

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.143-044.342

А. В. РАДКЕВИЧ<sup>1</sup>, М. А. АРБУЗОВ<sup>2\*</sup>, О. В. ГУБАР<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта a.v.radkevich@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6325-8517

<sup>2\*</sup> Кафедра «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта 10max@ukr.net

<sup>3</sup> Кафедра «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 373 15 42, ел. пошта neris@ua.fm, ORCID 0000-0001-8683-5372

### ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПРИВЕДЕНОГО ЗНОСУ РЕЙКИ

**Мета.** Оцінити існуючу методику визначення приведенного зносу рейки в сучасних умовах експлуатації залізничної колії та вдосконалити її. **Методика.** Для досягнення поставленої мети проведено аналіз існуючого способу визначення приведенного зносу. Для цього опрацьовано 30 профілів зношених рейок, зроблено їх співставлення з профілем нової рейки та цифровим способом визначено фактичну площу зносу. Через виміряні значення вертикального та бічного зносу проведено розрахунки, відповідний аналіз та дослідження. **Результати.** Встановлено, що існуюча методика розрахунку площі зносу рейки не актуальна для сучасних рейок та умов експлуатації. Похибки при цьому сягають 60 %. Детальний аналіз дозволив встановити нову математичну залежність площі зносу рейки від вимірних параметрів вертикального та бічного зносу з урахуванням стану коліс рухомого складу. Похибка при цьому знизилася до 3 %. **Наукова новизна.** На основі проведених досліджень вперше введено поняття «псевдобічний знос» – вертикальний знос робочої грані рейки, викликаний дією вертикальної сили, що вимірний як бічний знос рейки, та дано відповідну математичну залежність для його визначення. Це дало можливість уточнити значення параметра  $\varepsilon$  для практичних розрахунків та його фізичний зміст ( $\varepsilon=50 \text{ мм}^2$  при вертикальному зносі більше 1,5 мм, та  $\varepsilon=20 \text{ мм}^2$  при вертикальному зносі рівному або менше 1,5 мм). **Практична значимість.** В ході досліджень встановлено, що для сучасних умов приведенний знос рейки – це сума 94 % вертикального зносу та 30 % бічного зносу. Фізичний зміст вказаних відсотків – це відношення середньої ширини та висоти відповідно вертикального та бічного зносу до ширини голівки рейки в розрахунковій площині. Фізичний зміст приведенного зносу – це оцінка маси зношеного металу. На кожен 1 мм приведенного зносу рейки типу Р65, визначеного за уточненою методикою, припадає 0,50 кг зношеного металу на 1 м довжини.

*Ключові слова:* рейка; площа зносу; приведенний знос; ресурсозбереження; методика

#### Вступ

Рейка залізничної колії являється протяжним елементом її конструкції. Влаштувають ланкову або безстикovu колію, де відповідно використовують рейки стандартної довжини 25 м (12,5 м) або 800 м (ДСТУ 4344:2004, 2005; ЦП-0266, 2012). З пропущеним тоннажем рейки зношуються. Однією з важливих задач експлуатації колії є забезпечення рівномірного по довжині зношення рейки (ЦП-0285, 2013). Для цього необхідно вести моніторинг, аналіз, дослідження явища зносу рейки, встановлювати математичні закони, виявляти впливові негативні фактори та оцінювати ефективність заходів боротьби зі зносом (Арбузов, М. А., & Арбузова, С. В., 2020). Інтегрально такі заходи

направлені на управління процесом зношення рейки та ресурсозбереження на транспорті (ДСТУ 3051-95, 1997; Kassam, Friedrich, Derpsch, & Kienzle, 2015).

Рейка являється дороговартісним елементом, тому подовження строку служби – це наступна важлива задача експлуатації залізничної колії. Для зменшення зносу рейок застосовують змащення, шліфування рейок, періодичне пере-профільювання гребенів коліс (Потапов, 2007). Під час виробництва рейок до металу вносять спеціальні добавки для підвищення зносостійкості. І як показує практика, усі вказані зусилля можуть бути нівельовані порушеннями технологій експлуатації та ремонтів.

Так, під час обточування коліс може залишатися слід від різця, який після загартування

ня поверхні значно збільшує шорсткість гребеня, що збільшує знос рейок.

Загартування ж поверхні колеса може супроводжуватися завищенням твердості колеса, що також негативно відображається на рейках у вигляді підвищеної інтенсивності зношення. Попадання піску на змащену поверхню рейки утворює абразив, що розвиває знос зі значною інтенсивністю.

Виділяють зношення поверхні кочення рейки та зношення бічної поверхні рейки по робочій грані. Знос відповідно називають вертикальним та горизонтальним. В прямих ділянках колії переважає вертикальний знос, в кривих – горизонтальний (Markul, Hubar, Arbuzov, et al., 2020). Природа вертикального зносу та горизонтального дещо відрізняється, при цьому максимальна інтенсивність вертикального зношення менша за максимальну інтенсивність горизонтального.

Для оцінки сумарного зносу рейки використовують приведений знос, як суму вертикального та половини горизонтального. В нормативних документах (ЦП-0269, 2012) поряд з вертикальним та горизонтальним максимально допустимим зносом використовують і максимально допустимий приведений знос. Методика визначення приведенного зносу не переглядалася майже століття, а за цей час змінилися і типи рейок, і технологія їх виготовлення, змінилися і умови експлуатації.

### Мета

Оцінити існуючу методику визначення приведенного зносу рейки в сучасних умовах експлуатації залізничної колії та вдосконалити її.

### Методика

Голівка рейки має складну форму. Форма зносу рейки також складна. Може переважати бічний знос, а може і вертикальний. В колійному господарстві використовують такий оціночний параметр зносу як приведений знос  $z_{\text{прив}}$ , що визначається як сума вертикального  $z_{\text{верт}}$  та половини бічного  $z$  (Даніленко, 2010):

$$z_{\text{прив}} = z_{\text{верт}} + 0,5z, \quad (1)$$

де 0,5 – коефіцієнт приведення бічного зносу до вертикального, що необхідно робити при визначенні площі зносу рейки.

Площу зносу рейки прийнято визначати за формулою (ЦП-0285, 2013):

$$\omega = bz_{\text{прив}} - \varepsilon, \quad (2)$$

де  $b$  – ширина голівки рейки в розрахунковій площині на відстані 13 мм від поверхні кочення;  $\varepsilon$  – параметр, який враховує викривлення обрисів форм голівки рейки у порівнянні з прямокутником ( $\varepsilon \approx 70 \text{ мм}^2$ ).

З аналізу формул (1) та (2) випливає, що коефіцієнт 0,5 – це приблизне відношення ширини голівки рейки в розрахунковій площині до висоти гребеня зношеного колеса, що відображається на зношеній бічній поверхні рейки. Дана закономірність була встановлена більше півстоліття тому. Але сучасні рейки мають інший профіль.

Проведено оцінку точності формули (2) експериментально. Для цього визначено фактичну площу зносу рейки  $\omega_{\text{ф}}$  цифровим методом за допомогою графічного редактора, порівнюючи профілю нової рейки та зношених рейок від дії нових (№ 1-10) та зношених (№ 11-30) коліс. Виміряно відповідні величини бічного та вертикального зносу. За формулою (2) визначено розрахункову площу зносу рейки. Визначено процентне значення відхилення розрахункової площі зносу рейки від фактичної.

### Результати

Результати вимірювань та розрахунків представлено в таблиці 1.

Аналізуючи дані таблиці 1 можна зробити висновок, що існуючий спосіб визначення площі зносу рейки за формулою (2) може мати похибку до 60 % при вираженому бічному зносі. Задовільну точність можна отримати лише при значній перевазі вертикального зносу.

Необхідно знайти математичний вираз, що із задовільною точністю буде описувати площу зносу рейки по двом параметрам: вертикальному та бічному зносі. Для цього необхідно розділити площу зносу рейки на площу вертикального зносу  $\omega_{\text{верт}}$  та площу бічного зносу  $\omega_{\text{бок}}$ :

$$\omega = \omega_{\text{верт}} + \omega_{\text{бок}}, \quad (3)$$

Особливістю вимірювання зносу є те, що вертикальний знос визначається як пониження поверхні кочення експлуатованого профілю по відношенню до нового, а бічний знос визначається на рівні 13 мм від фактичної поверхні кочення, незалежно від вертикального зносу. Саме цю особливість покладемо в основу поділу площі зносу рейки на вертикальну та бічну. Розглянемо ріст площі бічного зносу перетину

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

рейки при відсутності вертикального, що утворюється від дії нових та зношених коліс (рис. 1). У нових колесах кут нахилу гребня  $60^\circ$ , а в зношених біля  $70^\circ$ .

Таблиця 1

## Оцінка точності існуючого способу визначення площі зносу рейки

№ профіля	Бічний знос $z$ , мм	Вертикальний знос $z_{\text{верт}}$ , мм	Фактична площа зносу рейки $\omega_{\text{ф}}$ , мм <sup>2</sup>	Розрахункова площа зносу рейки $\omega$ , мм <sup>2</sup>	Відмінність $\omega$ від $\omega_{\text{ф}}$ , %
1	10,1	0,0	187	298	59
2	13,3	1,1	323	494	53
3	5,7	3,3	277	378	36
4	2,1	7,1	471	523	11
5	8,5	4,4	405	560	38
6	10,3	2,0	281	451	60
7	11,6	6,3	583	811	39
8	1,4	9,5	641	673	5
9	11,3	4,2	485	647	33
10	4,7	2,9	248	312	26
11	12,5	0,5	310	421	36
12	13,5	2,5	428	603	41
13	5,3	5,3	420	509	21
14	2,1	6,5	447	480	7
15	6,6	5,4	458	563	23
16	12,4	2,1	366	534	46
17	10,7	3,3	386	560	45
18	1,0	7,0	471	476	1
19	7,5	1,1	203	283	39
20	5,5	1,0	152	203	34
21	7,3	0,0	153	196	28
22	9,6	2,6	338	469	39
23	3,4	8,1	564	643	14
24	1,9	5,4	360	392	9
25	7,9	3,1	332	443	33
26	9,8	2,7	340	483	42
27	10,2	6,5	579	774	34
28	3,1	5,0	353	407	15
29	4,4	2,8	250	294	18
30	4,3	4,6	354	421	19

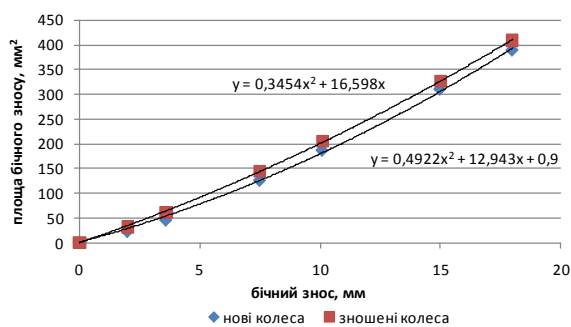


Рис. 1. Математичний зв'язок фактичної площі бічного зносу з вимірним бічним зносом на рівні 13 мм від поверхні кочення при відсутності вертикального зносу

До апроксимуючої функції (рис. 1) при нових колесах входить доданок  $0,9 \text{ мм}^2$ , що відображає максимальну площу бічного зносу на Creative Commons Attribution 4.0 International

робочій грані, яка ще не реструється на рівні 13 мм від поверхні кочення.

Розглянемо ріст площі вертикального зносу перетину рейки при відсутності бічного (рис. 2).

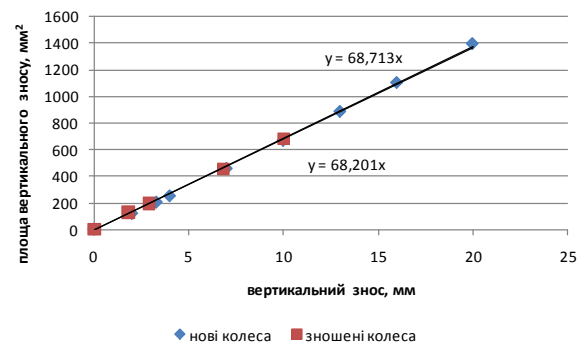


Рис. 2. Математичний зв'язок фактичної площі вертикального зносу з вимірним вертикальним зносом

Особливістю вертикального зносу є те, що на викружці робочої грані на рівні 13 мм від поверхні кочення він дає хибну інформацію про присутність бічного зношення (рис. 3). Величина псевдобічного зносу  $\zeta$  залежить від вертикального зносу, так як ним і породжується (рис. 4).

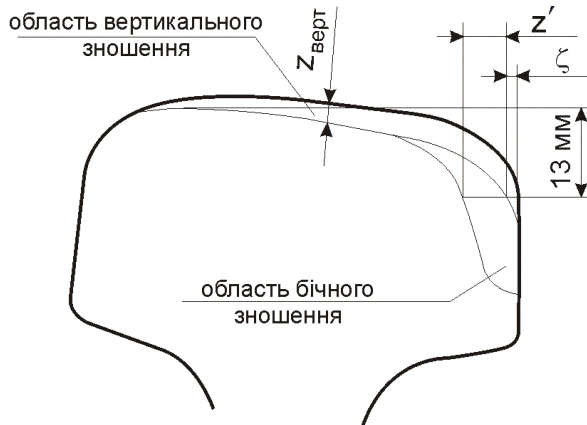


Рис. 3. Схема формування псевдобічного зносу  $\zeta$  від розвитку вертикального зносу

Відповідно до рис. 3 можна записати формулу бічного зносу:

$$z = z' + \zeta, \quad (4)$$

де  $z'$  – бічний знос рейки, викликаний дією горизонтальної сили;  $\zeta$  – вертикальний знос робочої грані рейки, викликаний дією вертикальної сили, що вимірюється як бічний знос рейки (псевдобічний знос).

Слід відмітити, що апроксимуючі формули на рис. 1 отримані саме для бічного зносу рейки  $z'$ , що вимірюється на рівні 13 мм від поверхні кочення при відсутності вертикального зносу.

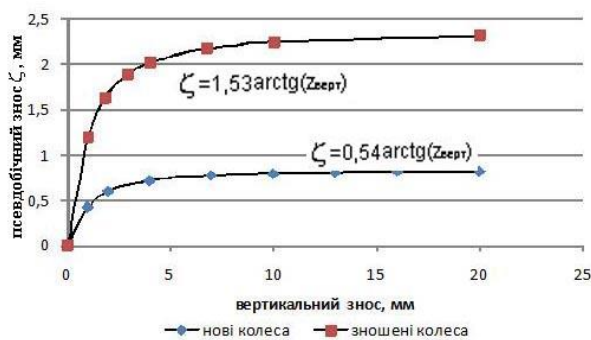


Рис. 4. Математичний зв'язок псевдобічного зносу  $\zeta$  з виміряним вертикальним зносом

Таким чином, можна записати формули площі зносу рейки:

$$\left. \begin{aligned} &\text{– для зношених коліс} \\ \omega &= 68,7z_{\text{верт}} + 0,35(z - 1,53\text{arctg}(z_{\text{верт}}))^2 + \\ &+ 16,6(z - 1,53\text{arctg}(z_{\text{верт}})) \\ &\text{– для нових коліс} \\ \omega &= 68,7z_{\text{верт}} + 0,49(z - 0,54\text{arctg}(z_{\text{верт}}))^2 + \\ &+ 12,9(z - 0,54\text{arctg}(z_{\text{верт}})) + 0,9 \end{aligned} \right\} (5)$$

де  $z_{\text{верт}}$  – вертикальний знос рейки виміряний стандартним способом;  $z$  – бічний знос рейки виміряний стандартним способом.

Для практичних розрахунків формули (5) можна подати у спрощеному виді:

$$\omega = 68z_{\text{верт}} + 22z - \begin{cases} 50, & \text{якщо } z_{\text{верт}} > 1,5 \text{ мм} \\ 20, & \text{якщо } z_{\text{верт}} \leq 1,5 \text{ мм} \end{cases} (6)$$

Від'ємник 50 або 20 у формулі (6) пов'язаний із впливом псевдобічного зносу. Можна сказати, що віднімається двічі врахована площа.

Для порівняння можна розкрити класичну формулу (2):

$$\omega = 73z_{\text{верт}} + 36z - 70. \quad (7)$$

Отже, основна відмінність (7) перед (6) у визначенні площі бічного зношення. Визначення площі вертикального зношення збігається. Тому в таблиці 1 можна спостерігати похибку до 60 % при вираженому бічному зносі.

Проведемо оцінку точності формул (5) та (6) за тими ж вже обміряними профілями рейок. Результати розрахунків представлено в табл. 2.

Аналізуючи дані табл. 2 можна зробити висновок, що новий спосіб визначення площі зносу рейки за формулою (5) та (6) мають похибку в середньому 3 % та 4 % відповідно.

Отже, для визначення площі зносу рейки необхідно користуватися новою більш точною формулою. Але допустима величина і формула визначення приведенного зносу нормовані. Фізичний зміст приведенного зносу – це оцінка маси зношеного металу рейки.

Маса зношеного матеріалу рейки визначається через площу зносу:

$$m = \omega L \rho, \quad (8)$$

де  $\omega$  – площа зносу рейки;  $L$  – довжина зношеної рейки (зручно прийняти 1 м);  $\rho$  – густина матеріалу рейки (7,8 мг/мм<sup>3</sup>).

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Якщо маса зношеного матеріалу рейки залежить від площі зносу, а площа зносу від приведенного зносу, то можна побудувати відповідний графік (рис. 5). Маса визначена за вимірними фактичними площами зносу рейки. При-

ведений знос розрахований по формулі (1). На графіку можна спостерігати значний розкид значень, що вказує на недостатню точність визначення не лише площі зносу (2), а й самого приведенного зносу (1).

Таблиця 2

## Оцінка точності нового способу визначення площі зносу рейки

№ профіля	Бічний знос $z$ , мм	Вертикальний знос $z_{\text{верт}}$ , мм	Фактична площа зносу рейки $\omega_{\text{ф}}$ , мм <sup>2</sup>	Розрахункова площа зносу рейки $\omega$ за (5), мм <sup>2</sup>	Відмінність $\omega$ від $\omega_{\text{ф}}$ , %	Розрахункова площа зносу рейки $\omega$ за (6), мм <sup>2</sup>	Відмінність $\omega$ від $\omega_{\text{ф}}$ , %
1	10,1	0,0	187	181	-3	202	8
2	13,3	1,1	323	317	-2	347	7
3	5,7	3,3	277	290	5	300	8
4	2,1	7,1	471	485	3	479	2
5	8,5	4,4	405	415	3	436	8
6	10,3	2,0	281	300	7	313	11
7	11,6	6,3	583	610	5	634	9
8	1,4	9,5	641	641	0	627	-2
9	11,3	4,2	485	463	-4	484	0
10	4,7	2,9	248	247	-1	251	1
11	12,5	0,5	310	278	-10	289	-7
12	13,5	2,5	428	412	-4	417	-3
13	5,3	5,3	420	418	0	427	2
14	2,1	6,5	447	442	-1	438	-2
15	6,6	5,4	458	450	-2	462	1
16	12,4	2,1	366	360	-2	366	0
17	10,7	3,3	386	397	3	410	6
18	1,0	7,0	471	458	-3	448	-5
19	7,5	1,1	203	192	-6	220	8
20	5,5	1,0	152	146	-4	169	11
21	7,3	0,0	153	140	-9	141	-8
22	9,6	2,6	338	327	-3	338	0
23	3,4	8,1	564	573	2	576	2
24	1,9	5,4	360	365	1	359	0
25	7,9	3,1	332	323	-3	335	1
26	9,8	2,7	340	338	0	349	3
27	10,2	6,5	579	599	3	616	6
28	3,1	5,0	353	358	1	358	1
29	4,4	2,8	250	235	-6	237	-5
30	4,3	4,6	354	352	0	357	1

Зберігаючи класичну форму рівняння (2) та із врахуванням нової формули (6) можна записати вираз для  $\epsilon$

$$\epsilon = \begin{cases} 50, & \text{якщо } z_{\text{верт}} > 1,5 \text{ мм} \\ 20, & \text{якщо } z_{\text{верт}} \leq 1,5 \text{ мм} \end{cases}, \quad (9)$$

тоді приведенний знос буде визначатися за формулою:

$$z_{\text{прив}} = 0,94z_{\text{верт}} + 0,3z, \quad (10)$$

де 0,94 та 0,3 – відношення середньої ширини та висоти відповідно вертикального та бічного зносу до ширини голівки рейки в розрахунковій площині. Середня лінія зносу ділить площу зносу на дві рівні частини.

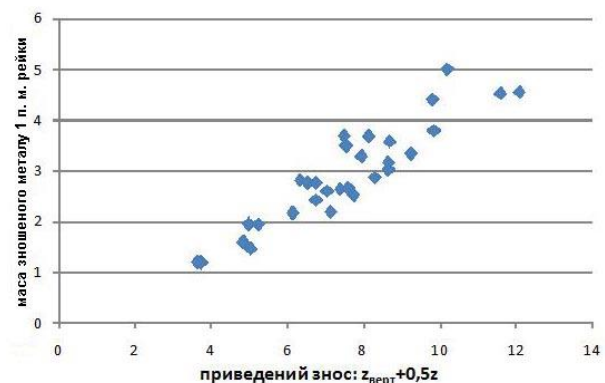


Рис. 5. Відповідність маси зношеного матеріалу рейки приведенному зносу за класичним підходом

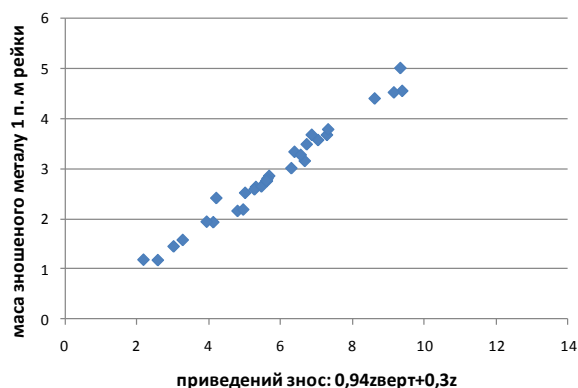


Рис. 6. Відповідність маси зношеного матеріалу рейки приведенному зносу за новим підходом

З аналізу рис. 5 та рис. 6 випливає, що нова формула визначення приведенного зносу збільшує точність розрахунку та зменшує абсцису. Тому при застосуванні такої формули для нормативного документа необхідно внести відповідні коригування допустимих значень. За проведеними оцінками допустимі значення приведенного зносу при застосуванні (10) треба зменшити в 1,3 рази.

#### Наукова новизна та практична значимість

На основі проведених досліджень вперше введено поняття «псевдобічний знос» – вертикальний знос робочої грані рейки, викликаний дією вертикальної сили, що вимірюється як бічний знос рейки, та дано відповідну математичну залежність для його визначення, що дало можливість уточнити значення параметра  $\varepsilon$  для практичних розрахунків та його фізичний зміст ( $\varepsilon=50 \text{ мм}^2$  при вертикальному зносі більше 1,5 мм, та  $\varepsilon=20 \text{ мм}^2$  при вертикальному зносі рівному або менше 1,5 мм).

Проведено уточнення коефіцієнтів формули для визначення приведенного зносу. Практично доведено, що запропоноване вдосконалення дозволяє знизити похибку розрахунків з 60 % до 3 %.

#### Висновки

Приведений знос рейки – це сума 94 % вертикального зносу та 30 % бічного зносу. Фізич-

ний зміст вказаних відсотків – це відношення середньої ширини та висоти відповідно вертикального та бічного зносу до ширини голівки рейки в розрахунковій площині.

Фізичний зміст приведенного зносу – це оцінка маси зношеного металу. На кожен 1 мм приведенного зносу рейки типу Р65, визначеного за уточненою методикою, припадає  $0,50 \pm 3 \%$  кг зношеного металу на 1 м довжини.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., & Kienzle, J. (2015). Overview of the Worldwide Spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports*, 8. Online: <http://journals.openedition.org/factsreports/3966>
- Markul, R., Hubar, O., Arbuzov, M., et al. (2020). Investigation of the operation of the railway track with reinforced concrete sleepers in curved sections with radius  $R \leq 350 \text{ m}$ . *Transport Means 2020. Sustainability: Research and Solutions. Proceedings of 24<sup>th</sup> International Scientific Conference, Part I*, 520-527.
- Арбузов, М. А., & Арбузова, С. В. (2020). Дослідження перевізного процесу як фактору експлуатації залізничної колії. *Транспортні системи та технології перевезень*, 20, 60-65.
- Даніленко, Е. І. (2010) *Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомих складом* (Том 2). Київ: Інпрес.
- ДСТУ 3051-95 (1997). *Ресурсозбереження. Основні положення* (ГОСТ 30166-95). Київ: Держстандарт України.
- ДСТУ 4344:2004 (2005). *Рейки звичайні для залізниць широкої колії*. Київ: Держспоживстандарт України.
- ЦП-0266 (2012). *Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України*. Київ: Укрзалізниця.
- ЦП-0269 (2012). *Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України*. Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс».
- ЦП-0285 (2013). *Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень рейок залізниць України*. Київ: Інпрес.
- Потапов, Д. О. (2007). *Подовження термінів служби рейок системним шліфуванням в процесі експлуатації*: автореф. дис. канд. техн. наук. Київ: Київський університет економіки і технологій транспорту.

A. V. RADKEYCH<sup>1</sup>, M. A. ARBUZOV<sup>2\*</sup>, O. V. GUBAR<sup>3</sup><sup>1</sup> Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail a.v.radkevich@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6325-8517<sup>2\*</sup> Department «Transport infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail 10max@ukr.net<sup>3</sup> Department «Transport infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail neris@ua.fm, ORCID 0000-0001-8683-5372

## IMPROVEMENT OF THE METHOD FOR DETERMINING RELATIVE RAIL WEAR

**Purpose.** To evaluate the existing method of determining the relative wear of the rail in modern operating conditions of the railway track and to improve it. **Methodology.** An analysis of the existing method of determining the relative wear of rails was carried out to achieve the goal. 30 pieces of cross-sections of worn rails were processed. They were compared with the profile of the new rail. The actual wear area is determined digitally. Due to the measured values of vertical and lateral wear, calculations, corresponding analysis and research were carried out. **Findings.** The existing method of calculating the rail wear area is not relevant for modern rails and operating conditions. The inaccuracy is 60 %. A detailed analysis made it possible to establish a new mathematical dependence of the rail wear area on vertical and lateral wear. The condition of the wheels of the rolling stock is taken into account. Inaccuracy decreased to 3 %. **Originality.** On the basis of the conducted research, the concept of «pseudo lateral wear» was introduced for the first time. This is the vertical wear of the working face of the rail, measured as the lateral wear of the rail. Vertical wear of the rail is caused by the action of a vertical force. The mathematical dependence is given. This made it possible to clarify the value of parameter  $\varepsilon$  for practical calculations and its physical meaning ( $\varepsilon=50 \text{ mm}^2$  with vertical wear greater than 1.5 mm, and  $\varepsilon=20 \text{ mm}^2$  with vertical wear equal to or less than 1.5 mm). **Practical value.** It is established that the relative wear of the rail is the sum of 94 % vertical wear and 30 % lateral wear for modern conditions. The physical essence of the specified percentages is the ratio of the average width and height of the vertical and lateral wear to the width of the rail head in the calculated plane. The physical meaning of relative wear is an estimate of the mass of worn metal. For every 1 mm of relative wear of the P65 rail, according to the refined methodology, there is 0.50 kg of worn metal per 1 m of the rail length.

**Keywords:** rail; wear area; relative wear; resource conservation; methodology

### REFERENCES

- Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., & Kienzle, J. (2015). Overview of the Worldwide Spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports*, 8. Online: <http://journals.openedition.org/factsreports/3966> (in English)
- Markul, R., Hubar, O., Arbutov, M., et al. (2020). Investigation of the operation of the railway track with reinforced concrete sleepers in curved sections with radius  $R \leq 350 \text{ m}$ . *Transport Means 2020. Sustainability: Research and Solutions. Proceedings of 24<sup>th</sup> International Scientific Conference, Part I*, 520-527. (in English)
- Arbutov, M. A., & Arbutova, Ye. V. (2020). Doslidzhennia pereviznoho protsesu yak faktoru ekspluatatsii zaliznychnoi kolii. *Transportni systemy ta tekhnologii perezvezen*, 20, 60-65. (in Ukrainian)
- Danilenko, E. I. (2010) *Zaliznychna koliia. Ulashtuvannia, proektuvannia i rozrakhunky, vzaiemodii z rukhomym skladom* (Tom 2). Kyiv: Inpres. (in Ukrainian)
- DSTU 3051-95 (1997). *Resursozbezhezhennia. Osnovni polozhennia* (HOST 30166-95). Kyiv: Derzhstandart Ukrainy. (in Ukrainian)
- DSTU 4344:2004 (2005). *Reiky zvychni dlia zaliznyts shyrokoj kolii*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (in Ukrainian)
- TsP-0266 (2012). *Tekhnichni vkazivky po ulashtuvanniu, ukladanniu, remontu i utrymanniu bezstykovo kolii na zaliznytsiakh Ukrainy*. Kyiv: Ukrzaliznytsia. (in Ukrainian)
- TsP-0269 (2012). *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy*. Kyiv: TOV «NVP Polihrafservis». (in Ukrainian)
- TsP-0285 (2013). *Klasyfikatsiia i katalog defektiv i poshkodzen reioz zaliznyts Ukrainy*. Kyiv: Inpres. (in Ukrainian)
- Potapov, D. O. (2007). *Podovzhennia terminiv sluzhby reioz systemnym shlifuvanniam v protsesi ekspluatatsii* : avtoref. dys. kand. tekhn. nauk. Kyiv: Kyivskiy universytet ekonomiky i tekhnologii transportu. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 17.09.2022.

Прийнята до друку 15.10.2022.