

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК 625.151

О. М. ПАТЛАСОВ¹, С. О. ТОКАРЄВ^{2*}, Є. О. ПАТЛАСОВ³

¹Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, ел. пошта am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648

^{2*}Колісвипробувальна галузева науково-дослідна лабораторія, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 38 45, ел. пошта tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

³Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, ел. пошта patlasov.e.a@yandex.ru, ORCID 0000-0002-1593-5875

ВСТАНОВЛЕННЯ ДОПУСТИМИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ ПО КРИВОЛІНІЙНИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДАХ

Мета. Стрілочні переводи відіграють одну з ключових ролей при виконанні перевізного процесу на залізничному транспорті. Протягом останніх 20 років у складних умовах (криві ділянки, горловини станцій) укладали одно-та різносторонні криволінійні стрілочні переводи, які мають ряд геометричних особливостей, на відміну від односторонніх звичайних. На сьогоднішній день нормативні документи забороняють нове укладання таких переводів у криві ділянки колії та тільки частково регламентують порядок оцінки їх реального стану. Залишається відкритим питання встановлення допустимої швидкості руху в межах криволінійних стрілочних переводів. Тому в науковому дослідженні пропонується встановлювати швидкість руху поїздів за критерієм комфортабельності їзди, спираючись на результати натурних вимірювань ординат від базисної лінії для конкретного криволінійного стрілочного перевodu. **Методика.** Розглянуто критерії, за допомогою яких можна встановити допустимі швидкості руху на стрілочних переводах. Встановлено складність їх застосування, переваги та недоліки. **Результати.** Проаналізовано розподіл швидкостей по довжині реального криволінійного стрілочного перевodu для прямого та бокового напрямку. Встановлено величини швидкості зміни непогашених прискорень для існуючих норм утримання кривих ділянок колії за різницею у суміжних стрілах вигину при швидкостях до 160 км/год. **Наукова новизна.** Авторами розроблено методику встановлення допустимої швидкості руху поїздів у межах криволінійного стрілочного перевodu, яка враховує реальне геометричне положення у плані основного та бокового напрямків перевodu. Даний підхід дає можливість встановити місця у плані на стрілочному переводі, які лімітують швидкість руху. **Практична значимість.** Запропонована методика дає можливість об'єктивно оцінити та встановити допустимі швидкості руху поїздів на основі вимірювання ординат основного і бокового напрямку криволінійного стрілочного перевodu від базисної лінії за критерієм комфортабельності їзди. Методика була апробована на реальних стрілочних переводах, які знаходяться в межах Придніпровської залізниці.

Ключові слова: стрілочні переводи; критерій; швидкість; прискорення; радіус; комфортабельність їзди

Вступ

В останні роки існує тенденція щодо зменшення витрат на утримання і експлуатацію залізничного транспорту за рахунок введення ре-

сурсозберігаючих і прогресивних технологій, в тому числі наукових розробок та обґрунтувань [13]. В багатогранній галузі залізничного транспорту колійне господарство відіграє ключову

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

чову роль в забезпеченні потреб в перевезеннях, адже виступає функціональною ланкою, що пов'язує умовного постачальника і споживача.

Експлуатаційна довжина рейкових колій на території України складає 22,5 тис. км. Колії на станціях і перегонах поєднуються приблизно 5,5 тис. різноманітних з'єднань і пересічень, 95 % яких складають стрілочні переводи – одна з унікальніших і водночас вибагливих конструкцій верхньої будови колії. Якщо проаналізувати норми утримання, що висувуються до колії в цілому, то стрілочні переводи посідають ледь не перше місце в різноманітності вимог саме до них. Це зумовлено низкою конструктивних рішень, що забезпечують переведення рухомого складу з однієї колії на іншу.

Вимоги щодо норм улаштування та утримання стрілочних переводів базуються на основі численних теоретичних і експериментальних досліджень, а також багаторічного досвіду їх експлуатації.

Під час порушення норм утримання стрілочних переводів постає питання щодо подальшої їх експлуатації – закривати чи обмежувати швидкість руху рухомого складу. Прийняття таких рішень має базуватися на чинних нормативних документах [7].

З усіх нині вкладених стрілочних переводів на головних та приймально-відправних коліях найбільшу частку мають звичайні одиночні стрілочні переводи (біля 97 %). Але у стислих умовах станцій і перегонів, що обмежують використання звичайних переводів, виникає необхідність вкладати переводи більш складної конструкції. До таких переводів можна віднести криволінійні типу Р65 марки 1/11 проект 2889. Також на залізницях України мають місце випадки знаходження звичайних стрілочних переводів в кривих ділянках. В роботі [6] розглянуто основні положення щодо встановлення швидкостей руху для таких особливих випадків.

На цей час укладання звичайних і криволінійних стрілочних переводів в криві ділянки колії заборонено. Але залишається відкритим питання щодо обслуговування тих переводів, які вже знаходяться в межах кривих. Якщо звернутися до існуючої нормативної бази, то регламентуються норми утримання стрілочних переводів за шириною колії в різних

перерізах, ординатами бокового напрямку, зносом і показниками взаємного положення окремих елементів переводу (наприклад, вістряка і рамної рейки). При встановленні стану криволінійних переводів необхідно перевіряти ординати не лише бокового напрямку, а й основного. Якщо мають місце відхилення від ординат на величину більшу, ніж вказано в проекті, то яку можна допустити швидкість?

Мета

Метою цієї роботи є надання пропозицій щодо встановлення допустимих швидкостей руху поїздів в межах основного і бокового напрямку криволінійного стрілочного переводу за результатами натурних вимірювань ординат від базисної лінії, що є продовженням прямого напрямку рамної рейки. На основі розробленої методики визначати місця обмежень швидкості руху і скоротити обсяг витрат на регулювання ординат.

Методика

Можна з впевненістю сказати, що на сьогодні не існує єдиної універсальної методики визначення і встановлення допустимих швидкостей руху поїздів в межах стрілочних переводів. Це, насамперед, зумовлено наявністю складних конструктивних вузлів, що забезпечують виконання покладених на стрілочний перевід функцій. Проте в [4] досить змістовно сформульовані вимоги при проектуванні стрілочних переводів, які можна трансформувати в критерії встановлення допустимих швидкостей.

В загальному випадку швидкість на стрілочних переводах можна встановлювати за трьома основними критеріями (рис. 1):

- міцність і стійкість елементів стрілочних переводів;
- стійкість рухомого складу;
- комфортабельність їзди.

Швидкість руху поїздів за критеріями міцності та стійкість елементів стрілочних переводів можна подати як функцію вигляду:

$$[V] = f([\sigma], \Delta x, \Delta y),$$

де $[\sigma]$ – допустимі напруження в елементах; $\Delta x, \Delta y$ – переміщення (деформації) елементів у відповідних площинах.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Допустима швидкість руху за критерієм міцності елементів стрілочних переводів встановлюється на основі визначення напружень в кромках підшви рейки за результатами теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень.

Теоретичні розрахунки за існуючою методикою [3] дають можливість визначити напруження в рейках звичайного перерізу без врахування багатьох особливостей, наприклад, впливу ненавантажених рейкових ниток. Для вістряків, хрестовини і контррейок вищезгадана методика взагалі не може бути застосована, зважаючи на складність конструкції і зміни поперечного перерізу цих елементів стрілочних переводів по довжині (рис. 2).

Більш адекватну оцінку розподілу напружень в складних елементах при теоретичних розрахунках можуть дати числові методи вирішення крайових задач, наприклад, метод скінченних елементів (МСЕ). В роботах [9, 15, 16] розглянуті скінченно-елементні моделі елементів

верхньої будови колії, зокрема і вістряка з рамною рейкою, які знаходяться під дією динамічного навантаження. Тобто, МСЕ дозволяє встановлювати напруження в елементах будь-якої геометричної конфігурації, в тому числі і в збірних структурах. Єдиним суттєвим недоліком цього методу є час вирішення задачі, який змінюється при подрібненні сітки скінченних елементів і може збільшуватись від хвилини до декількох годин.

Експериментальні дослідження з визначення напружень, які дозволяють встановлювати допустимі швидкості руху поїздів, доцільно виконувати для нових і модернізованих конструкцій стрілочних переводів або рухомого складу [11] з огляду на високу собівартість цього методу досліджень.

Розглянемо наступний критерій для встановлення допустимої швидкості руху в межах стрілочного переводу (див. рис. 2) – стійкість рухомого складу.



Рис. 1. Критерії встановлення допустимої швидкості руху поїздів на стрілочних переводах

Fig. 1. The criteria for establishing of the allowable speed train on the turnouts

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

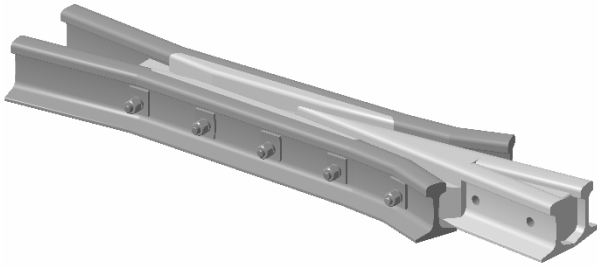


Рис. 2. Хрестовина стрілочного переводу

Fig. 2. Turnout frog

У загальному вигляді залежність швидкості руху за умови забезпечення стійкості рухомого складу можна навести функцією:

$$[V] = f(R, [n], W_B, [K_{CT}]),$$

де R – радіус перевідної кривої; $[n]$ – допустимий коефіцієнт стійкості рухомого складу проти перекидання; W_B – сила вітру; $[K_{CT}]$ – коефіцієнт стійкості колісної пари проти вкочення гребнем колеса на рейку.

Як показали теоретичні розрахунки [4], швидкість руху поїздів за умови перекидання в межах перевідної кривої суттєво перевищують ($\approx 1,5$ рази) максимальну швидкість руху на боковий напрямок стрілочного переводу відповідної марки. Тому цей критерій в межах роботи не розглядається.

В [2] докладно розглянуто коефіцієнт стійкості колісної пари проти вкочення гребнем колеса на рейку і акцентовано увагу на тому, що цей коефіцієнт залежить від динамічних показників конкретного типу рухомого складу, які можна встановити за результатами математичного моделювання і експериментальними дослідженнями.

Розглянемо останній критерій – комфортабельність їзди.

Допустиму швидкість руху поїздів за критерієм комфортабельності їзди можна навести у вигляді:

$$[V] = f([\alpha_{\text{нп}}], [\alpha_{\text{імп}}], [\psi]), \quad (1)$$

де $[\alpha_{\text{нп}}]$ – допустиме непогашене поперечне прискорення; $[\alpha_{\text{імп}}]$ – допустиме імпульсне поперечне прискорення; $[\psi]$ – швидкість зміни непогашеного прискорення.

Поперечне прискорення імпульсного характеру $\alpha_{\text{імп}}$ виникає при вході рухомого складу на стрілочний перевід в зоні вістряка і переходу від хрестовини до перевідної кривої. При швидкості 40 км/год виникає імпульсне прискорення 1,6-3,3 м/с², при швидкості 50 км/год – 2,2-4,3 м/с² [5]. При збільшенні швидкості імпульсне прискорення може досягати 12 м/с² [17]. В рамках цієї роботи зона вістряка і хрестовини не розглядається.

Два показники, які залишились у формулі (1) найчастіше використовуються для встановлення допустимих швидкостей руху не тільки в межах стрілочних переводів [1, 14], а й для кругових і перехідних кривих [8].

Відповідно до існуючих норм утримання допустимі швидкості руху поїздів в кривих ділянках встановлюються за різницею у суміжних стрілах вигину [7]

$$\Delta f = |f_{i+1} - f_i|, \quad (2)$$

де f_{i+1} , f_i – стріли вигину в суміжних точках.

Стріла вигину в будь-якій точці кругової кривої складає [7]:

$$f_i = \frac{1000 a^2}{8R},$$

де a – довжина хорди; R – радіус кривої.

Зробимо елементарні перетворення

$$f_i = 125 \frac{a^2}{V^2} \frac{V^2}{R}. \quad (3)$$

Дріб V^2/R не що інше як відцентрове поперечне прискорення в даній точці кривої $\alpha_{\text{поп}}$.

Найважливішою особливістю улаштування кривих ділянок колії є наявність підвищення зовнішньої рейки, одним з критеріїв встановлення якого виступає непогашене поперечне прискорення [7, 17]:

$$\alpha_{\text{нп}} = \frac{V^2}{R} - \frac{g}{S} h, \quad (4)$$

де V – швидкість руху поїздів; g – прискорення вільного падіння; S – відстань між осями рейок; h – підвищення зовнішньої рейки.

У формулі (4) від'ємник $g/S h$ – це горизонтальна складова сили ваги екіпажу при русі

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

в кривій, яка виникає за рахунок різниць у рівнях головок рейок на величину h . Відповідно, якщо розглядати переважну більшість стрілочних переводів на мережі залізниць України (99 %), то упорна нитка бокового напрямку влаштовується без підвищення. Відповідно до цього справедливий вираз:

$$\alpha_{\text{поп}} = \alpha_{\text{нп}} = \frac{V^2}{R}.$$

Тоді рівняння (3) буде мати такий вигляд

$$f_i = \frac{125a^2}{V^2} |\alpha_{\text{нп}}|. \quad (5)$$

В свою чергу, допустима швидкість руху за критерієм допустимого непогашеного прискорення, яке на сьогодні регламентують нормативні документи, зі співвідношення (5) буде такою:

$$V_{[\alpha_{\text{нп}}]} \leq a \sqrt{\frac{125[\alpha_{\text{нп}}]}{|f_i|}}. \quad (6)$$

Як відомо, довжина хорди a приймається залежно від радіуса кривої [7] і становить:

$$a = \begin{cases} 10 & |_{R \leq 400} \\ 20 & |_{R > 400} \end{cases}.$$

Довжина стрілочного переводу марки 1/9 і 1/11 приблизно становить 31 і 33,3 м, а протяжність перевідної кривої – 11,9 і 16,5 м. Якщо виконувати вимірювання відповідно до регламенту, то отримаємо 2 значення стріл вигину f для марки 1/9 і 3 для марки 1/11. Бачимо, що недостатньо встановити швидкість руху за такою обмеженою кількістю даних. Вимірювання стріл вигину в межах перевідної кривої також ускладнюється наявністю вусовиків в межах хрестовини. Тому оцінювати положення перевідної кривої, на нашу думку, краще за результатами вимірювання ординат (через кожні 2 м). Стріли вигину в такому випадку визначаються за наступною формулою [10]:

$$f_i = F_i - \frac{1}{2}(F_{i+1} + F_{i-1}), \quad (7)$$

де F_{i-1}, F_i, F_{i+1} – ординати, які виміряні від базисної лінії, мм. Для криволінійних стрілочних

переводів базисною буде така лінія, яка є умовним продовженням прямої ділянки рамної рейки (рис. 3).

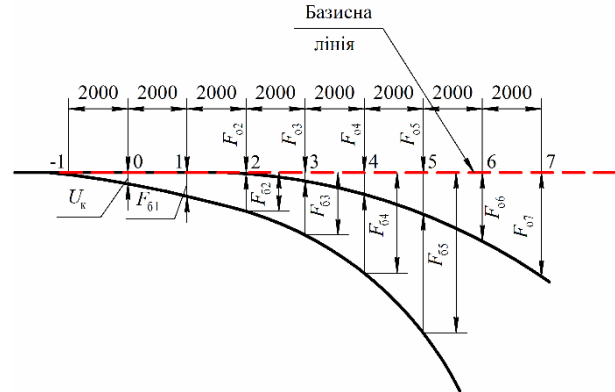


Рис. 3. Схема вимірювання ординат основного і бокового напрямку криволінійного стрілочного переводу

Fig. 3. Measuring ordinate scheme of the forward and lateral directions of the curved turnouts

На рис. 3 величини F_{oi}, F_{bi} – це ординати для основного і бокового напрямку переводу.

Нехтуючи величиною кута повороту хорди a в межах перевідної кривої, формула (6) з урахуванням (7) прийме вигляд:

$$V_{[\alpha_{\text{нп}}]} \leq \sqrt{\frac{2000[\alpha_{\text{нп}}]}{\left|F_i - \frac{1}{2}(F_{i+1} + F_{i-1})\right|}}. \quad (8)$$

Швидкість зміни непогашеного прискорення, виходячи з фізичного поняття похідної функції, можна навести у вигляді формули:

$$\begin{aligned} \psi(t) &= \frac{d}{dt} \alpha(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha(t)}{\Delta t} = \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\alpha(t + \Delta t) - \alpha(t)}{\Delta t} \approx \frac{\alpha(t + \Delta t) - \alpha(t)}{\Delta t}. \end{aligned}$$

де Δt – приріст часу, за який змінюється величина прискорення.

Виконаємо заміну змінної при диференціюванні для постійної швидкості руху:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \alpha(t) &= \frac{d}{dx} \alpha(x) \frac{dx}{dt} = \\ &= V \frac{d}{dx} \alpha(x) \approx V \frac{\Delta \alpha}{\Delta x}. \end{aligned}$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Враховуючи (2) і (5), знайдемо швидкість за критерієм допустимої швидкості зміни непогашеного прискорення $[\psi]$:

$$V_{[\psi]} \leq 5 \sqrt[3]{\frac{a^2 [\psi] \Delta x}{|\Delta f|}}. \quad (9)$$

Перепишемо формулу (2), застосовуючи вираз (7):

$$\Delta f = \frac{1}{2} [F_{i-1} - 3(F_i - F_{i+1}) - F_{i+2}].$$

Остаточно формула (9) прийме вигляд:

$$V_{[\psi]} \leq 20 \sqrt[3]{\frac{[\psi]}{|F_{i-1} - 3(F_i - F_{i+1}) - F_{i+2}|}}. \quad (10)$$

На основі отриманих за формулами (8) і (10) значень швидкостей приймається найменша:

$$V_{\text{доп}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \min \{V_{[\alpha_{\text{нп}}]_i}\}, i = \overline{1, n} \\ \min \{V_{[\psi]_j}\}, j = \overline{1, n-1} \end{array} \right\},$$

де n – кількість точок вимірювання.

Якщо звернутися до існуючих нормативних документів, то рекомендовані значення допустимих прискорень і зміни непогашених прискорень відповідно до [12] становлять:

- $[\alpha_{\text{нп}}] = 0,7 \text{ м/с}^2$ ($1,0 \text{ м/с}^2$);
- $[\psi] = 0,6 \text{ м/с}^3$.

Вищенаведені значення прискорень діють на рівні підлоги пасажирського вагона або локомотива в шквореновому перерізі. Ці значення значно відрізняються від прискорень, що діють на рівні букси колісної пари. Пояснюється це наявністю ресорного підвішування, яке виступає як фільтр низькочастотних коливань підресореної маси. Ми вважаємо, що для встановлення допустимої швидкості руху в криволінійних ділянках колії необхідно використовувати саме прискорення, яке діє на рівні букси, адже траєкторія руху центра ваги колісної пари при русі в кривій майже співпадає з формами горизонтальних і вертикальних нерівностей (за умови, що гребінь колеса притиснений до упорної нитки).

Використовуючи формули (10) та (16), проаналізуємо існуючі норми утримання кривих ділянок колії за напрямком у плані і встановимо значення $\alpha_{\text{нп}}$ і ψ для відповідної різниці у суміжних стрілах вигину Δf (табл. 1).

Непогашені прискорення $\alpha_{\text{нп}}$ (табл. 1) отримані при максимальному значенні радіуса кривої для даного ступеня несправності (наприклад, для I і V ступенів $R=4\,000 \text{ м}$). Стріла вигину при цьому визначається з виразу (4).

Бачимо, що в деяких випадках отримані значення $\alpha_{\text{нп}}$ і ψ перевищують рекомендовані, і пояснюється це саме місцем дії даних показників комфортабельності їзди.

За подібною аналогією визначимо величини $\alpha_{\text{нп}}$ і ψ для стрілочного перевалу типу Р65 марки 1/11 проекту 2889 з радіусами перевідної кривої:

- для основного напрямку – 600 м;
- для бокового напрямку – 200 (350) м.

При цьому максимальна швидкість рухомого складу для цього проекту стрілочного перевалу становить:

- для основного напрямку – 70 км/год;
- для бокового напрямку – 40 км/год.

Виходячи з вимоги, що різниця відхилень ординат перевідної кривої в суміжних точках не повинна перевищувати $\pm 2 \text{ мм}$ [7], отримаємо:

- для основного напрямку – $\alpha_{\text{нп}} = 0,95 \text{ м/с}^2$,
 $\psi = 7,35 \text{ м/с}^3$;
- для бокового напрямку – $\alpha_{\text{нп}} = 0,83 \text{ м/с}^2$,
 $\psi = 2,7 \text{ м/с}^3$.

Бачимо, що отримані значення суттєво відрізняються від рекомендованих.

Таблиця 1

Значення $\alpha_{\text{нп}}$ і ψ при відступах за напрямком колії у плані для ділянок з швидкостями руху 140–160 км/год

Table 1

$\alpha_{\text{нп}}$ and ψ value with deviation towards the railway track in plan for the sites at movement speeds of 140–160 km/h

Ступінь відступу	Радіус, м	Різниця у стрілах вигину, виміряних через 10 м від середини хорди довжиною 20 м, мм	Допустима швидкість, км/год, при відступах довжиною, м		Непогашене прискорення, м/с ²	Швидкість зміни непогашеного прискорення, м/с ³
			до 20 вкл.	понад 20 до 40 вкл.		
I	при всіх радіусах ¹	до 10 (вкл.)	160/90 ⁴		1,71/0,54	1,76/0,31
II	до 2 000 (вкл.) ¹ понад 2 000	– понад 10 до 18 (вкл.)			–	–
III	до 2 000 (вкл.) ¹ понад 2 000	– понад 18 до 25 (вкл.)			–	–
IV	до 1 800 (вкл.) ²	понад 10 до 25 (вкл.)	140/90	140/90	2,27/0,94	2,94/0,78
		понад 25 до 35 (вкл.)	80/60	120/90	0,84/0,47	0,77/0,32
	>1 800 до 2 000 (вкл.)	понад 18 до 25 (вкл.)	140/90	140/90	1,6/0,66	2,94/0,78
		понад 25 до 35 (вкл.)	80/60	120/90	0,62/0,35	0,77/0,32
V	при всіх радіусах ³	понад 25 до 35 (вкл.)	80/60	120/90	0,59/0,33	0,77/0,32
		понад 35 до 65 (вкл.)	40/40	80/80	0,57/0,57	0,18/0,18
		понад 65 до 90 (вкл.) понад 90	15/15 рух закривається	40/40	0,09/0,09 –	0,01/0,01 –

Примітки: ¹ значення радіуса, яке приймається при розрахунках, складає 1 500 м; ² значення радіуса, яке приймається при розрахунках, складає 1000 м; ³ значення радіуса, яке приймається при розрахунках, складає 300 м; ⁴ чисельник – для пасажирських поїздів, знаменник – для вантажних

Результати

Враховуючи, що нормативів $\alpha_{\text{нп}}$ та ψ , які діють на рівні букси колісної пари, на сьогоднішній день не встановлено, можна використати метод аналогії (який, доречі, використовується при визначенні початкового кута на стрілочному переводі [4]) для визначення допустимої швидкості руху поїздів в межах стрілочного переводу.

Методика визначення допустимої швидкості руху за критерієм комфорбельності їзди була

апробована на реальному стрілочному переводі. Результати вимірювань і розрахунків для бокового напрямку наведено в табл. 2.

Бачимо, що обмеження настає лише за критерієм ψ в двох місцях. виправивши у плані значення ординат у вказаних місцях, можна досягти підвищення швидкості до встановленої для даного криволінійного стрілочного переводу.

Таблиця 2

Оцінка допустимої швидкості руху по боковому напрямку стрілочного переводу

Table 2

Evaluation of the permissible speed on the lateral direction of the turnouts

Номер точки	Відстань від кореня вістряка X_i , м	Ординати F_i , мм	$V_{[\alpha]}$	$V_{[v]}$
1	2	3	4	5
-1	-2	116	–	–
0	0	181	60	70 ¹
1	2	258	57	70 ¹
2	4	348	62	40
3	6	449	40	30
4	8	578	64	30
5	10	696	40	40
6	12	842	61	70 ¹
7	14	999	57	68
8	16	1 169	65	47
9	18	1 350	70 ¹	70 ¹
10	20	1 531	70 ¹	70 ¹
11	22	1 713	70 ¹	–
12	24	1 894	–	–

Примітка: 1 – швидкість, обмежена до максимальної по основному напрямку

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано методику встановлення допустимої швидкості руху в межах криволінійних стрілочних переводів за критерієм комфортності їзди. Цей підхід враховує реальне геометричне положення бокового напрямку стрілочного переводу. Універсальність методики дає можливість проконтролювати і прямий напрямок переводів.

Теоретичні результати дослідження були апробовані на результатах натурних вимірювань ординат бокового напрямку криволінійного стрілочного переводу.

Висновки

1. Об'єктивно проаналізовано основні критерії встановлення допустимих швидкостей руху поїздів в межах стрілочних переводів, які існують на сьогодні.

2. Рекомендовано методику вимірювання ординат основного і бокового напрямку криволінійних переводів і звичайних переводів, які укладені в криві ділянки

3. Надано пропозиції щодо визначення допустимих швидкостей руху поїздів в межах криволінійних стрілочних переводів за критерієм комфортабельності їзди на основі вимірювань ординат від базисної лінії.

4. Обґрунтовані допустимі величини $\alpha_{\text{нп}}$ і ψ для криволінійного стрілочного переводу, які базуються на відхиленнях ординат перевідної кривої в суміжних точках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ангелейко, В. И. О допускаемых скоростях движения поездов по основному пути криволинейных стрелочных переводов / В. И. Ангелейко // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава : межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров трансп. – Днепропетровск, 1983. – Вып. 228. – С. 40–44.
2. Блохин, Е. П. Об эквивалентности критериев безопасности от схода колеса с рельсов при использовании направляющей либо боковой силы / Е. П. Блохин, М. Л. Коротенко, И. В. Клименко // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 3. – С. 74–81. doi: 10.15802/stp-2013/14538.
3. Даниленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП – 0117 / Е. І. Даниленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2005. – 119 с.
4. Даниленко, Э. И. Стрелочные переводы железных дорог Украины. Технология производства. Эксплуатация в пути. Расчеты и проектирование / Э. И. Даниленко, А. П. Кутах, С. Д. Тараненко. – Киев : Киев. ин-т ж.-д. трансп., 2001. – 296 с.
5. Желнин, Г. Г. Особенности установления допускаемых скоростей на стрелочных переводах / Г. Г. Желнин // Решение задач взаимодействия

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- вия подвижного состава и пути реального очертания : сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. – Москва : Транспорт, 1985. – С. 34–38.
6. Желнин, Г. Г. Установление допускаемых скоростей движения поездов на стрелочных переводах, уложенных в кривых участках пути / Г. Г. Желнин, Л. О. Грачева, А. П. Татуревич // Исследование взаимодействия пути и соврем. подвиж. состава : межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров трансп. – Днепропетровск, 1987. – Вып. 257. – С. 4–14.
 7. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України : ЦП-0269 / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлев [та ін.]. – Київ : Поліграфсервіс, 2012. – 465 с.
 8. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізниці / М. Б. Курган, Д. М. Курган, Н. П. Хмелевська, С. Ю. Байдак // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С. 83–94. doi: 10.15802/stp2014/23760.
 9. Настечик, М. П. Дослідження напруженого стану в елементах скріплення типу КПП-5 під дією рухома складу / М. П. Настечик, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 146–156. doi: 10.15802/stp2015/42174.
 10. Патласов, О. М. Удосконалення методики вимірювання горизонтальних нерівностей у плані / О. М. Патласов, С. О. Токарев // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – С. 121–131. doi: 10.15802/stp2015/49219.
 11. Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію 1520 мм : ДСТУ 7571:2014. – Чинний від 2014–02–12. – Київ : М-во економ. розвитку України, 2014. – 33 с.
 12. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії : ЦП-0267 / О. М. Патласов, В. В. Рибкін, Ю. В. Палейчук [та ін.]. – Київ : Поліграфсервіс, 2012. – 25 с.
 13. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] : схвалено розпорядж. Кабінету Міністрів України від 20 жовт. 2010 р. № 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>. – Назва з екрана. – Перевірено : 11.02.2016.
 14. Шаройко, В. С. К выбору формы переводной кривой в стрелочных переводах для высоких скоростей движения / В. С. Шаройко // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава в пределах стрелочных переводов : сб. тр. / Ленингр. ин-т инженеров ж. д. тр-та. – Ленинград, 1962. – Вып. 188. – С. 151–166.
 15. Effects of profile wear on wheel–rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout / J. Xu, P. Wang, L. Wang, R. Chen // Advances in Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 8, № 1. – P. 1–14. doi: 10.1177/1687814015623696.
 16. Herian, J. Modelling of structure and properties of pearlitic steel and abrasive wear of the turnout frog in the cyclic loading conditions / J. Herian, K. Aniolek // J. of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2011. – Vol. 49. – Iss. 1. – P. 71–81.
 17. Kim, S. J. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model / S. J. Kim, B.-G. Eom, H. S. Lee // Intern. J. of Railway. – 2012. – Vol. 5, № 4. – P. 156–162. doi: 10.7782-IJR.2012.5.4.156.
 18. UIC Code 513 R. Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. – Paris : Int. Union of Railways, 1995. – 81 p.

А. М. ПАТЛАСОВ¹, С. А. ТОКАРЕВ^{2*}, Е. А. ПАТЛАСОВ

¹Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, эл. почта am_patlasov@ukr.net ORCID 0000-0003-2081-5648

^{2*}Путеиспытательная отраслевая научно-исследовательская лаборатория, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, 49010, Украина, тел./факс +38 (056) 793 38 45, эл. почта tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

³Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, эл. почта patlasov.e.a@yandex.ru, ORCID 0000-0002-1593-5875

УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПО КРИВОЛИНЕЙНЫМ СТРЕЛОЧНЫМ ПЕРЕВОДАМ

Цель. Стрелочные переводы играют одну из ключевых ролей при выполнении перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. В течение последних 20 лет в сложных условиях (кривые участки, горловины станций) укладывали одно- и разносторонние криволинейные стрелочные переводы, которые имеют ряд геометрических особенностей, в отличие от односторонних обыкновенных. На сегодняшний день нормативные документы запрещают вновь укладывать такие переводы в кривые участки пути и только частично регламентируют порядок оценки их реального состояния. Остается открытым вопрос установления допустимой скорости движения в пределах криволинейных стрелочных переводов. Поэтому в научном исследовании предлагается устанавливать скорость движения поездов по критерию комфортабельности езды, опираясь на результаты натурных измерений ординат от базовой линии для конкретного криволинейного стрелочного перевода. **Методика.** Рассмотрены критерии, с помощью которых можно установить допустимые скорости движения на стрелочных переводах. Установлена сложность их применения, преимущества и недостатки. **Результаты.** Проанализированы распределения скоростей по длине реального криволинейного стрелочного перевода для основного и бокового направления. Установлены величины скорости изменения непогашенных ускорений для существующих норм содержания кривых участков пути по разнице в смежных стрелах изгиба при скоростях до 160 км/ч. **Научная новизна.** Учеными разработана методика установления допустимой скорости движения поездов в пределах криволинейного стрелочного перевода, которая учитывает реальное геометрическое положение в плане основного и бокового направления перевода. Данный подход дает возможность установить места в плане на стрелочном переводе, которые лимитируют скорость движения. **Практическая значимость.** Предложенная методика дает возможность объективно оценить и установить допустимую скорость движения поездов на основе измерения ординат основного и бокового направления криволинейного стрелочного перевода от базисной линии по критерию комфортабельности езды. Методика была апробирована на реальных стрелочных переводах, которые находятся в пределах Приднепровской железной дороги.

Ключевые слова: стрелочные переводы; критерий; скорость; ускорение; радиус; комфортабельность езды

O. M. PATLASOV¹, S. O. TOKARIEV^{2*}, YE. O. PATLASOV

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

^{2*}Track-Test Branch Research Laboratory, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 38 45, e-mail tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

³Dep. «Railway Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail patlasov.e.a@yandex.ru, ORCID 0000-0002-1593-5875

ESTABLISHMENT OF THE PERMISSIBLE TRAIN SPEED ON THE CURVED TURNOUTS

Purpose. Turnouts play a key role in the railway transportation process. One-sided and many-sided curved turnouts were railed over the last 20 years in difficult conditions (curved sections, yard necks). They have a number of geometric features, unlike the conventional one-sided turnouts. Today the normative documents prohibit laying such turnouts in curved track sections and only partially regulate the assessment procedure of their real condition. The question of establishment the permissible train speed within the curved turnouts is still open. In this regard, authors propose to set the train speed according to the driving comfort criterion using the results of field measurements of ordinates from the baseline for the particular curved turnout. **Methodology.** The article considers the criteria using which one can set the permissible speed on the turnouts. It defines the complexity of their application, advantages and disadvantages. **Findings.** The work analyzes the speed distribution along the length of the real curved turnout for the forward and lateral directions. It establishes the change rate values of unbalanced accelerations for the existing norms of the curved track sections maintenance according to the difference in the adjacent bend versine at speeds up to 160 km/h. **Originality.** A method for establishing the trains' speed limit within the curved turnouts was

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

developed. It takes into account the actual geometric position in the plan of forward and lateral turnout directions. This approach makes it possible to establish a barrier places in plan on the turnouts limiting the train speed.

Practical value. The proposed method makes it possible to objectively assess and set the trains' permissible speed on the basis of the ordinate measurement of the forward and lateral directions of the curved turnouts from the baseline using the driving comfort criteria. The method was tested using real turnouts, which are located within the Pridneprovsk Railway.

Keywords: turnouts; criterion; speed; acceleration; radius; driving comfort

REFERENCES

1. Angeleyko V.I. O dopuskayemykh skorostyakh dvizheniya poyezdov po osnovnomu puti krivolinyeynykh strelochnykh perevodov [On the permissible train speed on the main track of the curved turnouts]. *Issledovaniye vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava* [Research of rolling stock and track interaction], 1983, issue 228, pp. 40-44.
2. Blokhin Ye.P., Korotenko M.L., Klimenko I.V. Ob ekvivalentnosti kriteriyev bezopasnosti ot skhoda koleasa relsov pri ispolzovanii napravlyayushchey libo bokovoy sily [On the equivalence of the security criteria of the gathering wheels with the rails using the rail or lateral force]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2013, no. 3, pp. 74-81. doi: 10.15802/stp2013/14538.
3. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist: TsP-0117* [Rules of railway track calculation for strength and stability: TsP-0117]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2005. 119 p.
4. Danilenko E.I., Kutakh A.P., Taranenko S.D. *Strelochnyye perevody zheleznykh dorog Ukrainy. Tekhnologiya proizvodstva. Eksploatatsiya v puti. Raschety i proektirovaniye* [Turnouts of Ukrainian railways. Production technology. Operation on passage. Calculations and design]. Kyiv, Kiyevskiy institut zheleznodorozhnogo transporta Publ., 2001. 296 p.
5. Zhelnin G.G. Osobennosti ustanovleniya dopuskayemykh skorostey na strelochnykh perevodakh [Features of the permissible speeds establishment on the turnouts]. *Resheniye zadach vzaimodeystviya podvizhnogo sostava i puti realnogo ochertaniya* [Problem solving of interaction of the rolling stock and the track of real contours], 1985, pp. 34-38.
6. Zhelnin G.G., Gracheva L.O., Taturevich A.P. Ustanovleniye dopuskayemykh skorostey dvizheniya poyezdov na strelochnykh perevodakh, ulozhennykh v krivykh uchastkakh puti [Establishment of the permissible train speeds on the turnouts laid in the curved track sections]. *Issledovaniye vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava* [Research of rolling stock and track interaction], 1987, issue 257, pp. 4-14.
7. Orlovskiy A.M., Kurhan M.B., Yakovliev V.O. *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy: TsP-0269* [Instruction on the organization and maintenance of the railway track: TsP-0269]. Kyiv, TOV «NVP Polihrafservis» Publ., 2012. 465 p.
8. Kurhan M.B., Kurhan D.M., Khmelevska N.P., Baidak S.Yu. Metodyka vyznachennia dopustymykh shvydkostei rukhu poizdiv na skladnykh diliankakh planu zaliznytsi [Methodology of determination of permissible train movement speeds on difficult sections of railroad plan]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 2 (50), pp. 83-94. doi: 10.15802/stp2014/23760.
9. Nastechyk M.P., Bondarenko I.O., Markul R.V. Doslidzhennia napruzhenoho stanu v elementakh skriplennia typu KPP-5 pid diieiu rukhomoho skladu [Investigation of stress state in the elements of rail fastenings, type KPP-5 under the influence of rolling stock]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 2 (56), pp. 146-156. doi: 10.15802/stp2015/42174.
10. Patlasov O.M., Tokariyev S.O. Udoskonalennia metodyky vymiriuvannia horyzontalnykh nerivnostey u plani [Improvement of the measurement methodology of the horizontal irregularities in plan]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 4 (58), pp. 121-131. doi: 10.15802/stp2015/49219.
11. DSTU 7571:2014. *Rukhomyy sklad zaliznyts. Normy dopustymoho vplyvu na zaliznychnu kolyu 1520 mm.* [State Standard 7571:2014. Railway rolling stock. Permissible impact norms on the railway track of 1520 mm]. Kyiv, Minekonomrozvytku Ukrayiny Publ., 2014. 33 p.
12. Patlasov O.M., Rybkin V.V., Paleichuk Yu.V., Solomakha S.O. *Tekhnichni vkazivky shchodo otsinky stanu reikovoii kolii za pokaznykamy koliiyvymiriuvalnykh vahoniv ta zabezpechennia bezpeky rukhu poizdiv pry vidstupakh vid norm utrymannia reikovoii kolii: TsP-0267* [Technical instructions on the track state assessment according to the measures of the track-measuring cars and the train movement safety provisions at deviations from the track maintenance norms]. Kyiv, TOV «NVP Polihrafservis», 2012. 25 p.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

13. *Transportna stratehiia Ukrainy na period do 2020 roku no. 2174-r.* (The transport strategy of Ukraine for the period to 2020 no. 2174-r). Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80> (Accessed 4 November 2015).
14. Sharoyko V.S. K vyboru formy perevodnoy krivoy v strelochnykh perevodakh dlya vysokikh skorostey dvizheniya [To the choice of the turnout curve form on the for the high speed turnouts]. *Issledovaniye vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava v predelakh strelochnykh perevodov* [Investigation of the track and rolling stock interaction within the turnouts], 1962, issue188, pp. 151-166.
15. Xu J., Wang P., Wang L., Chen R. Effects of profile wear on wheel–rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout. *Advances in Mechanical Engineering*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 1-14. doi: 10.1177/1687814015623696.
16. Kim S.J., Eom B.-G., Lee H.S. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model. *International Journal of Railway*, 2012, vol. 5, no. 4, pp. 156-162. doi: 10.7782/IJR.2012.5.4.156.
17. Herian J., Aniolek K. Modelling of structure and properties of pearlitic steel and abrasive wear of the turnout frog in the cyclic loading conditions. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2011, vol. 49, issue 1, pp. 71-81.
18. UIC Code 513 R. Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. Paris, Int. Union of Railways Publ., 1995. 81 p.

Стаття рекомендована до публікації, д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна); д.т.н., проф. О. М. Даренським (Україна)

Надійшла до редколегії 21.01.2016

Прийнята до друку 25.03.2016