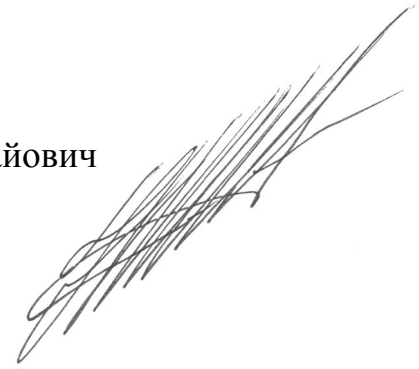
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Коростельов Євген Миколайович



УДК 625.143:625.42

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РЕЙОК МЕТРОПОЛІТЕНУ ШЛЯХОМ УПОВІЛЬНЕННЯ РОЗВИТКУ ЇХ ДОМІНУЮЧИХ ДЕФЕКТІВ

Спеціальність 05.22.06 – Залізнична колія

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Скорик Олексій Олексійович, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри колії та колійного господарства, декан Будівельного факультету

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Косарчук Валерій Володимирович,
Державний університет інфраструктури та технологій, завідувач кафедри теоретичної та прикладної механіки

кандидат технічних наук, доцент
Баль Олена Миронівна,
завідувач кафедри «Рухомий склад і колія» Львівської філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Захист відбудеться «14» грудня 2017 року о $13^{\underline{30}}$ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.820.01 в Державному університеті інфраструктури та технологій, за адресою: 03049, м. Київ, вул. Івана Огієнка, 19, аудиторія № 305-а.

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

Автореферат розісланий «__» листопада 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 26.820.01,
к.т.н., доц. В.М. Твердомед

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Конструкція залізничної колії та особливості взаємодії в контакті «колесо-рейка» для умов метрополітену, в порівнянні з магістральними коліями, мають ряд відмінностей. Вони сприяють виникненню та розвитку пошкоджень, які можуть спричинити передчасний вихід рейок колій метрополітену в дефектні.

Головні колії метрополітенів, в основному, знаходяться в тунелях (головні колії КП «Харківський метрополітен» не мають в своєму складі наземних ланок), при відносно-невеликій протяжності перегонів між станціями. Ці обставини змушують дотримуватись особливого режиму руху поїздів. Тобто на перегонах метрополітену при великій кількості кривих ділянок колій малого радіусу існує необхідність у створенні великої кількості гальмівних ділянок та ділянок для стрімкого набору швидкості поїздів. Ці обставини створюють умови виникнення додаткової силової дії на елементи верхньої будови колії та призводять до посилення ступеню контактно-втомних процесів, що відбуваються внаслідок такої взаємодії в контакті «колесо-рейка» колій метрополітену.

Наразі в КП «Харківський метрополітен» експлуатуються рейки типу Р50. Більше того, стратегія ведення колійного господарства Харківського метрополітену не передбачає використання рейок з порівняно вищими характеристиками міцності.

Саме ці обставини викликають необхідність розробки технічних рішень по підвищенню експлуатаційного ресурсу рейок типу Р50 колій метрополітену, як таких, що будуть і надалі використовуватись в коліях КП «Харківський метрополітен» при тенденції до збільшення пасажирообігу, а відповідно і вантажонапруженості ліній.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає «Державній цільовій програмі будівництва та розвитку мережі метрополітенів на період до 2020 року» (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 грудня 2011 р. № 1361-р.).

Тема дисертації пов’язана з планами виконання науково-дослідних робіт кафедр «Залізнична колія та колійне господарство» та «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини» Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ), які виконувались в рамках госпдоговірних замовлень на виконання науково-дослідницьких робіт за завданнями КП «Харківський метрополітен», в яких автор дисертації брав участь як співвиконавець.

Автор приймав участь у співавторстві в наступних науково-дослідних роботах:

- «Розробка технічних вказівок на використання старопридатних рейок довжиною 12,5 та 25 м в коліях КП «Харківський метрополітен», тема № 67/1-14, державний обліковий номер № 0216U006885, Харків, УкрДУЗТ, 2014-2016 р.р.;
- «Дослідження впливу параметрів фінішного рейкошліфування на розвиток домінуючих дефектів рейок метрополітену», тема № 71/4-15, державний обліковий номер № 0216U009010, Харків, УкрДУЗТ, 2015-2016 р.р.

Мета та задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у підвищені експлуатаційного ресурсу рейок колій Харківського метрополітену шляхом

уповільнення розвитку їх домінуючих дефектів шляхом виконання робіт по шліфуванню та мащенню.

Для досягнення цієї мети вирішені **наступні задачі:**

- визначені домінуючі дефекти рейок колій Харківського метрополітену та найбільш ефективні методи зменшення інтенсивності їх розвитку на основі проведеного аналізу існуючих теорій виникнення та розвитку дефектів контактно-втомного походження;
- виконані стендові дослідження впливу шорсткості контактуючих поверхонь моделей колеса та рейки на коефіцієнт тертя за умов сухого контакту та контактування з мащенням;
- розроблена математична модель інтенсивності зношування бокової робочої поверхні головки рейки кривих ділянок колій метрополітену на основі результатів експериментальних досліджень;
- розроблена математична модель інтенсивності розвитку дефектів рейок контактно-втомного походження кривих ділянок колій метрополітену на основі результатів експериментальних досліджень в умовах експлуатації;
- розроблена методика прогнозування ресурсу рейок метрополітену зовнішньої рейкової нитки кривих ділянок колій;
- розроблена методика попереджувального шліфування бокової робочої поверхні головки рейки зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках колій метрополітену з виконанням мащення.

Об’єкт дослідження – розвиток дефектів рейок метрополітену контактно-втомного походження.

Предмет дослідження – закономірності впливу попереджувального шліфування та мащення на інтенсивність розвитку дефектів рейок метрополітену контактно-втомного походження.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились із застосуванням основних положень теорії надійності, механіки контактної взаємодії та трібології. Стендові та експериментальні дослідження в умовах експлуатації виконані із застосуванням апробованих методик та на основі теорії моделювання і планування експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. *Вперше* отримані закономірності впливу параметрів попереджувального шліфування рейок в кривих ділянках колій метрополітену на силу та коефіцієнт тертя в контакті «колесо-рейка»;
2. *Вперше* отримані закономірності впливу параметрів попереджувального шліфування на експлуатаційний ресурс рейок кривих ділянок колій метрополітену.
3. *Удосконалено* математичну модель інтенсивності контактно-втомного зношування рейок метрополітену, яка, на відміну від існуючих, враховує параметри попереджувального шліфування рейок;
4. *Набув подальшого розвитку* метод прогнозування ресурсу рейок метрополітену, який, на відміну від існуючих, базується на закономірностях впливу параметрів попереджувального шліфування на розвиток їх домінуючих дефектів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Сконструйовано лабораторний стенд для дослідження впливу шорсткості контактуючих поверхонь на коефіцієнт тертя в модельному контакті «колесо-рейка» та запропоновано методику виконання стендових досліджень при сухому контакті та за умов мащення;

2. Розроблено методику виконання попереджувального шліфування бокової робочої поверхні головки рейки зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках колій метрополітену;

3. Розроблено методику прогнозування ресурсу рейок кривих ділянок колій метрополітену;

4. Технічний результат від застосування запропонованої методики полягає у збільшенні ресурсу рейок зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках колій метрополітену для умов сухого контакту на 18 % та з мащенням на 31 %;

5. Методика виконання попереджувального шліфування бокової робочої поверхні головки рейки зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках колій Харківського метрополітену впроваджена КП «Харківський метрополітен»;

6. Результати дисертаційних досліджень впроваджені при підготовці фахівців Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення та практичні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто. Роботи, виконані разом зі співавторами, наведені в переліку публікацій.

З основних праць, опублікованих у співавторстві, використовуються результати, отримані особисто здобувачем, а саме:

- проведено аналіз існуючих методів зменшення впливу дії коліс рухомого складу на бокову робочу поверхню головки рейки зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках колій метрополітену, та, як наслідок – методів зменшення контактно-втомних пошкоджень та процесів зношування в парі тертя «колесо-рейка» [1, 4, 11];

- при розгляді задачі контакту двох пружних циліндричних тіл, які мають одинакові характеристики пружності отримано геометричні параметри моделей колеса та рейки, а також визначені значення величин навантажень на модельні зразки для проведення стендових досліджень [2, 11];

- розроблено математичну модель інтенсивності зношування бокової робочої поверхні головки рейки в кривих ділянках колій метрополітену на основі результатів експериментальних досліджень, а також математичну модель інтенсивності розвитку дефектів рейок контактно-втомного походження кривих ділянок колій метрополітену на основі результатів експериментальних досліджень в умовах експлуатації [11];

- встановлено значення раціональної шорсткості бокової робочої поверхні головки рейки зовнішньої рейкової нитки кривих ділянок колій метрополітену при виконанні робіт з попереджувального шліфування для уповільнення розвитку дефектів контактно-втомного походження [3, 5, 11];

- визначено домінуючі види дефектів рейок колій метрополітену, а також найбільш ефективні методи боротьби з ними [4, 11].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційних досліджень доповідались на 6-ти міжнародних науково-практичних конференціях [6-11]:

- 76-й, 77-й, 78-й Міжнародних науково-технічній конференціях кафедр Українського державного університету залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків 2014-2016 р.р.) [6, 8, 9];
- Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» присвяченої 80 річчю кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин (м. Харків 2014 р.) [6];
- XVII-й Міжнародній науково-технічній конференції Асоціації спеціалістів промислової гідравліки та пневматики «Промислова гідравліка і пневматика» (м. Харків 2016 р.) [9];
- Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції: «Наукові дослідження та їх практичне застосування. Сучасний стан та шляхи розвитку 2016» [11].

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалась та обговорювалась на розширеному засіданні кафедри «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини» (БКВРМ) (м. Харків, 20 жовтня 2016 р.) та міжкафедральному семінарі кафедр «Залізнична колія та колійне господарство» (ККГ), «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини» (БКВРМ), «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» (БМКС), «Будівельна механіка та гідравліка» (БМГ) Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) (Харків, 16 березня 2017 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації, результати теоретичних, стендових та експериментальних досліджень в умовах експлуатації опубліковано в 5-ти друкованих наукових працях [1-5], а також в 6-ти тезах доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях. Наукові праці [1-3, 5] опубліковано у виданнях України, які включено до переліку фахових видань МОН України, в т. ч. робота [3] опублікована в журналі, який включено до науково-метричної бази «SCOPUS», робота [4] опублікована в журналі, який включено до науковометричної бази «РИНЦ SCIENCE INDEX».

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п’яти основних розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і семи додатків. Основний текст дисертації викладено на 138 друкованих сторінках тексту формату А4, який містить 40 рисунків, 28 таблиць та список використаних джерел із 145 найменувань на 18 сторінках, 7 додатків на 36 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

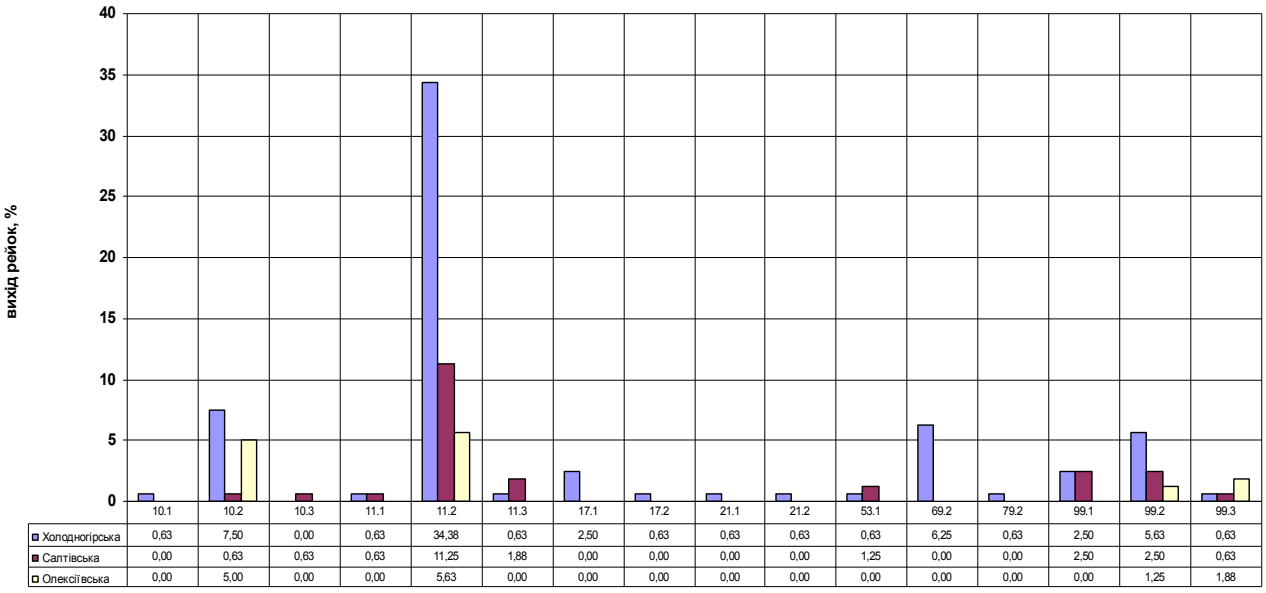
Вступ містить загальну характеристику роботи. Обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, доведено новизну і практичне значення отриманих результатів, вказано на особливий внесок автора в роботу, приведено інформацію про апробацію та публікації одержаних результатів, проведено аналіз існуючих досліджень за напрямком дисертаційної роботи – підвищення ресурсу роботи рейок метрополітену.

В першому розділі проведено аналіз попередніх досліджень в області контактної взаємодії в контакті «колесо-рейка» колій метрополітену.

Визначено, що протягом періоду існування залізниць дослідженням цього питання займалось багато вчених. Серед яких істотних результатів досягли: А.Ю. Абдурашидов, Н.М. Бєляєв, М.Х. Ахметзянов, С.А. Колотушкін, В.С. Лисюк, М.І. Кулагін, Є.А. Шур, В.А. Кіслік, П.П. Цуканов, Л.П. Мелентьєв, С.М. Бромберг, М.В. Веріго, В.Г. Альбрехт, В.Ф. Яковлєв, А.Я. Коган, А.Д. Конюхов, Г.М. Шахунянц, В.В. Рибкін, К.Ю. Цеглинський, Л.С. Казарновський, Р.С. Ніколаєв, В.В. Лемпицький, О.М. Школьник, А.Ф. Золотарський, В.Н. Данілов та ін.

При цьому дослідженням роботи рейок в залізничних коліях метрополітену займалося значно менше дослідників: О.В. Агарков, Е.І. Даніленко, О.М. Даренський, М.І. Карпов, О.О. Шехватов, В.П. Шраменко, Е.А. Шур та інші.

З виконаного аналітичного огляду досліджень тертя та зношування в контакті «колесо-рейка» встановлено, що з 1986 р. основними видами дефектів рейок колій Харківського метрополітену були дефекти за рисунками 11.1-2 – контактно-втомного походження, які розвиваються в головці рейки з причин недостатньої контактно-втомної міцності рейкової сталі, рис.1:



	10.1	10.2	10.3	11.1	11.2	11.3	17.1	17.2	21.1	21.2	53.1	69.2	79.2	99.1	99.2	99.3
Холодногірська	0,63	7,50	0,00	0,63	34,38	0,63	2,50	0,63	0,63	0,63	0,63	6,25	0,63	2,50	5,63	0,63
Салтівська	0,00	0,63	0,63	0,63	11,25	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	2,50	2,50	0,63
Олексіївська	0,00	5,00	0,00	0,00	5,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	1,88

Рис. 1 – Загальний вихід рейок по лініям КП «Харківській метрополітен»

Також помічено залежність загальної кількості вилучених рейок Харківського метрополітену від показників плану колії. Переважна більшість вилучених рейок з колій КП «Харківський метрополітен» визнані дефектними за рисунком 11.1-2 та були вилучені з кривих ділянок колій.

Аналіз технічного стану рейок колій КП «Харківський метрополітен» показав, що окрім дефектів за рисунком 11.1-2 відзначаються частою появою похилі паралельні тріщини на боковій поверхні головки зовнішньої рейки в кривих ділянках колій. Похилі паралельні тріщини на боковій робочій поверхні головки рейки можуть розвиватися, об’єднуватися та призводити до викришувань поверхневих шарів металу головки рейки. Дані пошкодження виникають внаслідок поступового накопичення пластичних деформацій від кожного циклу навантажень.

Ефективним методом боротьби з дефектами рейок контактно-втомного походження є управління тертям, яке представляє собою процес контролю параметрів поверхонь в контакті «колесо-рейка» з періодичним забезпеченням їх значень на рівні, що відповідає конкретним умовам експлуатації, а саме геометрії контакту, діючим навантаженням, та контактно-втомній міцності рейкової сталі.

З урахуванням досліджень в галузі тертя та зношування, раціональні параметри шорсткості бокової робочої поверхні головки рейки зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках колій повинні мати значення, які знаходяться в області мінімуму *U*-образної кривої, що описує зміну коефіцієнту тертя f_{mp} від параметрів шорсткості контактуючих поверхонь R_a.

Встановлено, що найефективнішим, з точки зору контактної взаємодії, методом уповільнення розвитку домінуючих дефектів рейок метрополітену є поєднання шліфування та мащення з метою надання контактуючим поверхням раціональних параметрів мікрогеометрії та підтримці цих параметрів на відповідному рівні.

Сформульовано науково-технічну задачу, яка вирішується в роботі, наступним чином: **уповільнення розвитку дефектів рейок метрополітену контактно-втомного походження шляхом забезпечення раціональної шорсткості контактуючих поверхонь та їх мащення.**

В заключній частині першого розділу сформульовані мета та задачі досліджень.

В другому розділі визначено схему прикладання сил та величину навантажень на зовнішню рейку кривої метрополітену. З урахуванням отриманих значень виконано перерахунок реальних значень силової дії до лабораторних умов стендових досліджень модельних зразків колеса та рейки.

Визначення величини максимальних контактних напружень, які виникають в контакті «колесо-рейка» можливе за допомогою наближеного методу (метод кінцевих елементів МКЕ) або ж за допомогою методики Герца-Бєляєва (1-3) із коригуваннями професорів Г.М. Шахунянца (4) та В.Ф. Яковлева (5), яку було обрано для виконання цих розрахунків.

$$\sigma_z^{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{дин}}{\omega} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{дин}}{\pi \cdot a \cdot b} \quad (1)$$

$$a = m \cdot \sqrt[3]{\frac{3P_{дин}(1 - \nu)^2}{2E \cdot (A + B)}}; \; b = \frac{n}{m} a \quad (2)$$

Для прямої ділянки колії –

$$A = \frac{1}{2 \cdot r_2}; \; B = \frac{1}{2 \cdot r_1} \quad (3)$$

$$\sigma_z^{\max} = \frac{\varphi \cdot m_0}{\kappa_\phi} \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{дин} \cdot E^2}{R^2}} \quad (4)$$

$$2\tau_{\max} = \frac{0{,}63 \cdot \varphi \cdot m_0}{\kappa_\phi} \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{дин} \cdot E^2}{R^2}} \quad (5)$$

Для кривої ділянки колії –

$$\sigma = f\left(\sigma^{Г\text{-}Б}; \alpha_в; \alpha_к; \alpha_у; \alpha_r; \alpha_{rb}; \alpha_м\right) \quad (6)$$

де $\sigma_z^{\max}$ – максимальні контактні напруження;

$P_{дин}$ – величина динамічної вертикальної сили в контакті колеса з рейкою;

m і n – коефіцієнти, які приймаються в залежності від кута Θ, що визначається з відношення $\cos \Theta = |B - A| / (A + B)$;

φ – коефіцієнт, що враховує вплив дотичних сил (при максимальній силі тяги, що дорівнює 1/3 величини $P_{дин}$, $\varphi = 1{,}40$; за відсутністю сили тяги $\varphi = 1{,}0$);

κ_ϕ – коефіцієнт, що враховує різницю між фактичною площею контакту та розрахунковою (для нових коліс $\kappa_\phi = 1{,}3$; для зношених коліс $\kappa_\phi = 1{,}4 – 2{,}0$);

m_0 – коефіцієнт, що враховує фактичне співвідношення радіусів контактуючих тіл r_1/r_2.

$\tau_{\max}$ – максимальні дотичні напруження, які виникають на поверхні головки рейки в центрі еліпса контакту.

$\sigma^{Г\text{-}Б}$ – контактні напруження, визначені за теорією Герца-Бєляєва;

$\alpha_в$ – коефіцієнт, що враховує вплив розмірів головки рейки;

$\alpha_к$ – коефіцієнт, що враховує вплив розмірів контактної площадки;

$\alpha_у$ – коефіцієнт, що враховує вплив ухилу бокової грані;

α_r – коефіцієнт, що враховує вплив радіусів коліс і головки рейки;

α_{rb} – коефіцієнт, що враховує вплив радіусу поверхні контакту і розмірів контактної площини;

$\alpha_м$ – коефіцієнт, що враховує вплив мікронерівностей на поверхні кочення головки рейки.

В лабораторних умовах змодельовано контакт «колесо-рейка» та проведені експериментальні дослідження впливу шорсткості контактуючих поверхонь на параметри тертя.

Для вимірювання сили тертя в контакті був використаний лабораторний стенд, рис. 2:

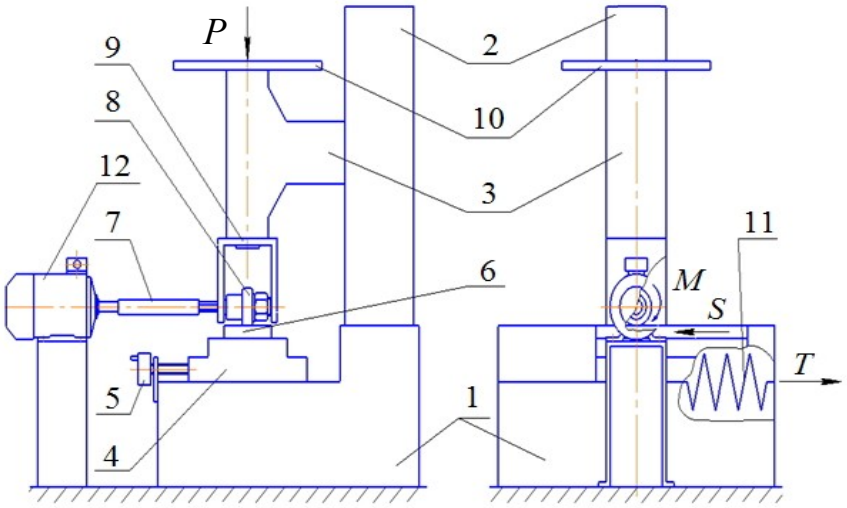


Рис. 2 – Схема лабораторного стенду: 1 – станина; 2 – напрямна колонка; 3 – навантажувальна стійка; 4 – рухома платформа; 5 – маховик поперечної подачі; 6 – зразок рейки (пластина); 7 – привідний вал; 8 – зразок колеса (модельний ролик); 9 – рама ролика; 10 – навантажувальна поверхня; 11 – пружина; 12 – електродвигун

З метою підтвердження отриманих експериментальним шляхом на лабораторному стенді закономірностей впливу шорсткості контактуючих поверхонь на інтенсивність зношування в контакті «колесо-рейка» були проведені експериментальні дослідження в умовах експлуатації кривих колій Харківського метрополітену.

Розроблена методика виконання експериментальних досліджень в умовах експлуатації впливу шорсткості контактуючих поверхонь на інтенсивність розвитку дефектів контактно-втомного походження рейок колій Харківського метрополітену.

Визначення розмірів дефектів контактно-втомного походження виконувалось шляхом обробки знімків з цифрового USB-мікроскопу, рис. 3:

а б

Рис. 3 – Визначення розмірів дефектів контактно-втомного походження за допомогою обробки знімків з цифрового USB-мікроскопу: а – фотознімок, який підлягає аналізу; б – аналіз фотознімку на середній розмір дефектів контактно-втомного походження; L_1, …, L_n – довжини дефектів

Визначення середнього розміру дефектів контактно-втомного походження дослідних ділянок виконувалось за наступною формулою:

$$I_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{n}, \quad (7)$$

де L_i – довжина одного дефекту на дослідній ділянці рейки, мм;
I_{CP} – середній розмір дефекту, мм.

Розроблена методика виконання експериментальних досліджень впливу шорсткості контактуючих поверхонь на параметри тертя при виконанні експериментальних досліджень в умовах експлуатації дали змогу визначити раціональні параметри мікрогеометрії контактуючих поверхонь в контакті «колесо-рейка» колій Харківського метрополітену.

Третій розділ присвячений дослідженню впливу параметрів шорсткості контактуючих поверхонь на характеристики тертя та інтенсивності зношування в контакті «колесо-рейка» кривих ділянок колій метрополітену.

Відповідно до проведених теоретичних досліджень та досліджень в галузі трібології, для проведення стендових досліджень пропонується встановити наступний діапазон зміни параметрів шорсткості поверхонь R_a = 4 – 0* мкм. (* значення шорсткості R_a = 0,008 мкм, що відповідає 14-му класу шорсткості за стандартами FEPA). Відповідно до цих значень було обрано шліфувальний папір Р150, Р220, Р320, Р500. Значення шорсткості R_a = 0* отримано шляхом полірування контактуючих поверхонь з використанням пасти ДОІ.

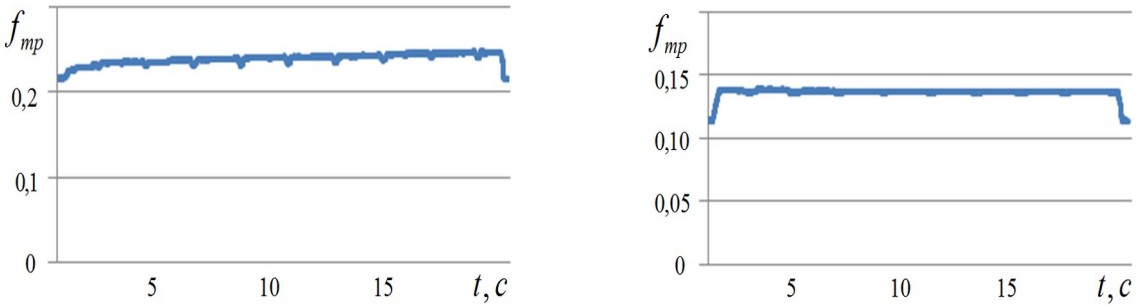
Програма проведення експерименту передбачала прикладення вертикального заданого зусилля *P, H* до ролика, яке було розраховане таким чином, щоб врахувати різницю розмірів модельних зразків колеса та рейки і натуральних елементів контакту «колесо-рейка», таблиця 1:

Таблиця 1

Програма проведення експериментальних досліджень

№ експерименту	Мащення	Шорсткість R_a, мкм	Контактні навантаження, *P*, Н
1	-	R_a = 4 мкм	70 100 130
		R_a = 2 мкм	
		R_a = 1 мкм	
		R_a = 0* мкм	
2	+	R_a = 4 мкм	70 100 130
		R_a = 2 мкм	
		R_a = 1 мкм	
		R_a = 0* мкм	

В ході проведення експериментальних досліджень впливу параметрів шорсткості контактуючих поверхонь на характеристики тертя та інтенсивності зношування в контакті «колесо-рейка» кривих ділянок колій метрополітену було отримано по 300 графіків зміни сили тертя для умов сухого тертя та тертя з мащенням. Значення графіків зміни сили тертя були перераховані та отримано графіки зміни коефіцієнту тертя в «модельному» контакті «колесо-рейка» в умовах випробувань на лабораторному стенді, рис. 4:



а б

Рис. 4 – Приклад результатів стендових досліджень:
а – за умов сухого тертя; б – за умов тертя з мащенням

На підставі результатів стендових досліджень, рис. 4, були отримані рівняння регресії, що описують залежність коефіцієнту тертя від шорсткості контактуючих поверхонь за різних умов обробки контактуючих поверхонь модельних зразків колеса та рейки при навантаженнях P = 70, 100 та 130 Н:

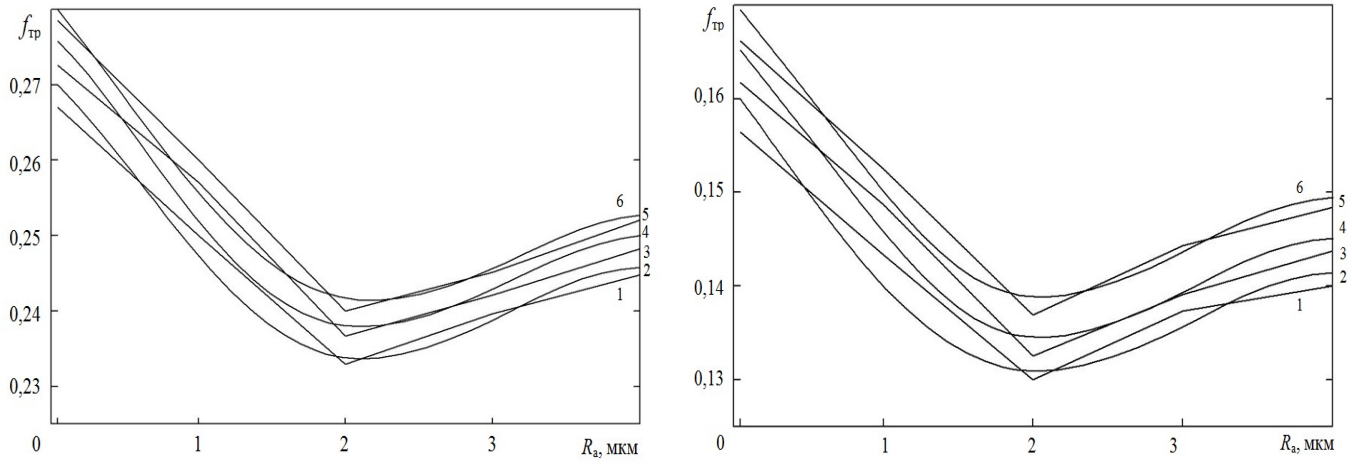
- для умов сухого тертя:

$$f_{mp} = 0{,}323 - 0{,}107 \cdot R_a + 0{,}0001 \cdot P + 0{,}038 \cdot R_a^2 + 0{,}000001 \cdot P^2 - 0{,}004 \cdot R_a^3 - 0{,}00001 \cdot R_a \cdot P \quad (8)$$

- для умов тертя з мащенням:

$$f_{mp} = 0{,}214 - 0{,}104 \cdot R_a + 0{,}00001 \cdot P + 0{,}04 \cdot R_a^2 + 0{,}000001 \cdot P^2 - 0{,}005 \cdot R_a^3 - 0{,}00002 \cdot R_a \cdot P \quad (9)$$

Отримані рівняння (8-9) дозволили побудувати графіки залежності коефіцієнта тертя від шорсткості контактуючих поверхонь при навантаженнях на модельні зразки, які в перерахунку відповідають реальним за умов контактування в кривій ділянці колії для умов сухого контакту та умов тертя з мащенням, рис. 5:



а б

Рис. 5 – Апроксимація результатів випробувань: а – для умов сухого тертя;
б – для умов тертя з мащенням; 2, 4, 6 – апроксимаційні криві при P = 70, 100, 130 Н;
1, 3, 5 – криві залежності коефіцієнту тертя від шорсткості контактуючих поверхонь
при заданому навантаженні на модельні зразки P = 70, 100, 130 Н

Проведені дослідження впливу шорсткості контактуючих поверхонь модельних зразків колеса та рейки на коефіцієнт тертя в контакті «колесо-рейка» за умов

сухого тертя та контактування з мащенням дали змогу визначити раціональне (з точки зору мінімуму тертя та зношування) значення шорсткості на рівні $R_a = 2$ мкм.

В четвертому розділі розглянуті проведені експериментальні дослідження рейок в умовах експлуатації кривих ділянок колій Харківського метрополітену. Розроблено метод прогнозування ресурсу рейок метрополітену, який враховує вплив шорсткості контактуючих поверхонь на розвиток дефектів контактно-втомного походження.

Програма експериментальних досліджень в умовах експлуатації колій Харківського метрополітену передбачала виконання досліджень ділянки на перегоні Майдан Конституції-Проспект Гагаріна (ПК 58+54,970-ПК 58+78,970). З огляду на значний ступінь ураження цієї ділянки дефектами контактно-втомного походження, додатково для порівняння, було обрано аналогічну за характеристиками дослідну ділянку на перегоні Захисників України-Архітектора Бекетова (ПК 102+36,970-ПК 102+60,970), строк експлуатації рейок на якій склав 2 місяці.

Умови підготовки та виконання експериментальних досліджень в коліях метрополітену були максимально-схожі зі стендовими дослідженнями «модельних» зразків. Незалежними факторами при проведенні експериментальних досліджень в умовах експлуатації були обрані: шорсткість бокової робочої поверхні головки рейки R_a та пропущений тоннаж T.

На підставі результатів експериментальних досліджень в умовах експлуатації отримані рівняння регресії, що описують розвиток дефектів контактно-втомного походження бокової поверхні головки рейки дослідних ділянок колій метрополітену в залежності від пропущеного тоннажу при різних умовах обробки контактуючих поверхонь, таблиця 3:

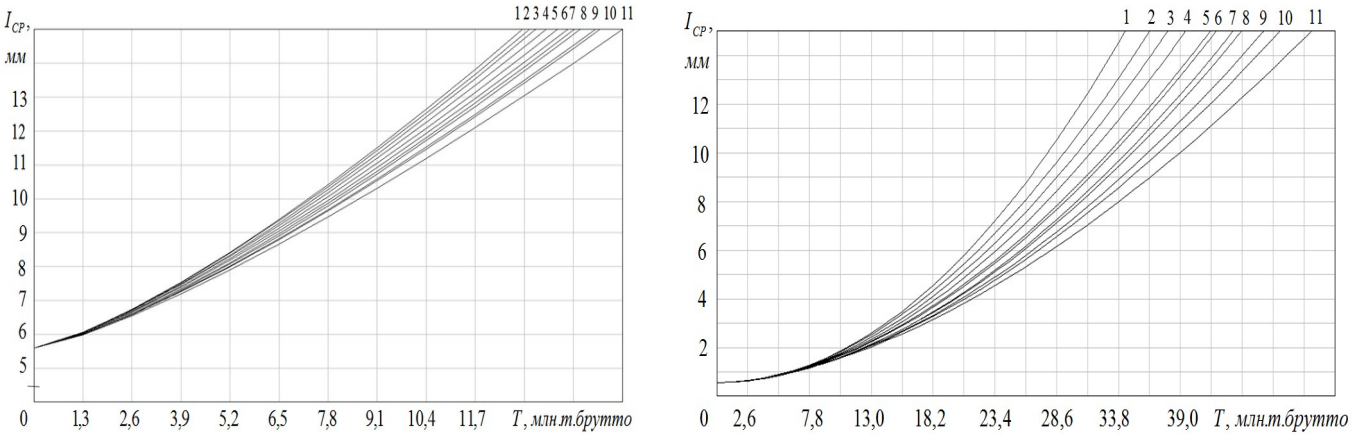
Таблиця 3

Рівняння регресії інтенсивності розвитку дефектів контактно-втомного походження від параметрів шорсткості контактуючих поверхонь

Параметри обробки		Дослідна ділянка на перегоні Майдан Конституції-Проспект Гагаріна	Дослідна ділянка на перегоні Захисників України-Архітектора Бекетова
Шліфування	Мащення		
-	-	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}328 \cdot T^{1{,}315}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}011 \cdot T^{2{,}017}$
до $R_a = 4$ мкм	-	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}326 \cdot T^{1{,}293}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}141 \cdot T^{1{,}889}$
до $R_a = 4$ мкм	+	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}292 \cdot T^{1{,}289}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}016 \cdot T^{1{,}776}$
до $R_a = 3$ мкм	-	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}319 \cdot T^{1{,}294}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}015 \cdot T^{1{,}841}$
до $R_a = 3$ мкм	+	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}292 \cdot T^{1{,}286}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}017 \cdot T^{1{,}741}$
до $R_a = 2$ мкм	-	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}314 \cdot T^{1{,}287}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}014 \cdot T^{1{,}838}$
до $R_a = 2$ мкм	+	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}282 \cdot T^{1{,}281}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}019 \cdot T^{1{,}693}$
до $R_a = 1$ мкм	-	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}322 \cdot T^{1{,}308}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}014 \cdot T^{1{,}911}$
до $R_a = 1$ мкм	+	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}293 \cdot T^{1{,}301}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}014 \cdot T^{1{,}815}$
до $R_a = 0$ мкм*	-	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}333 \cdot T^{1{,}304}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}013 \cdot T^{1{,}932}$
до $R_a = 0$ мкм*	+	$I_{CP} = 5{,}5 + 0{,}301 \cdot T^{1{,}318}$	$I_{CP} = 0{,}54 + 0{,}014 \cdot T^{1{,}838}$

За наведеними в таблиці 3 рівняннями регресії були побудовані графіки залежності інтенсивності розвитку дефектів контактно-втомного походження від

параметрів шорсткості контактуючих поверхонь в контакті «колесо-рейка» кривих ділянок колій метрополітену, рис. 6:



а б

Рис. 6 – Розвиток дефектів контактно-втомного походження: а – дослідної ділянки на перегоні Майдан Конституції-Проспект Гагаріна; б – дослідної ділянки на перегоні Захисників України-Архітектора Бекетова; 1 – без шліфування та мащення; 4, 5, 6, 3, 2 – шліфування до R_a = 4, 3, 2, 1, 0* мкм без мащення; 9, 10, 11, 8, 7 – шліфування до R_a = 4, 3, 2, 1, 0* мкм з мащенням

За результатами проведених досліджень в умовах експлуатації встановлено, що попереджувальне шліфування з мащенням призводить до уповільнення розвитку дефектів контактно-втомного походження бокової робочої поверхні головки рейки зовнішньої рейкової нитки кривих ділянок колій метрополітену. Визначено значення раціональної шорсткості на рівні R_a = 2 мкм при якому спостерігається мінімум швидкості розвитку дефектів контактно-втомного походження.

Розглядаючи контакт «колесо-рейка» як множинний контакт було визначено основне рівняння для розрахунку інтенсивності зношування даного контакту:

$$I_h = K_1 \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{h}{r}} \cdot \frac{p_a}{p_r} \cdot \frac{1}{n}, \tag{10}$$

Використовуючи отримані результати можливо визначити значення інтенсивності зношування в «модельному» контакті «колесо-рейка» для випробувань на лабораторному стенді за умов контакту без мащення при різних умовах обробки та навантаженні, яке є еквівалентним діючому в кривих ділянках колій метрополітену.

Експлуатаційний ресурс рейок метрополітену можна визначити користуючись раніше отриманими значеннями за наступною формулою:

$$T_p = \frac{I_{cp}^{zp} \cdot T}{I_h \cdot L_{mp}}, \tag{11}$$

де I_h – лінійна інтенсивність зношування ($I_h = I_{cp}^{zp} / L_{mp}$);

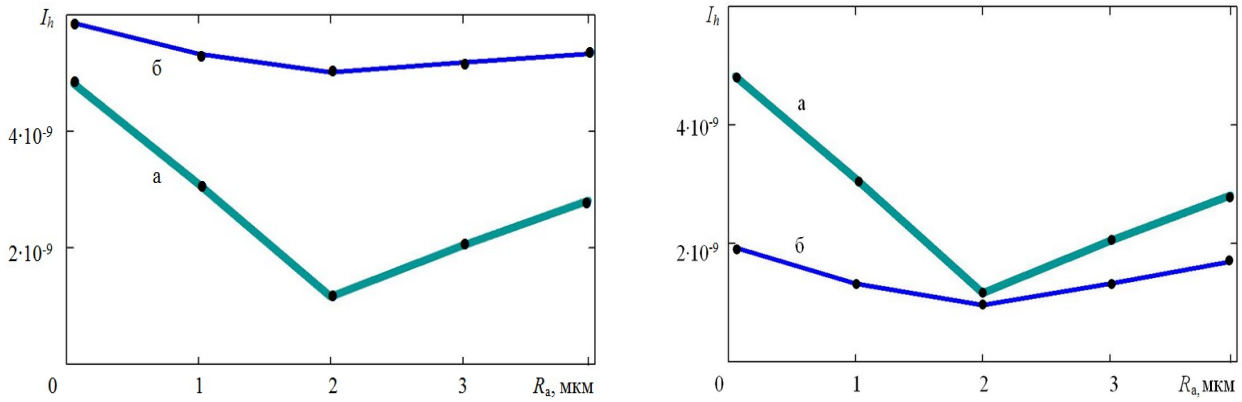
L_{mp} – довжина шляху тертя, яка розраховується за рівнянням:

$$L_{mp} = \pi \cdot d_к \cdot n_к \tag{12}$$

де $d_к$ – діаметр колеса вагону метрополітену;

$n_к$ – кількість колісних пар, пропущених по визначеній ділянці колії за період напрацювання тоннажу T до граничного значення розмірів середнього дефекту I_{cp}^{zp}.

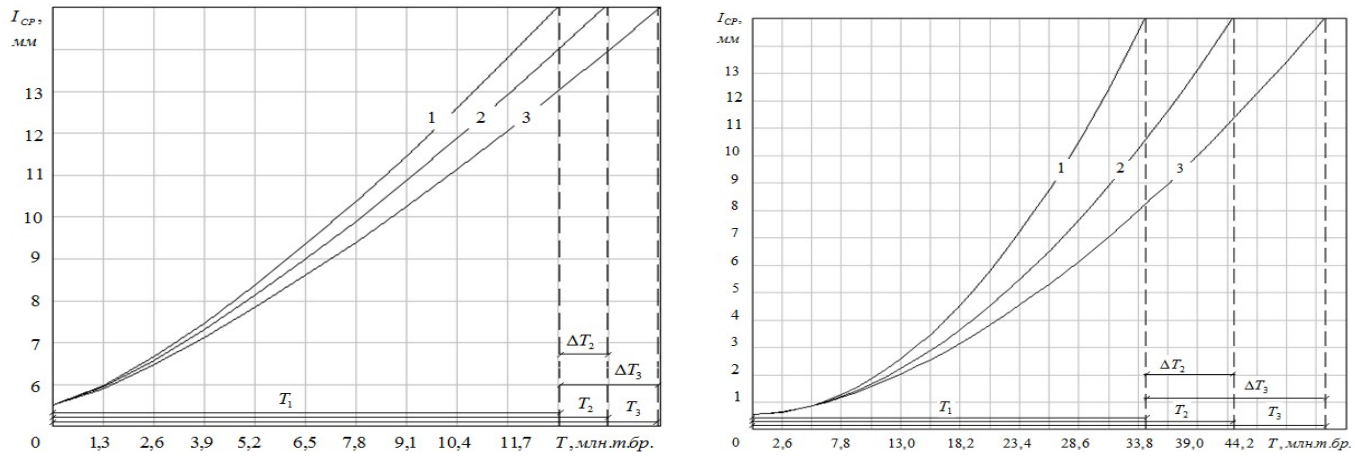
За (10) отримано залежності лінійної інтенсивності зношування бокової робочої поверхні головки рейки зовнішньої рейкової нитки в кривій від шорсткості контактуючих поверхонь дослідних ділянок колій, які зображені на рис. 7:



1 2

Рис. 7 – Інтенсивність лінійного зношування бокової робочої поверхні головки рейки метрополітену: 1 – дослідної ділянки на перегоні Майдан Конституції-Проспект Гагаріна; 2 – дослідної ділянки на перегоні Захисників України-Архітектора Бекетова; а – за результатами стендових досліджень; б – за результатами експериментальних досліджень в умовах експлуатації

Проведені експериментальні дослідження та експериментальні дослідження в умовах експлуатації колій Харківського метрополітену дозволили спрогнозувати ресурс рейки зовнішньої рейкової нитки кривих ділянок колій, як найбільш зношуваного для колій метрополітену, рис. 8:



а б

Рис. 8 – Прогнозування ресурсу рейки зовнішньої рейкової нитки кривої ділянки колій: а – дослідної ділянки на перегоні Майдан Конституції-Проспект Гагаріна; б – дослідної ділянки колії на перегоні Захисників України-Архітектора Бекетова; 1 – без виконання шліфування та мащення; 2 – при шліфуванні до R_a = 2 мкм, без мащення; 3 – при шліфуванні до R_a = 2 мкм та мащенні

Результати використання розробленої методики визначення експлуатаційного ресурсу рейок метрополітену в залежності від параметрів обробки контактуючих поверхонь в контакті «колесо-рейка» наведено в таблиці 4:

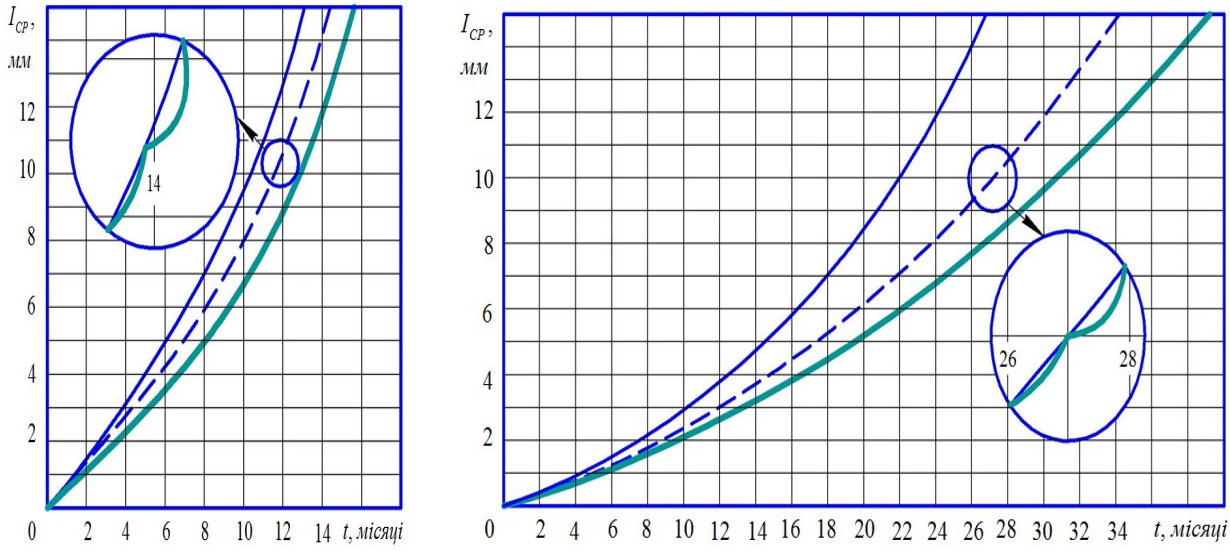
Таблиця 4

Результати визначення експлуатаційного ресурсу рейок метрополітену

Дослідна ділянка на перегоні Майдан Конституції-Проспект Гагаріна					Дослідна ділянка на перегоні Захисників України-Архітектора Бекетова				
Напрацьований тоннаж T, млн.т.брутто			Збільшення напрацювання тоннажу ΔT, млн.т.брутто		Напрацьований тоннаж T, млн.т.брутто			Збільшення напрацювання тоннажу ΔT, млн.т.брутто	
T_1	T_2	T_3	ΔT_2	ΔT_3	T_1	T_2	T_3	ΔT_2	ΔT_3
13,019	14,224	15,546	1,205	2,527	34,412	42,184	50,129	7,772	15,717

Відповідно до результатів наведених в таблиці 4 встановлено те, що виконання попереджувального шліфування рейок необхідно виконувати з початку їх експлуатації в кривих ділянках колій метрополітену з огляду на істотне уповільнення розвитку дефектів контактно-втомного походження дослідної ділянки колії на перегоні Захисників України-Архітектора Бекетова, строк служби рейок якої до початку проведення експериментальних досліджень в умовах експлуатації склав 2 місяці.

Для визначення раціональної періодичності виконання попереджувального шліфування рейок в кривих ділянках колій Харківського метрополітену було виконано прогнозування розвитку дефектів контактно-втомного походження, рис. 9:



а б

Рис. 9 – Прогнозування розвитку дефектів контактно-втомного походження рейок колій метрополітену: а – дослідної ділянки на перегоні «Майдан Конституції-Проспект Гагаріна»; б – дослідної ділянки на перегоні «Захисників України-Архітектора Бекетова»; — – без шліфування та мащення; — – при шліфуванні до R_a = 2 мкм з мащенням, періодичністю в 1 місяць; - - – при шліфувані до R_a = 2 мкм з мащенням, періодичністю в 2 місяці

Запропонована методика прогнозування ресурсу рейок метрополітену, рис. 9, дозволяє керувати розвитком основних дефектів рейок зовнішньої рейкової нитки кривих ділянок колій метрополітену в залежності від повторності та режимів виконання попереджувального шліфування з мащенням. За умови зменшення періодичності шліфування до 2-х місяців, уповільнення розвитку дефекту, за умови шліфування та мащення, кривої ділянки колії на перегоні Майдан Конституції-Проспект Гагаріна зменшиться з 16 % до 8 %. Для кривої ділянки колії на перегоні Захисників України-Архітектора Бекетова – з 31 % до 18 %.

П'ятий розділ присвячений вибору технічних засобів для виконання попереджувального шліфування бокової робочої поверхні зовнішніх рейок кривих ділянок колій метрополітену.

Для виконання попереджувального шліфування рейок в коліях КП «Харківський метрополітен» пропонується розглянути засоби малої механізації. Прикладом технічного засобу для виконання попереджувального шліфування рейок колій метрополітену може бути верстат рейкошліфувальний ВШР-1 (СЧРА), рис. 10.

Верстат ВШР-1 призначений для чистової обробки методом шліфування головок рейок Р50, Р65, Р75 поверхні катання і бокових поверхонь. Даний верстат може бути використаний для виконання попереджувального шліфування рейок в кривих ділянках колій КП «Харківський метрополітен» в декілька проходів.

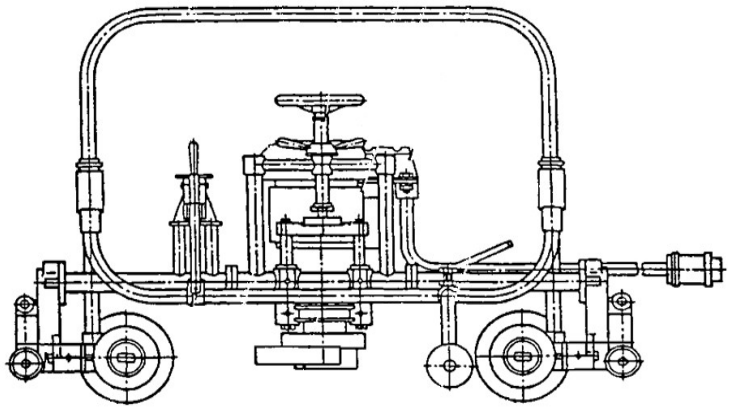


Рис. 10 – Рейкошліфувальний верстат ВШР-1 (СЧРА)

З метою попередження виникнення дефектів головок рейок контактно-втомного походження в даній роботі пропонується комплекс заходів по шліфуванню рейок в коліях метрополітену, який може мати назву попереджувальне (превентивне), при цьому:

- рейки, які були зварені в пліті безстикової колії повинні піддаватися первинному шліфуванню;
- нагляд за станом рейок в коліях метрополітену слід розпочинати з початку їх експлуатації. В разі перевищення граничного значення середньої довжини похилих поверхневих тріщин на поверхні головки рейки зовнішньої рейкової нитки в кривій – виконувати коригуюче шліфування;
- проведення контролю значення шорсткості контактуючих поверхонь головки рейки та в разі порушення умови R_a = 2 мкм виконувати роботи з попереджувального шліфування рейок;

- визначення можливості подальшого використання рейок в коліях, в разі відсутності такого – виконувати вилучення рейок.

В разі вірного виконання робіт з попереджувального шліфування рейок, дотримання періодичності виконання робіт та високій якості поточного утримання колій, інтенсивність розвитку дефектів контактно-втомного походження вдасться істотно знизити.

В додатках наведені приклади розрахунків, що велися в роботі по розроблених моделях, а також інформація про впровадження результатів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного аналізу умов роботи та стану рейок колій КП «Харківський метрополітен» встановлено, до їх домінуючим дефектом є дефекти контактно-втомного походження за рисунком 11.1-2. Відповідно до існуючих уявлень механізму появи та розвитку таких дефектів обґрунтовано напрям дисертаційних досліджень, який полягає у визначенні впливу попереджувального шліфування на ресурс рейок за умов сухого контакту та контакту з мащенням.

2. Стендові дослідження моделей колеса та рейки дозволяють встановити закономірності впливу шорсткості контактуючих поверхонь на коефіцієнт тертя за умов мащення. Згідно отриманих результатів коефіцієнт тертя набуває значення мінімуму при шорсткості контактуючих поверхонь R_a = 2 мкм. Отримані закономірності корелюються з попередніми дослідженнями для інших контактуючих поверхонь;

3. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримана вдосконалена математична модель для визначення інтенсивності зношування бокової робочої поверхні головки рейки в кривих ділянках колій метрополітену. За отриманою моделлю виконані розрахунки згідно яких інтенсивність зношування бокової робочої поверхні головки рейки, як головний фактор, що визначає ресурс рейок має область мінімуму при шорсткості R_a = 2 мкм. Отримана закономірність відповідає попереднім результатам І.В. Крагельського, а також результатам попередніх досліджень по впливу шорсткості контактуючих поверхонь на коефіцієнт тертя.

4. Проведеними експлуатаційними випробуваннями підтверджено вплив шорсткості бокової робочої поверхні головки рейки на інтенсивність розвитку дефектів контактно-втомного походження, як за умов сухого контакту так і за умов мащення. Визначено значення раціональної шорсткості контактуючих поверхонь на рівні R_a = 2 мкм при якому спостерігається мінімум розвитку дефектів контактно-втомного походження. Встановлено, що за рівня шорсткості R_a = 2 мкм без мащення виконання попереджувального шліфування рейок призводить до уповільнення розвитку дефектів контактно-втомного походження на 18 % та на 31 % за умов мащення для дослідної ділянки кривої колії метрополітену.

5. На основі отриманих закономірностей та експериментальних даних розроблена методика прогнозування ресурсу рейок метрополітену за критерієм інтенсивності розвитку домінуючих дефектів. Отримана методика дозволяє прогнозувати ресурс рейок за різних умов контактної взаємодії.

6. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено методику попереджувального шліфування бокової робочої поверхні головки рейки в кривих ділянках колій метрополітену. Отримана методика базується на забезпеченні раціональної шорсткості контактуючих поверхонь головки рейки за умов мащення при періодичності виконання робіт, яка складає 1 місяць. При цьому досягається максимальне збільшення ресурсу рейок Харківського метрополітену на 31 % порівняно з існуючими умовами роботи рейок в коліях метрополітену.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Воронин С.В. Анализ существующих способов уменьшения бокового износа рельсов в паре трения «колесо-рельс» в кривых участках пути [Текст] / С.В. Воронин, Е.Н. Коростелёв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – №. 3. – С. 22-27.

2. Воронин С.В. Моделирование контакта «колесо-рельс» по боковой поверхности пути на машине трения [Текст] / С.В. Воронин, С.С. Карпенко, Е.Н. Коростелёв // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2014. – № 148. – С. 201-204.

3. Voronin S. Determination of rational roughnes of the side surface of the rail top in curved sections of the underground railway track / [Text] S. Voronin, O. Skoryk, Ye. Korostelov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. V. 4, Issue 1(80). – P. 11-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75707.

4. Коростельов Є.М. Визначення найбільш ефективних методів боротьби з домінуючими дефектами рейок коліях метрополітену [Текст] / Є.М. Коростельов // Научные труды SWorld. – Иваново: Научный мир, 2016. Вып. №3 (44), Т.1. – С. 25-30. DOI: 10.21893/2410-6720-2016-44-1-068.

5. Воронін С.В. Підвищення ресурсу рейок метрополітену шляхом виконання попереджувального шліфування [Текст] / С.В. Воронін, О.О. Скорик, Є.М. Коростельов // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – 2017. – № 167 – С. 70-78.

Додаткові праці:

6. Коростельов Є.М. Удосконалення технології рейкошліфування при застосуванні змащення рейок [Текст] / Є.М. Коростельов // Тези 76-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». – Харків. УкрДАЗТ, 2014. С. 266.

7. Коростелёв Е.Н. Определение контактних напряжений при взаимодействии колеса с рельсом в криволинейном участе пути метрополитена [Текст] / Е.Н. Коростелёв // Тези міжнародної науково-технічною конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» присвяченої 80-ти річчю кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин. – Харків. УкрДАЗТ, 2014. С. 62-63.

8. Коростелёв Е.Н. Основные мероприятия по снижению развития ведущих дефектов рельсов метрополитена [Текст] / Е.Н. Коростелёв // Тези 77-ої міжнародної науково-технічною конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». – Харків. УкрДАЗТ, 2015. С. 189-190.

9. Коростельов Є.М. Шляхи зменшення розвитку основних дефектів рейок метрополітену [Текст] / Є.М. Коростельов // Тези 78-ої міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». – Харків. УкрДАЗТ, 2016. С. 100-101.

10. Скорик О.О. Вплив мащення на коефіцієнт тертя в контакті «колесо-рейка» [Текст] // О.О. Скорик, Є.М. Коростельов // Тези XVII-ої Міжнародної науково-технічної конференції асоціації спеціалістів промислової гідравліки та пневматики «Промислова гідравліка та пневматика». – Харків. УкрДУЗТ, 2016. С. 114.

11. Скорик О.О. Дослідження впливу параметрів шорсткості бокової робочої поверхні головки рейки на характеристики тертя та інтенсивність зношування [Текст] // О.О. Скорик, Є.М. Коростельов, О.О. Овчинніков // Тези VI-ої Міжнародної науково-технічної конференції: «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». – Харків. УкрДУЗТ, 2017. С. 218-219.

АНОТАЦІЯ

Коростельов Є.М. Підвищення ресурсу рейок метрополітену шляхом уповільнення розвитку їх домінуючих дефектів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.06 – Залізнична колія. – Державний університет інфраструктури та технологій, МОН України, Київ, 2017.

Дисертація присвячена науковому обґрунтуванню та практичному вирішенню проблеми підвищення експлуатаційного ресурсу рейок зовнішніх рейкових ниток кривих ділянок колій Харківського метрополітену шляхом виконання попереджувального шліфування та мащення.

Користуючись результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримана вдосконалена математична модель визначення інтенсивності зношування в модельному контакті «колесо-рейка». За отриманою моделлю виконані розрахунки згідно яких інтенсивність зношування бокової робочої поверхні головки рейки, як головний фактор, що визначає ресурс рейок, має область мінімуму при шорсткості R_a = 2 мкм. Отримана закономірність корелюється з попередніми результатам І.В. Крагельського, а також результатам попередніх досліджень по впливу шорсткості контактуючих поверхонь на коефіцієнт тертя.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено методику попереджувального шліфування бокової робочої поверхні головки рейки в кривих ділянках колій метрополітену. Отримана методика базується на забезпеченні раціональної шорсткості контактуючих поверхонь головки рейки за умов мащення при періодичності виконання робіт, яка складає 1 місяць. При цьому досягається максимальне збільшення ресурсу рейок Харківського метрополітену на 31 % порівняно з існуючими умовами роботи рейок в коліях метрополітену.

Ключові слова: раціональна шорсткість, рейки метрополітену, попереджувальне шліфування, мащення, експлуатаційний ресурс.

АННОТАЦИЯ

Коростелёв Е.Н. Повышение ресурса рельсов метрополитена путем замедления развития их доминирующих дефектов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 – Железнодорожный путь. Государственный университет инфраструктуры и технологий, МОН Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена научному обоснованию и практическому решению проблемы повышения эксплуатационного ресурса рельсов внешних рельсовых нитей кривых участков путей Харьковского метрополитена путём выполнения предупредительного шлифования и смазывания.

На основании проведённого анализа условий работы и состояния рельсов путей КП «Харьковский метрополитен» установлено, что их доминирующим дефектом являются дефекты контактно-усталостного происхождения по рисунку 11.1-2.

Согласно существующим представлениям механизма появления и развития дефектов рельсов контактно-усталостного происхождения обоснованно направление диссертационных исследований, которое заключается в изучении и внедрении влияния предупредительного шлифования на ресурс рельсов внешних рельсовых нитей кривых участков путей метрополитена в условиях сухого контакта и контакта со смазкой.

Для определения значения рациональных параметров шлифования боковой рабочей поверхности головки наружного рельса в кривых участках путей метрополитена были проведены стендовые исследования модельных образцов. Стендовые исследования физических моделей колеса и рельса позволили установить закономерности влияния шероховатости контактирующих поверхностей на силу и коэффициент трения в условиях сухого контакта и смазки. Согласно полученным результатам сила и коэффициент трения приобретает минимальное значения при шероховатости контактирующих поверхностей R_a = 2 мкм. Полученные закономерности коррелируются с предыдущими исследованиями для других контактирующих поверхностей.

Для подтверждения полученных результатов при выполнении стендовых исследований, были проведены экспериментальные исследования в условиях эксплуатации путей Харьковского метрополитена. В результате чего подтверждено влияние шероховатости боковой рабочей поверхности головки рельса на интенсивность развития дефектов контактно-усталостного происхождения как в условиях сухого контакта так и при условиях смазки.

Установлено, что при уровне шероховатости R_a = 2 мкм без смазки выполнение предупредительного шлифования рельсов приводит к замедлению развития дефектов контактно-усталостного происхождения на 18 % в условиях сухого контакта и на 31 % при смазке опытных участков кривой путей метрополитена с новыми рельсами.

Разработана методика прогнозирования ресурса рельсов метрополитена по критерию скорости развития доминирующих дефектов рельсов путей Харьковского метрополитена. Полученная методика позволяет прогнозировать ресурс рельсов при различных условиях контактного взаимодействия.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика предупредительного шлифования боковой рабочей поверхности головки рельса в кривых участков путей метрополитена.

Полученная методика базируется на обеспечении рациональной шероховатости контактирующих поверхностей головки рельса в условиях смазки при периодичности выполнения работ, которая составляет 1 месяц. При этом достигается максимальное увеличение ресурса рельсов Харьковского метрополитена на 31 % по сравнению с существующими условиями работы рельсов в пути метрополитена.

Ключевые слова: рациональная шероховатость, рельсы метрополитена, предупредительное шлифование, смазывание, эксплуатационный ресурс.

SUMMARY

Korostelov Ye. Raising the resource of metro rails by slowing the development of their dominant defects. – The manuscript.

Dissertation for the candidate of technical sciences degree on specialty 05.22.06 – Railway track. State University of Infrastructure and Technology, Ukraine, Ministry of Education and Science, Kyiv, 2017.

The thesis is devoted to the scientific substantiation and practical solution of the problem of increasing the operational resource of the rails of external rail threads of the curve sections of the Kharkiv metro tracks by performing preventive grinding and lubrication of the treated surfaces.

On the basis of the theoretical and experimental studies carried out, a technique has been developed for the preventive grinding of the lateral working surface of the rail head in the curved sections of the metro track.

The obtained technique is based on ensuring rational roughness of the contacting surfaces of the rail head under lubrication conditions at a periodicity of work performance, which is 1 month. At the same time, the maximum resource of the rails of the Kharkov metro is maximized by 31 % compared to the existing operating conditions of the rails on the metro route.

Key words: rational roughness, subway rails, precautionary grinding, lubrication, service life.

Коростельов Євген Миколайович

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РЕЙОК МЕТРОПОЛІТЕНУ ШЛЯХОМ УПОВІЛЬНЕННЯ РОЗВИТКУ ЇХ ДОМІНУЮЧИХ ДЕФЕКТІВ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано для друку 14 вересня 2017 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Папір офсетний. Умовн. друк. арк. 0,9.
Гарнітура Times New Roman.
Замовлення № 411. Наклад 120 прим.

Видавництво УкрДУЗТ.
Свідотство про реєстрацію ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7
Друкарня УкрДУЗТу, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7