

УДК 625.143:625.42

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РЕЙОК МЕТРОПОЛІТЕНУ ШЛЯХОМ ВИКОНАННЯ ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНОГО ШЛІФУВАННЯ**

Д-р техн. наук С. В. Воронін, канд. техн. наук О. О. Скорик, асп. Є. М. Коростельов

**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РЕЛЬСОВ МЕТРОПОЛИТЕНА ПУТЁМ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО ШЛИФОВАНИЯ**

Д-р техн. наук С. В. Воронин, канд. техн. наук А. А. Скорик, асп. Е. Н. Коростелёв

**IMPROVING RESOURCE PERFORMANCE BY METRO RAIL WARNING GRINDING**

Dr. sc. sciences S. Voronin, phd. tehn. O. Skoryk, sciences, pg. Ye. Korostelov

*На основі проведених стендових досліджень впливу параметрів шліфування та мащення контактуючих поверхонь модельного контакту «колесо - рейка» на розвиток дефектів контактної-втомного походження та експериментальних досліджень в умовах експлуатації рейок колій Харківського метрополітену розроблено методика визначення ресурсу рейок зовнішньої рейкової нитки кривих ділянок колій метрополітену.*

**Ключові слова:** попереджувальне шліфування, рейки метрополітену, шорсткість контактуючих поверхонь, мащення.

*На основании проведенных стендовых исследований влияния параметров шлифования и смазки контактирующих поверхностей модельного контакта «колесо - рельс» на развитие дефектов контактно-усталостного происхождения и экспериментальных исследований в условиях эксплуатации рельсов путей Харьковского метрополитена разработана методика определения ресурса рельсов наружной рельсовой нити кривых участков путей метрополитена.*

**Ключевые слова:** предупредительная шлифовка, рельсы метрополитена, шероховатость контактирующих поверхностей, смазка.

*In this work the influence of preventive grinding rails and lubrication treated surfaces on rails underground resource that is determined by the intensity of contact-fatigue defects origin side of the working surface rail head curve plots lines underground.*

*On the basis of studies of the influence of parameters grinding and lubricating the contacting surfaces of the model of contact "wheel-rail" on the development of defects contact-fatigue origin and experimental research in service of rail ways Kharkiv subway developed methods of measuring resource outer rails of the rail curves thread subway tracks sites.*

*Comparison of the current version of the resource exploitation and external curves metro rail routes to the proposed sites, which include the performance of grinding contact surfaces and grease. Due to this defect is made forecasting the development of contact fatigue life and the origin of experimental plots underground ways to determine a rational frequency of preventive grinding rails.*

**Keywords:** preventive grinding, metro rails, the roughness of the contact surfaces, lubrication.

**Вступ.** Проведені в [1, 2] дослідження впливу параметрів мікрогеометрії контактуючих поверхонь у контакті «колесо - рейка» кривих ділянок колії метрополітену дали змогу встановити раціональне значення шорсткості бокової робочої поверхні головки рейки на рівні  $R_a = 2$  мкм. В [1-3] встановлено, що виконання попереджувального шліфування рейок з мащенням оброблених поверхонь може підвищити ресурс рейок зовнішньої рейкової нитки кривих ділянок колії метрополітену. Визначенню раціонального варіанта експлуатації рейок кривих ділянок колій метрополітену та періодичності виконання попереджувального шліфування з метою підвищення ресурсу рейок колій метрополітену присвячена ця стаття.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З огляду на складність процесів та явищ, які відбуваються в контакті «колесо - рейка», питання зменшення інтенсивності розвитку дефектів рейок контактено-втомного походження, як домінуючих для колій метрополітену наразі залишається маловивченим [3, 4]. Слід зауважити, що це питання може досліджуватися лише для конкретних умов контактування [5-7]. При цьому мають ураховуватися особливості матеріалів контактуючих поверхонь, діючі на контакт навантаження, умови контактування і т. п.

Розглядаючи питання зменшення інтенсивності розвитку дефектів рейок контактено-втомного походження для умов метрополітену [4], було визначено найбільш ефективні методи боротьби з дефектами означеного виду [8]. Відповідно до цих досліджень саме трибологічні методи є найбільш ефективними з огляду на неможливість зміни конструкційних або ж експлуатаційних параметрів контактування в умовах метрополітену [4].

Для умов магістральних залізниць у роботах [9, 10] було визначено вплив швидкості руху та шорсткості контактуючих поверхонь на величину

напружень у контакті «колесо - рейка». Проте використання результатів цих досліджень для умов метрополітену не є коректним з огляду на специфічні особливості експлуатації рейок у коліях метрополітену [9, 10].

Для створення раціональних параметрів мікрогеометрії поверхонь контакту в [11] пропонується виконання шліфування рейок. Проте при виконанні шліфування необхідно враховувати особливості умов контактування та матеріалу тіл контакту. Для умов метрополітену це є можливим, ураховуючи однотипність рухомого складу та елементів верхньої будови колії.

Для умов кар'єрного залізничного транспорту в [11], з метою збільшення коефіцієнта тертя та пришвидшення припрацювання контактуючих поверхонь, було визначено значення раціональної шорсткості головки рейки після шліфування. Ці дослідження проводилися задля збільшення коефіцієнта тертя шляхом надання контактуючим поверхням певної шорсткості за умов контактування в складних умовах важковагового кар'єрного залізничного транспорту. Використання їх для визначення раціонального, з точки зору мінімуму, коефіцієнта тертя в контакті «колесо - рейка» кривих ділянок колії метрополітену не є коректним, хоча і вказують на зв'язок між шорсткістю контактуючих поверхонь та коефіцієнтом тертя.

Перспективними є дослідження, що присвячені вивченню впливу параметрів мікрогеометрії контактуючих поверхонь колеса та рейки в умовах метрополітену [1]. Для проведення таких досліджень у [12] було змодельовано контакт «колесо - рейка» по боковій робочій поверхні головки зовнішньої рейки кривої метрополітену на машині тертя. У [2] проведено ряд експериментальних досліджень впливу параметрів шорсткості бокової робочої поверхні головки зовнішньої рейки кривих ділянок колій

метрополітену на сили тертя в модельному контакті «колесо - рейка». У результаті цих досліджень отримано значення раціональної шорсткості бокової робочої поверхні головки зовнішньої рейки в кривих ділянках колії метрополітену. Проте результати стендових досліджень [2] у цій роботі будуть підтверджуватись шляхом проведення досліджень за умов експлуатації в коліях КП «Харківський метрополітен» з огляду на необхідність підтвердження отриманих результатів в умовах експлуатації колій метрополітену.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Мета досліджень – розроблення методу визначення ресурсу рейок метрополітену за умов виконання попереджувального шліфування та мащення, а також вибору раціональної періодичності виконання попереджувального шліфування на основі раніше отриманих результатів.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання:

- розроблення аналітичного методу визначення ресурсу рейок метрополітену за умов виконання попереджувального шліфування та мащення на основі раніше проведених стендових досліджень;

- розроблення методу визначення ресурсу рейок метрополітену за умов виконання попереджувального шліфування та мащення на основі раніше отриманих експериментальних досліджень в умовах експлуатації рейок колій метрополітену;

- визначення раціональної періодичності виконання попереджувального шліфування рейок метрополітену.

#### **Основна частина дослідження.**

Експлуатаційний ресурс рейок (напрацьований тоннаж  $T_p$  до моменту настання критичного значення розвитку дефектів бокової робочої поверхні головки рейки контактнo-втомного походження ( $I_{cp}^{zp} = 15$  мм) метрополітену можна визначити користуючись раніше отриманими в [1] значеннями за такою формулою:

$$T_p = \frac{I_{cp}^{zp}}{V_{I_{cp}}}, \quad (1)$$

де  $I_{cp}^{zp}$  – граничне значення середнього розміру дефектів головки рейки контактнo-втомного походження в кривій ділянці колії метрополітену (значення, при перевищенні якого виконання попереджувального шліфування не матиме позитивного ефекту [1],  $I_{cp}^{zp} = 15$  мм);

$V_{I_{cp}}$  – швидкість розвитку дефектів контактнo-втомного походження, яка розраховується за такою формулою:

$$V_{I_{cp}} = \frac{I_{cp}}{T_p}, \quad (2)$$

де  $I_{cp}$  – середній розмір дефектів бокової робочої поверхні головки рейки контактнo-втомного походження кривих ділянок колії метрополітену.

З урахуванням інтенсивності зношування рівняння (2) має вигляд

$$T_p = \frac{I_{cp}^{zp} \cdot T}{I_h \cdot L_{mp}}, \quad (3)$$

де  $I_h$  – лінійна інтенсивність зношування;

$L_{mp}$  – довжина шляху тертя, яка розраховується за формулою

$$L_{mp} = \pi \cdot d_k \cdot n_k, \quad (4)$$

де  $d_k$  – діаметр колеса вагона метрополітену ( $d_k = 870$  мм);

$n_k$  – кількість колісних пар, пропущених по визначеній ділянці колії за період напрацювання тоннажу  $T_p$  до граничного середнього значення розмірів дефектів контактнo-втомного походження  $I_{cp}^{zp} = 15$  мм.

За (3) отримано залежності лінійної інтенсивності зношування бокової робочої поверхні головки рейки зовнішньої

рейкової нитки в кривих ділянках колії від шорсткості контактуючих поверхонь дослідних ділянок колії (рис. 1, 2).

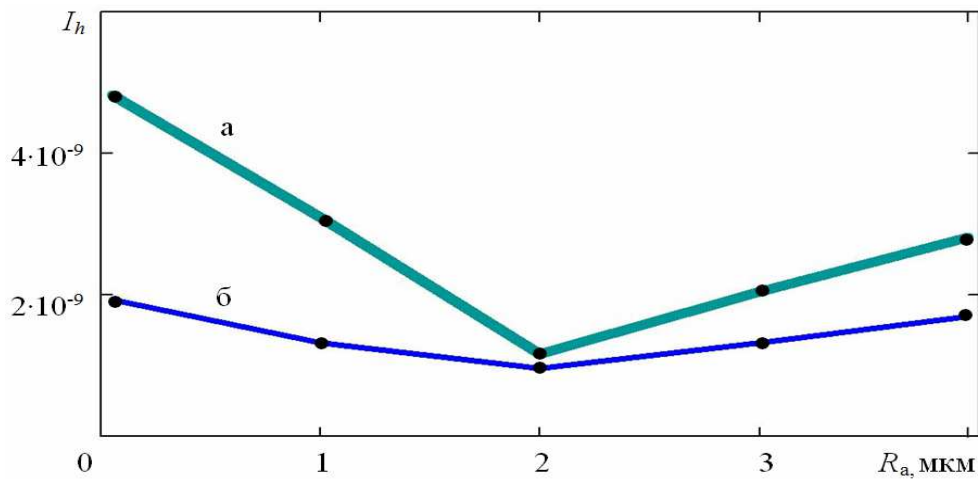


Рис. 1. Інтенсивність лінійного зношування рейки метрополітену дослідної ділянки колії на перегоні «Захисників України» - «Архітектора Бекетова»: а – за результатами стендових досліджень; б – за результатами експериментальних досліджень в умовах експлуатації

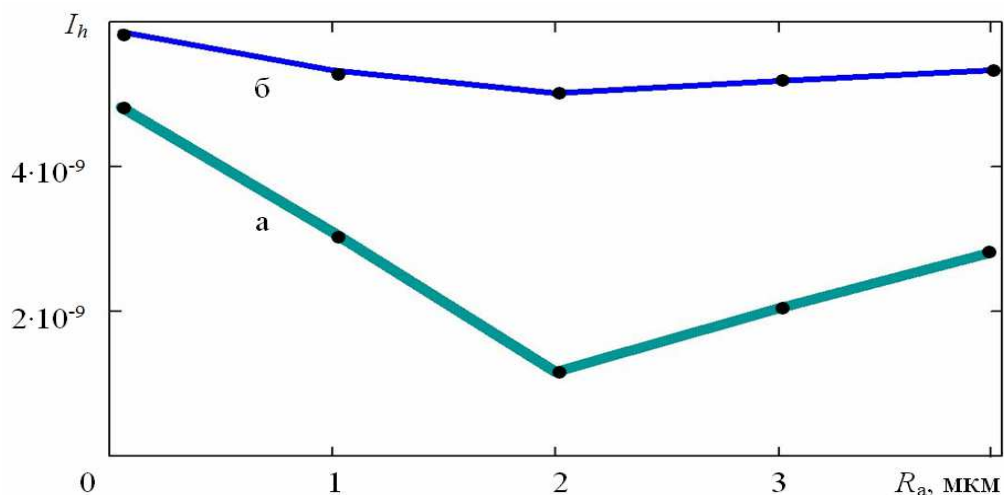


Рис. 2. Інтенсивність лінійного зношування рейки метрополітену дослідної ділянки колії на перегоні «Майдан Конституції» - «Проспект Гагаріна»: а – за результатами стендових досліджень; б – за результатами експериментальних досліджень в умовах експлуатації

За результатами (3) ресурс (для рейок може виражатись у значенні напрацьованого тоннажу  $T_p$ ) рейок колій метрополітену наведено у табл. 1.

Слід зауважити, що користуючись методом визначення ресурсу рейок

метрополітену за умов виконання попереджувального шліфування за умов сухого контакту на основі раніше проведених стендових досліджень можливо грубо визначити значення напрацьованого тоннажу рейками дослідних ділянок до

моменту наставання критичного значення розвитку дефектів бокової робочої поверхні головки рейки контактнo-втомного походження  $I_{cp}^{ep} = 15$  мм. При цьому

використання аналітичного методу для умов мащення не є коректним з огляду на властивості мастильної плівки.

Таблиця 1

Результати проведених досліджень з визначення ресурсу рейок метрополітену

Шліфування до шорсткості	Напрацьований тоннаж $T_p$ , млн т бруто до $I_{cp}^{ep} = 15$ мм	
	Дослідна ділянка на перегоні «Майдан Конституції» - «Проспект Гагаріна» (ПК 58+54,970-ПК 58+78,970)	Дослідна ділянка на перегоні «Захисників України» - «Архітектора Бекетова» (ПК 102+36,970-ПК 102+60,970)
$R_a = 4$ мкм	40,4	13,2
$R_a = 3$ мкм	42,8	13,5
$R_a = 2$ мкм	46,9	14,1
$R_a = 1$ мкм	36,7	13,0
$R_a = 0,08$ мкм	32,5	12,3

Саме тому було розроблено [1] метод визначення ресурсу рейок метрополітену за умов виконання попереджувального шліфування та мащення на основі раніше отриманих експериментальних досліджень в умовах експлуатації рейок колій метрополітену.

Порівнюючи графіки залежності інтенсивності розвитку дефектів контактнo-втомного походження від пропущеного тоннажу по ділянці в [1], отримано значення напрацьованого тоннажу в момент досягнення поверхневими похилими тріщинами дослідної ділянки середнього значення в  $I_{cp}^{ep} = 15$  мм. Значення середньої довжини похилих поверхневих тріщин в 15 мм приймається за критичне значення розвитку таких тріщин, при перевищенні якого необхідним є виконання коригуючого шліфування рейки, завданням якого є видалення поверхневого шару металу контактуючих поверхонь головки рейки з наявними дефектами. Тобто в такому випадку

подальше періодичне виконання попереджувального шліфування без виконання коригуючого шліфування рейок не є ефективним.

Для визначення найбільш ефективного у цій статті розглядаються такі варіанти експлуатації рейок кривих ділянок колії:

варіант 1 – експлуатація рейок без виконання шліфування та мащення контактуючих поверхонь (існуючий варіант експлуатації рейок у кривих ділянках колії метрополітену);

варіант 2 – експлуатація зі шліфуванням до  $R_a = 2$  мкм без мащення контактуючих поверхонь (запропонований в [1] варіант експлуатації рейок у кривих ділянках колії метрополітену);

варіант 3 – експлуатація зі шліфуванням до  $R_a = 2$  мкм та мащенням контактуючих поверхонь (запропонований в [1] варіант експлуатації рейок у кривих ділянках колії метрополітену).

Збільшення напрацювання тоннажу другого варіанта експлуатації рейок порівняно з першим визначається за такою формулою:

$$\Delta T_2 = T_2 - T_1. \quad (5)$$

Збільшення напрацювання тоннажу за третім варіантом експлуатації рейок порівняно з першим визначається за такою формулою:

$$\Delta T_3 = T_3 - T_1. \quad (6)$$

Для дослідних ділянок колії збільшення ресурсу рейок метрополітену за рахунок виконання їх попереджувального шліфування з метою доведення бокової поверхні головки рейки до шорсткості  $R_a = 2$  мкм, в т. ч. за умов мащення, має вигляд, поданий на рис. 3.

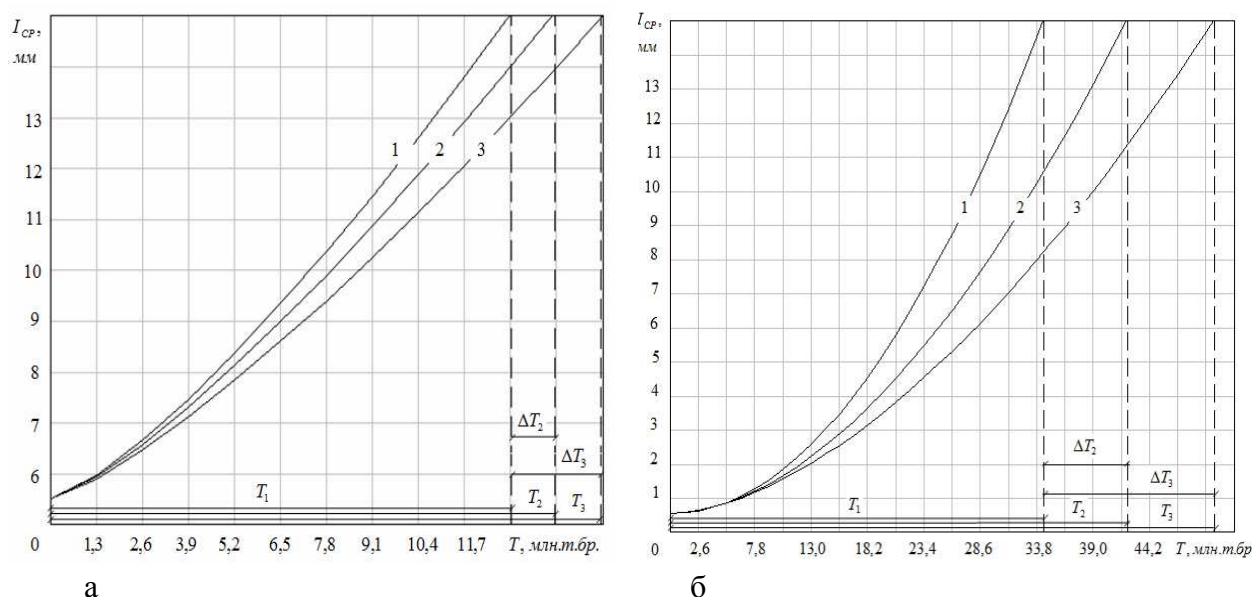


Рис. 3. Визначення впливу попереджувального шліфування рейок та мащення на інтенсивність розвитку дефектів контактної-втомного походження рейок метрополітену в залежності від пропущеного тоннажу:

а – дослідної ділянки колії на перегоні «Майдан Конституції» - «Проспект Гагаріна» (ПК 58+54,970-ПК 58+78,970); б – дослідної ділянки колії на перегоні «Захисників України» - «Архітектора Бекетова» (ПК 102+36,970-ПК 102+60,970); 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 мащенням оброблених поверхонь

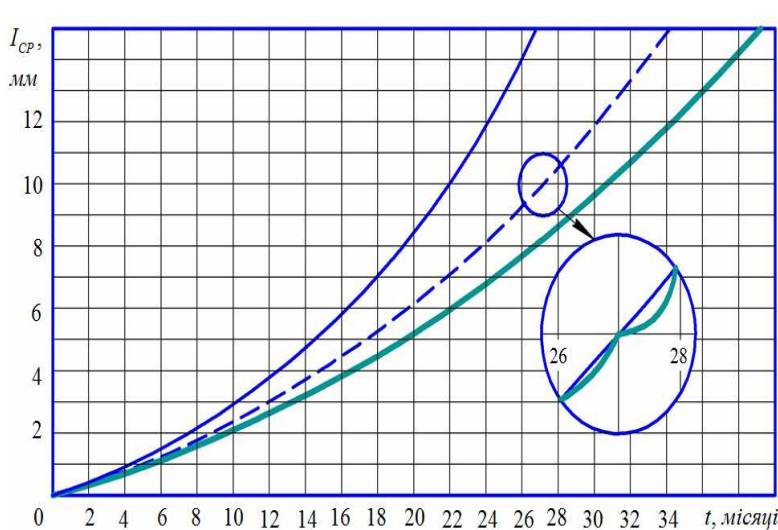
Значення напрацьованого тоннажу  $T$  та збільшення напрацьованого тоннажу  $\Delta T$  за відповідних умов обробки поверхонь рейок дослідної ділянки на перегоні «Майдан Конституції» - «Проспект Гагаріна» (ПК 58+54,970-ПК 58+78,970) та ділянки на перегоні «Захисників України» -

«Архітектора Бекетова» (ПК 102+36,970-ПК 102+60,970) наведено в табл. 2.

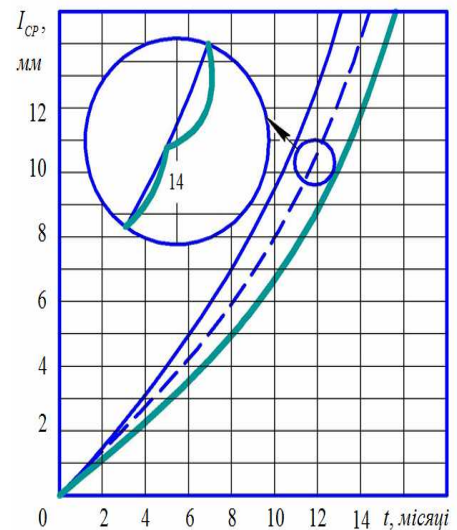
Для визначення раціональної періодичності виконання попереджувального шліфування рейок кривих ділянок колій Харківського метрополітену було виконано прогнозування розвитку дефектів контактної-втомного походження (рис. 4).

Результати порівняння варіантів експлуатації рейок дослідних ділянок колії Харківського метрополітену

Дослідна ділянка на перегоні «Майдан Конституції» - «Проспект Гагаріна» (ПК 58+54,970-ПК 58+78,970)					Дослідна ділянка на перегоні «Захисників України» - «Архітектора Бекетова» (ПК 102+36,970-ПК 102+60,970)				
Напрацьований тоннаж $T$ , млн т бруutto			Збільшення напрацьованого тоннажу $\Delta T$ , млн т бруutto		Напрацьований тоннаж $T$ , млн т бруutto			Збільшення напрацьованого тоннажу $\Delta T$ , млн т бруutto	
$T_1$	$T_2$	$T_3$	$\Delta T_2$	$\Delta T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$\Delta T_2$	$\Delta T_3$
13,019	14,224	15,546	1,205	2,527	34,412	42,184	50,129	7,772	15,717



а



б

Рис. 4. Прогнозування розвитку дефектів контактнo-втомного походження рейок колій метрополітену: а – дослідної ділянки на перегоні «Майдан Конституції» - «Проспект Гагаріна» (ПК 58+54,970-ПК 58+78,970); б – дослідної ділянки на перегоні «Захисників України» - «Архітектора Бекетова» (ПК 102+36,970-ПК 102+60,970); — – без шліфування та мащення; — – при шліфуванні до  $R_a = 2$  мкм з мащенням, періодичністю в 1 міс; - - - при шліфуванні до  $R_a = 2$  мкм з мащенням, періодичністю у 2 міс

Запропонована в [1] методика прогнозування ресурсу рейок метрополітену дає змогу керувати розвитком основних дефектів рейок

зовнішньої рейкової нитки кривих ділянок колії метрополітену в залежності від повторності та режимів виконання попереджувального шліфування з

мащенням. За умови зміни періодичності шліфування та мащення оброблених поверхонь до 2 міс відбудеться зменшення експлуатаційного ресурсу рейок метрополітену на перегоні «Майдан Конституції» - «Проспект Гагаріна» (ПК 58+54,970-ПК 58+78,970) (рис. 4, б) з 16,254 % до 8,471 %; для кривої ділянки колії на перегоні «Захисників України» - «Архітектора Бекетова» (ПК 102+36,970-ПК 102+60,970) (рис. 4, а) – з 31,35 до 18,424 %.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Розроблено аналітичний метод визначення ресурсу рейок метрополітену за умов виконання попереджувального шліфування та мащення на основі раніше проведених стендових досліджень. Проте використання цього методу можливе лише для умов сухого контакту. Використання аналітичного методу для умов мащення не є коректним урахувавши властивості мастильної плівки.

Розроблено метод визначення ресурсу рейок метрополітену за умов виконання

попереджувального шліфування та мащення на основі раніше отриманих експериментальних досліджень в умовах експлуатації рейок колій метрополітену. Запропонована методика прогнозування ресурсу рейок метрополітену дає змогу керувати розвитком їх основних дефектів у залежності від повторності та режимів виконання попереджувального шліфування рейок бокової робочої поверхні головки рейки зовнішньої рейкової нитки в кривих ділянках колії метрополітену з мащенням.

Визначено раціональне значення періодичності виконання попереджувального шліфування рейок метрополітену, яке склало  $t = 1$  міс, або ж  $T = 1,3$  млн т бруто пропущеного поїзного навантаження. За умови зміни періодичності шліфування та мащення оброблених поверхонь до 2 міс відбудеться зменшення експлуатаційного ресурсу рейок метрополітену на перегоні «Захисників України» - «Архітектора Бекетова» (ПК 102+36,970-ПК 102+60,970) зменшиться з 31,35 до 18,424 %.

### Список використаних джерел

1. Дослідження впливу параметрів фінішного рейкошліфування на розвиток домінуючих дефектів рейок метрополітену [Текст]: звіт про науково-дослідну роботу. – Харків, 2016. – 60 с.
2. Voronin, S. Determination of rational roughness 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. Vol. 4, Issue 1(80). – P. 11-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75707.
3. Коростельов, Є. М. Визначення найбільш ефективних методів боротьби з домінуючими дефектами рейок колій 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
4. 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.
5. Alonso, A. Wheel-rail contact: roughness, heat generation and conforming contact influence [Text] / A. Alonso, J.G. Gimenez // Tribology International Volume 41. – 8. 2008. P. 755-768. Doi: 10.1016/j.triboint. 2008.01.004.



6. Remington, P. Estimation of wheel/rail interaction forces in the contact area due to roughness [Text] / P. Remington, J. Webb // Journal of sound and vibration volume 193. – 5-6. 1996. P. 83-102. DOI: 10.1006/jsvi/1996.0249.
7. Rovira, A. Experimental and numerical modelling of wheel–rail contact and wear [Text] / A. Rovira, A. Roda, M.B. Marshall, H. Brunskill, R. Lewis // Original Research Article Wear 271. – 5-6. 2011. P. 911-924. DOI: 10.1016/j.wear.2011.03.024
8. Класифікація та каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів та рейок залізниць України [Текст]. – К.: ТОВ «Інпрес», 2013. – 194 с.
9. Chen, H. Influence of axle load on wheel/rail adhesion under wet conditions in consideration of running speed and surface roughness [Text] / H. Chen, A. Namura, M. Ishida, T. Nakahara // Original Research Article Wear, 2016. DOI: 10.1016/j.wear.2016.05.012.
10. Wang, W.J. Wear and damage transitions of wheel and rail materials under various contact conditions Wear [Text] / W.J. Wang, R. Lewis, B. Yang, L.C. Guo, Q.Y. Liu, M.H. Zhu // Original Research Article Wear. – 15. 2016. – P. 146-152. DOI: 10/1016/j.wear.2016.05.021.
11. Keropyan, A. Impact of Roughness of Interacting Surfaces of the Wheel-Rail Pair on the Coefficient Of Friction in Their Contact Area [Text] / A. Keropyan, S. Gorbatyuk // Procedia Engineering. – 150. 2016. P. 406-410. DOI: 10/1016/j.proeng.2016.06.753.
12. Воронин, С. В. Моделирование контакта «колесо-рельс» по боковой поверхности пути на машине трения [Текст] / С. В. Воронин, С. С. Карпенко, Е. Н. Коростёлев // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 148. – Ч. 2. – С. 201-204.

---

Воронин Сергій Володимирович, д-р техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту.

Тел.: +380 (057) 730-10-66. E-mail: voronin.sergey@inbox.ru.

Скорик Олексій Олексійович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +380 (057) 730-10-10. E-mail: dek\_srt@ukr.net.

Коростельов Євген Миколайович, аспірант кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +380 (057) 730-10-25. E-mail: kostya\_\_90@mail.ru.

Voronin Serhii, Doctor of Science in Technology, associate professor Department of Construction, track and handling machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +380 (057) 730-10-66.

E-mail: voronin.sergey@inbox.ru.

Skoryk Oleksii, Candidate of Technical Sciences, associate professor Department of Track and track facilities Ukrainian State University of Railway Transport Tel.: +380 (057) 730-10-10. E-mail: dek\_srt@ukr.net.

Korostelov Yevhen, PhD student, Department of Track and track facilities Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +380 (057) 730-10-25. E-mail: kostya\_\_90@mail.ru.

Стаття прийнята 20.02.2017 р.