

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

УДК 625.14:629.4.027.11

О. М. ПАТЛАСОВ¹, Є. М. ФЕДОРЕНКО^{2*}

¹Каф. «Транспортна інфраструктура», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648

^{2*}Каф. «Транспортна інфраструктура», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 868 53 59, ел. пошта rapunzeeelliza@gmail.com, ORCID 0000-0002-7518-9106

Допустимі значення динамічної дії рухомого складу на залізничну колію в разі підвищення осьового навантаження

Мета. Дослідження спрямоване на визначення експериментально-розрахунковим шляхом значень параметрів, що характеризують динамічну дію рухомого складу на залізничну колію, обґрунтування максимально допустимих (граничних) величин. **Методика.** Для досліджень взаємодії колії та рухомого складу на дослідній ділянці були встановлені прилади, які фіксують різні фізичні процеси. Прилади встановлені у 8 сіденнях по зовнішній рейковій нитці. Для визначення фактичного стану колії були проведені натурні вимірювання відповідно до Програми та методики проведення досліджень. **Результати.** За результатами експериментальних випробувань дії на колію виявлено, що середні вертикальні навантаження та, відповідно, середні вертикальні деформації від вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь більші, ніж від вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь на 8 відсотків. Максимальні вертикальні навантаження від вагонів з осьовим навантаженням 25 тс/вісь перевищували середні навантаження на 10,0 тс, а від вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь – на 12,8 тс. Під час випробувань не виявлено вагонів, у яких вертикальна динамічна сила перевищує 20 тс, а горизонтальна – 10 тс. Тому норми допустимого динамічного впливу можуть бути прийняті відповідно до Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. **Наукова новизна.** Проведено дослідження динамічних характеристик взаємодії колії й рухомого складу зокрема: напружень у кромках підшви рейок, вертикальних і горизонтальних сил від коліс рухомого складу. **Практична значимість.** На основі отриманих результатів можна оцінити допустимі значення динамічної дії рухомого складу на залізничну колію для обґрунтування необхідності зміни нормативів витрат матеріалів верхньої будови колії та робочої сили. В свою чергу, це дозволить планувати ремонтно-колійні терміни більш економічно доцільно та за фактичними показниками стану верхньої будови колії.

Ключові слова: залізнична колія; осьове навантаження; напруження; вертикальні сили; горизонтальні сили

Вступ

Залізничному транспорту України належить провідна роль у здійсненні перевізного процесу.

Реструктуризація залізничного транспорту, яка зараз проходить в Україні, повинна створити умови для досягнення рівня європейських і світових стандартів, що дасть змогу пришвидшити темпи євроінтеграції та максимально реалізувати транспортний потенціал країни.

Одним зі способів збільшення перевізної здатності залізниць є підвищення осьового навантаження вантажних вагонів. Проведені дослідження свідчать про значні обсяги перевезення вантажів, незважаючи на деякий спад в останні роки. При цьому залізничний транспорт дещо поступається в динаміці росту автотранспорту й не повною мірою використовує свій транзитний потенціал. Тому слід задіяти ці резерви якомога повніше [2].

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Упровадження більш високих осьових навантажень може призвести до скорочення терміну служби залізничної колії та її окремих елементів. Тому для підвищення норм осьового навантаження за наявних технічних характеристик залізничної колії необхідно дослідити динамічний вплив рухомого складу на її стан.

Питанню взаємодії рухомого складу та залізничної колії присвячено низку досліджень вітчизняних та закордонних учених [1, 3, 4, 5, 9, 10–14].

Мета

Упровадження на залізницях України рухомого складу з підвищеним навантаженням на вісь, а також великовагових поїздів дозволяє збільшити перевізну здатність залізниць та забезпечити конкурентоспроможність під час перевезення вантажів. При цьому виникає додатковий вплив на об'єкти інфраструктури колійного господарства, що потребує додаткових витрат на матеріали верхньої будови колії. Чинні норми розроблені для рухомого складу з осьовим навантаженням не більше ніж 23,5 тс/вісь, хоча сьогодні впроваджують рухомий склад із навантаженням 25 тс/вісь.

Тому метою нашої роботи є визначення допустимих значень динамічної дії рухомого складу на залізничну колію в разі підвищення осьового навантаження та інтенсивності розладу колії для подальшого обґрунтування зміни нормативів витрат матеріалів верхньої будови колії та робочої сили.

Методика

Робота виконана співробітниками кафедри «Транспортна інфраструктура» та Колієвипробувальної галузевої науково-дослідної лабораторії Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Випробування проведено відповідно до програми й методики досліджень впливу на колію рухомого складу з навантаженням до 25 тс/вісь великовагових поїздів. Для отримання експериментальних даних програма передбачала динаміко-міцнісні випробування, розшифрування та обробку експериментальних даних, аналіз отриманих результатів.

Експериментальні дослідження проведено на парній колії перегону Пришиб – Бурчацьк. (км 1174-ий, ПК 3). Ділянка розташована у прямій. На ділянці укладено залізобетонні шпали з кріпленням КБ.

Відповідно до програми та методики дослідження в межах дослідної ділянки було створено штучний перекіс 3 ступеня шляхом укладання додаткових прокладок між рейкою та підкладкою.

Взаємодію колії та рухомого складу на дослідній ділянці фіксували прилади, встановлені у 8 січеннях по зовнішній рейковій нитці, – інформаційно-вимірювальна апаратура «ПОНІЛ-Ц». Схема дослідної ділянки зі встановленими приладами наведена на рис. 1, фото дослідної ділянки – на рис. 2.

Для проведення експериментальних досліджень використано поїзд № 1762, що рухався за графіком та складався з локомотива ВЛ–11, п'яти вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь та 51 вагона з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь.

Схема дослідного поїзда наведена на рис. 3. Поїзд рухався зі швидкістю близько 75 км/год зі сторони ст. Пришиб у напрямку ст. Бурчацьк.

Для тарування датчиків по дослідній ділянці пропускали локомотиви (2ТЕ116 та ЧС7) з невеликою швидкістю. На рис. 3 наведено приклад записів датчиків під час руху локомотива 2ТЕ116.

Приклад записів датчиків під час руху дослідного поїзда наведено на рис. 4.



Рис. 1. Схема дослідної ділянки зі встановленими приладами

Fig. 1. Scheme of the experimental section with installed devices

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

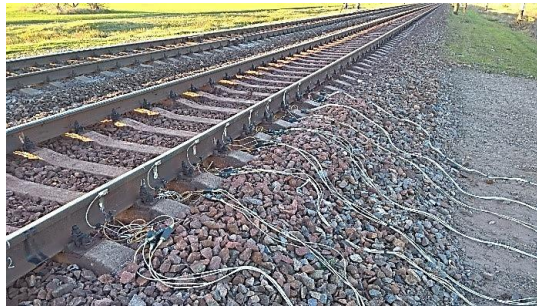


Рис. 2. Фото дослідної ділянки
Fig. 2. Photo of the experimental section



Рис. 3. Зразок записів датчиків під час руху локомотива 2ТЕ116
Fig. 3. Sample of sensor recordings during the movement of the 2TE116 locomotive

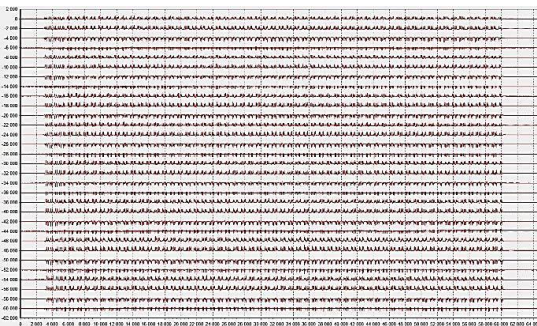


Рис. 4. Зразок записів датчиків під час руху дослідженого поїзда
Fig. 4. Sample of sensor recordings during the movement of the train under study

Результати

Напруження в кромках підшви рейок є одним з основних показників впливу на колію рухомого складу, головним критерієм міцності колії, а отже, і безпеки руху по колії з різною конструкцією верхньої будови. Нормована величина цих напружень (240 МПа) визначає допустимі швидкості руху.

Перерізи, у яких вимірювали напруження у кромках підшви рейок, показані на схемі встановлення вимірювальних приладів (див. рис. 1). Вимірювання проводили за допомогою тензорезисторів, наклеєних на підшви рейки поблизу зовнішньої та внутрішньої кромки.

У результаті статистичної обробки експериментальних даних були отримані середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні спостережені в досліді ($\sigma_{\max}^{\text{спос}}$) значення напружень в кромках підшви рейки. Результати наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Середні ($\bar{\sigma}$), максимальні ймовірні ($\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні спостережені ($\sigma_{\max}^{\text{спос}}$) значення напружень у кромках підшви рейки, МПа

Table 1

Average ($\bar{\sigma}$), maximum probable

($\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$) and maximum observed ($\sigma_{\max}^{\text{спос}}$) values of stresses at the edges of the rail base, МПа

Рухомий склад	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\max}^{\text{ймов}}$	$\sigma_{\max}^{\text{спос}}$
Локомотив (ВЛ11)	48,75	73,14	95,19
Піввагони (до 25 тс/вісь)	57,74	90,78	97,02
Піввагони (до 23,5 тс/вісь)	53,68	88,50	118,65

Аналіз даних табл. 1 показав, що найбільші середні значення напружень виникають від вагонів із навантаженням до 25 тс/вісь, а максимальні – від вагонів із осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь. У всіх випадках напруження в кромках підшви рейок не перевищували допустимі 240 МПа [6].

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Вимірювання вертикальних сил, що передаються від коліс рухомого складу на рейки, також проводили в перерізах, які показано на рис. 1.

Тарування приладів виконували на основі стандартної методики: визначали співвідношення середнього значення ординат запису навантажень від усіх коліс екіпажів за швидкості 5 км/год й середнього значення статичного навантаження на колесо.

Після статистичної обробки експериментальних даних отримали середні (\bar{P}), максимальні ймовірні ($P_{\max}^{\text{ймов}}$) та максимальні спостережені ($P_{\max}^{\text{спос}}$) значення вертикальних сил, що передаються на рейки від коліс екіпажів під час руху з різними швидкостями. Результати наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Середні (\bar{P}), максимальні ймовірні ($P_{\max}^{\text{ймов}}$) і максимальні спостережені ($P_{\max}^{\text{спос}}$) значення вертикальних сил, кН

Table 2

Average (\bar{P}), maximum probable ($P_{\max}^{\text{ймов}}$) and maximum observed ($P_{\max}^{\text{спос}}$) values of vertical forces, kN

Рухомий склад	\bar{P}	$P_{\max}^{\text{ймов}}$	$P_{\max}^{\text{спос}}$
Локомотив (ВЛ11)	121,95	151,91	143,58
Піввагони (до 25 тс/вісь)	121,17	158,94	171,57
Піввагони (до 23,5 тс/вісь)	112,15	147,61	176,69

Із табл. 2 видно, що, як і кромкові напруження, найбільші середні значення вертикальних сил виникають від вагонів із навантаженням до 25 тс/вісь, а максимальні – від вагонів із осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь. У всіх випадках динамічні вертикальні сили не перевищували допустимі 210 кН [6].

Для визначення величин горизонтальних поперечних (бокових) сил використовують триточковий метод, розроблений О. П. Єршковим [1]. За цим методом значення бокових сил визнача-

ють на основі експериментально отриманих величин напружень у кромках підшви та в зовнішній грані головки рейки:

$$H = B \cdot \sigma_H^n, \quad (1)$$

де H – бокові сили, які діють на колію, у [1] вони наведені в кГс; B – коефіцієнт для визначення бокових сил, у [1] він поданий у см^2 ; σ_H^n – напруження, що виникають у зовнішній кромці підшви рейок від дії бокових сил, у [1] вони наведені в $\text{кГс}/\text{см}^2$.

Коефіцієнт B визначають за формулою:

$$B = 4 \cdot W_z^n \cdot k_y^T, \quad (2)$$

де W_z^n – момент опору поперечного перерізу рейки відносно осі z , см^3 ; k_y^T – коефіцієнт відносно жорсткості рейки та підрейкової основи з урахуванням тертя в горизонтальній площині, см^{-1} .

Момент опору поперечного перерізу рейки відносно осі z становитиме:

$$W_z^n = \frac{2 \cdot I_z}{b_n}, \quad (3)$$

де I_z – момент інерції поперечного перерізу рейки відносно осі z , см^4 ; b_n – ширина підшви рейки, см .

Для рейок типу Р65 ($I_z = 569 \text{ см}^4$; $b_n = 15 \text{ см}$) $W_z^n = 75,87 \text{ см}^3$.

Коефіцієнт відносно жорсткості рейки і підрейкової основи визначають за формулою [8]:

$$k_y^T = \sqrt[4]{\frac{U_y^T}{4 \cdot E \cdot I_z}}, \quad (4)$$

де U_y^T – модуль пружності колії в горизонтальній площині з урахуванням тертя; E – модуль пружності рейкової сталі, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Модуль пружності U_y^T дорівнює [1]:

$$U_y^T = \frac{1}{\sqrt[3]{64 \cdot E \cdot I_z}} (\lambda \cdot \beta^n)^{\frac{4}{3}}, \quad (5)$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

де β_y^n – згинальна жорсткість рейки по підшві в горизонтальній площині, отримана з урахуванням тертя; λ – коефіцієнт, що враховує кручення рейки, для рейок Р65 $\lambda = 1$.

Підставивши значення модуля пружності U_y^T у формулу (4), отримаємо вираз (6):

$$k_y^T = \sqrt[4]{\frac{(\lambda \cdot \beta_y^n)^4}{(64 \cdot E \cdot I_z)^{\frac{1}{3}} \cdot 4 \cdot E \cdot I_z}} = 2 \cdot \sqrt[4]{\frac{(\lambda \cdot \beta_y^n)^4}{(64 \cdot E \cdot I_z)^{\frac{4}{3}}}} = \sqrt[3]{\frac{\lambda \cdot \beta_y^n}{8 \cdot E \cdot I_z}} \quad (6)$$

Згинальну жорсткість рейки по підшві в горизонтальній площині можна виразити через згинальну жорсткість по голівці таким чином:

$$\beta_y^n = \varepsilon \cdot \beta_y^r, \quad (7)$$

де ε – коефіцієнт, що дорівнює відношенню експериментальних значень середніх віджимань по підшві до середніх віджимань головки в горизонтальній площині, узятому в одному перерізі колії за мінімальної швидкості ($V = 5$ км/год):

$$\varepsilon = \frac{y_{cp}^n}{y_{cp}^r}, \quad (8)$$

де, y_{cp}^n , y_{cp}^r – середні віджимання підшви та головки рейки в одному перерізі.

Тоді $\beta_y^n = 0,217\beta_y^r$.

Підставивши це значення у формулу (7), отримаємо кінцеву формулу:

$$B = 0,086 \cdot \sqrt[3]{\beta_y^r}. \quad (9)$$

Оскільки у формулу (1) всі значення ми підставляємо в одиницях виміру системи СІ, то необхідно це взяти до уваги в розрахунках за допомогою таких коефіцієнтів:

а) напруження в рейках вимірюються не в кГс/см^2 , а в МПа, при цьому $1 \text{ МПа} = 10 \text{ кГс/см}^2$, тому вводимо перевідний коефіцієнт 10;

б) бічні сили в системі СІ вимірюють у кН , а не в кГс , при цьому $1 \text{ кН} = 100 \text{ кГс}$, тому вводимо в праву частину формули перевідний коефіцієнт 0,01;

в) коефіцієнт B вимірюють у кН/МПа , замість см^2 . При цьому експериментально виміряну жорсткість у формулу (9) підставляємо в кН/мм замість кГс/см , це враховуємо за допомогою коефіцієнта 10^3 , тому що $1 \text{ кН/мм} = 10^3 \text{ кГс/см}$.

Оскільки (9) входить як співмножник у формулу (1), то всі коефіцієнти можемо підставити в (9). Тоді формула (9) набуде вигляду:

$$B = 0,086 \cdot 10 \cdot 0,01 \cdot \sqrt[3]{\beta_y^r \cdot 10^3} = 0,086 \cdot \sqrt[3]{\beta_y^r}, \quad (10)$$

Напруження, що виникають у кромці підшви рейок від дії бокових сил, визначають так [1]:

$$\sigma_H^n = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{b_n}{b_r} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \sigma_p^n + \frac{h_1}{h_1 + h_2} \cdot \sigma_H^{ysl} + \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{b_n}{b_r} \cdot \sigma_{зоб}^r, \quad (11)$$

де σ_p^n – напруження, що виникають у кромці підшви рейки від дії вертикальних сил; σ_H^{ysl} – різниця напружень, що виникають у внутрішній і зовнішній кромках підшви рейки від дії бокових сил; Тоді: h_1 , h_2 , z_1 , z_2 , b_n , b_r – геометричні характеристики рейки, які вказані на рис. 5.

$$\sigma_p^n = \frac{\sigma_{зоб}^n + \sigma_{вн}^n}{2}; \quad (12)$$

$$\sigma_H^{ysl} = \frac{\sigma_{зоб}^n - \sigma_{вн}^n}{2}, \quad (13)$$

де $\sigma_{зоб}^n$, $\sigma_{вн}^n$, $\sigma_{зоб}^r$ – експериментальні напруження в зовнішній і внутрішній кромці підшви та зовнішній грані головки рейки, МПа;

Зазначені вище формули отримані за умови рівноваги всіх сил, прикладених до рейки.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

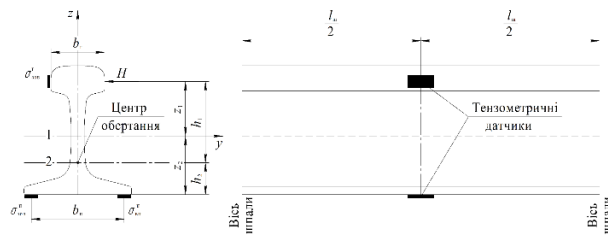


Рис. 5. Схема вимірювання напружень у кромках підшви і зовнішній кромці головки рейки:

1 – нейтральна вісь; 2 – горизонтальна вісь, що проходить через центр обертання

Fig. 5. Scheme of measuring stresses in the edges of the rail base and the outer edge of the rail head:

1 – neutral axis; 2 – horizontal axis passing through the rotation center

Для зручності розрахунків вираз (11) зведений до вигляду [1]:

$$\sigma_{\text{H}}^{\text{п}} = A_1 \cdot \sigma_{\text{зов}}^{\text{п}} + A_2 \cdot s_{\text{вн}}^{\text{п}} + A_3 \cdot \sigma_{\text{зов}}^{\text{г}}, \quad (13)$$

$$A_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{b_{\text{п}}}{b_{\text{г}}} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_2} - \frac{h_1}{2 \cdot (h_1 + h_2)}; \quad (14)$$

$$A_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{b_{\text{п}}}{b_{\text{г}}} \cdot \frac{z_1}{2 \cdot z_2} - \frac{h_1}{2 \cdot (h_1 + h_2)}; \quad (15)$$

$$A_3 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{b_{\text{п}}}{b_{\text{г}}}. \quad (16)$$

Після проведення статистичної обробки експериментальних даних отримані середні (\bar{H}), максимальні ймовірні ($H_{\text{max}}^{\text{ймов}}$) та максимальні спостережені ($H_{\text{max}}^{\text{спос}}$) значення горизонтальних поперечних (бокових) сил, що передаються на рейки від коліс екіпажів під час руху з різними швидкостями. Результати наведені в табл. 3.

Дані табл. 3 свідчать, що, як і кромкові напруження, найбільші середні значення горизонтальних сил виникають від вагонів із навантаженням до 25 тс/вісь, а максимальні – від вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь. У всіх випадках бокові сили не перевищували допустимі 120 кН [6].

Таблиця 3

Середні (\bar{H}), максимальні ймовірні ($H_{\text{max}}^{\text{ймов}}$) та максимальні спостережені ($H_{\text{max}}^{\text{спос}}$) значення бокових сил від осей, які набігають на рейки, кН

Table 3

Average (\bar{H}), maximum probable ($H_{\text{max}}^{\text{ймов}}$) and maximum observed ($H_{\text{max}}^{\text{спос}}$) values of lateral forces from the axes climbing on the rails, kN

Рухомий склад	\bar{H}	$H_{\text{max}}^{\text{ймов}}$	$H_{\text{max}}^{\text{спос}}$
Локомотив (ВЛ11)	34,28	53,90	61,58
Піввагони (до 25 тс)	29,92	46,83	46,99
Піввагони (до 23,5 тс/вісь)	28,60	46,12	51,70

Наукова новизна та практична значимість

У роботі проведено дослідження динамічних характеристик взаємодії колії та рухомого складу зокрема: напружень у кромках підшви рейок, вертикальних і горизонтальних сил від коліс рухомого складу. На основі отриманих результатів можна оцінити допустимі значення динамічної дії рухомого складу на залізничну колію для обґрунтування необхідності зміни нормативів витрат матеріалів верхньої будови колії та робочої сили. В свою чергу, це дозволить планувати ремонтно-коліїні терміни більш економічно доцільно та за фактичними показниками стану верхньої будови колії.

Висновки

За результатами експериментальних випробувань виявлено:

- середні вертикальні навантаження та, відповідно середні вертикальні деформації від вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь більші ніж від вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь на 8 відсотків;
- максимальні вертикальні навантаження від вагонів з осьовим навантаженням 25 тс/вісь перевищували середні навантаження на 10,0 тс, а від вагонів з осьовим навантаженням до

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

23,5 тс/вісь – на 12,8 тс. За абсолютним значенням максимальні вертикальні навантаження спостерігалися від вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь та досягали 35,2 тс/вісь;

– середні горизонтальні сили, що діють на рейки від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь, дорівнювали 2,99 тс, а від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь – 2,86 тс;

– максимальні горизонтальні сили дії на колію від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 25 тс/вісь дорівнювали 4,7 тс, а від коліс вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь – 5,2 тс;

– максимальні вертикальні навантаження від вагонів з осьовим навантаженням 25 тс/вісь перевищували середні навантаження на 10,0 тс,

а від вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь – на 12,8 тс. За абсолютним значенням максимальні вертикальні навантаження спостерігалися від вагонів з осьовим навантаженням до 23,5 тс/вісь та досягали 35,2 тс/вісь.

Наявність повзунів (у межах допусків до 1 мм) призводить до зростання динамічних сил на 10–15 %. Під час випробувань не виявлено вагонів, у яких вертикальна динамічна сила перевищує 20 тс, а горизонтальна – 10 тс. Тому норми допустимого динамічного впливу можуть бути прийняті відповідно до Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України [7].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и её влияние на работу рельсов в кривых участках. *Вестник ВШИЖТ*. 1963. Вып. 264. С. 39–98.
2. Інноваційні вантажні вагони та впровадження рухомого складу з навантаженням 25 т/вісь в залізничних адміністраціях країн СНД. *Rail Cargo Spring 2019*. URL: <https://logist.academy/ulb/2019/05/27/tsytatamyamlin/>
3. Климов В. И., Цыганенко В. В. Экспериментальное определение боковых сил в кривой при рекуперативном торможении поездов. *Сб. науч. тр. ДИИТа*. 1969. Вып. 99. С. 16–19.
4. Курган Д. М., Губар О. В., Гаврилов М. О. Методика інженерного розрахунку коефіцієнта стійкості проти вкочування колеса на рейку. *Наука та прогрес транспорту*. 2020. № 3 (87). С. 71–80. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/208202>
5. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Дослідження впливу стану залізничної колії в плані на плавність і безпеку руху поїздів. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2017. № 14. С. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.15802/ecsrt2017/137797>
6. *Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 мм : ЦП – 0235*. Київ : НВП Поліграфсервіс, 2011. 72 с.
7. *Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України : ЦП–0287* : затв. наказом Укрзалізниці від 03.11.2014 № 470-ЦЗ. Київ, 2015. 45 с.
8. *Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП – 0117*. Київ : Транспорт України, 2005. 119 с.
9. Сидорова Е. А. Исследование влияния геометрических параметров железнодорожного пути в плане, представленных в виде геометрических моделей, на показатели динамического взаимодействия пути и подвижного состава. *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта*. 2017. № 4. С. 243–248. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-243-248>
10. Kuka N., Ariaudo C., Verardi R., Pombo J. Impact of rail infrastructure maintenance conditions on the vehicle-track interaction loads. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C : Journal of Mechanical Engineering Science*. 2020. Vol. 235. Iss. 16. P. 2952–2967. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954406220962144>
11. Sadeghi J, Khajehdezfuly A, Heydari H, Askarinejad H. Development of Railway Ride Comfort Prediction Model : Incorporating Track Geometry and Rolling Stock Conditions. *Journal of Transportation Engineering, Part A : Systems*. 2020. Vol. 146. Iss. 3. P. 04020006.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

12. Shvets A. O., Bolotov O. M., Percevoj A. K., Ghlukhov V. V., Bolotov O. O., Saporova L. S. Research of Dynamic Indicators and Influence of Different Types of Rolling Stock on Railway Track. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering* (Dnipro, 27–29 May 2020). Dnipro, 2020. Vol. 985. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012010>
13. Ye Y., Shi D., Poveda-Reyes S., Hecht M. Quantification of the influence of rolling stock failures on track deterioration. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*. 2020. Vol. 21. Iss. 10. P. 783–798. DOI: <https://doi.org/10.1631/jzus.a2000033>

O. M. PATLASOV¹, Y. M. FEDORENKO^{2*}

¹ Dep. «Transport Infrastructure», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648

^{2*} Dep. «Transport Infrastructure», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 868 53 59, e-mail rapunzeeelliza@gmail.com, ORCID 0000-0002-7518-9106

Permissible Values of the Dynamic Impact of the Rolling Stock on the Railway Track in the Case of Axle Load Increase

Purpose. The study is aimed at determining experimentally the values of the parameters characterizing the dynamic effect of rolling stock on the railway track, substantiating the maximum permissible (limiting) values. **Methodology.** To investigate the interaction between the track and the rolling stock, the devices to record various physical processes were installed on the experimental sections. The devices were installed in 8 sections along the outer railway line. To establish the actual state of the track, field measurements were carried out in accordance with the Program and research methodology. **Findings.** According to the results of experimental tests of the impact on the track, it was revealed that the average vertical loads, and, accordingly, the average vertical deformations, under the cars with an axle load of up to 25 tf/axle are higher than that under the cars with an axle load of up to 23.5 tf/axle by 8 percent. The maximum vertical loads under the cars with an axle load of 25 tf/axle exceeded the average loads by 10.0 tf, and under the cars with an axle load of up to 23.5 tf/axle exceeded the average values by 12.8 tf. During the tests, no cars were found in which the vertical dynamic force exceeds 20 tf, and the horizontal force exceeds 10 tf. Therefore, the norms of permissible dynamic impact can be taken in accordance with the Regulations on Preventive Maintenance and Repair Track Work on the Railways of Ukraine. **Originality.** The authors conducted a study to assess the dynamic characteristics of the interaction of track and rolling stock, in particular the stresses in the edges of the rail base, vertical and horizontal forces from the wheels of rolling stock. **Practical value.** On the basis of the results obtained, it is possible to estimate the permissible values of the dynamic effect of the rolling stock on the railway track to substantiate the need to change the standards for the material consumption of the track superstructure and labor. In turn, this will make it possible to plan the repair and track periods more economically and according to the actual indicators of the state of the track superstructure.

Keywords: railway track; axial load; stress; vertical forces; horizontal forces

REFERENCES

1. Yershkov, O. P. (1963). Issledovanie zhestkosti zheleznodorozhnogo puti i ee vliyanie na rabotu relsov v krivykh uchastkakh. *Vestnik VShIZhT*, 264, 39-98. (in Russian)
2. Innovacijni vantazhni vaghony ta vprovadzhenja rukhomogho skladu z navantazhennjam 25 t/visj v zaliznychnykh administracijakh krajn SND. *Rail Cargo Spring 2019*. Retrieved from <https://logist.academy/ulb/2019/05/27/tsytata-myamlin/> (in Ukrainian)
3. Klimov, V. I., & Tsyganenko, V. V. (1969). Eksperimentalnoe opredelenie bokovykh sil v krivoy pri rekuperativnom tormozhenii poezdov. *Sbornik nauchnykh trudov DIITA*, 99, 16-19. (in Russian)
4. Kurhan, D. M., Hubar, O. V., & Havrilov, M. O. (2020). Methodology for engineering calculation of stability coefficient against wheel climbing on the rail. *Science and Transport Progress*, 3(87), 71-80. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/208202> (in Ukrainian)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

5. Kurhan, M. B., Kurhan, D., Baidak, S., & Khmelevska, N. (2017). Investigation of the influence of the state of the railway track in terms of softness and safety of trains. *Electromagnetic compatibility and safety on railway transport*, 14, 94-101. DOI: <https://doi.org/10.15802/ecstr2017/137797> (in Ukrainian)
6. Normy dopustymykh shvydkostej rukhu rukhomogho skladu po zaliznychnykh kolijakh derzhavnoji administraciji zaliznychnogho transportu Ukrajinu shyrynoju 1520 mm. (2011). Kyiv: NVP Polighrafservis. (in Ukrainian)
7. Polozhennja pro provedennja planovo-zapobizhnykh remontno-kolijnykh robit na zaliznycjakh Ukrajinu. (2015). CP-0287: nakaz Ukrzaliznytsi No 53-Ts. Kyiv. (in Ukrainian)
8. Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoji koliji na micnistj i stijkistj: CP-0117. (2005). Kyiv: Transport Ukrajinu. (in Ukrainian)
9. Sidorova, E. A. (2017). Research of geometry effects on the railway track in the alignment, represented in the form of geometric models, on the indicators of the dynamic interaction of the track and rolling stock. *Vestnik of the Railway Research Institute*, 76(4), 243-248. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-243-248> (in Russian)
10. Kuka, N., Ariaudo, C., Verardi, R., & Pombo, J. (2020). Impact of rail infrastructure maintenance conditions on the vehicle-track interaction loads. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 235(16), 2952-2967. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954406220962144> (in English)
11. Sadeghi, J., Khajehdezfuly, A., Heydari, H., & Askarinejad, H. (2020). Development of Railway Ride Comfort Prediction Model: Incorporating Track Geometry and Rolling Stock Conditions. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 146(3), 04020006. (in English)
12. Shvets, A. O., Bolotov, O. M., Percevoj, A. K., Ghluhkov, V. V., Bolotov, O. O., & Saporova, L. S. (2020). Research of dynamic indicators and influence of different types of rolling stock on railway track. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 985, pp. 1-10). DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012010> (in English)
13. Ye, Y., Shi, D., Poveda-Reyes, S., & Hecht, M. (2020). Quantification of the influence of rolling stock failures on track deterioration. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 21(10), 783-798. DOI: <https://doi.org/10.1631/jzus.a2000033> (in English)

Надійшла до редколегії: 12.02.2021

Прийнята до друку: 11.06.2021