

the rail head, the value of the turning of the trolley relative to the body of the rolling stock (index X), the indicator of the lateral action of the rolling stock on the rails.

The stability of the rolling of the wheel of the wheel pair onto the rail head on the EU railways is investigated on the basis of the Nadal's criterion.

The value of the resistance of the trolley rotation relative to the body of the rolling stock is decisive for proving the safety condition against the derailment wheel pairs on the EU railways.

With the help of the indicator of the lateral action of the rolling stock on the rails limited the size of the lateral forces to minimize the risk of shifts of rail-sleeper lattice.

The article describes how a rolling stock test on EU railways is being conducted to determine the traffic safety indicators.

The author notes that in order to determine the possibility of derailment of rolling stock under the norm EN 14363, it is necessary to have the value of the guiding force. However, determining the direction of the force is a complicated and time-consuming process, since it requires a large number of experimental studies.

Key words: railways, rolling stock, indicators of sustainability, European Union.

DOI: <https://doi.org/10.33994/kndise.2019.64.55>

УДК 343.148: 625.031.3: 625.032.7

А. В. Батіг

старший науковий співробітник

О. Б. Ковальчук

старший науковий співробітник

*Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз
Міністерства юстиції України*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБМЕЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ

Стаття присвячена дослідженню процесу обмеження максимальної швидкості руху в кривій ділянці колії за коефіцієнтом запасу стійкості від вкочування колеса на головку рейки. Відзначено, що формули, за допомогою яких встановлюється допустима швидкість руху в кривій ділянці колії відрізняються у випадку рівномірного, нерівномірного завантаження колеса колісної пари рухомого складу, з врахуванням підвищення зовнішньої рейки і без нього.

Ключові слова: *максимальна швидкість руху, обмеження швидкості руху, поїзди, ділянки колії.*

Найбільша кількість сходів рухомого складу з рейок відбувається через вкочування гребенів коліс рухомого складу на головку рейки. Сам процес сходження залежить від безлічі факторів, які в їх імовірнісному поєднанні вивчені ще недостатньо.

За 2008-2018 роки експертами лабораторії залізнично-транспортних досліджень було виконано 27 експертиз із дослідження сходів рухомого складу з рейок, з яких 13 сталося в кривих ділянках, 9 – в прямих ділянках колії та 8 – на стрілочних переводах (рис. 1).

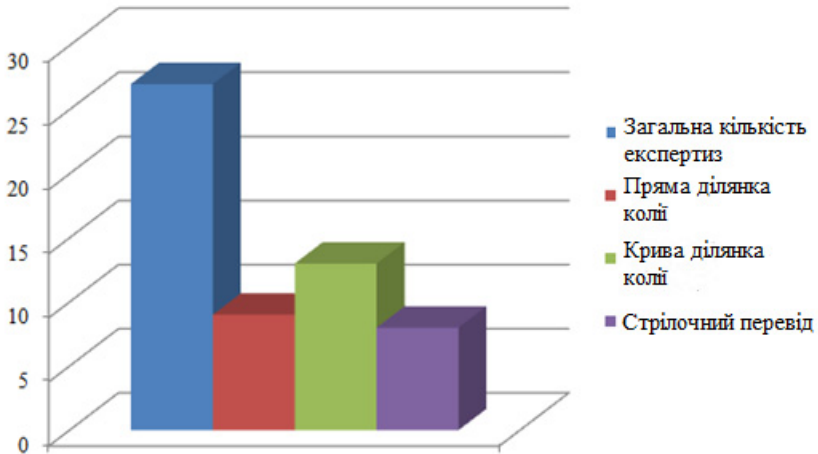


Рис. 1. Кількість виконаних експертами судових залізнично-транспортні експертизи у випадку сходу рухомого складу з рейок за 2008 – 2018 року

Дослідження випадків сходів рухомого складу в кривих ділянках є складним і трудомістким процесом, так як при русі рухомого складу в кривих ділянках з'являються додаткові бокові сили, наприклад, відцентрові сили. Перехід рухомого складу з прямої ділянки колії на криву супроводжується миттєвою появою даних сил, які діють в середину криволінійної траєкторії.

Відцентрові сили можуть в декілька раз перевищувати сили, які виникають при виланні екіпажу на прямих ділянках. Крім цього, боковий тиск гребеня колеса на рейку у кривій ділянці колії значно більший ніж у прямій. Це пов'язано з тим, що колесо колісної пари під час руху повинне повертатися у відповідності з криволінійним напрямком рейок замість того, щоб продовжувати прямолінійний рух.

Зростання горизонтальних сил від дії колеса на рейку у кривих ділянках колії призводить до зносу головок рейок, ободів коліс рухомого складу, появи відступів у рейковій колії від норм її утримання. Під час руху пасажирських поїздів відцентрові сили чинять негативний вплив на показник комфортабельності перевезення.

У зв'язку з цим для зменшення горизонтальних поперечних сил, дія яких передається від колеса на рейку, згідно нормативних документів виконується обмеження швидкості руху в кривих ділянках колії.

Обмеження швидкостей руху в кривих ділянках колії відповідно до різних критеріїв безпеки руху носить різносторонній характер і вони нерівнозначні.

Одні з критеріїв безпеки руху допускають відносно високі швидкості руху, а інші значно їх обмежують. Допустимі швидкості руху рухомого складу встановлюються, виходячи з непогашеного горизонтального прискорення, швидкості росту цього прискорення, швидкості підйому (опускання) колеса, що нормується через таблиці ухил-швидкість.

Оскільки на залізничному транспорті одним з найважливіших завдань є скорочення терміну доставки вантажів і пасажирів, то питання підвищення ефективності заходів зі збільшення рівня швидкості руху поїздів і зменшення кількості її обмежень є актуальним.

Для отримання загальної картини допустимих швидкостей руху в кривих ділянках колії розглянемо критерій її обмеження за коефіцієнтом запасу стійкості від вкочування гребеня на головку рейки.

Згідно з критерієм Надаля небезпека сходу рухомого складу з рейок відсутня при виконанні наступної умови:

$$\frac{y_p}{P_{\text{кол}}} \geq [k_{\text{в.к}}], \quad (1)$$

де $y_p, P_{\text{кол}}$ – сила тиску рами на направляючу колісну пару (рамна сила) і вертикальна сила, що діє на шийку набігаючого колеса, кН ;

$[k_{\text{в.к}}]$ – допустима величина коефіцієнта стійкості за вкочуванням [1].

$$[k_{\text{в.к}}] = \frac{1 - \mu \cdot \text{ctg} \beta}{\mu + \text{ctg} \beta}, \text{ або } [k_{\text{в.к}}] = \frac{1 - \mu \cdot \text{ctg} \beta}{\mu + \text{ctg} \beta}, \quad (2)$$

де β – кут нахилу зовнішньої грані гребеня колеса до горизонталі, $\beta = 60^\circ$;

μ – коефіцієнт тертя в точці контакту колесо-рейка, $\mu = 0,25$.

Підставляючи у формулу (2) значення β і μ для статичних умов (короткочасна дія y_p – не більше 0,05 с), отримуємо $[k_{\text{в.к}}] = 1$. При часу дії рамної сили в межах $t \geq 0,05$ с рекомендується прийняти більш жорстку умову вкочування [1], приймаючи $[k_{\text{в.к}}] = 0,8$.

Для визначення залежності $V_k = V_k(v_{\text{в.к}})$, значення y_p і $P_{\text{кол}}$ знаходяться згідно формул, які рекомендував професор М. А Чернишов [2]. При цьому нелінійні залежності, запропоновані П. Г. Проскурневим, для направляючої сили лінеаризувались.

В результаті отримана залежність максимально допустимої швидкості руху в кривій $V_k = V_k(R, k_{\text{в.к}})$, км/год :

$$V_{к\max} = \sqrt{3,6^2 \cdot g \cdot R \cdot \left(\frac{[k_{в.к}] - 0,58\mu}{0,27P_{к} + 0,54P_{т} - 0,25 \frac{h'_{ц} - r - r_{ш}}{2b} P_{к} [k_{в.к}]} P_{кол}^* + \frac{h_p}{S_1} \right.} \quad (3)$$

$$\left. \frac{0,27F_{к} + 0,54F_{т} - 0,25 \frac{h'_B - r - r_{ш}}{2b} F_{к} [k_{в.к}]}{0,27P_{к} + 0,54P_{т} - 0,25 \frac{h'_{ц} - r - r_{ш}}{2b} P_{к} [k_{в.к}]} \right)$$

де $P_{кол}^*$, $P_{к}$, $P_{т}$ – вертикальна сила від ваги бруто, яка припадає на колесо при рівномірному розподілі; вага кузова і візка відповідно, m ;

$F_{к}$, $F_{т}$ – площа кузова і візка, на яку діє сила вітру, m^2 ;

$h'_{ц}$, h'_B – висота центра ваги кузова і центру тиску вітру над рівнем головки рейки, m ;

r , $r_{ш}$ – радіус колеса і шийки осі, m ;

S_1 , $2b$ – відстань між кругами кочення коліс і центрами шийок відповідно, m ;

h_p – підвищення зовнішньої рейки в кривій ділянці колії, m ;

P_w – питомий тиск вітру, $кз/м^2$;

g – прискорення сили тяжіння, $м/с^2$;

R – радіус кривої, m .

Формула (3) може використовуватися при рівномірному навантаженні коліс колісної пари рухомого складу.

У випадку ж нерівномірності навантаження коліс рухомого складу, для опису умови забезпечення стійкості проти наповзання гребенів на рейку необхідно складати рівняння рівноваги, що враховують впливи всіх силових факторів, прикладених до обох коліс колісної пари (рис. 2) [3].

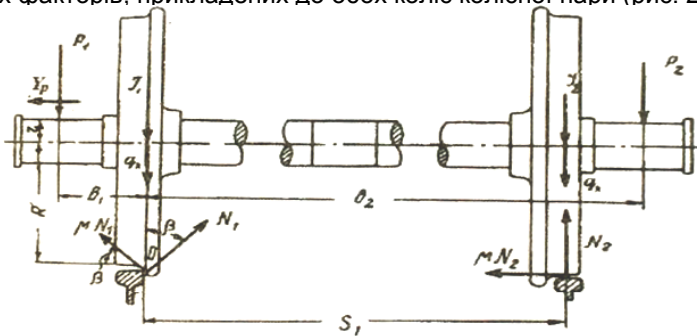


Рис.2. Розрахункова схема при визначенні стійкості колісної пари від наповзання гребенів коліс на рейку

Умова забезпечення стійкості в цьому випадку оцінюється розрахунковим коефіцієнтом стійкості $K_{уст}^{нап}$ й записується в наступному вигляді:

$$\left(K_{уст}^{нап}\right)_{розр} = \frac{Y_p}{P_1} \leq \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{\mu b_2 - (S_1 - b_2) \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{(r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1} - \frac{\mu b_1 - (S_1 - b_1) \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{(r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1} + \frac{S \{ I_2 \mu - I_1 \operatorname{tg}(\beta - \varphi) + q_k [\mu - 2 \operatorname{tg}(\beta - \varphi)] \}}{P_1 \cdot \{ (r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1 \}}, \quad (4)$$

де $\left(K_{уст}^{нап}\right)_{розр}$ – розрахунковий коефіцієнт стійкості; P_1, P_2 – вертикальні сили, що передаються на колісну пару (на зовнішнє й внутрішнє колесо) від надресорної будови, κH ; I_1, I_2 – вертикальні сили інерції колісної пари під час руху по нерівностях, κH ; Y_p – горизонтальна рамна сила, κH ; μ – коефіцієнт тертя ковзання гребеня по рейці; φ – кут тертя; β – кут нахилу гребеня колеса до горизонтальної площини; q_k – неідресорена вага візка, віднесена до 1 колеса; n – кількість коліс у візку.

У розрахунках приймається, що при $K_{уст}^{всп} = 1,0$ – може мати місце початок наповзання; при $K_{уст}^{нап} = 1,5$ – стійкість проти наповзання забезпечена.

При вирішенні завдання щодо забезпечення стійкості рухомого складу від наповзання колеса на рейку, необхідно визначати значення діючих на колію горизонтальних поперечних сил, а саме направляючих (Y_H), бокових (Y_6), рамних (Y_p). Значення цих сил залежать від схеми вписування рухомого складу в криву, його осьового навантаження ($2P_H$), швидкості руху (V), радіуса кривої (R) й величини непогашеного відцентрового прискорення ($a_{нп}$). При вирішенні завдання визначають розрахункові значення коефіцієнта стійкості рухомого складу від наповзання колеса на рейки і порівнюють ці величини з допустимими значеннями.

Формула (4) у приведеному вигляді вперше була запропонована професором М. Ф. Веріго [4]. Даною формулою пропонується користуватись при розрахунках стійкості проти наповзання в навчальних та довідкових виданнях [5, 8]. Із формули (4) видно, що на стійкість проти наповзання колеса, що набігає на рейку, впливає нерівномірність розподілу вертикальних навантажень на обидва колеса колісної пари.

Однак із даної формули важко оцінити кількісно вплив співвідношення сил вертикального тиску $\frac{P_1}{P_2}$ на реальну можливість наповзання колеса на рейку.

Для ілюстрації впливу перерозподілу сил $\frac{P_1}{P_2}$ на можливість наповзання колеса в практичних інженерних розрахунках зручніше замість формули (4) використовувати методику визначення допустимих швидкостей руху поїздів за умовою недопущення наповзання коліс на рейки з урахуванням нерівномірності розподілу вертикальних тисків P_1 і P_2 на обидва колеса колісної пари.

Використовуючи експериментальні дані про співвідношення динамічних вертикальних сил, що передаються на зовнішні й внутрішні колеса колісної пари, і визначивши значення рамної сили Y_p у функції від швидкості рухомого складу V , радіуса кривої R і величини непогашеного прискорення $a_{\text{нп}}$ в літературі [6, 7] отримана наступна розрахункова формула для визначення допустимої швидкості руху за умовою недопущення наповзання колеса на рейку у кривих ділянках колії, які не мають підвищення зовнішньої рейки (бокова колія стрілочних переводів).

$$V_{\text{бок.с.п.}}^{\text{всп}} = A_2 \sqrt{R} = \sqrt{R} \cdot \sqrt{\frac{P_1 \cdot K_1 - P_2 \cdot K_2 - K_3 - 31,5 \cdot K_{\text{ст}}^{\text{нап}}}{26 \cdot K_{\text{ст}}^{\text{нап}}}}, \quad (5)$$

де R – радіус кривої, м; A_2 – числовий коефіцієнт; $K_{\text{уст}}^{\text{нап}}$ – коефіцієнт стійкості від наповзання колеса на рейку, $K_{\text{уст}}^{\text{нап}} = 1,5$.

Коефіцієнт A_2 має бути різним для різних одиниць рухомого складу й обчислюється за формулою:

$$A_2 = \sqrt{\frac{P_1 \cdot K_1 - P_2 \cdot K_2 - K_3 - 31,5 \cdot K_{\text{ст}}^{\text{нап}}}{26 \cdot K_{\text{ст}}^{\text{нап}}}}, \quad (6)$$

Коефіцієнти K_1, K_2, K_3 визначаються за формулами:

$$K_1 = \frac{\mu b_1 + (S_1 + b_1) \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{S_1 - (r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]}, \quad (7)$$

$$K_2 = \frac{\mu b_2 - (S_1 + b_2) \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{S_1 - (r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]}, \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{S_1 [I_2 \mu - I_1 \operatorname{tg}(\beta - \varphi) + q_k (\mu - 2 \operatorname{tg}(\beta - \varphi))]}{P_1 \cdot \{ (r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu] - S_1 \}}, \quad (9)$$

Як видно з формули (6) коефіцієнт A_2 є величиною змінною й змінюється залежно від співвідношення вертикальних динамічних сил P_1 / P_2 , що передаються на зовнішню і внутрішню рейки, а також як і від їх абсолютного значення (тобто розрізняється для вагонів порожніх і навантажених). Він також залежить від геометричних параметрів колісної пари $\beta, \varphi, b_1, b_2, r, q_k$, а також від параметрів колії R, S_1 . На рис. 3 наведені графіки залежності допустимої швидкості руху стрілочними переводами $V = f(R)$ за умови недопущення наповзання коліс на рейки при русі вантажних і пасажирських вагонів у порожньому стані і завантажених до нормативного навантаження. Розрахунки виконані для різних значень співвідношень $P_1 / P_2 = 1,0$ (обидва колеса рівно завантажені) і $P_1 / P_2 = 0,5$ (зовнішнє колесо обезвантажено наполовину).

Для умов співвідношення $P_1 / P_2 = 1,0$ і прийнятого коефіцієнта стійкості $K_{\text{уст}}^{\text{нап}} = 1,5$ значення коефіцієнта A_2 можна брати для вантажних вагонів від 4,5 до 7,9 і для пасажирських вагонів від 7,9 до 8,4 (залежно від ступеня завантаженості вагонів).

При розвантаженні зовнішнього колеса наполовину, тобто при $P_1 / P_2 = 0,5$, допустимі швидкості за умови недопущення наповзання різко зменшуються. Значення коефіцієнта A_2 відповідно так само різко зменшується й стає рівним: для вантажних вагонів $A_2 = 1,33 \dots 3,44$, а для пасажирських вагонів $A_2 = 4,3 \dots 4,5$.

Таким чином, заключні формули для визначення допустимих швидкостей руху за умови недопущення наповзання коліс на рейки, мають такий вигляд:

для вантажних вагонів:

$$\text{при } P_1 / P_2 = 1,0, \quad V_{\text{бок.с.п.}}^{\text{всп}} \leq (4,5 \dots 7,9) \sqrt{R},$$

$$\text{при } P_1 / P_2 = 0,5 \quad V_{\text{бок.с.п.}}^{\text{всп}} \leq (1,33 \dots 3,44) \sqrt{R},$$

для пасажирських вагонів:

$$\text{при } P_1 / P_2 = 1,0, \quad V_{\text{бок.с.п.}}^{\text{всп}} \leq (7,9 \dots 8,4) \sqrt{R},$$

$$\text{при } P_1 / P_2 = 0,5 \quad V_{\text{бок.с.п.}}^{\text{всп}} \leq (4,3 \dots 4,5) \sqrt{R}.$$

Слід зазначити, що порожні вагони менш стійкі і їм відповідають менші швидкості руху, тобто перша цифра в дужках відповідає порожньому рухомому складу, друга – навантаженому до номінального осевого навантаження.

В роботі [3] наведені формули, за якими можна визначити допустимі швидкості руху для кривих, які не мають підвищення за умови недопущення наповзання коліс на рейки.

Для визначення швидкості руху в кривій радіусу R і наявному підвищенні h слід використовувати наступну формулу [9]:

$$V_{\text{бок.с.п.}}^{\text{всп}} = 0,36 \sqrt{R([a_{nn}] + 0,00613 \cdot h)}, \quad (10)$$

де $[a_{nn}]$ – непогашене прискорення, m/c^2 ; h – підвищення зовнішньої рейки, m .

При $[a_{nn}] = 0,7 \text{ м/с}^2$ і h від 0 до 150 mm отримуємо

$$V_{\text{бок.с.п.}}^{\text{всп}} = A_1 \sqrt{R}. \text{ При } h = 0 - A_1 = 3, \text{ при } h = 150 - A_1 = 4,6.$$

Отже, за умови не перевищення непогашеного прискорення в кривій ділянці колії допустима швидкість руху швидкісного поїзда за формулою (10) менша, ніж за формулою (5). Тобто, для швидкісних напрямків залізниць визначальною умовою при встановленні швидкості руху є умова (10).

Таким чином, враховуючи викладене, можливо дійти наступних висновків:

1. Розрахунки допустимої швидкості руху у кривій ділянці колії відрізняються у випадку рівномірного, нерівномірного завантаження колеса колісної пари, а також з урахуванням підвищення зовнішньої рейки й без нього.

2. Обмеження швидкості руху в кривих ділянках колії відповідно до нормативних документів виконується у зв'язку з необхідністю зменшити горизонтальні поперечні сили, дія яких передається від колеса на рейку. Для пасажирських вагонів це ще й дозволяє зменшити поперечні прискорення, які втомлюють пасажирів і погіршують комфортність поїздки.



Рис. 3. Графіки залежності допустимої швидкості руху стрілочними переводами за умови недопущення наповзання колеса на рейку при нормативному значенні коефіцієнта стійкості $K_{уст}^{нап} = 1,5$

3. Фактори та показники, які впливають на безпечний рух поїздів в сукупності з дослідженням питання взаємодії рухомого складу і рейкової колії дозволяє встановити допустимі швидкості руху поїздів у кривих ділянках колії.

Перелік посилань

References

1. *Вагоны.* Конструкция, теория и расчет: учеб. для вузов. Москва, 1965. 439 с.

1. *Vagony.* Konstruktsiia, teoriia i raschet: ucheb. dlia vuzov. (1965). [Carriages. Construction, theory and calculation: a textbook for universities]. Moscow, 439 p. [in Russian].

2. *Справочник инженера-путейца.* Москва, 1972. Т. 1. 642 с.

2. *Spravochnik inzhenera-puteitsa.* (1972). [Handbook of a railway engineer]. Moscow, Vol. 1. 642 p. [in Russian].

3. *Даниленко Е. І.* Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом: підруч. для вузів: у 2-х т. Київ, 2010. Т. 2. 456 с.

3. *Danilenko, E. I.* (2010). *Zaliznychna kolia. Ulashtuvannia, proektuvannia i rozrakhunku, vzaiemodiia z rukhomym skladom: pidruch. Dlia vuziv: u 2-kh t.* [Railway track. Construction, design and calculations, interaction with rolling stock: a textbook for

- universities: in 2 volumes]. Kyiv, Vol. 2. 456 p. [in Ukrainian].
4. Бромберг Е. М., Веріго М. Ф., Данилов В. Н., Фришман М. А. Взаимодействие пути и подвижного состава. Москва, 1956. 280 с.
4. Bromberg, E. M., Verigo, M. F., Danilov, V. N., Frishman, M. A. (1956). Vzaimodeistvie puti i podvizhnogo sostava. [The interaction of the track and rolling stock.]. Moscow, 280 p. [in Russian].
5. Справочник инженера-путейца. Т. 1. Москва, 1972. 767 с.
5. Spravochik inzhenera-puteitsa. (1972). Т. 1 [Handbook of a railway engineer]. Vol. 1. Moscow, 767 p. [in Russian].
6. Даниленко Э. И., Кутах А. П., Тараненко С. Д. Стрелочные переводы железных дорог Украины. Технология производства. Эксплуатация в пути. Расчеты и проектирование: учеб. пособ. для ВУЗов. Київ, 2001. 296 с.
6. Danilenko, E. I., Kutakh, A. P., Taranenko, S. D. (2001). Strelochnye perevody zheleznykh dorog Ukrainy. Tekhnologiya proizvodstva. Ekspluatatsiia v puti. Rasshchety i proektirovanie: ucheb. posob. dlia VUZov. [Railroad switches of the Ukrainian railways. Production technology. Operation en route. Calculations and design: a textbook for universities]. Kyiv, 296 p. [in Ukrainian].
7. Даниленко Э. И., Молчанов В. Н., Даниленко Т. П. Определение допустимых скоростей движения на боковой путь стрелочных переводов по условию недопущения накатывания гребня на рельс. Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. Гомель, 2003, С. 4–6.
7. Danilenko, E. I., Molchanov, V. N., Danilenko, T. P. (2003). Opredelenie dopustimykh skorostei dvizheniia na bokovoi put strelochnykh perevodov po usloviiu nedopushcheniia nakatyvaniia grebnia na rels. [Determination of the permissible speeds of movement on the side track of turnouts by the condition of preventing the crest from rolling on the rail.] Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: nauka i transport [Bulletin of the Belarusian State University of Transport: science and transport]. Gomel, pp. 4–6. [in Russian].
8. Шахуняц Г. М. Железнодорожный путь: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва, 1969. 536 с.
8. Shakhuniants, G. M. (1969). Zheleznodorozhnyi put: uchebnik dlia vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. [Railway track: a textbook for high schools. 2nd edition, revised and enlarged]. Moscow, 536 p. [in Russian].
9. Курган М. Б., Гусак М. А., Хмелевська Н. П. Перебудова кривих для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2012. № 40. С. 90–97.
9. Kurhan M. B., Husak M. A., Khmelevska N. P. (2012). Perebudova kryvykh dlia vprovadzhennia shvydkisnoho rukhu pasazhyrskykh poizdiv [Restructuring curves for the implementation of high-speed passenger trains] Visnyk Dnipropertovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transport im. akad. V. Lazaryana. [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after. acad. V. Lazaryan.]. Dnipropetrovsk, no 40. pp. 90–97. [in Ukrainian].

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОГРАНИЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ В КРИВЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

А. В. Батиг
О. Б. Ковальчук

В статье отмечено, что скорость движения поездов является одним из основных качественных показателей работы железной дороги. Она повышает пропускную и провозную способность железной дороги.

Но нужно помнить, что на сегодня одним из основных препятствий на пути повышения скорости движения являются криволинейные участки колеи. Скорость на таких участках ограничивается требованиями обеспечения безопасности движения и необходимого уровня комфорта для пассажиров.

Повышение скорости движения поездов приводит к росту сил взаимодействия пути и подвижного состава и, соответственно, влияет на вероятность схода подвижного состава с рельсов.

Ограничение скорости движения в кривых участках пути пытаются уменьшением горизонтальных поперечных сил, которые передаются от колеса на рельс. Для пассажирских вагонов это еще и позволяет уменьшить поперечные ускорения, которые утомляют пассажиров и ухудшают комфортность поездки.

Ограничения в кривых участках пути носят разносторонний характер, и они неравнозначны. Одни из них допускают относительно высокие скорости, другие ограничения скорости – значительны. Допустимые скорости движения подвижного состава устанавливаются исходя из непогашенного горизонтального ускорения, скорости роста этого ускорения, скорости подъема (опускания) колеса нормируются через таблицы уклон-скорость.

Есть несколько критериев ограничения скорости движения подвижного состава в кривых участках пути.

В данной статье авторами были исследованы ограничения скорости движения подвижного состава в кривом участке пути используя коэффициент устойчивости от вкатывания или напоззания гребня колеса колесной пары на головку рельса.

В статье были исследованы ограничения скорости движения в кривом участке пути в случае равномерной, неравномерной загрузки колеса колесной пары, а также с учетом возвышения наружного рельса и без него.

Авторы отмечают, что исследование вопроса взаимодействия подвижного состава и рельсового пути позволяет устанавливать факторы и показатели, влияющие на безопасность движения поездов с соответствующими скоростями.

Ключевые слова: максимальная скорость движения, ограничение скорости движения, поезда, участки пути.

INVESTIGATION THE PROCESS OF LIMITING THE MAXIMUM SPEED OF TRAINS IN CURVED SECTIONS OF THE TRACK

**A. Batih
O. Kovalchuk**

The article noted that the speed of trains is one of the main quality indicators of the railway. It increases the throughput and carrying capacity of the railway.

But it must be remembered that one of the main obstacles today in increasing the speed of movement is the curved sections of the path. The speed in such areas is limited by the requirements of traffic safety and the necessary level of comfort for passengers.

Increasing the speed of trains leads to an increase in the forces of interaction between the track and the rolling stock and, accordingly, affects the probability of rolling stock derailment.

The limitation of the speed of movement in the curved sections of the path is trying to reduce the horizontal transverse forces that are transmitted from the wheel to the rail. For passenger wagons, it also allows reducing lateral accelerations, which tire passengers and worsen the ride comfort.

Restrictions in curved sections of the path are versatile, and they are unequal. Some of them allow relatively high speeds, other speed limits are significant. The permissible rolling stock speeds are set based on the outstanding horizontal acceleration, the growth rate of this acceleration, and the speed of raising (lowering) the wheel is normalized through the cant rail-speed tables.

There are several criteria for limiting the speed of rolling stock in curves.

In this article, the authors investigated the limitations of the speed of movement of rolling stock in a curved section of the track according to the coefficient of stability from racking or crawling the wheel flange of the wheelset onto the rail head.

The article investigated the limitations of the speed in a curved section of the track in the case of a uniform, uneven loading of the wheel of the wheelset, with and without cant of external rail.

The authors of the article notes that the study of the issue of the interaction of rolling stock and rail track allows to set factors and indicators that affect the safe movement of trains at appropriate speeds.

Key words: maximum speed of movement, restriction of speed, trains, sections of the track.