ**

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі залізничної колії та колійного господарства Державного університету інфраструктури та технологій (м. Київ) Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України

Даніленко Едуард Іванович,

Державний університет інфраструктури та технологій,
професор кафедри залізничної колії та колійного господарства,
м. Київ, Україна

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Мацюк Вячеслав Іванович,

Національний університет біоресурсів та природокористування України,
професор кафедри транспортних технологій та засобів у АПК,
м. Київ, Україна

кандидат технічних наук, доцент

Потапов Дмитро Олександрович,

Український державний університет залізничного транспорту,
доцент кафедри залізничної колії і транспортних споруд,
м. Харків, Україна

Захист відбудеться «29» травня 2024 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.820.01 в Державному університеті інфраструктури та технологій за адресою: 03049, м. Київ, вул. І. Огієнка, 19, ауд. № 305-а.

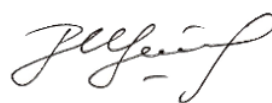
З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного університету інфраструктури та технологій за адресою: 03049, м. Київ, вул. І. Огієнка, 19.

Автореферат розісланий «___» квітня 2024 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 26.820.01,

к. т. н., доц.



Розалія ЩЕРБИНА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стрілочні переводи є особливими і найбільш складними конструкціями залізничної колії, які призначені для розгалуження або перехрещення колій, що є необхідним для нормального функціонування перевізної роботи поїздів. При тому, стрілочні переводи як необхідні конструкції рейкової колії застосовуються в різних транспортних системах залізничного транспорту (магістральний залізничний транспорт, промисловий залізничний транспорт, метрополітени). В своїй конструктивній основі стрілочні переводи об'єднують два основних конструктивних елемента, що мають різне функціональне призначення: стрілку, яка призначена для з'єднання колій та хрестовину, яка призначена для пересічення колій. Ці різні конструктивні елементи, в зв'язку з різною конструкцією і різними особливостями взаємодії з колесами рухомого складу, мають різні особливості накопичення дефектів та зносу на поверхні кочення, і тому мають різні строки служби при їх експлуатації під поїздами. При тому строки служби стрілочних переводів в колії значно (в рази) менші ніж строки служби звичайної конструкції колії.

Наукові методи визначення строків служби стрілочних переводів засновані на теоретичних, експериментальних дослідженнях, а також на досвіді їх експлуатації в колії.

Протягом більш ніж 70 останніх років науковці різних держав, в тому числі в колишньому СРСР і в Україні, наполегливо займалися важливими питаннями визначення та прогнозування зносостійкості та дефектостійкості стрілочних переводів при різних умовах експлуатації. В більшості випадків вказані дослідження відносились до експериментальних робіт та експлуатаційних спостережень, досліджень теоретичного характеру виконано вкрай мало. В тому числі зовсім мало досліджень виконано в напрямку порівняння зносостійкості та дефектостійкості стрілочних переводів при їх експлуатації в умовах таких різних транспортних систем, якими є магістральний залізничний транспорт і метрополітени.

Таким чином актуальність даної дисертаційної роботи полягає в тому, що в дослідженні вирішено наукове питання прогнозування зносостійкості та нормативних і гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації магістрального транспорту та метрополітенів; при тому для вирішення поставленої задачі застосована нова методика для визначення нормативних та гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів. Спільно з комплексним методом досліджень, що включає експериментальні випробування, експлуатаційні спостереження за роботою конструкцій в колії та математично-статистичний аналіз результатів експлуатації стрілочних переводів в умовах різних транспортних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт (НДР) за замовленням Укрзалізниці та КП «Київський метрополітен», в яких автор брала безпосередню участь.

Для галузі Укрзалізниці: «Науково-технічне обґрунтування впровадження нової рейко-шпальної решітки на залізобетонних шпалах 1680 шп/км замість 1840 шп/км і рейок UIC60 замість R65», договір №31/07-ЦТех-346/07-ЦЮ від 30.03.2007 р.;

«Технічні вказівки по гарантійним строкам служби стрілочних переводів та їх елементів (для стрілочних переводів симетричних марок 1/6, 1/9, 1/11; стрілочних переводів звичайних з хрестовиною з рухомим осердям марок 1/18, 1/11)», договір №13/07-ЦТех – 377/07-ЦЮ від 03.04.2007 р.; «Дослідження впливу динамічних колісних навантажень на стійкість, міцність і строки служби елементів верхньої будови колії у різних експлуатаційних умовах та розробка рекомендацій», договір №12/07 - ЦТех - 376/07 - ЦЮ від 03.04.2007 р.; «Оптимізація параметрів утримання колії та стрілочних переводів для організації швидкісного руху поїздів», договір №11/08-ЦТех-0262/08-ЦЮ від 16.04.2008 р.; «Дослідження утворення нерівностей і розробка методів діагностики силової взаємодії рухомого складу і колії на стрілочних переводах», договір №9/09-ЦТех-009/09-ЦЮ від 05.01.2009 р.; «Дослідження можливостей розширення сфер застосування проміжного пружного рейкового скріплення типу КПП-5 на ділянках колії з вантажонапруженістю до 60 млн. т км бруто/км на рік», договір №148-ГД від 08.12.2016 р.; «СТП. Залізнична колія. Улаштування й утримання», договір №4/34-19 від 10.10.2019 р.; СТП 06041:2021 Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних умовах експлуатації.

Для галузі КП «Київський метрополітен»: «Встановлення умов експлуатації рейок і стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену» договір №55-П-13 від 01.10.2013 р.; Технічні умови на експлуатацію стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену (наказ КП «Київський метрополітен» №169-Н від 29.04.2015 р.).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є дослідження і прогнозування зносостійкості та строків служби в колії стрілок і хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації магістрального транспорту та метрополітенів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих досліджень з оцінки роботоспроможності стрілок і хрестовин, як основних конструктивних елементів стрілочних переводів та методів прогнозування зносостійкості та дефектостійкості поверхні кочення цих елементів протягом нормативних та гарантійних строків служби в колії при різних умовах експлуатації;

- провести експериментальні дослідження зі зносостійкості основних конструктивних елементів стрілочних переводів для умов експлуатації Київського метрополітену;

- зібрати об'єктивні дані про роботу хрестовин в різних експлуатаційних умовах магістрального транспорту та проаналізувати ці дані за допомогою методів математичної статистики з метою визначення ймовірності безвідмовної роботи стрілочних переводів в межах прогнозованого нормативного строку їх експлуатації;

- проаналізувати роботоспроможність стрілок і хрестовин стрілочних переводів та за допомогою обробки статистичних даних розробити методіку для прогнозування нормативних строків служби за результатом їх роботи в колії в різних умовах експлуатації;

- розробити і запропонувати методіку визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії залізничної колії з рухомим складом в межах стрілочних переводів, що характеризується формуванням зносу та накопиченням дефектів на поверхні кочення стрілок і хрестовин стрілочних переводів.

Предмет дослідження – стрілочні переводи на залізничних коліях різних транспортних систем: магістрального транспорту і метрополітенів; вивчення процесів формування зносу поверхні кочення і накопичення дефектів на хрестовинах і стрілках стрілочних переводів та теоретичні методи визначення їх нормативних і гарантійних строків служби для різних умов експлуатації.

Методи досліджень. В дисертаційній роботі застосовано комплексний метод досліджень, який включає як теоретичну, так і експериментальну частини. Для встановлення нормативних строків служби стрілочних переводів використовувався комплексний підхід, який включає: експериментальну частину в формі безпосередніх авторських досліджень з формування зносу на стрілках і хрестовинах на коліях метрополітену та збір і систематизація даних експлуатаційних спостережень за роботою стрілочних переводів в коліях магістрального транспорту Укрзалізниці, і також включає теоретичну частину в формі обробки даних експлуатаційних спостережень за роботою стрілочних переводів методами математичної статистики, вирішенні багатоваріантних графоаналітичних задач з визначення нормативних та гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації. Для аналітичних і графоаналітичних розрахунків використовувались методи рішення задач на основі програмного продукту MAPLE.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційному дослідженні вирішено наукове питання прогнозування зносостійкості та нормативних і гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів в різних умовах експлуатації магістрального транспорту та метрополітенів.

Вперше:

- для рішення поставленої задачі застосовано комплексний метод досліджень, який включає спільне застосування: експлуатаційних спостережень за роботою стрілок і хрестовин на залізницях, математично-статистичний аналіз результатів спостережень; авторські експериментальні дослідження зносостійкості поверхні кочення хрестовин та стрілок на коліях Київського метрополітену, графоаналітичний аналіз і побудову графічних залежностей прогнозованого зносу поверхні кочення у функції від пропущеного тоннажу при різних умовах експлуатації $h_i = F(T_i; U_i; \Gamma_i)$; впровадження нової методики прогнозування зносу поверхні кочення хрестовин залежно від умов експлуатації та розробку кінцевих розрахункових формул для визначення прогнозованого нормативного тоннажу ($T_{норм}^{розр}$), що очікується пропустити по хрестовинам при досягненні нормованої величини зносу поверхні кочення (h_n). Перерахований перелік досліджень в комплексному застосуванні виконано вперше в дисертаційних дослідженнях і, тому він представляє наукову новизну роботи.

- для визначення нормативного тоннажу ($T_{норм}^{розр}$), що очікується пропустити по хрестовинам стрілочних переводів при досягненні нормованої величини зносу поверхні кочення (h_n) розроблена і застосована нова розрахункова методика і нова розрахункова формула, яка враховує особливості формування зносу поверхні кочення

залежно від умов експлуатації: $T_{норм}^{розр} = \left(\frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot \epsilon \cdot h_n}}{2 \cdot \epsilon} \right)^2$, де h_n – нормована величина

зносу поверхні кочення хрестовини, a_2 і ϵ_2 – коефіцієнти, що характеризують напрямок кривої зносу $h_i = f(T_i)$, які визначаються з графоаналітичного рішення відповідної кривої. Дана методика застосована вперше в дисертаційних дослідженнях і, *тому вона представляє наукову новизну роботи.*

набуло подальшого розвитку:

- відома методика проф. Е.І. Даніленка з визначення нормативних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів для колій магістрального і промислового транспорту, яка заснована на застосуванні залежності $h_i = F(T_i; U_i)$, де T_i – пропущений тоннаж; U_i – комплексна характеристика експлуатаційних умов; h_i – величина зносу поверхні кочення; нова методика дозволила вирішувати вказане рівняння відносно шуканої функції (T_n) при заданому нормативі допустимого зносу (h_n);

удосконалено:

- методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів в частині знаходження конкретних значень гарантійного тоннажу (G_n), як імовірності їх безвідмовної роботи, на основі експлуатаційних спостережень із застосуванням математично-статистичного аналізу вірогідності вилучення дефектних конструкцій з експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів

Усі наукові результати, що були отримані в дисертаційній роботі є обґрунтованими і достовірними та в багатьох випадках мають практичне значення для виробництва. Практичне значення результатів дисертаційної роботи підтверджується наступними положеннями:

1. Результати проведених експлуатаційних досліджень за роботою хрестовин протягом їх роботи в діючих головних коліях метрополітену були використані при розробці НДР «Встановлення умов експлуатації рейок і стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену» та Технічних умов на експлуатацію стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену (наказ КП «Київський метрополітен» №169-Н від 29.04.2015 р.).

2. Отримані прогнозовані нормативні значення пропущеного тоннажу ($T_{норм}^{розр}$) для хрестовин найбільш розповсюджених на коліях магістрального транспорту стрілочних переводів марок 1/11 і 1/9 з рейок типу Р65, укладених на залізобетонних і дерев'яних брусах в багатоваріантній постановці для широкого спектру експлуатаційних умов (при різній вантажонапруженості, різних швидкостях руху і різних колісних навантаженнях) були використані при розробці стандарту АТ «Укрзалізниця» «Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних експлуатаційних умовах».

3. Запропонована в дисертаційній роботі методика визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів, яка заснована на зборі об'єктивних даних про роботу хрестовин в різних експлуатаційних умовах та статистичному аналізі

і обробці цих даних методами математичної статистики дозволяє визначати ймовірність безвідмовної роботи вказаних конструкцій для широкого спектру експлуатаційних умов.

4. Наукові результати щодо прогнозування нормативних та гарантійних строків служби елементів конструкцій стрілочних переводів для експлуатаційних умов різних транспортних систем (метрополітенів та магістрального транспорту) використані в навчальному процесі спеціальностей: 273 «Залізничний транспорт» ОПП «Залізничні споруди та колійне господарство» та «Управління інфраструктурою колійного господарства»; 275 «Транспортні системи» ОПП «Транспортні технології на залізничному транспорті».

Особистий внесок здобувача

Постановка мети та задач дослідження виконані спільно з науковим керівником. Основні наукові положення, результати теоретичних та експериментальних досліджень, що викладені в дисертаційній роботі, отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий:

[1] – теоретичні розрахунки геометричних параметрів стрілочних переводів; [5] – аналіз впливу експлуатаційних умов на строки служби рейок стрілочних переводів; [6] – аналіз існуючих регламентованих нормативів допусків по ширині рейкової колії, що застосовуються на Укрзалізниці; [7] – аналіз умов експлуатації стрілочних переводів в коліях метрополітену; [18] – вимоги до конструкції і параметрів стрілочних переводів; [19] – приклади розрахунків звичайних стрілочних переводів; [20] – збір та обробка даних про роботу хрестовин в колії в різних експлуатаційних умовах для магістральних залізниць.

Апробація результатів дисертації. Попередній розгляд теми та основні положення дисертаційного дослідження були розглянуті і схвалені на засіданні кафедри протоколом №6 від 15.01.2010 р. Докладно основний зміст та результати дисертаційної роботи доповідалися на засіданні кафедри залізничної колії та колійного господарства від 27.05.2019 р. (протокол №10).

Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та були схвалені на наступних конференціях: V міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка та управління» (м. Київ, ДЕТУТ, 24-25 березня 2011 р.); науково-практична конференція викладачів, аспірантів і магістрів «Шляхи та напрями структурної реформи залізничного транспорту України» (м. Київ, ДЕТУТ, 23-24 лютого 2012 р.); XLI науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки» (ДЕТУТ, м. Київ, 19-20 квітня 2012 р.); VI міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування зал. транспорту: управління, економіка. і технологія» (м. Київ, ДЕТУТ, 11,12 квітня, 2013 р.); міжнародна науково-практична конференція «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», яка присвячена 100-річчю професора М.А. Фрішмана. (м. Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 18-20 вересня, 2013 р.); 78 міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпро, ДНУЗТ, 17-18 травня, 2018 р.); IV Всеукраїнська науково-технічна інтернет-конференція (м. Київ, ДУІТ, 17-18 листопада 2022 р.); всеукраїнська

науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, молодих вчених та викладачів, (м. Київ, ДУІТ, 4-6 квітня 2023 р.); II міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології» (м. Київ, ДУІТ, 29-30 листопада 2023 р.). Тема дисертаційної роботи в остаточній редакції була затверджена рішенням Вченої ради Київського інституту залізничного транспорту ДУІТ (протокол №2 від 21.03.2023 р.). Дисертація в повному обсязі доповідалась та була схвалена на міжкафедральному семінарі кафедр «Залізнична колія та колійне господарство», «Технології транспорту та управління процесами перевезень», «Управління комерційною діяльністю залізниць» Державного університету інфраструктури та технологій (м. Київ, протокол №1 від 05.02.2024 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 20 наукових праць, з яких: 1 стаття в міжнародному періодичному виданні, яка індексується в наукометричній базі Web of Science; 7 статей у фахових виданнях, затверджених МОН України; 9 праць апробаційного характеру та 3 праці, які додатково відображають результати роботи.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти основних розділів, загальних висновків та списку використаних джерел із 121 найменування. Основний текст викладений на 162 сторінках. Текст ілюструється 57 рисунками, містить 41 таблицю та 1 додаток.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі визначена важливість тематики дисертаційного дослідження з прогнозування зносостійкості та строків служби стрілочних переводів, сформульована актуальність роботи, визначені об'єкт та предмет роботи, сформульовані мета, завдання дослідження, представлена наукова новизна та практична значимість отриманих результатів. Також зазначений особистий внесок автора, апробація результатів, публікації за темою дисертаційної роботи, загальний обсяг та структура роботи.

У першому розділі обґрунтована актуальність проблеми за темою дисертації, проведено аналіз попередніх досліджень, що виконані з теоретичних та експериментальних робіт в напрямку теми даної дисертації та зроблена постановка задач дисертаційного дослідження. При обґрунтуванні теми дисертації, перш за все, зазначено, що стрілочні переводи є особливими і найбільш складними конструкціями залізничної колії, які є необхідними для нормального виконання перевізної роботи поїздів в різних транспортних системах залізничного транспорту: (магістральний залізничний транспорт, промисловий транспорт, метрополітени). При тому, строки служби стрілочних переводів в колії значно менші (в рази), ніж строки служби звичайної конструкції рейкової колії. Тому проблема вивчення зносостійкості і дефектостійкості стрілочних переводів та проблема прогнозування раціональних нормативних строків їх служби залежно від існуючих або прогнозованих умов експлуатації – є досить актуальною, і тому дана дисертація, яка спрямована на вирішення означеної проблеми є актуальною.

Вагомий внесок в дослідження роботи стрілочних переводів зроблено відомими вченим та спеціалістами колишнього СРСР в галузі залізничного транспорту, серед

яких є професори: Шахуняц Г.М., Альбрехт В.Г., Амелін С.В., Ангелейко В.І., Смірнов М.П., Яковлев В.Ф., Глюзберг Б.Е., Волошко Ю.Д., Желнін Г.Г., Путря М.М., Фрішман М.А.; кандидати технічних наук: Абросімов В.І., Іващенко С.І., Орловський А.М., Радигін Ю.М., Тараненко С.Д., Смиков Е.К., Симон А.А., Трофимов А.М., Фролов Л.М. Окрім того, слід відмітити дослідження відомих вчених в галузі взаємодії колії і рухомого складу професорів: Веріго М.Ф., Когана О.Я., Данілова В.М., Єршкова О.П., Ангелейко В.І., Даренського О.М.; кандидатів технічних наук: Бромберга Е.М., Крисанова Л.Г., Семенова І.І., Татуревича А.П. та інших.

В Україні основні дослідження за тематикою стрілочних переводів в той же час проводилась в ДІТ (ДНУЗТ) (м. Дніпро) на кафедрі «Колія та колійне господарство» під керівництвом д.т.н., проф. М.А. Фрішмана та д.т.н., проф. Ю.Д. Волошко, а з 2000 року в ДЕГУТ (ДУІТ) (м. Київ) під керівництвом д.т.н., проф. Е.І. Даніленка.

В основному попередні дослідження були експериментальними і ґрунтовані на експлуатаційних спостереженнях, тоді як досліджень теоретичного характеру виконано зовсім небагато. Крім того, дуже мало досліджень виконано в напрямку порівняння зносостійкості та дефектостійкості стрілочних переводів при їх експлуатації в умовах різних транспортних систем. Тому була *сформульована мета і задачі даного дисертаційного дослідження*, в наступному вигляді:

- проаналізувати існуючі дослідження з оцінки роботоспроможності стрілок і хрестовин протягом нормативних та гарантійних строків служби в залізничній колії при різних умовах експлуатації;

- провести експериментальні дослідження зі зносостійкості основних конструктивних елементів стрілочних переводів для умов експлуатації Київського метрополітену;

- зібрати, проаналізувати та обробити об'єктивні дані про роботу стрілок і хрестовин в різних експлуатаційних умовах магістрального транспорту з подальшим визначенням ймовірності безвідмовної роботи стрілочних переводів;

- виконати розрахункову перевірку нової теоретичної методики для прогнозування нормативних строків служби за результатами їх роботи в колії в різних умовах експлуатації;

- розробити і запропонувати методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів.

У другому розділі дисертаційної роботи висвітлюється проблема утворення зносу та дефектів на поверхні кочення стрілок і хрестовин стрілочних переводів, а також утворення нерівностей на цих елементах, які впливають на динамічну взаємодію колії з рухомим складом.

Знос поверхні кочення несучих металевих елементів стрілочних переводів є одним із двох головних критеріїв, які визначають термін працездатності конструкції. Дослідженнями встановлено, що наприклад, вихід хрестовин за зносом складає близько 60%, а за дефектами приблизно 40%. Граничні нормативи зносу основних конструктивних елементів стрілочних переводів встановлені відповідними нормативними документами, до досягнення яких їх експлуатація із встановленими швидкостями вважається безпечною. При тому елементи стрілки і хрестовини зношуються з різною інтенсивністю по їх довжині та поперечному профілю. Елементи стрілки по більшій мірі зношуються в перерізі вістряків шириною 25-40 мм, а на

хрестовинах знос реалізується на осерді та вусовиках проти перерізів: МЦХ, 20-40 мм осердя. Допустимі норми зносу елементів стрілочних переводів рекомендовано встановлювати, виходячи з допустимих величин силової взаємодії, яке визначається головним чином умовами експлуатації, геометричними параметрами траєкторії перекочування коліс і конструктивними параметрами стрілок і хрестовин.

Другим головним критерієм виходу стрілочних переводів з експлуатації є дефекти. Дефекти несучих елементів стрілок і хрестовин представляють серйозну небезпеку та відіграють важливу роль при визначенні строків служби стрілочних переводів. Дефекти можуть бути у вигляді напливів, сідловин, виколів, викришувань, зламів, нерівномірного зносу. Причинами виникнення дефектів можуть бути порушення технологій виготовлення, неналежне утримання переводів в колії, а також підвищений рівень вантажонапруженості і швидкостей руху поїздів, а також динамічних колісних навантажень. Із загальної кількості вилучення хрестовин з експлуатації по дефектам близько 20% замінюються через контактнo-втомлювальні викришування. Контактнo-втомлювальні дефекти можуть з'являтися на стрілочних вістряках та рамних рейках і вони представляють серйозну небезпеку для стрілок.

Наступною суттєвою несправністю стрілочних переводів є утворення вертикальних нерівностей на поверхні кочення стрілок і хрестовин, які є збуджуючими факторами, що викликають коливальний процес системи «екіпаж-колія» і, внаслідок дії яких виникає динамічна взаємодія колії і рухомого складу. Встановлено, що найбільш вразливою зоною для накопичення дефектів і нерівностей в межах стрілочного переводу є зона, яка розповсюджується на всю протяжність «шкідливого простору» в місці пересічення рейкових ниток на хрестовині від «горла» хрестовини до перерізів 20-40 мм осердя, де колесо повністю переходить на кочення по поверхні осердя. Саме в цій зоні, за рахунок швидкого зношування вузьких контактних площ на вусовику та осерді, в процесі експлуатації швидко утворюються нерівності, які і є збуджуючими факторами коливального процесу при русі рухомого складу по хрестовинах, і утворення додаткових інерційних сил взаємодії в системі «колесо-рейка».

Таким чином, встановлено, що для вирішення проблеми прогнозування строків служби стрілочних переводів, необхідно перш за все, вивчати такі основні несправності цих конструкцій, якими є знос поверхні кочення, дефекти та нерівності, які виникають на поверхні кочення в зоні руху коліс по хрестовинах і стрілкам. Тема даної дисертації базується на вивченні зносостійкості та дефектостійкості. Дослідження утворення нерівностей не розглядалися в дисертації, так як це є окремою науковою задачею.

У третьому розділі приведені результати експериментальних досліджень зносостійкості основних конструктивних елементів (стрілок і хрестовин) стрілочних переводів в умовах експлуатації залізничних колій Київського метрополітену.

Слід відмітити, що дослідження зносостійкості стрілочних переводів залежно від умов експлуатації на коліях українських метрополітенів фактично не проводилось, а використання результатів досліджень, що проводились на магістральному транспорті не може бути коректним для умов метрополітену через суттєві відмінності умов експлуатації та відмінності конструкцій підшпальної основи. Тому для умов метрополітену виникла необхідність проведення досліджень роботи стрілочних переводів в реальних умовах експлуатації.

При експериментальних дослідженнях закономірностей формування зносу поверхні кочення стрілочних переводів колій метрополітену брались до уваги характерні особливості їх експлуатаційної роботи під поїздами, які формують особливості накопичення зносу поверхні кочення на стрілках і хрестовинах стрілочних переводів. При виконанні досліджень враховувались наступні фактори:

- напрямок руху по переводу (пошерстний (ПШ) або протишерстний (ПРШ));
- характер зношуваності окремих елементів стрілочних переводів є різним, а саме: хрестовини стрілочних переводів зношуються більш інтенсивно, ніж рейкові елементи стрілок, крім того знос вусовиків і осердя слід розглядати окремо; більш інтенсивно зношуються вусовики ПШ – напрямку, і навпаки, осердя хрестовин ПРШ – напрямку. Нормативними документами встановлено вимірювати знос вусовиків навпроти перерізу осердя 20 мм або навпроти перерізу 12 мм; знос осердя встановлено вимірювати в перерізі 40 мм;

- також враховувались різні особливості формування зносу в елементах стрілки (рамна рейка, вістряки) стрілочних переводів (ПШ) і (ПРШ) напрямків, тому вони розглядались окремо.

Для вирішення поставлених задач дослідження формування вертикального зносу на хрестовинах та стрілках стрілочних переводів були проведені експериментальні випробування стрілочних переводів типових марок, які експлуатуються в підземних і наземних ділянках головних колій Святошинсько-Броварської, Куренівсько-Червоноармійської та Сирецько-Печерської ліній Київського метрополітену.

Підбір переводів виконувався таким чином, щоб досліджувані конструкції різнилися характеристиками пропущеного тоннажу, а також мали різні умови експлуатації (переважний напрямок руху поїздів – ПШ або ПРШ, різні швидкості руху та ін.). Вихідними даними для визначення умов експлуатації слугували характеристики ділянок надані Службою колій Київського метрополітену.

Для проведення досліджень використовувалась існуючі нормативні методики натурних вимірювань вертикального зносу на поверхні кочення елементів стрілочних переводів (стрілок і хрестовин). На рис. 1 показана натурна розмітка перерізів та схема вимірювань вертикального зносу на хрестовинах під час досліджень в коліях метрополітену стрілочних переводів типів Р50 та Р65 марки 1/9.

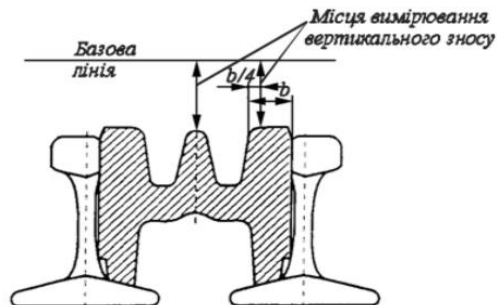


Рис.1 Розмітка перерізів на хрестовинах в коліях метрополітену та схема вимірювань вертикального зносу хрестовин на переводах типів Р50 та Р65 марки 1/9

Результати вимірювань фактичного зносу поверхні кочення хрестовин по контрольним перерізам заносились у відомості з підрахунком фактичного тоннажу, який був пропущений по хрестовинам на час вимірювань. Одночасно в ті ж відомості заносилась наявність на поверхні кочення хрестовин пошкоджень чи дефектів. Результати вимірювань зносу хрестовин на осердях і вусовиках, по 10-ти контрольним перерізам, окремо для типів Р50 і Р65, окремо для пошерстного (ПШ) та протишерстного (ПРШ) напрямків руху, зведено до таблиць та представлено в тексті дисертації для 18 станцій Київського метрополітену, при величинах пропущеного тоннажу від $T=13,1$ млн т до $T=133,4$ млн т.

За результатами вимірювань були побудовані графічні криві залежності $h = f(T)$ для кожної групи однотипних хрестовин, що працюють в однакових умовах експлуатації (рис. 2). Отримані конкретні значення зносу на графіках відображені у вигляді точок з координатами h (знос) і T (пропущений тоннаж).

В подальшому результати фактичних значень зносу вусовиків і осердь при різних значеннях пропущеного тоннажу оброблялись методами математичної статистики з метою встановлення аналітичної залежності $h = f(T)$, відповідно до відомого з попередніх досліджень виразу:

$$h = a\sqrt{T} + bT, \quad (1)$$

де T – пропущений тоннаж; h – вертикальний знос; a, b – деякі коефіцієнти, які встановлюються окремо для кожної конструкції за результатами виконаних експериментальних досліджень.

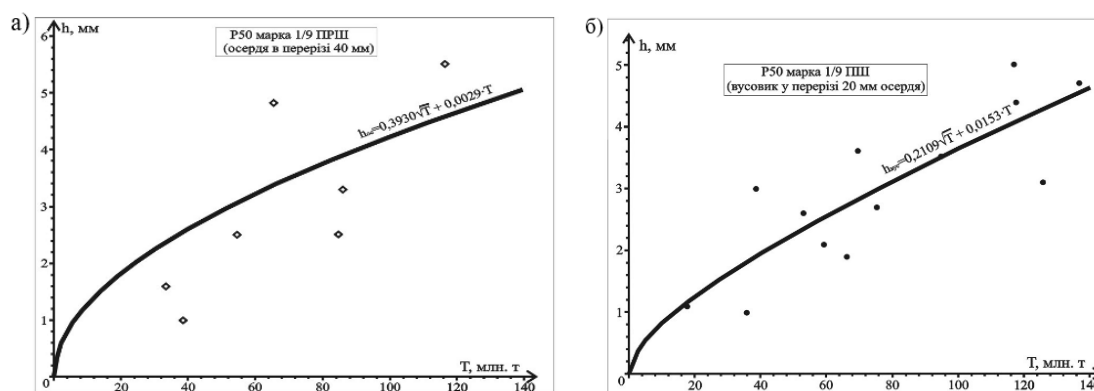


Рис. 2 Графічні залежності $h = f(T)$ за результатами вимірювань та апроксимація кривих виду (1) Р50 1/9: а) осердя (ПРШ); б) вусовики (ПШ)

Апроксимація кривих виду (1) виконувалась із застосуванням комп'ютерної техніки з використанням програмного продукту MAPLE. В результаті були отримані рівняння, що характеризують формування вертикального зносу від $T=0$ до $T=140$ млн. т бруто для кожної вибраної групи. Результати апроксимації отриманих значень натурального зносу поверхні кочення хрестовин Р50 1/9 та Р65 1/9 в повному обсязі для різних перерізів вусовиків і осердь приведені в дисертації. В авторефераті на рис. 3 наведені фрагменти апроксимації кривих для основних перерізів хрестовин марки 1/9 типів Р50 та Р65.

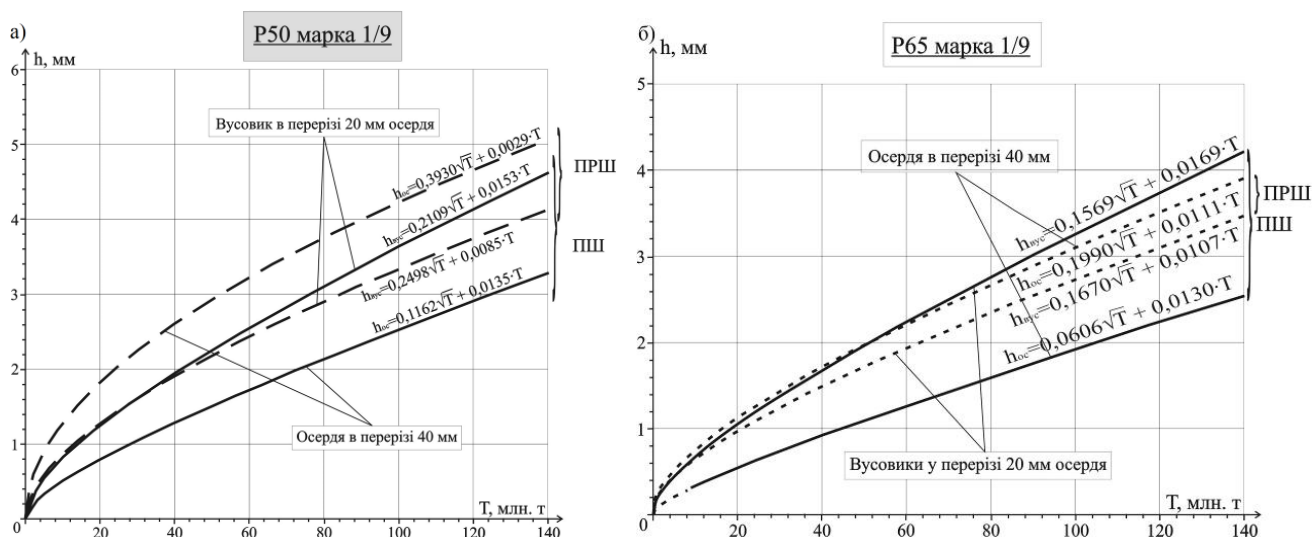


Рис. 3 Графічні та аналітичні залежності виду (1) зносу осердь та вусовиків хрестовин в основних перерізах: а) для хрестовин типу P50 марки 1/9; б) для хрестовин типу P65 марки 1/9

Апроксимація кривих зносу дозволяє використовувати кожну конкретну криву на прогнозованому терміні служби хрестовини по зносу, аж до набуття допустимої величини зносу ($h_{дон}$), а це дозволяє в свою чергу визначати поточне значення зносу хрестовин в будь-який період експлуатації, що характеризується пропущеним тоннажем T_i , а також прогнозувати нормативні строки служби конструкції ($T_{норм}$) при нормованій величині зносу $h_{норм} = h_{дон}$.

Одночасно з дослідженнями зносостійкості поверхні кочення хрестовин на тих же конструкціях стрілочних переводів і при тих же умовах експлуатації були виконані дослідження зносу поверхні кочення рейкових елементів стрілки, а саме зносу вістряків та рамних рейок.

Апроксимація отриманих натурних значень зносу вістряків виконувалась за аналогічної методикою що і для хрестовин, що дозволило встановити аналітичні залежності зносу елементів в характерних перерізах. Встановлено, що аналітичні криві що характеризують набуття зносу елементів стрілки залежно від пропущеного по конструкції тоннажу також як і для хрестовин можливо розглядати у вигляді рівняння (1). Аналітичні криві залежностей виду (1) для прямолінійних та криволінійних вістряків стрілочних переводів P50 1/9 і P65 1/9 представлено в тексті дисертації.

Отримані аналітичні залежності виду (1) дають можливість оцінювати інтенсивність накопичення зносу i (мм/млн. т бр.), тобто зносостійкість поверхні кочення, при різних значеннях пропущеного тоннажу (T_i). Визначені характеристики зносостійкості для хрестовин і стрілок досліджуваних стрілочних переводів при різних значеннях пропущеного тоннажу представлено в тексті дисертації.

В четвертому розділі дисертаційної роботи виконано прогнозування зносостійкості та нормативних строків служби хрестовин для конструкцій найбільш розповсюджених на коліях магістрального транспорту стрілочних переводів марок

1/9 і 1/11 типу Р65, укладених на залізобетонних і дерев'яних брусах. При тому умови експлуатації розрізнялись від вантажонапруженого руху головних колій до прийнятно-відправних колій з малою вантажонапруженістю.

Рішення задачі по визначенню прогнозного нормативного пропущеного тоннажу по хрестовинам було виконано за допомогою *нової методики прогнозування зносу поверхні кочення по хрестовинам залежно від умов експлуатації*, яка включає спільне застосування: експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин на залізницях; математично-статистичного аналізу результатів спостережень; графоаналітичний аналіз і побудову графічних залежностей прогнозованого зносу у функції від пропущеного тоннажу; і на заключному етапі розробку кінцевих розрахункових формул для визначення прогнозованого нормативного тоннажу ($T_{норм}$), що очікується пропускати по хрестовинам при досягненні нормованої величини зносу поверхні кочення ($h_{норм}$) (для Р65 приймалось $h_{норм} = 6 \text{ мм}$). Для вирішення поставлених задач було виконано наступне.

1) На 1-му етапі було виконано збір і обробку результатів широкомасштабних експлуатаційних спостережень за роботою в колії стрілочних переводів типу Р65 1/11 та 1/9 на 6-ти залізницях України протягом декількох років в різних умовах експлуатації при вантажонапруженості (Γ) від 5 до 80 млн ткм/км за рік. До аналізу (в межах кожної категорії вантажонапруженості) були прийняті хрестовини з реалізованим вертикальним зносом, що досягнув нормованої величини ($h_{норм}$), і став причиною вилучення хрестовин з експлуатації.

Найбільш вірогідне значення нормативного тоннажу ($T_{норм}$) визначалося при досягненні регламентованої величини допустимого вертикального зносу $h_{доп} = h_{норм}$ для хрестовин стрілочних переводів, що розглядалися. При тому обробка даних спостережень виконувалась окремо для експлуатаційних умов: $\Gamma=5-15$; $\Gamma=15,1-30$; $\Gamma=30,1-50$; $\Gamma=50,1-80$ та $\Gamma \geq 80$ млн. ткм бр./км за рік (відповідно до категорійності колій).

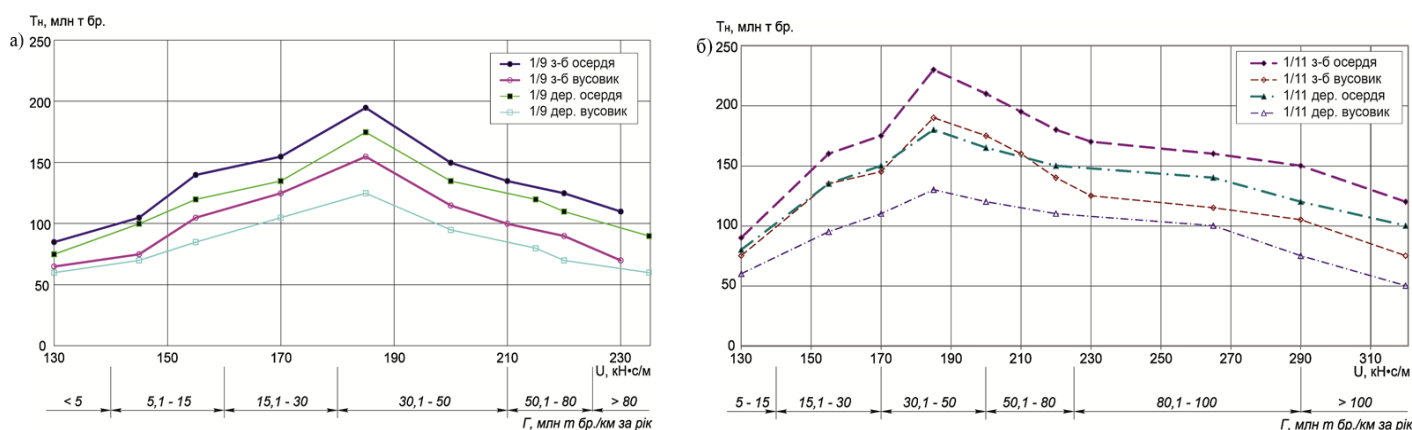


Рис. 4 Функціональна залежність нормативного тоннажу $T_{норм}^{сер.ст.}$ для хрестовин стрілочних переводів від комплексу експлуатаційних умов при яких вони працюють $T_{норм} = f(\Gamma, U)$: а) для типу Р65 марки 1/9; б) для типу Р65 марки 1/11

Дослідженнями встановлена функціональна залежність нормативного тоннажу ($T_{норм}$) для хрестовин стрілочних переводів, від комплексу експлуатаційних умов, за яких працюють стрілочні переводи $T_{норм} = f(\Gamma, U)$. (Тут Γ – вантажонапруженість ділянки, млн. т км/км за рік; U – комплексна характеристика експлуатаційних умов, $\frac{\kappa H \cdot c}{м}$) (за методикою проф. Даніленка Е.І.), яка враховує середньозважені (по тоннажу) швидкості ($V_{сер}$) та середньозважені (по тоннажу) осьові навантаження рухомого складу ($P_{сер}^{oc}$), що обертається на ділянці залізниці (рис. 4).

2) На наступному етапі виконувалось визначення і побудова розрахункових кривих зносу поверхні кочення осердя та вусовиків хрестовин у функції від пропущеного тоннажу $h_i = f(T_i)$. Притому, в якості вихідної залежності приймалось відоме рівняння виду (1), але з невідомими коефіцієнтами «а» і «в».

При побудові шуканої розрахункової кривої (рис. 5), перша головна розрахункова точка (·) М кривої зносу для ($T_{норм}^{сер}$) приймалась на основі аналізу експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин в колії при нормативній величині зносу для типу Р65 $h_{норм} = 6,0 мм$ згідно рис. 4. Місце розташування цієї точки для кожного конкретного випадку відрізняється для ділянок з різною вантажонапруженістю через реалізацію різного впливу умов експлуатації.



Рис. 5 Схема для визначення рівняння прямої ділянки кривої зносу $h = tg\alpha \cdot T_i + h_0$

Подальша побудова розрахункових кривих зносу виконується наступним чином.

З аналізу рівняння (1) і рис. 5, витікає, що 1-й член рівняння ($a\sqrt{T}$) в більшій мірі переважає на ділянці від початкового пропущеного тоннажу $T=0$ до тоннажу $T_{норм}^{сер}$, тому в першому наближенні можна визначити прогнозну криву на першій (криволінійній) ділянці довжиною $l_1 = T_{норм}$ за виразом (2).

$$h_n = a_1 \sqrt{T_{норм}^{сер}} \quad (2)$$

З рівняння (2) при відомих значеннях $h_{норм}$ та $T_{норм}^{сер}$ можна знайти коефіцієнт «а₁».

Коефіцієнт «а₁» можна вважати як величину коефіцієнта (а) (в першому наближенні) для основного рівняння (1).

3) На наступному етапі рішення задачі було визначено ухил прямої ділянки графіка зносу поверхні кочення хрестовин, що описується другим членом (« $\epsilon \cdot T$ ») основного рівняння (1), де « ϵ » є тангенсом кута нахилу ($\epsilon_1 = \operatorname{tg} \alpha$).

На цьому етапі рішення задачі розглядалась ділянка від $T_{\text{норм}}^{\text{сер}}$ до T_{max} , де T_{max} приймається рівним максимальному пропущеному тоннажу по хрестовинам, що були прийняті для досліджень. (звичайно, для достовірності досліджень, достатньо приймати $T_{\text{max}} \approx 2,0 \div 2,5(T_{\text{норм}}^{\text{сер}})$ (рис. 5)).

При значеннях пропущеного тоннажу більших ніж $T_{\text{норм}}^{\text{сер}}$ в рівнянні (1) при визначенні зносу хрестовини (h_i) здійснюється більший вплив на шукану величину зносу 2-го члена рівняння (1) « $\epsilon \cdot T$ », який на графіку характеризується прямою лінією, що має ухил до горизонталі, по якій вказується збільшення пропущеного тоннажу. Ухил (α) прямої ділянки графіку залежності (1) визначається згідно схеми на рис. 5 за відповідним алгоритмом.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_{\text{сер}3} - h_{\text{норм}}}{l_2 + l_3 / 2} \quad (3)$$

Цей же тангенс кута в першому наближенні можна приймати як коефіцієнт « ϵ » вихідного рівняння кривої зносу $h_i = a\sqrt{T_i} + b \cdot T_i$ (1). Однак, в зв'язку з тим, що на даному етапі ще не визначено кінцеве значення коефіцієнта « a », але воно визначено лише в першому наближенні як « a_1 », то так само і коефіцієнт « ϵ » рівняння (1) також приймаємо в першому наближенні, тобто: $\operatorname{tg} \alpha = \epsilon_1$. (4)

4) На наступному етапі рішення задачі виконуються уточнення коефіцієнтів « a_1 » і « ϵ_1 » вихідного рівняння (1).

Розглядаючи далі той факт, що у формуванні кривої зносу на перші криволінійній ділянці l_1 має брати участь і другий член вихідного рівняння (1), тобто « $\epsilon_1 \cdot T_n$ », а на другій (прямолінійній) ділянці ($l_2 + l_3$) у формуванні загальної кривої зносу має брати участь перший член вихідного рівняння (1), тобто « $a_1 \cdot \sqrt{T}$ », шляхом незначних математичних перетворень отримуємо уточнені значення коефіцієнтів « a_2 » і « ϵ_2 » для заключного відкорегованого рівняння кривої:

$$h_i = a_2 \cdot \sqrt{T_i} + b_2 \cdot T_i, \quad (1-1)$$

де значення коефіцієнтів « a_2 » і « ϵ_2 » визначаються за формулами:

$$a_2 = \frac{a_1 \cdot \sqrt{T_n} - b_1 \cdot T_n}{\sqrt{T_n}} \quad (5) \quad b_2 = \frac{h_n + b_1 \cdot (T_{\text{сер}2} - T_n) - a_2 \cdot \sqrt{T_{\text{сер}2}}}{T_{\text{сер}2}} \quad (6)$$

У випадках, коли невідоме значення нормативного тоннажу (T_n), який потрібно пропустити по конструкції хрестовини до набуття нормативного зносу (h_n) поверхні кочення (по осердю або вусовику), отримана наступна *розрахункова формула для визначення необхідного нормативного пропущеного тоннажу*:

$$T_{\text{норм}}^{\text{розн}} = \left(\frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot \epsilon \cdot h_n}}{2 \cdot \epsilon} \right)^2 \quad (7)$$

В формулі (7) приймається $a = a_2$; $v = v_2$; h_n – нормується згідно відповідних нормативних технічних документів.

Розрахункова формула (7) отримана вперше в дисертаційних дослідженнях і застосована в нормативно-технічному документі Укрзалізниці «СТП. Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних експлуатаційних умовах». Даний стандарт розроблено в 2019 році кафедрою ЗККГ під керівництвом професора Е.І. Даніленка, за участі автора даної дисертації.

Крім того, формулу (7) можна застосовувати для перевірки графіків кривих вертикального зносу хрестовин, які побудовані на основі емпіричних даних, що отримані в процесі експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин в колії і статистичної математичної обробки емпіричних даних.

За таким алгоритмом, в дисертації було проаналізовано увесь масив даних вилучених з експлуатації хрестовин, що досягли граничного зносу, та встановлено аналітичні рівняння прогнозних кривих формування вертикального зносу, як функції пропущеного тоннажу для хрестовин стрілочних переводів при різних параметрах вантажонапруженості ділянок (різних категорій колій). В табл. 1 наведені результати розрахунків нормативного тоннажу $T_{норм}^{сер.ст.}$ осердь та вусовиків хрестовин для стрілочних переводів типу Р65, марки 1/9, а на рис. 6-7 зображені криві прогнозованого зносу цих елементів (результати для хрестовин стрілочних переводів типу Р65, марки 1/11 наведені в тексті дисертації).

Таблиця 1

Функціональна залежність нормативного тоннажу хрестовин стрілочних переводів Р65 1/9 від комплексу експлуатаційних умов, при яких вони працюють $T_{норм} = f(\Gamma, U)$

№ кривих	Вантажонапруженість, Γ , млн. т км / км в рік	Комплексна (інтегральна) характеристика експлуатаційних умов, U , кН·с/м	Статистичний норматив пропущеного тоннажу, $T_{норм}^{сер.ст.}$, млн т бруто при $h_n=6$ мм	Розрахункові параметри, що приймаються					Розрахункове рівняння кривої зносу $h = a_2 \cdot \sqrt{\Gamma} + v_2 \cdot T$	Розрахунковий нормативний тоннаж, млн т бруто $T_{норм}^{розр} = \left(\frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot v \cdot h_n}}{2 \cdot v} \right)$	
				$a_2 = h_n / \sqrt{\Gamma_n}$	Δh , мм	ΔT , млн т бруто	$v_2 = \frac{\Delta h}{\Delta T} = tg \alpha$	$a_2 = \frac{a_1 \cdot \sqrt{\Gamma_n} - v_1 \cdot T_n}{\sqrt{\Gamma_n}}$			$v_2 = v_1$
Р65 1/9, осердя, залізобетонні бруси											
1	5,1-15	155	140	0,501745	0,3	85,0	0,003529	0,459540	0,003529	$h = 0,459540 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,003529 \cdot T$	143,00
2	15,1-30	170	155	0,489898	0,7	113,0	0,005000	0,428661	0,005000	$h = 0,428661 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,005 \cdot T$	150,00
3	30,1-50	200	150	0,486664	0,4	75,0	0,005333	0,420911	0,005333	$h = 0,420911 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,005333 \cdot T$	152,00
Р65 1/9, осердя, дерев'яні бруси											
4	5,1-15	155	120	0,538816	0,1	60,0	0,001667	0,520257	0,001667	$h = 0,520257 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,001667 \cdot T$	124,00
5	15,1-30	170	135	0,52027	0,7	116,0	0,006034	0,450673	0,006034	$h = 0,450673 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,006034 \cdot T$	133,00
6	30,1-50	200	135	0,51262	0,2	68,0	0,002941	0,478189	0,002941	$h = 0,478189 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,002941 \cdot T$	137,00
Р65 1/9, вусовики, залізобетонні бруси											
1	5,1-15	155	105	0,58332	0,5	68,8	0,00727	0,50857	0,00727	$h = 0,50857 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,00727 \cdot T$	105,8
2	15,1-30	170	125	0,53773	1,1	72,9	0,01509	0,36937	0,01509	$h = 0,36937 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,01509 \cdot T$	124,5
3	30,1-50	200	115	0,56146	0,8	73,5	0,01088	0,44514	0,01088	$h = 0,44514 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,01088 \cdot T$	114,2
Р65 1/9, вусовики, дерев'яні бруси											
4	5,1-15	155	85	0,64438	0,2	28,9	0,00657	0,58316	0,00657	$h = 0,58316 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,00657 \cdot T$	86,7
5	15,1-30	170	105	0,58305	0,5	46,0	0,01088	0,47109	0,01088	$h = 0,47109 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,01088 \cdot T$	105,9
6	30,1-50	200	95	0,61142	0,3	39,7	0,00756	0,53722	0,00756	$h = 0,53722 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0,00756 \cdot T$	96,3

Примітки до табл. 1 $T_{норм}^{сер.ст.}$ – значення середнього статистичного нормативного пропущеного тоннажу, що отримано при експлуатаційних спостереженнях; $T_{норм}^{розр}$ – розрахунковий нормативний тоннаж, отриманий за формулою (7).

*) в прикладі прийнято $v_2 = v_1$, так як різниця незначна (в межах 5%).

Як при графоаналітичному аналізі побудованих кривих $h_i = f(T_i)$, так і при аналізі результатів розрахунків можна бачити, що зберігаються основні закономірності щодо динаміки зміни шуканих розрахункових характеристик прогнозованого нормативного тоннажу ($T_n^{розр}$) відповідно до зміни вихідних характеристик експлуатаційних умов (вантажонапруженості « Γ », млн. т·км/км за рік; і комплексної характеристики експлуатаційних умов « U », кН·с/м), а також взаємовідношень між зносом осердь і вусовиків; зносом хрестовин укладених на залізобетонних і дерев'яних брусах.

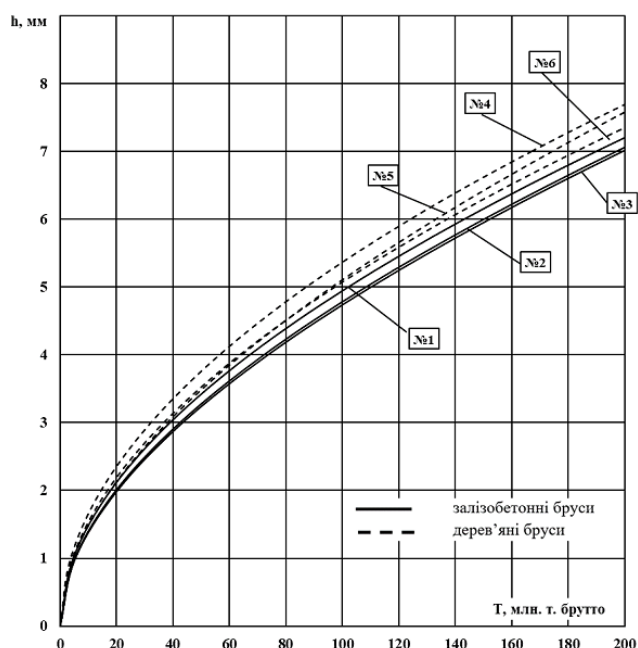


Рис. 6 Криві прогнозованого зносу осердь хрестовин стрілочних переводів типу Р65 марки 1/9, де:

№1 – $\Gamma = 5,1 \div 15$ млн. т км/км за рік, $U = 155$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 143$ млн т бруто	} з/б
№2 – $\Gamma = 15,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U = 170$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 150$ млн т бруто	
№3 – $\Gamma = 30,1 \div 50$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 152$ млн т бруто	
№4 – $\Gamma = 5,1 \div 15$ млн. т км/км за рік, $U = 155$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 124$ млн т бруто	} дер.
№5 – $\Gamma = 15,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U = 170$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 133$ млн т бруто	
№6 – $\Gamma = 30,1 \div 50$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 137$ млн т бруто	

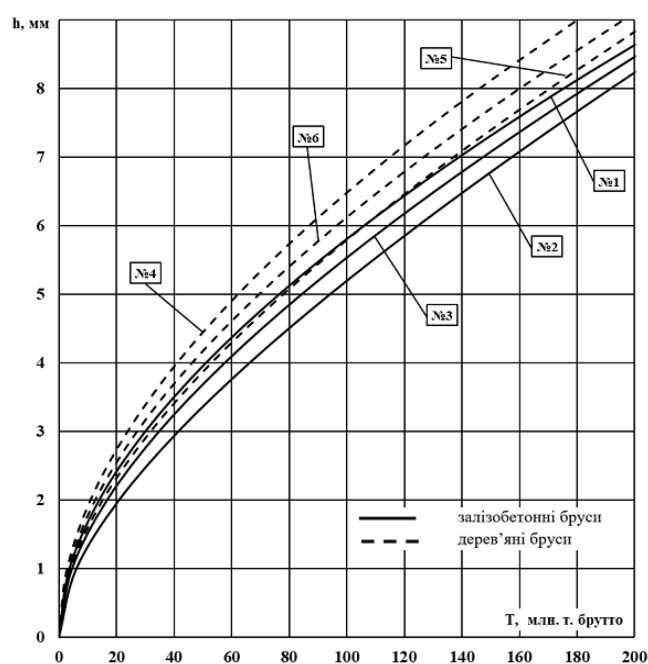


Рис. 7 Криві прогнозованого зносу вусовиків хрестовин стрілочних переводів типу Р65 марки 1/9, де:

№1 – $\Gamma = 5,1 \div 15$ млн. т км/км за рік, $U = 155$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 105,8$ млн т бруто	} з/б
№2 – $\Gamma = 15,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U = 170$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 124,5$ млн т бруто	
№3 – $\Gamma = 30,1 \div 50$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 114,2$ млн т бруто	
№4 – $\Gamma = 5,1 \div 15$ млн. т км/км за рік, $U = 155$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 86,7$ млн т бруто	} дер.
№5 – $\Gamma = 15,1 \div 30$ млн. т км/км за рік, $U = 170$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 105,9$ млн т бруто	
№6 – $\Gamma = 30,1 \div 50$ млн. т км/км за рік, $U = 200$ кН·с/м, $T_n^{розр} = 96,3$ млн т бруто	

В п'ятому розділі розроблено і запропоновано методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів, яка базується на зборі об'єктивних даних про роботу елементів стрілок та хрестовин в різних експлуатаційних умовах і подальшому аналізі та обробці цих даних методами математичної статистики з метою визначення ймовірності безвідмовної роботи вказаних конструкцій. На основі нової методики визначені нормативи гарантійних строків служби для стрілок і хрестовин марок 1/11, 1/9 типів Р65 та Р50.

Гарантійні строки служби стрілок і хрестовин встановлюють за критерієм накопичення дефектів на їх конструктивних елементах: рамних рейках і вістряках – в стрілках і на осердях та вусовиках – в хрестовинах. Гарантійні строки служби вимірюють величиною гарантованого мінімального пропущеного тоннажу по стрілках і хрестовинах або гарантованим мінімальним строком експлуатації (y

роках) цих елементів у безаварійному режимі. Вказаний гарантований мінімальний пропущений тоннаж можна визначати експериментальними або статистичними дослідженнями роботи стрілочних переводів в експлуатаційних умовах як ймовірність безвідмовної роботи елементів конструкції стрілок і хрестовин без появи недопустимих дефектів або пошкоджень, що й було прийнято в даній роботі.

В умовах, коли розглядаються різні транспортні системи з різними експлуатаційними умовами, а також враховуючи відсутність АСУ «Колійне господарство» та єдиної електронної бази даних про стан стрілочних переводів в межах Укрзалізниці, окремих залізниць та метрополітенів, зібрана інформація може містити певні прогалини та неточності, що потребує системного підходу до обробки даних із застосуванням відповідних методів математичної статистики.

Аналіз попередніх досліджень показує, що в якості теоретичних законів розподілу напрацювання до відмови можуть бути використані такі закони розподілу як: експонентний, нормальний, зрізаний нормальний, Вейбулла, Релея та ін., що і було враховано в даному дослідженні. В даній дисертаційній роботі для опрацювання сукупності статистичних даних про працездатність стрілок та хрестовин у якості інструментарію математичної статистики було обрано теорію статистичного висновку для більш достовірного передбачення результатів за даними обстеження вибірок.

Основи методики і основні результати визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин для стрілочних переводів вітчизняного виробництва прийняті автором дисертації відповідно до розробок кафедри залізничної колії та колійного господарства ДУІТ, які були виконані за замовленням ЦП Укрзалізниці під керівництвом д.т.н., професора Даніленка Е.І., і в даній роботі автор брала безпосередню участь як виконавець в складі наукового колективу.

В результаті математично-статистичної обробки результатів експлуатаційних досліджень визначено математичну імовірність $R(t)$ безвідмовної роботи за дефектами кожного з розглянутих елементів конструкції стрілочних переводів: в стрілках – рамних рейок та вістряків; в хрестовинах – вусовиків та осердь.

При проведенні розрахунків було дотримано такого порядку: 1) дані вибірки були згруповані в інтервальні ряди розподілу за вантажонапруженістю та пропущеним тоннажем; 2) були визначені параметри розподілу та імовірності теоретичного закону розподілу; 3) підтверджена правильність обраного закону розподілу (критерій « χ^2 » Пірсона, розрахунковий показник P-value); 4) перевірено відповідність теоретичного закону розподілу до значень вибірки; 5) знайдена ймовірність безвідмовної роботи стрілок та хрестовин стрілочних переводів.

Статистичну перевірку гіпотез відносно розподілів, тобто відповідність зібраних даних розподілу теоретичному закону розподілу, здійснено за допомогою критерію хі-квадрат Пірсона « χ^2 ». Додатково, у якості альтернативної процедури перевірки, визначено розрахунковий показник P-value, який по суті є ймовірністю помилки при відхиленні нульової гіпотези (помилки першого роду). Для виконання розрахунків було використано редактор Microsoft Excel. Приклад розрахунків див. рис. 8.

Statistics

Variable	Total Count	N	N*	CumN	Percent	CumPct	Mean	SE Mean	TrMean	StDev
T=100-150	90	90	0	90	100	100	124,32	1,53	124,20	14,48
Variable	Variance	CoefVar	Sum	Sum of Squares	Minimum	Q1	Median	Q3		
T=100-150	209,80	11,65	11189,17	1409755,91	100,20	111,90	125,05	136,70		
Variable	Maximum	Range	IQR	Mode	N for Mode	Skewness	Kurtosis	MSSD		
T=100-150	150,00	49,80	24,80	126	4	0,11	-1,09	0,33		

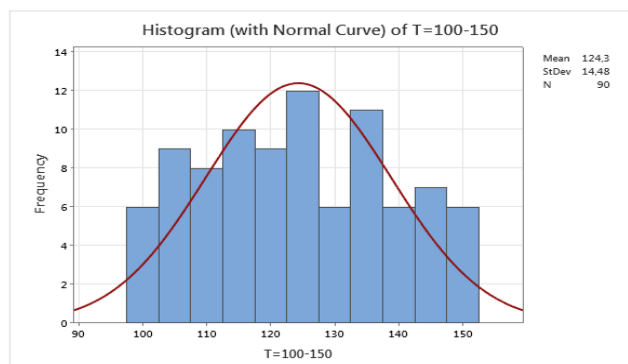


Рис. 8 Основні статистичні характеристики вибірки, гістограма і теоретична криві розподілу в інтервалі пропущеного тоннажу 100–150 млн т бруто

Математична імовірність безвідмовної роботи $R(t)$ для конструктивних елементів стрілок і хрестовин в межах відповідних інтервалів напрацювання тоннажу розраховувалася відповідно до формули:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_1^{\infty} f(t) dt \quad (8)$$

Статистичній обробці підлягав достатньо великий масив даних, зокрема величина $R(t)$ була визначена для елементів конструкцій стрілок і хрестовин протягом всього періоду їх експлуатації в колії для усіх основних конструкцій стрілочних переводів, що укладаються в головні та приймально-відправні колії на залізницях України. Основні результати даного дослідження у графічному вигляді наведено на рис. 9.

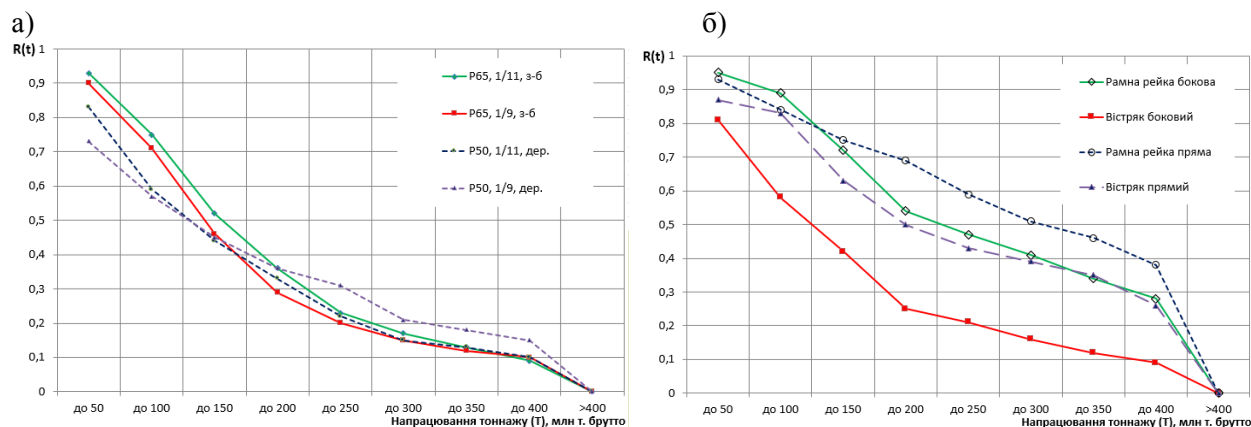


Рис. 9 Імовірність $R(t)$ безвідмовної роботи елементів стрілочних переводів за дефектами: а) хрестовин (для Р65 1/11, Р65 1/9, Р50 1/11, Р50 1/9 на дерев'яних та залізобетонних брусах); б) рамних рейок і вістряків за дефектами (для стрілочних переводів Р65 1/11 на з/б брусах)

В кінцевому підсумку визначення гарантійних строків служби стрілок та хрестовин було запропоновано розраховувати за формулою (9) як частку (%) від нормативного тоннажу (T_n), тобто як імовірність безвідмовної роботи цих

конструкцій без появи недопустимих дефектів або пошкоджень протягом гарантійного строку служби.

$$T_{\text{гарант}} = f(T_n) = R(t) \cdot T_n \quad (9)$$

Після визначення математичної ймовірності безвідмовної роботи були з достатньою достовірністю встановлені нормативи гарантійних строків служби для основних несучих металевих елементів стрілочних переводів типових конструкцій з хрестовинами марок 1/11, 1/9 з рейками типу Р65 і Р50.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі отримані наукові результати, які в цілому вирішують поставлені задачі, а саме: прогнозування зносостійкості та строків служби основних конструктивних елементів стрілочних переводів для умов експлуатації магістрального транспорту та метрополітенів. Проведені дослідження дозволили зробити такі висновки.

1. Аналіз попередніх досліджень, виконаних в напрямку визначення та прогнозування зносостійкості та строків служби стрілочних переводів, показав, що в більшості випадків вказані дослідження відносились до експериментальних робіт та експлуатаційних спостережень за роботою конструкцій в колії. Досліджень теоретичного характеру виконано вкрай мало, в тому числі мало досліджень, що стосуються прогнозування зносостійкості та дефектостійкості конструкцій, і зовсім мало досліджень щодо порівняння зносостійкості та дефектостійкості стрілочних переводів при їх експлуатації в умовах різних транспортних систем при різних колісних навантаженнях, вантажонапруженості, швидкостях руху та інш. Аналіз попередніх досліджень також показав, що основними несправностями, що впливають на вихід з експлуатації стрілок і хрестовин є знос їх поверхні кочення та поява і накопичення дефектів, а також утворення нерівностей на поверхні кочення. Таким чином вивчення і аналіз попередніх досліджень дало змогу сформулювати мету і задачі дисертаційного дослідження.

2. В цілях вивчення закономірностей зносостійкості та дефектостійкості основних конструктивних елементів (стрілок і хрестовин) стрілочних переводів для експлуатаційних умов метрополітенів були виконані експериментальні дослідження стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену. В дослідженнях були задіяні усі три діючі лінії Київського метрополітену, на яких експлуатується біля 50-ти стрілочних переводів, в тому числі біля 30-ти переводів типу Р50 марки 1/9 та біля 20-ти переводів типу Р65 марки 1/9. Переводи, що досліджувались розрізнялись за типом рейок та умовами експлуатації. В дослідженнях були задіяні переводи як пошерстного напрямку (ПШ), так і протишерстного (ПРШ). Вантажонапруженість розрізнялась від 17,1 до 25,2 млн. ткм бр./км за рік; пропущений тоннаж розрізнявся від 13,1 до 133,4 млн. т. В процесі вивчення закономірностей зносостійкості поверхні кочення стрілок і хрестовин стрілочних переводів визначались абсолютна величина зносу поверхні кочення h (мм) та інтенсивність накопичення зносу в залежності від пропущеного тоннажу (тобто зносостійкість « i », мм/млн. т. бр.). Окремо досліджувалось накопичення дефектів на поверхні кочення залежно від пропущеного тоннажу.

3. За результатами проведених досліджень на коліях метрополітену були побудовані криві зносу, при використанні яких можна визначати та прогнозувати строки служби стрілок і хрестовин в будь-який період експлуатації аж до набуття

допустимої величини зносу ($h_{дон}$). Дослідження інтенсивності зносу поверхні кочення стрілок і хрестовин (тобто зносостійкості «і», мм/млн. т. бр.) в різних умовах експлуатації та факторний аналіз і порівняння цього показника з існуючими нормативами, що застосовуються на коліях метрополітенів і магістральних залізниць, дозволило розробити і запропонувати нові, більш економічні нормативи строків служби стрілок і хрестовин для колій Київського метрополітену. Нові нормативи строків служби для стрілок і хрестовин прийняті і затверджені «Технічними умовами на експлуатацію стрілочних переводів на коліях Київського метрополітену», 2015 р.

4. В цілях вивчення закономірностей зносостійкості, дефектостійкості та визначення нормативних і гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів для магістрального транспорту виконано збір та аналіз об'єктивних даних про роботу стрілочних переводів в різних експлуатаційних умовах на коліях Укрзалізниці. Виконано прогнозування зносостійкості та нормативних строків служби хрестовин стрілочних переводів для конструкцій найбільш розповсюджених на коліях магістрального транспорту стрілочних переводів марок 1/9 і 1/11 з рейок типу Р65, укладених на залізобетонних і дерев'яних брусах, для умов експлуатації з різною вантажонапруженістю від головних колій до приймально-відправних.

5. Вперше, в дисертаційних дослідженнях рішення задачі прогнозування нормативного тоннажу по хрестовинам виконано за допомогою нової методики, яка включає спільне застосування: експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин на залізницях, математично-статистичний аналіз результатів спостережень, графоаналітичний аналіз і побудову графічних залежностей прогнозованого зносу у функції від пропущеного тоннажу та розробку кінцевих розрахункових формул для визначення прогнозованого нормативного тоннажу ($T_{норм}^{розр}$), що очікується пропускати по хрестовинам при досягненні нормованої величини зносу поверхні кочення (h_n).

6. Розрахункові значення прогнозованого нормативного пропущеного тоннажу ($T_{норм}^{розр}$) для всіх розглядаємих конструкцій стрілочних переводів перевірені безпосередніми експлуатаційними спостереженнями за роботою стрілочних переводів в умовах роботи головних та приймально-відправних колій Укрзалізниці з визначенням нормативного тоннажу в експлуатаційних умовах ($T_{норм}^{експл}$). Перевірка підтвердила практично повне сходження результатів ($T_{норм}^{розр} = T_{норм}^{експл}$). Відносна похибка отримана в межах 5-6%.

7. Аналіз результатів розрахунків показав, що зберігаються основні закономірності щодо динаміки зміни шуканих розрахункових характеристик прогнозованого нормативного тоннажу ($T_{норм}^{розр}$) відповідно до зміни вихідних характеристик експлуатаційних умов (вантажонапруженості «Г», млн. т·км/км за рік; і комплексної характеристики експлуатаційних умов «U», кН·с/м), а також взаємовідношень між зносом осердь і вусовиків; зносом хрестовин укладених на залізобетонних і дерев'яних брусах.

8. Розроблено і запропоновано методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин стрілочних переводів ($T_{гарант}$), яка заснована на зборі об'єктивних даних з експлуатації хрестовин в різних експлуатаційних умовах та статистичному аналізі та обробці цих даних методами математичної статистики, з

метою визначення ймовірності безвідмовної роботи вказаних конструкцій. Були використані аналіз та статистична обробка результатів широкомасштабних досліджень за експлуатаційною роботою стрілочних переводів в колії протягом всього періоду експлуатації до їх вилучення з колії та встановлені кількість та інтенсивність накопичення недопустимих дефектів або пошкоджень на конструктивних елементах стрілок і хрестовин, які порушують нормальну експлуатацію стрілочних переводів.

9. В кінцевому результаті гарантійні строки служби стрілок та хрестовин були визначені як частка (%) від нормативного тоннажу, тобто як імовірність безвідмовної роботи цих конструкцій без появи недопустимих дефектів або пошкоджень протягом гарантійного строку служби: $T_{\text{гарант}} = R(t) \cdot T_{\text{норм}}$. Нормативи гарантійних строків служби встановлені для основних несучих металевих елементів стрілочних переводів (в стрілках – для рамних рейок та вістряків; в хрестовинах – для осердь та вусовиків) типових конструкцій з хрестовинами марок 1/11 та 1/9 з рейками типу Р65 і Р50. Нормативи розраховані для роздільного застосування: для стрілочних переводів на дерев'яних і залізобетонних брусах.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав:

1. O. Oliinyk, V. Boiko, V. Molchanov and O. Soroka. Research of geometric parameters of symmetric railroad switches // 3-rd International Scientific and Practical Conference «Energy-optimal Technologies, Logistics and Safety in Transport» (EOT-2023). - MATEC Web of Conferences. Volume 390, 2024, <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439004007>

Статті у фахових виданнях України:

2. Сорока О.О. Особливості діагностики та прогнозування довговічності стрілочних переводів при експлуатації в колії // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 17. – К.: ДЕТУТ, 2010. – С. 104-109.

3. Сорока О.О. Заходи для подовження терміну служби рейок по дефектності // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 18. – К.: ДЕТУТ, 2011. – С. 108-112.

4. Сорока О.О. Аналіз методів діагностики земляного полотна. Їх переваги та недоліки // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 19. – К.: ДЕТУТ, 2011. – С. 75-80.

5. Даніленко Е.І. Дослідження впливу динамічних колісних навантажень, вантажонапруженості і швидкостей руху поїздів на міцність, стійкість і строки служби рейок, скріплень на інших елементах ВБК/ Даніленко Е.І., Йосифович Р.М., Олійник О.А., Сорока О.О. // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 22. – К.: ДЕТУТ, 2013. – С. 10-20.

6. Даніленко Е.І. Впровадження прискореного і швидкісного руху поїздів на залізницях України потребує розробки і застосування нових нормативних допусків по ширині рейкової колії в прямих і кривих// Даніленко Е.І, Черніцький Р.Р., Йосифович Р.М., Молчанов В.М., Олійник О.А., Сорока О.О./ Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – № 2. – 2017. – С. 45 - 54.

7. Бойко В.Д. Встановлення нормативів строків служби стрілочних переводів для умов експлуатації київського метрополітену/ Бойко В.Д., Молчанов В.М., Сорока О.О. // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства інфраструктури України. – Вип. 178. – Х.: УкрДУЗТ, 2018. – С. 59-67.

8. Olha Soroka Research of frogs point wear resistance in various conditions for transportation systems: main-line railway and subway // Collection of Scientific Papers of the State University of Infrastructure and Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine: Series «Transport Systems and Technologies». № 41. Kyiv: SUIT, 2023. P. 117-130. DOI:10.32703/2617-9059-2023-41.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Сорока О.О. Діагностика та прогнозування надійності і довговічності конструкцій залізничної колії// Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка та управління: тези доповідей V міжнародн. наук.-практ. конф. – Сер. «Техніка, технологія» – К.: ДЕТУТ, 2011. – С. 132-134.

10. Сорока О.О. Проблеми прогнозування технічного стану колії в сучасних умовах // «Шляхи та напрями структурної реформи залізничного транспорту України»: тези наук.-практ. конф. молодих викладачів, аспірантів і магістрів –К.: ДЕТУТ, 2012. – С. 100-102.

11. Сорока О.О. Параметри, які впливають на виникнення дефектів і розладів залізничної колії // «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки»: тези ХІІ наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студентів – К.: ДЕТУТ, 2012. – С. 56-58.

12. Сорока О.О. Виявлення дефектів та пошкоджень у рейках та стрілкових переводах за допомогою неруйнівного контролю// Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка та управління: тези доповідей VI міжнародн. наук.-практ. конф. – Сер. «Техніка, технологія» – К.: ДЕТУТ, 2013. – С. 134-135.

13. Сорока О.О. Ефективність використання наявних засобів дефектоскопії на українських залізницях// праці міжнародн. наук.-практ. конф. «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу», яка присвячена 100-річчю професора Мойсея Абрамовича Фрішмана. Д.: ДНУЗТ, 2013. – С.101-103.

14. Сорока О.О. Особливості виникнення додаткових динамічних сил при русі по стрілці по прямій колії // матеріали 78 міжнародн. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: ДНУЗТ, 2018. – С. 189-191.

15. Сорока О.О. Дослідження зносу елементів стрілочних переводів для експлуатаційних умов Київського метрополітену // Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції. – К.: ДУІТ, 2022. – С. 221-223.

16. Сорока О.О. Дослідження умов експлуатації стрілочних переводів магістральних залізниць // Тези науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, молодих вчених та викладачів. – К.: ДУІТ, 2023. – С. 614-615.

17. Сорока О.О. Нова теоретична методика прогнозування нормативних строків служби хрестовин стрілочних переводів // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології». – К.: ДУІТ, 2023. – С. 185-191.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

18. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269. – затв. наказом Укрзалізниці від 01.03.2012 р. №072-Ц. – Київ: Укрзалізниця, 2012. – 457 с.

19. Даніленко Е.І., Бойко В.Д., Курган М.Б., Твердомед В.М., Молчанов В.М., Сорока О.О., Олійник О.А. Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії // Підручник для ВНЗ залізничної галузі в 2-х томах. – К.: «Хай-Тек Прес», 2019. – Том 1. – 344 с.

20. Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних експлуатаційних умовах. // стандарт АТ «Укрзалізниця» СТП 06041:2021 – К.: АТ «Укрзалізниця», 2021 р. – 48 с.

АНОТАЦІЯ

Сорока О.О. Прогнозування зносостійкості та строків служби стрілочних переводів в умовах експлуатації різних транспортних систем: магістрального транспорту та метрополітенів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – Транспортні системи. – Державний університет інфраструктури та технологій – Київ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-технічної проблеми прогнозування строків служби стрілочних переводів, які експлуатуються в умовах різних транспортних систем: магістрального транспорту та метрополітенів, що в свою чергу дозволяє визначати нормативні та гарантійні значення пропущеного тоннажу при досягненні нормованої величини зносу елементів стрілочних переводів.

Були проведені експериментальні дослідження зносостійкості стрілочних переводів в умовах експлуатації залізничних колій Київського метрополітену. В результаті отримані графоаналітичні залежності зносостійкості поверхні кочення стрілок і хрестовин в функції від пропущеного тоннажу. За допомогою вказаних залежностей можна визначати поточне значення зносу стрілок і хрестовин в будь-який період експлуатації, що характеризується пропущеним тоннажем, а також прогнозувати строки служби конструкції в будь-який період експлуатації чи в період проектування укладки стрілочного переводу.

Рішення задачі прогнозування нормативного тоннажу по хрестовинам виконано за допомогою нової методики, яка передбачає спільне застосування: експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин на залізницях; математично-статистичний аналіз результатів спостережень; графоаналітичний аналіз та побудову графічних залежностей прогнозованого зносу у функції від пропущеного

тоннажу. Розроблена та застосована нова розрахункова формула для визначення прогнозованого нормативного тоннажу, що очікується пропускати по хрестовинам при досягненні нормованої величини зносу поверхні кочення. Визначені нормативні строки служби стрілок і хрестовин при різних експлуатаційних умовах.

Удосконалено розрахункову методику визначення гарантійних строків служби стрілок і хрестовин на основі статистичного аналізу імовірності вилучення з експлуатації дефектних конструкцій. Методика застосована для широкого спектру експлуатаційних умов.

Ключові слова: магістральний транспорт, метрополітени, стрілочні переводи, вантажонапруженість, стрілка, хрестовина, рамна рейка, вістряк, осердя, вусовик, зносостійкість, дефектостійкість, прогнозування, нормативні строки служби, гарантійні строки служби.

THE SUMMARY

Olha Soroka Predicting the wear resistance and service life of railway switches under the operating conditions of various transport systems: mainline transport and underground railways. – Manuscript

The thesis to obtain scientific degree of the candidate of technical sciences in specially 05.22.01 - Transport Systems. - State University of Infrastructure and Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine. Kyiv, 2024.

The dissertation is devoted to solving the scientific and technical problem of predicting the service life of switches operated in different transport systems: mainline transport and subways, which in turn allows determining the standard and warranty values of the missed tonnage when the normalized wear of the switch elements is reached.

Experimental studies of the wear resistance of switches under the conditions of operation of the Kyiv subway tracks were carried out. As a result, graph-analytical dependences of the wear resistance of the rolling surface of switches and crosses as a function of the tonnage passed were obtained. Using these dependencies, it is possible to determine the current value of wear of switches and crosses in any period of operation, characterized by the missed tonnage, as well as to predict the service life of the structure in any period of operation or during the design period of laying the switch.

The problem of predicting the standard tonnage for crossbars was solved using a new methodology that involves the joint application of: operational observations of crossbars on railways; mathematical and statistical analysis of the observation results; graphical analysis and construction of graphical dependencies of the predicted wear as a function of the missed tonnage. A new calculation formula was developed and applied to determine the predicted standard tonnage expected to be passed through the crosspieces when the standardized amount of rolling surface wear is reached. The standard service life of switches and crosses under different operating conditions was determined.

The calculation methodology for determining the warranty service life of switches and crosses has been improved based on a statistical analysis of the probability of removing defective structures from service. The methodology is applied to a wide range of operating conditions.

Keywords: mainline transport, subways, railway switches, service load, switch, frog, stock rail, tongue rail, switch core, wing rail, wear resistance, defect resistance, prognosis,

СОРОКА ОЛЬГА ОЛЕКСІЇВНА

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА СТРОКІВ СЛУЖБИ
СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РІЗНИХ
ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ: МАГІСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ
ТА МЕТРОПОЛІТЕНІВ**

Спеціальність 05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 15.04.2024 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір офсетний.
Друк цифровий Ум. -друк. арк. 0,9. Обл.-видав. арк. 0,9
Замовлення № 2290-00/24. Наклад 100 прим.

Надруковано в редакційно-видавничому відділі
Державного університету інфраструктури та технологій.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготовлювачів видавничої продукції Серія ДК № 6148 від 18.04.2018 р.
03049, м. Київ-49, вул. Івана Огієнка, 19