

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (275)

УДК 625.17

ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ШИРИНИ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ НА ЗАЛІЗОБЕТОННІЙ ОСНОВІ ЗІ СКРІПЛЕННЯМИ ТИПУ КБ З УРАХУВАННЯМ УСІХ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ

Старш. викл. В. В. Новіков, канд. техн. наук А. О. Бабенко, асп. О. С. Харківський, викл. О. О. Ткаченко

DETERMINATION OF THE MAXIMUM DANGEROUS WIDTH OF A RAIL TRACK ON A REINFORCED CONCRETE BASE WITH FASTENERS OF THE KB TYPE, TAKING INTO ACCOUNT ALL INFLUENCING FACTORS

Senior Lecturer V. V. Novikov, PhD (Tech.) A. O. Babenko, postgraduate student O. S. Kharkivskyi, teacher O. O. Tkachenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.197.2021.248306>

Анотація. Обґрунтовано необхідність урахування нових досліджених автором факторів впливу на небезпечну ширину рейкової колії з проміжними рейковими скріпленнями роздільного типу залежно від діапазонів вантажонапруженості ділянок і ремонтних профілів коліс рухомого складу, а також процесів зносу проміжних рейкових скріплень типу КБ і його елементів на появу пружних горизонтальних люфтів у вузлах скріплення від впливу спрямувальних коліс рухомого складу. Враховано детерміновані залежності бічних відтискань головки рейкової нитки типу Р65 від одночасного впливу вертикальних і горизонтальних сил для встановлених ремонтних профілів коліс рухомого складу. Рекомендовано значення максимальної безпечної ширини рейкової колії для ділянок, де застосовується службове або екстрене гальмування.

Ключові слова: фактори впливу, нові ремонтні профілі коліс, небезпечна ширина рейкової колії, розпір колії.

Abstract. Railway track retention standards in Ukraine do not take into account the construction of the subrail base, but regulate one for all types maximum dangerous value of the track width, which was changed from 1546 mm to 1548 mm without any justification of scientific research or explanations of the effects of tolerances the width of the rail track and the wheel track, which in general at that time were not fully investigated but taking into account the emergence and development of new scientific problems associated with the emergence of intensive lateral wear of rails and ridges of locomotive and wagon wheels. The deterministic dependences of lateral impressions of the P65 type rail thread head on the simultaneous influence of vertical and horizontal forces for the newly installed repair profiles of UZ rolling stock on the basis of previously performed experimental and theoretical studies were investigated. The results allow at this stage of research to determine and calculate the practical values of the maximum dangerous width of the track, in which the subrail base consists of reinforced concrete sleepers and separate rail fasteners, which are used both on conventional highways with mixed traffic and on high-speed lines UZ.

The article establishes the need to take into account new factors influencing the dangerous width of the rail track with intermediate rail fasteners of separate type depending on the load stress

of sections and new repair profiles of rolling stock, as well as wear processes of intermediate rail fasteners type KB and its elements on the appearance of elastic backlash in the lateral direction from the influence of the guide wheels of the rolling stock. The recommended value of the maximum width of the rail track for areas where service or emergency braking is applied - 1550 mm, taking into account that the contact of the wheel and the rail is not at a point, but on an ellipse. The established norm of the maximum width of a rail track allows to define economic efficiency of introduction in the conditions of operation of a track in curved sections of a track of small radii with limited use of the maximum admissible lateral wear (15 mm) of a head of a rail thread provided that the normal-forced entry of rolling stock carts.

Keywords: *subrail base, new wheel repair profiles of rolling stock, track width.*

Вступ. Сучасні уявлення про можливість розпирання колії з падінням (провалюванням) колеса в колію з залізобетонною підрейковою основою базуються на твердженні, що явище розпирання колії виникає, коли обід колеса спирається фаскою на початок заокруглення головки рейки. Але дослідження, на яких базується сучасна нормативна величина максимальної дозволеної ширини рейкової колії при дозволений реалізації встановлених максимальних швидкостях руху – 1545 мм – була отримана на допущеннях і положеннях про одночасне існування на одній напрямній осі візка двох різних за станом коліс. Тобто одне колесо жодним чином не зношене, а інше зношене вкрай до мінімальної товщини гребеня. Такий стан є неможливим і не може бути підставою для створення нормативної величини для колійного господарства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні уявлення про можливість розпирання колії з падінням (провалюванням) колеса в колію з залізобетонною підрейковою основою базуються на твердженні, що явище розпирання колії виникає, коли обід колеса спирається фаскою на початок заокруглення головки рейки [8]. При цьому положенні колеса критична величина відтискання головки рейки в кривих ділянках з максимальною шириною колії 1545 мм, при якій дозволяється рух із встановленими швидкостями, становила 30 мм. На сьогодні існують дослідження зміни положення колії в кривих малих радіусів у площині з

дерев'яними та залізобетонними шпалами зі скріпленнями ДО і СКД65-Б відповідно [4]. Але не опубліковано досліджень для колії на залізобетонній основі зі скріпленнями КБ65, де враховуються умови виникнення розпирання колії, особливо при введенні в експлуатацію спеціальних ремонтних профілів [5] з урахуванням додаткових факторів впливу.

Визначення мети і завдання дослідження. Метою дослідження є визначення детермінованих залежностей бічних відтискань головки рейкової нитки типу Р65 від одночасного впливу вертикальних і горизонтальних сил для нових встановлених ремонтних профілів рухомого складу УЗ на підставі раніше виконаних експериментальних і теоретичних досліджень [1, 2, 6, 7]. Результати дозволяють на цьому етапі досліджень визначити і розрахувати практичні значення максимальної небезпечної ширини рейкової колії, у якій підрейкова основа складається з залізобетонних шпал і підкладочних роздільних рейкових скріплень, які використовують як на звичайних магістралях зі змішаним рухом, так і швидкісних лініях УЗ, для яких це є актуальним на кінець 2021 року [3]. Вихідні дані для виконання розрахунків небезпечної ширини рейкової колії наведено в табл. 1.

Основна частина. Для визначення максимальної небезпечної ширини рейкової колії з урахуванням усіх факторів впливу запропоновано методику розрахунків згідно з розрахунковою схемою на рисунку.

Таблиця 1

Вихідні дані для виконання розрахунків небезпечної ширини рейкової колії

Ремонтний профіль (нормативна база)	Тип рухомого складу	c , мм	a , мм	m_2	h_0 , мм	$P_{ст}$, кН	$\alpha_{нп}$, м/с ²	$\varepsilon_{q(\Delta t)}$, мм	μ , мм
ДІТ-УЗ (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, а)	вантажні вагони	20	130	3,5	33	105,0	0,3	10,0	1,0
	пасажирські вагони	20	130	3,5	33	71,25	0,7	0,0	1,0
ГОСТ 9036-38 (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, б)	вантажні вагони	30	130	10	33	105,0	0,3	10,0	1,0
	пасажирські вагони	30	130	10	33	81,0	0,7	0,0	1,0
Профіль вантажних і рефрижераторних вагонів (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, в)	вантажні вагони	30	130	10	30	105,0	0,3	10,0	1,0
	рефрижераторні вагони	30	130	10	30	81,0	0,7	0,0	1,0
ДСТУ ГОСТ 11018- 2005 шабл. РЛ 1 МУ 23311.3514.002 (ВНД- 32.0:07.001-2001, рис. 6.16)	ЧС-4	40	140	3,5	33	102,5	0,7	0,0	0
	ТЕП-60	40	140	3,5	33	107,5	0,7	0,0	0
Креслення 4. ДСТУ ГОСТ 001ТУУ 23111.3534-002 (ВНД-32.0:07. 001-2001 рис. 6.17)	вантажні вагони	30	130	3,5	32,318	81,0	0,7	0,0	1,0
	пасажирські вагони								
За кресленням 2 ГОСТ 9036 (ВНД-32.0:07.001-2001, рис. 6.18)	вантажні вагони	30	130	10	32,318	105,0	0,3	10,0	1,0
	пасажирські вагони								

1. Максимальна ширина колії, за якою відбувається падіння (провальювання) колеса в колію, визначається за формулою

$$S_{\text{тах-пров}}^{\text{неб}} = q_{\text{min}} + a - \Delta a - \phi - d, \quad (1)$$

де q_{min} – мінімальна ширина колісної пари;
 a – ширина обода за кресленнями (табл. 2);
 Δa – допуск на звуження обода колеса при виготовленні (4 мм); ϕ – ширина фаски на ободі колеса (6 мм); d – горизонтальна проекція радіуса заокруглення бічної робочої грані головки рейки (12 мм).

Мінімальна ширина колісної пари q_{min} визначається за формулою

$$q_{\text{min}} = h_0 + \mu + T_{\text{min}} - \varepsilon_q - \varepsilon_{q(\Delta t)},$$

де h_0 – товщина гребеня колеса, мм; μ – потовщення гребеня колеса; T_{mik} – мінімальна ширина насадки коліс (1437 мм); S_q – зміна ширини колісної пари за рахунок вигину осі колісної пари (2 мм); $S_{q(\Delta t)}$ – зміна ширини колісної пари за рахунок перегріву ободів коліс при службовому гальмуванні (10 мм).

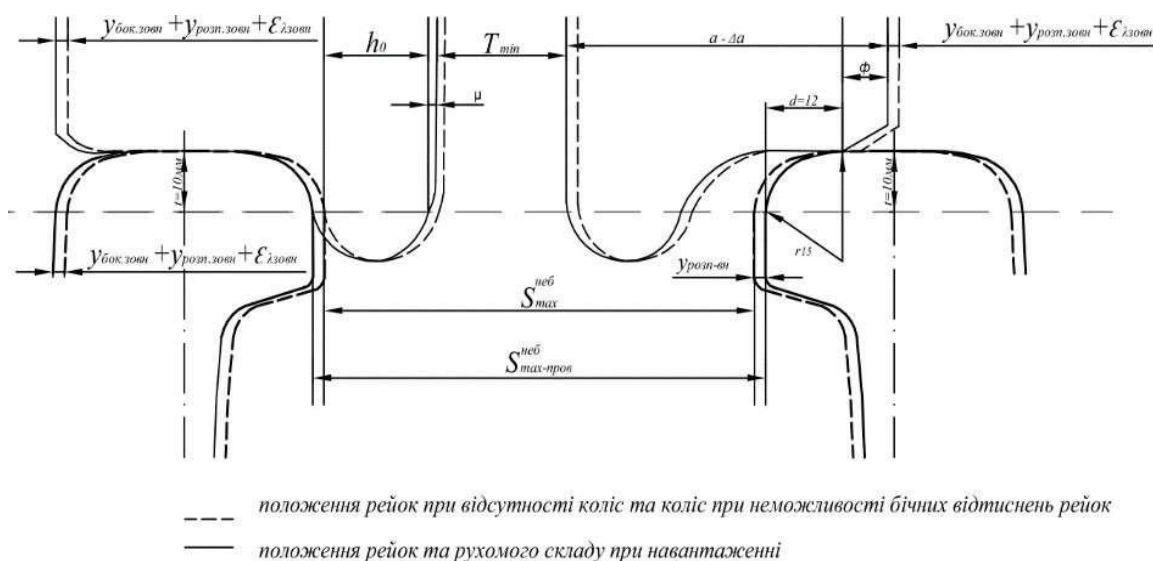


Рис. Розрахункова схема для визначення максимальної небезпечної ширини рейкової колії

2. Сила розпору визначається за формулою

$$Y_m = \frac{P_v}{m}, \quad (2)$$

де P_v – вертикальне навантаження;
 m – конусність поверхні кочення колеса.

Твірна конусної поверхні кочення колеса створює кут α_m з площиною поверхні кочення головок рейок. Тоді $\operatorname{tg} \alpha_m = \frac{1}{m}$, і через подібність процесу розпирання до процесу розклинення можна вважати, що сила розпору дорівнює

$$Y_m = P_v \cdot \operatorname{tg} \alpha_m = \frac{P_v}{m}.$$

3. Величина бічної сили, що передається від колеса, що направляє,

$$H_\sigma = (a_\sigma + b_\sigma \alpha_{nn}), \quad (3)$$

де a_σ, b_σ – коефіцієнти з графіків-паспортів і формули для визначення бічної сили, приймається за рухомим складом.

4. Величина сумарного розпирання обох рейкових ниток визначається за виразом

$$\begin{aligned} \Sigma u_{розп} &= u_{бок-зовн} + u_{розп-зовн} + u_{розп-внутр} = (A + B \cdot P_v) H_\sigma + (A + B \cdot P_v) Y_m + (A + B \cdot P_v) Y_m = \\ &= (A + B \cdot P_v) H_\sigma + 2(A + B \cdot P_v) Y_m = (A + B \cdot P_v) (H_\sigma + 2Y_m), \end{aligned} \quad (4)$$

де A, B – емпіричні коефіцієнти для визначення бічних відтискань головки рейки при одночасній дії вертикальних і бічних сил; H_σ – бічна сила; P_v – вертикальне навантаження; Y_m – сила розпирання.

5. Теоретична максимальна ширина рейкової колії

$$S_{max-теор}^{неб} = S_{max-пров}^{неб} - \Sigma u_{розп} - \varepsilon_{\lambda-зовн}. \quad (5)$$

6. Практична максимальна ширина рейкової колії

$$S_{max-практ}^{неб} = S_{max-теор}^{неб} - \frac{b_{ел}}{2}. \quad (6)$$

Отримані результати розрахунків максимальної ширини рейкової колії для ділянок руху рухомого складу для умов застосування службового або екстреного гальмування та окремо для умов руху до застосування службового або екстреного

гальмування, наведені в табл. 2 та 3. Окремо в табл. 4 наведено сумарні величини пружних розширювань колії за рахунок відтискань головок рейок під впливом бічної сили одночасно з силами розпирання.

Таблиця 2

Результати розрахунків максимальної небезпечної ширини рейкової колії для ділянок руху рухомого складу, де застосовано службове гальмування

Ремонтні профілі (нормативна база)	Тип рухомого складу	$\Gamma_0 < 40$ <small>млн ткм брутто</small> км/р.				$\Gamma_0 \geq 41$ <small>млн ткм брутто</small> км/р.			
		$S_{\text{max-пр}}^{\text{неб}}$, мм	$S_{\text{розп}}$, мм	$S_{\text{неб}}$, (теор) мм	$S_{\text{неб}}$, (практ) мм	$S_{\text{max-пр}}^{\text{неб}}$, мм	$S_{\text{розп}}$, мм	$S_{\text{неб}}$, (теор) мм	$S_{\text{неб}}$, (практ) мм
ДПТ-УЗ (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, а)	вант. ваг.	1561	1548	1558	1555	1561	1548	1557	1554
		1563	1550	1558	1555	1563	1549	1557	1554
	пас. ваг.	1564	1550	1559	1556	1564	1550	1558	1555
		1564	1550	1559	1556	1564	1550	1558	1555
ГОСТ 9036-38 (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, б)	вант. ваг.	1561	1537	1559	1556	1561	1537	1558	1556
		1563	1539	1559	1556	1563	1539	1558	1556
	пас. ваг.	1573	1549	1570	1567	1573	1549	1569	1566
		1573	1549	1570	1567	1573	1549	1569	1566
Профіль вантажних і рефрижераторних вагонів (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, в)	вант. ваг.	1568	1534	1556	1553	1568	1534	1555	1552
		1570	1536	1556	1553	1570	1536	1555	1552
	рефр. ваг.	1570	1546	1567	1564	1570	1546	1566	1563
ДСТУ ГОСТ 11018-2005 шабл. РЛ 1 МУ 23311.3514.002 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.16)	ЧС-4	1580	1546	1576	1573	1580	1546	1575	1572
	ТЕП-60	1580	1546	1576	1573	1580	1546	1575	1572
Креслення 4. ДСТУ ГОСТ 001ТУУ 23111.3534-002 (ВНД-32.0:07.001-2001 рис. 6.17)	пас. ваг.	1573	1549	1568	1565	1573	1549	1567	1565
		1573	1549	1568	1565	1573	1549	1567	1565
За кресленням 2 ГОСТ 9036 (ВНД-32.0:07.001-2001, рис. 6.18)	вант. ваг.	1557	1533	1555	1552	1557	1533	1554	1552
		1559	1535	1555	1552	1559	1535	1555	1552

Таблиця 3

Результати розрахунків максимальної небезпечної ширини рейкової колії для ділянок руху рухомого складу, де не застосовано службове гальмування

Ремонтні профілі (нормативна база)	Тип рухомого складу	$\Gamma_0 < 40$ $\frac{\text{млн ткм брутто}}{\text{км/р.}}$				$\Gamma_0 \geq 41$ $\frac{\text{млн ткм брутто}}{\text{км/р.}}$			
		$S_{\text{макс-пр}}^{\text{неб}}$, мм	$S_{\text{розп}}$, мм	$S_{\text{неб}}$, (теор) мм	$S_{\text{неб}}$, (практ) мм	$S_{\text{макс-пр}}^{\text{неб}}$, мм	$S_{\text{розп}}$, мм	$S_{\text{неб}}$, (теор) мм	$S_{\text{неб}}$, (практ) мм
ДПТ-УЗ (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, а)	вант. ваг.	1571	1548	1568	1565	1571	1548	1567	1564
	пас. ваг.	1574	1560	1569	1566	1574	1560	1568	1565
ГОСТ 9036-38 (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, б)	вант. ваг.	1571	1547	1569	1556	1566	1537	1558	1556
	пас. ваг.	1573	1549	1570	1567	1573	1549	1569	1566
Профіль вантажних і рефрижераторних вагонів (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, в)	вант. ваг.	1568	1544	1566	1563	1568	1544	1565	1562
	рефр. ваг.	1568	1544	1566	1563	1568	1544	1565	1562
ДСТУ ГОСТ 11018-2005 шабл. РЛ 1 МУ 23311.3514.002 (ВНД-32.0:07.001-2001, рис. 6.16)	ЧС-4	1580	1546	1576	1573	1580	1546	1575	1572
	ТЕП-60	1580	1546	1576	1573	1580	1546	1575	1572
Креслення 4. ДСТУ ГОСТ 001ТУУ 23111.3534-002 (ВНД-32.0:07.001-2001, рис. 6.17)	пас. ваг.	1573	1549	1568	1566	1573	1549	1567	1565
За кресленням 2 ГОСТ 9036 (ВНД-32.0:07.001-2001, рис. 6.18)	вант. ваг.	1567	1543	1562	1560	1567	1543	1563	1560

Висновки. Аналіз отриманих результатів дає змогу рекомендувати значення максимальної ширини рейкової колії для ділянок, де застосовується

службове або екстрене гальмування, – 1550 мм, з урахуванням того, що контакт колеса і рейки відбувається не в точці, а по еліпсу з шириною напівосі $b_{ел} = 2$ мм.

Таблиця 4

Сумарні величини пружних розширювань колії за рахунок бічних відтискань головок рейок під впливом бічної сили (Σy_6)

Ремонтні профілі (нормативна база)	Тип рухомого складу	$\Gamma_0 < 40$ <small>млн ткм брутто</small> км/р.		$\Gamma_0 \geq 41$ <small>млн ткм брутто</small> км/р.	
		при $P_e = P_{cm} \cdot k_g$	при $P_e = P_{cm}$	при $P_e = P_{cm} \cdot k_g$	при $P_e = P_{cm}$
ДПТ-УЗ (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, а)	вант. ваг.	3,35	5,08	4,23	6,38
	пас. ваг.	4,45	4,36	5,60	5,47
ГОСТ 9036-38 (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, б)	вант. ваг.	1,90	3,45	2,40	4,33
	пас. ваг.	2,80	3,0	3,50	3,75
Профіль вантажних і рефрижераторних вагонів (ЦТ-ЦЛ-0062, рис. 5, в)	вант. ваг.	1,90	3,45	2,40	4,08
	рефр. ваг.	2,8	3,0	3,50	3,75
ДСТУ ГОСТ 11018-2005 шабл. РЛ 1 МУ 23311.3514.002 (ВНД-32.0:07.001-2001, рис. 6.16)	ЧС-4	3,7	6,03	4,43	7,46
	ТЕП-60	3,3	5,29	4,17	6,65
Креслення 4. ДСТУ ГОСТ 001ТУУ 23111.3534-002 (ВНД-32.0:07.001-2001, рис. 6.17)	пас. ваг.	4,46	6,05	5,60	5,55
За кресленням 2 ГОСТ 9036 (ВНД-32.0:07.001-2001, рис. 6.18)	вант. ваг.	1,9	3,3	2,4	4,1

При рекомендованому значенні максимальної ширини рейкової колії, але не більше, можна дозволити рух зі встановленими швидкостями, якщо всі зазначені в табл. 3 одиниці рухомого складу допущено до руху на таких ділянках колії.

Встановлена норма максимальної ширини рейкової колії дозволяє визначити

економічну ефективність впровадження в умовах експлуатації колії в кривих ділянках колії малих радіусів з обмеженим використанням максимального допустимого бічного зносу (15 мм) головки рейкової нитки за умови забезпечення нормально-примусового вписування екіпажів (візків) рухомого складу.

Список використаних джерел

- Новиков В. В., Скорик А. А., Панченко С. В. Исследование условий распора колеи со скреплениями типа КБ и его влияние на определение опасной ширины рельсовой колеи. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 178. С. 14–20.

2. Новіков В. В., Скорик О. О. Результати експериментальних вимірювань пружних бічних відтискань головки рейкової нитки при взаємодії горизонтального та вертикального. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 157. С. 51–54.

3. Potapov D. O., Vitolberg V. G., Malishevskaya A. S., Plis P. V., Trishchun R. M. Predictive assessment of change of basic geometric characteristics of rail track during the operation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 8th International Scientific Conference on Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings*, TRANSBUD 2019, Kharkiv, 20 November 2019 - 22 November 2019, 156807. Article number 012021.

4. Markul R., Hubar O., Arbuzov M., Andrieiev V., Tiuthin O., Savyts'Kyy V., Ganich R. Investigation of the operation of the railway track with reinforced concrete sleepers in curved sections with radius $R \leq 350$ m. *Transport Means – Proceedings of the International Conference. 24th International Scientific Conference on Transport Means*. Kaunas, 30 September 2020 - 2 October 2020. P. 520–527. 164801

5. Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм: ВНД 32.0.07.001-2001 (Нова редакція). Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2011. 170 с.

6. Даніленко Е. І., Твердомед В. М. Розрахунок поперечних горизонтальних сил, діючих на колію в кривих від рухомого складу, графо-аналітичним методом. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія: Транспортні системи і технології*. Київ, 2012. Вип. 21. С. 71-76.

7. Про необхідність внесення змін в існуючі нормативні допуски по ширині рейкової колії у прямих та кривих при впровадженні швидкісного руху поїздів на залізницях України / Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, В. М. Молчанов, Р. М. Йосифович. *Залізничний транспорт України*. Київ, 2014. № 2. С. 9-17.

8. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва: Транспорт, 1987. 479 с.

Новіков Вадим Володимирович, старший викладач кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +38 (057) 730-10-55.

E-mail: novikoff.vadim2013@gmail.com. ORCID iD: 0000-0001-9341-0129.

Бабенко Андрій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +38 (057) 730-10-55.

E-mail: babenko_ngkg@kart.edu.ua. ORCID iD: 0000-0002-6486-468X.

Харківський Олександр Сергійович, аспірант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: kharsanya2806@gmail.com.

Тел.: (050) 026-48-20. ORCID iD: 0000-0002-1222-9422.

Ткаченко Олена Олександрівна, викладач кафедри будівництва та цивільної інженерії Харківського державного автомобільного коледжу. Тел.: 0663337200. E-mail: elena82kanaxa@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-1953-5000.

Novikov Vadym, Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38(057) 730-10-55. E-mail: novikoff.vadim2013@gmail.com. ORCID iD: 0000-0001-9341-0129.

Babenko Andriy, PhD (Tech.), Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38(057) 730-10-55. E-mail: babenko_ngkg@kart.edu.ua. ORCID iD: 0000-0002-6486-468X.

Kharkivskiyi Oleksandr, postgraduate student, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (050) 026-48-20.

E-mail: kharsanya2806@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-1222-9422.

Tkachenko Olena Olexandrivna, Teacher, Department of Construction and Civil Engineering, Kharkiv State Automobile and Road College. Tel.: 0663337200. E-mail: elena82kanaxa@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-1953-5000.

Статтю прийнято 25.08.2021 р.