

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ В УКРАЇНІ РУХОМОГО СКЛАДУ З ПРИМУСОВИМ НАХИЛОМ КУЗОВА ВАГОНІВ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Проведений аналіз і визначена сфера застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів.

Проведен анализ и установлена сфера применения подвижного состава с принудительным наклоном кузова вагонов.

The authors have carried out an analysis and established the sphere of application of rolling stock with forced inclination of the car bodies.

Вступ

Використання Pendolino в усьому світі можна пояснити його унікальними характеристиками, що забезпечують збільшення швидкості в кривих у порівнянні зі звичайними поїздами з мінімальним впливом на колію, безпеку руху, а з іншого боку, вимагають при впровадженні високошвидкісного руху більш низьких витрат на модернізацію інфраструктури і гарантують високу комфортабельність. За час експлуатації поїздів Pendolino виконаний пробіг більше 75 млн км, і відмовлень системи нахилу не було [1].

У ранніх роботах з примусового нахилу кузовів вагонів у кривих були спроби досягти повної компенсації поперечних прискорень. Однак іспити показали, що частковий нахил з компенсацією на рівні 75 % близький до оптимального, тому що забезпечує відповідність між величиною прискорення і при цьому відчуттями пасажирів. Завдяки нахилу кузова вагона приблизно на 8° значно знижується негативний вплив сприйнятого пасажирями відцентрового прискорення.

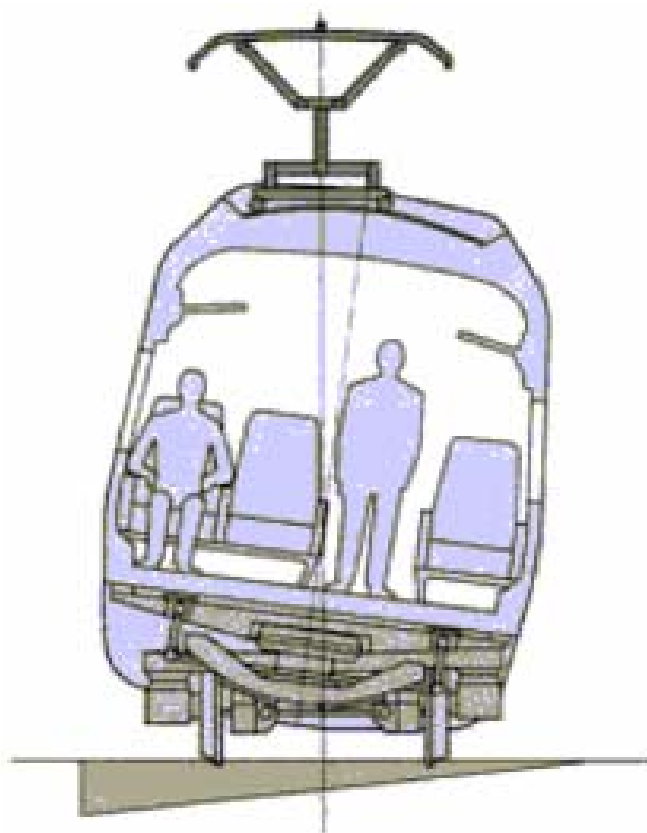


Рис. 1. Поїзд із примусовим нахилом кузова

Постановка задачі і методика її вирішення

Метою роботи є обґрунтування можливостей збільшення швидкості руху поїздів типу

Pendolino на конкретних ділянках залізниць України, де впроваджується швидкісний рух.

Розглянемо тягові характеристики Pendolino і близьких до нього за потужністю електровозів ЧС4 і ДС4 (200 км/год – проект), рис. 2.

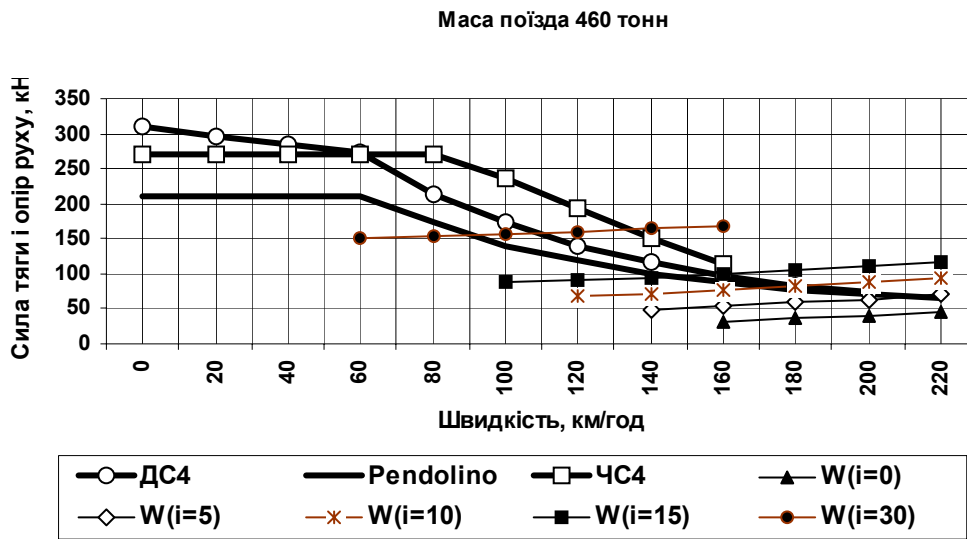


Рис. 2. Тягові характеристики і криві повного опору руху

Швидкість руху поїзда на елементі поздовжнього профілю достатньої довжини залежить від типу локомотива, маси поїзда і загального опору руху. Для виявлення сталої швидкості при різних типах локомотивів скористаємося сполученими графіками $F_k(V)$ – тягові характеристики локомотивів і $W(V)$ – криві загального опору руху.

Загальний опір руху складається з основного опору руху W_o , опору від уклону W_i і опору від кривизни колії W_r [2]:

$$W = W_o + W_i + W_r.$$

Абсциса $F_k(V)$ і $W(V)$ точки перетину графіків відповідає сталій швидкості руху поїзда на уклоні i . Із рис. 2 можна зробити висновок, що швидкість 200 км/год може бути реалізована на уклонах не більше 5...6 ‰, швидкість 160 км/год – на уклонах до 15 ‰.

Зробимо аналіз з позицій плану і профілю залізниці щодо можливості реалізації максимальної швидкості на ділянці Київ–Гребінка–Полтава–Харків. На ділянці Київ–Гребінка уклонів, більших за 6 ‰, – біля 18 ‰, Гребінка–Полтава – 46 ‰, Полтава–Харків – 15 ‰ (рис. 3). Таким чином, друга ділянка є більш несприятливою для реалізації швидкісного руху.

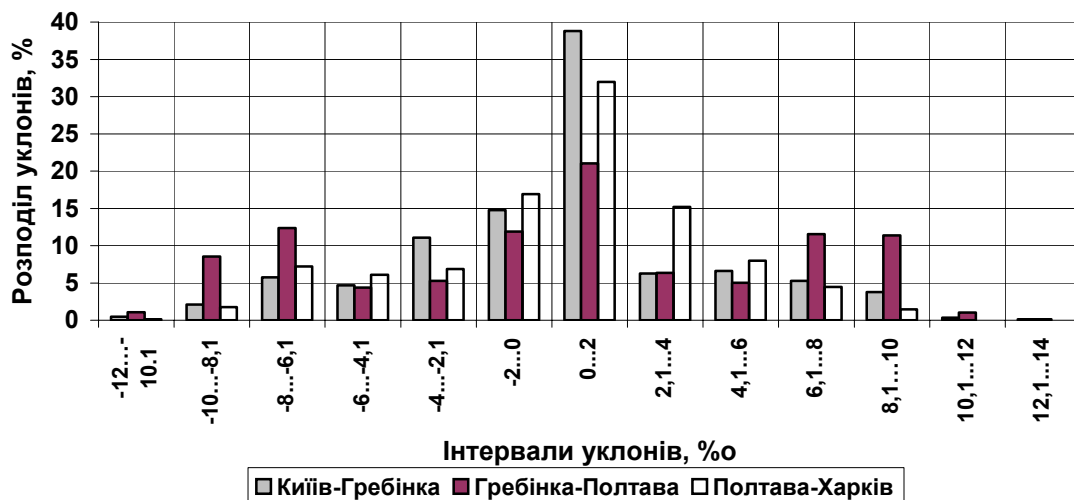


Рис. 3. Розподіл уклонів на ділянках Київ-Гребінка-Полтава-Харків

В кругових кривих допустима швидкість визначається за формулою [3]

$$V = 3,6 \sqrt{R \left(\alpha_{\text{нп}} + \frac{g}{S} h_p \right)}, \quad (1)$$

де R – існуючий радіус кривої, м; h_p – розрахункове підвищення зовнішньої рейки, мм; $\alpha_{\text{нп}}$ – допустиме непогашене прискорення в круговій кривій, м/с^2 ; S – відстань між осями головок рейок, 1600 мм; g – прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$.

У роботі [3] наводиться графік залежності допустимих значень поперечних прискорень від швидкості руху, що узагальнює дані за всіма критеріями (умови міцності колії і безпеки руху для різних одиниць рухомого складу). Усі ці значення вище, а деякі істотно вище допустимого непогашеного прискорення ($0,7 \text{ м/с}^2$ для швидкостей руху до 160 км/год і трохи менше для більш високих швидкостей). Таким чином, обмеження непогашеного прискорення до $\alpha_{\text{нп}} = 0,7 \text{ м/с}^2$ є в основному критерієм комфортабельності їзди пасажирів, при виконанні

якого критерії міцності, стійкості колії і безпеки руху виконуються навіть з деяким запасом.

При суміщеному русі вантажних і пасажирських поїздів реалізувати максимальне підвищення 150 мм не представляється можливим. Для забезпечення міцності й стійкості колії і рухомого складу, безпеки руху й комфорту пасажирів необхідно дотримуватись таких умов:

- неперевищення непогашених прискорень, спрямованих назовні кривої при проходженні найбільш швидкого поїзда

$$\alpha_{\text{нп}}^{\text{пас}} \leq [\alpha]_{\text{зов}}; \quad (2)$$

- обмеження непогашених прискорень, спрямованих усередину кривої при проходженні вантажного поїзда з найменшою швидкістю

$$\alpha_{\text{нп}}^{\text{ван}} \leq [\alpha]_{\text{вн}}. \quad (3)$$

За умов (2) і (3) існуючий рухомий склад може реалізувати максимальну швидкість 160 км/год в кривих радіусом 1200...1500 м, а швидкість 200 км/год – в кривих радіусом 1900...2400 м при підвищенні зовнішньої рейки 100...150 мм, рис. 4.

ДС4

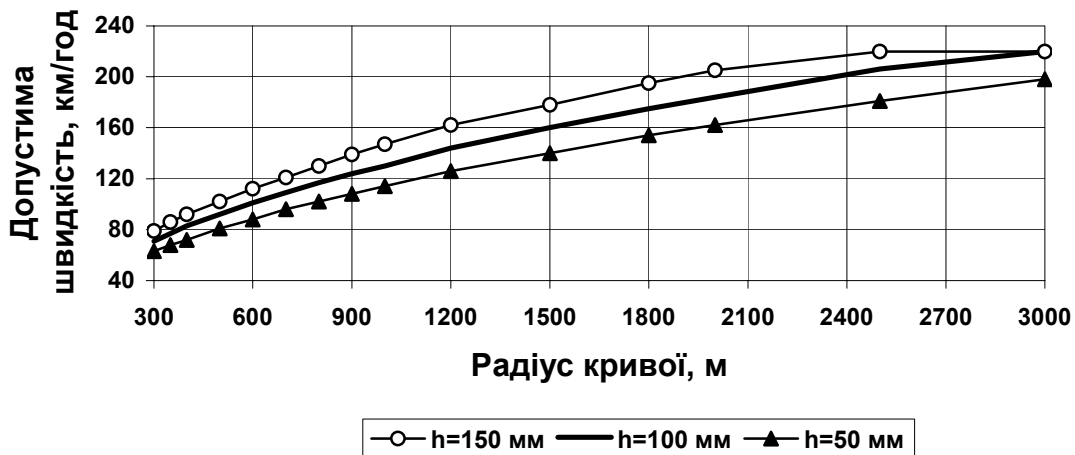


Рис. 4. Допустима швидкість руху рухомого складу без примусового нахилу кузова (непогашене прискорення $0,7 \text{ м/с}^2$)

У сучасних екіпажах, що при проходженні кривої мають примусовий нахил усередину кривої на кут γ допустима швидкість збільшується завдяки введенню в формулу (1) підвищення

$$\Delta h = \frac{\pi S \sin \gamma}{180},$$

що є додатковою компенсацією непогашеного прискорення, тобто

$$V = 3,6 \sqrt{R \left[\alpha_{\text{нп}} + \frac{g}{S} (h_p + \Delta h) \right]}. \quad (4)$$

Розрахункове підвищення, що входить до формул (1) і (4), залежить перш за все від характеристики вантажних поїздів (тип локомотива, маса состава та ін.), параметрів кривих і величини уклонів на поздовжньому профілі, рис. 5.

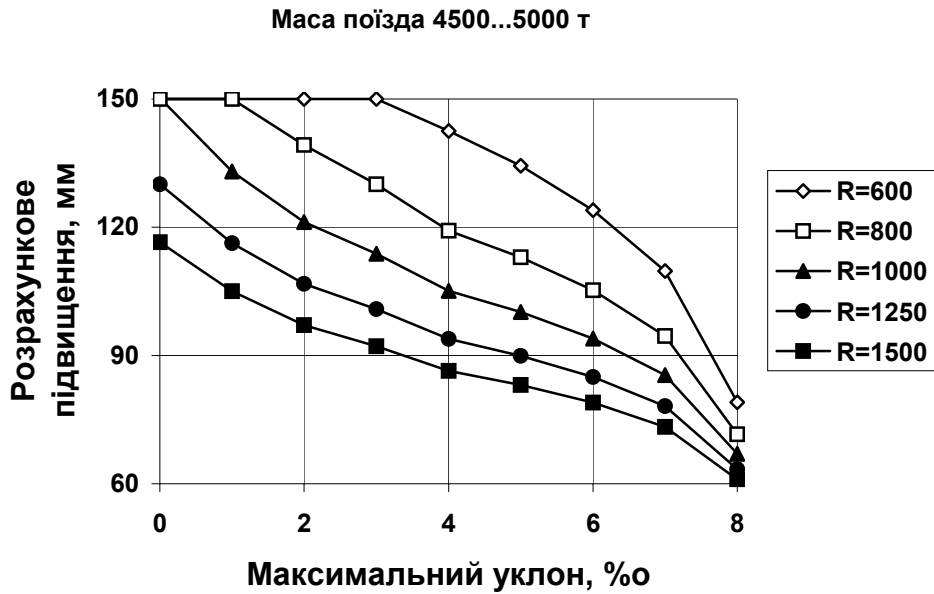


Рис. 5. Залежність розрахункового підвищення від радіуса кривої на різних уклонах поздовжнього профілю

Так, у кривих радіусом до 600...700 м і спокійному профілі (уклони до 2–3 ‰) максимальне підвищення зовнішньої рейки може бути 150 мм, на більш крутих уклонах швидкість вантажного поїзда знижується і для забезпечення 0,3 м/с² підвищення слід зменшу-

вати від 150 до 70...80 мм (на крутих уклонах близько 8–9 ‰), рис. 5.

Завдяки примусовому нахилу кузова вагона (до 8°) знижується дія на пасажирів негативно-го центробіжного прискорення, а допустима швидкість в кривих зростає, рис. 6.

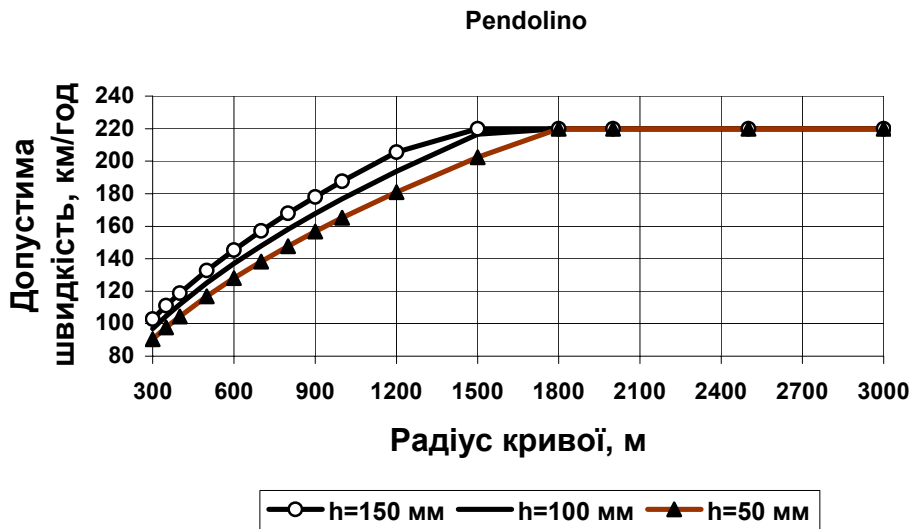


Рис. 6. Допустима швидкість руху рухомого складу з примусовим нахилом кузова (непагашене прискорення 1,8 м/с²)

Як впливає з рис. 6, рухомий склад з примусовим нахилом кузова вагонів може реалізувати максимальну швидкість 160 км/год в кривих радіусом 700...800 м, швидкість 200 км/год – в кривих радіусом 1150...1250 м при підвищенні зовнішньої рейки 100...150 мм.

Таким чином, параметри кривих є основним фактором, що впливає на рівень макси-

мальної швидкості. На рис. 7 показаний розподіл кривих на напрямку Київ–Харків. З аналізу наведених даних видно, що для існуючого рухомого складу швидкості до 160 км/год можуть обмежувати на ділянці Київ–Гребінка 5,4 ‰ кривих, Гребінка–Полтава – 25,2 ‰, Полтава–Харків – 19,7 ‰ від загальної довжини ділянки.

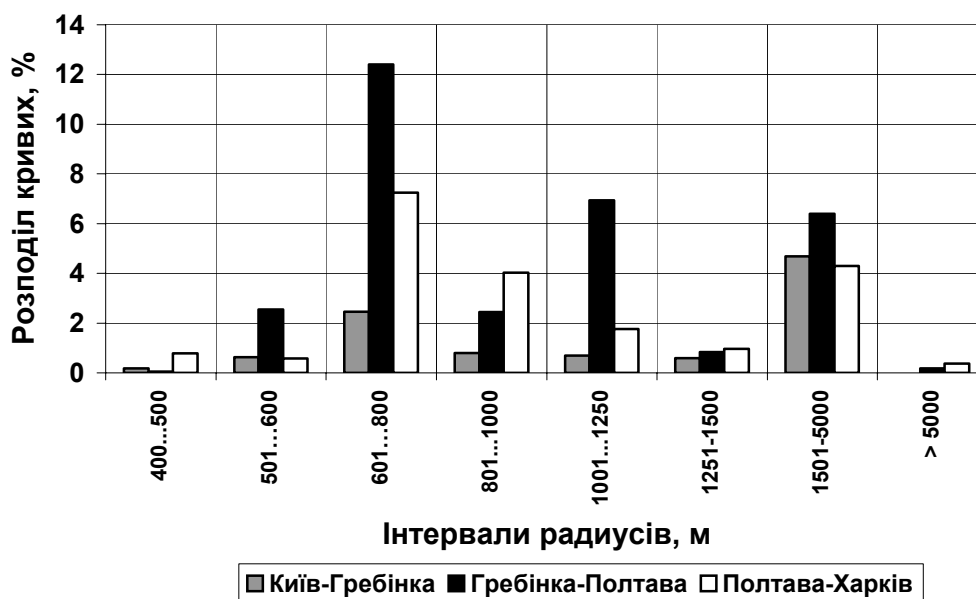


Рис. 7. Розподіл кривих на ділянках Київ–Гребінка–Полтава–Харків

Із проведеного аналізу видно, що найбільш складною як у відношенні поздовжнього профілю, так і кривих є ділянка Гребінка-Полтава. На цій ділянці більше двох сотень кривих. Для подальшого дослідження були виконані тягові розрахунки для вантажних поїздів і, виходячи із швидкості руху і наведених умов (2) і (3), були встановлені розра-

хункові підвищення зовнішньої рейки в кривих ділянках колії.

Для визначення допустимої швидкості в сполучених і багаторадіусних кривих використовувалась методика, що викладена в [4]. В ДПТі була розроблена тягово-експлуатаційна модель і складена програма розрахунків. Прийняті критерії при виконанні тягових розрахунків наведені в таблиці.

Таблиця

Прийняті критерії для рухомого складу без і з примусовим нахилом кузова вагонів

Критерії	Позначення	Значення критеріїв для рухомого складу	
		без примусового нахилу кузова	з примусовим нахилом кузова вагона
Непогашені прискорення в поодиноких кривих	$\alpha_{\text{нп}}$	0,7	1,8
Непогашені прискорення в суміжних кривих	$\alpha_{\text{нп}}^{\text{сп}}$	0,4	1,0
Зміна непогашеного прискорення в поодиноких кривих	ψ	0,6	0,9
Зміна непогашеного прискорення на ділянках сполучених кривих	$\psi^{\text{сп}}$	0,3	0,6
Крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки	i	$\frac{163,4}{V} - 0,19$	

Із використанням даних табл. 1 були встановлені швидкості руху в кожній кривій для існуючого рухомого складу і для Pendolino (рис. 8), а також різниця швидкості руху для рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів і існуючого (рис. 9 і 10).

Як показали результати розрахунків, більший виграш у швидкості руху (до 30...40 %) може бути в кривих радіусом до 1200 м. У кривих більших радіусів швидкість руху підвищується в середньому на 25 % у порівнянні з існуючими поїздами. Відносне зростання швидкості в кожній окремо розглянутій кривій залежить насамперед від встановленого підвищення зовнішньої рейки, рис. 11.

може бути в кривих радіусом до 1200 м. У кривих більших радіусів швидкість руху підвищується в середньому на 25 % у порівнянні з існуючими поїздами. Відносне зростання швидкості в кожній окремо розглянутій кривій залежить насамперед від встановленого підвищення зовнішньої рейки, рис. 11.

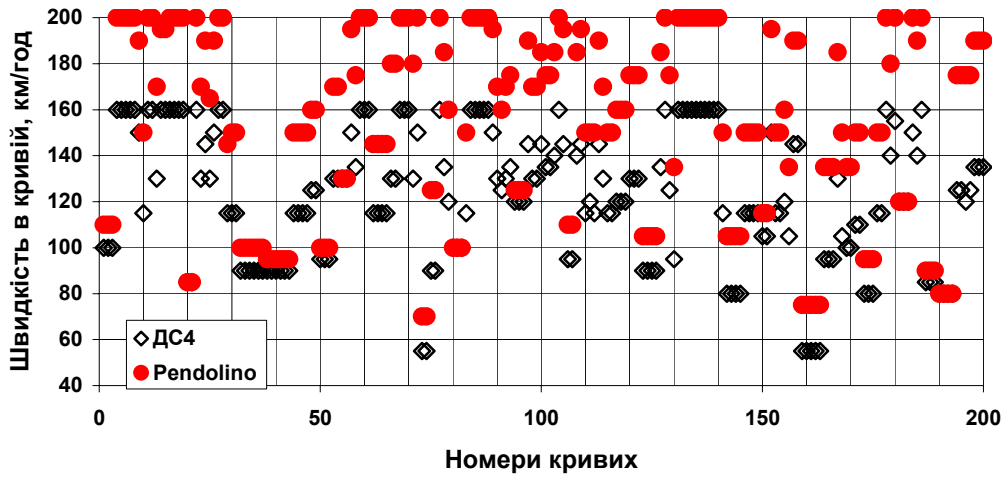


Рис. 8. Швидкості руху в кривих для існуючого рухомого складу і для Pendolino

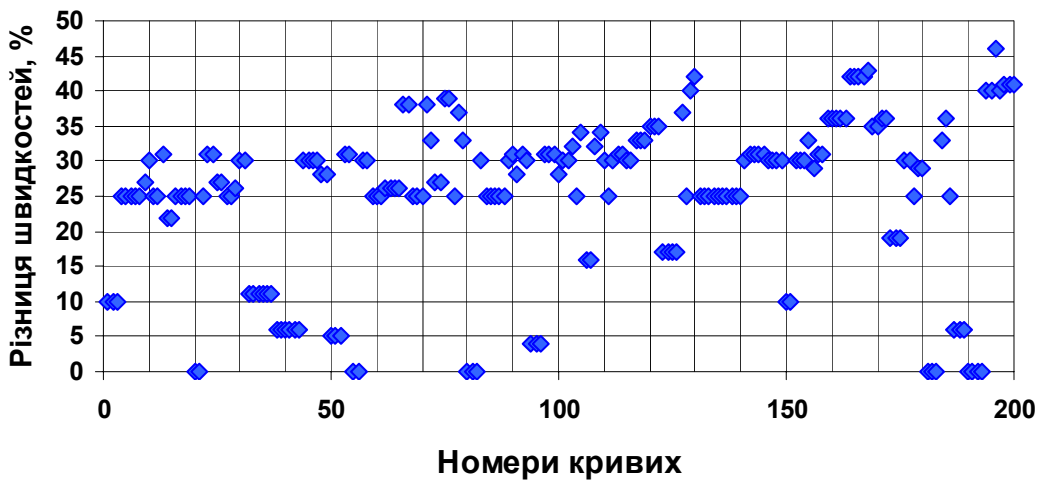


Рис. 9. Різниця швидкості руху для рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів і існуючого для кривих на ділянці Гребінка–Полтава

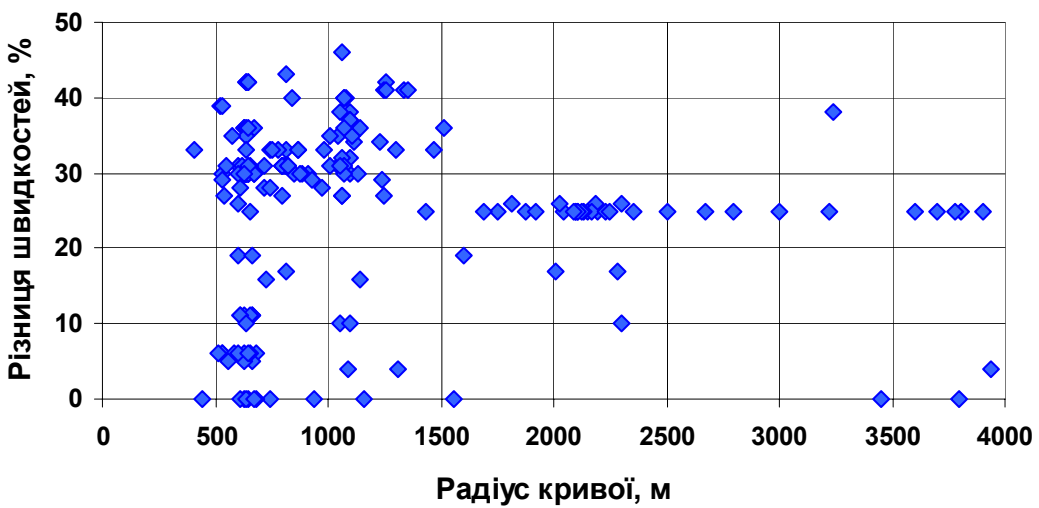


Рис. 10. Різниця швидкості руху для рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів і існуючого в залежності від радіуса кривої

Вищенаведені результати зроблені відносно параметрів кривих без урахування їхнього взаємного впливу. Так, наприклад, наявність коротких перехідних кривих і крутих відводів підвищення зовнішньої рейки часто не дозволяють забезпечити високу швидкість руху на ділянках колії, що складаються з розташованих підряд кривих.

На переваги рухомого складу типу Pendolino впливають не тільки параметри профілю і плану лінії, але й схема розташування роздільних

пунктів (довжина перегонів) і допустима швидкість руху поїздів по станціях. Щоб урахувати це, були виконані тягові розрахунки для таких варіантів: рухомий склад з локомотивом ДС4 і Pendolino ($V_{\max} = 200$ км/год).

Результати розрахунків для кожної ділянки наведені на рис. 12–14. Аналіз показав, що на ділянці Київ–Гребінка в найбільшій мірі реалізується максимальна швидкість руху 180...200 км/год, рис. 12.

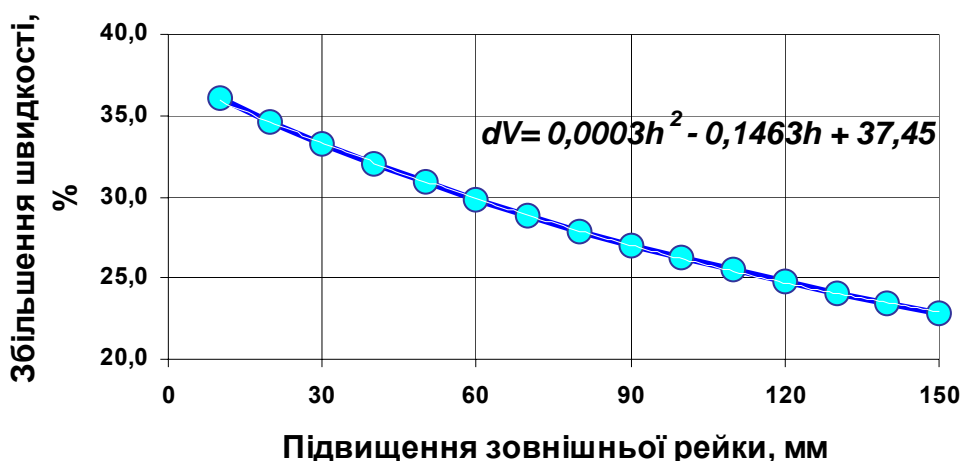


Рис. 11. Збільшення швидкості руху Pendolino у порівнянні з рухомим складом без примусового нахилу кузова (у відсотках)

Київ-Гребінка

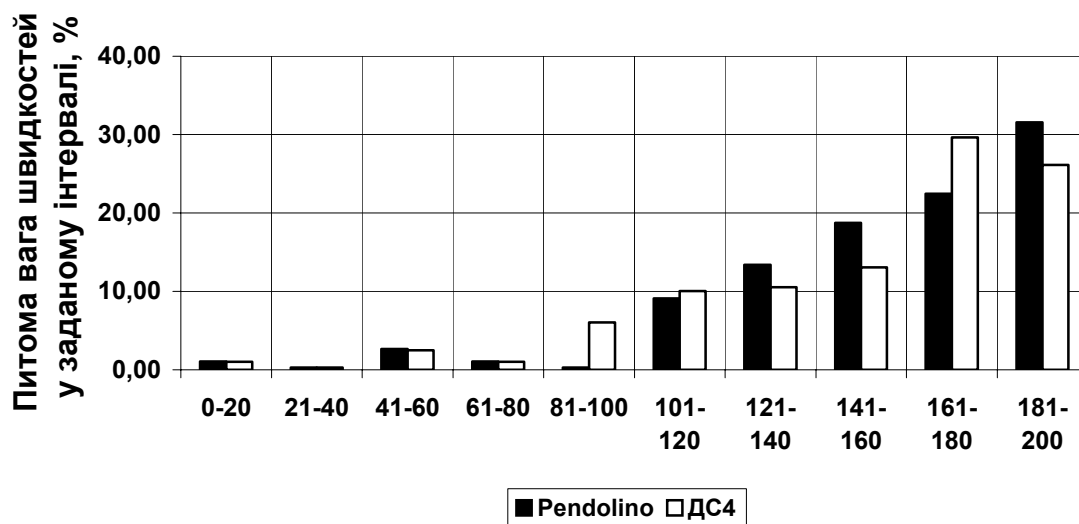


Рис. 12. Використання швидкості на ділянці Київ–Гребінка

На складній ділянці Гребінка–Полтава теоретично може бути встановлена швидкість 200 км/год (див. рис.8), фактично ж з урахуванням сполучених кривих і наявності обмежень на роздільних пунктах максимальна швидкість не перевищує 180 км/год. Для рухомого складу з ДС4 реалізація швидкості 160...180 км/год становить біля 12 %, для Pendolino – 22 %, рис. 13.

На ділянці Полтава–Харків реалізується максимальна швидкість руху 180...200 км/год для ДС4 – 4 і Pendolino – 13 %, рис. 14.

На рис. 15 наведені результати зростання вартості пробігу поїзда на різних за складністю ділянках напрямку Київ–Харків відносно існуючого рухомого складу з електровозом ДС3 ($V_{\max} = 160$ км/год).

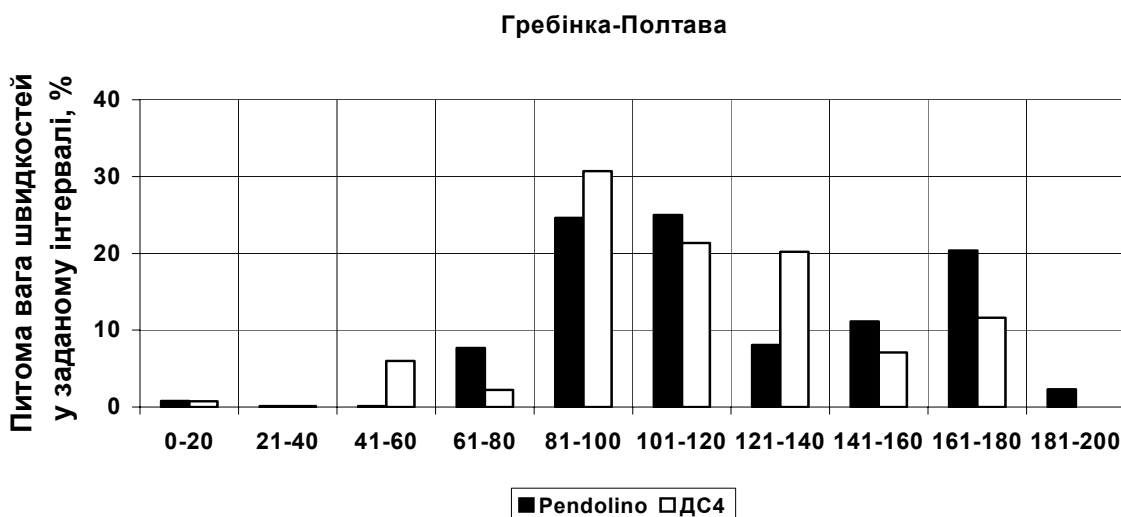


Рис. 13. Використання швидкості на ділянці Гребінка–Полтава

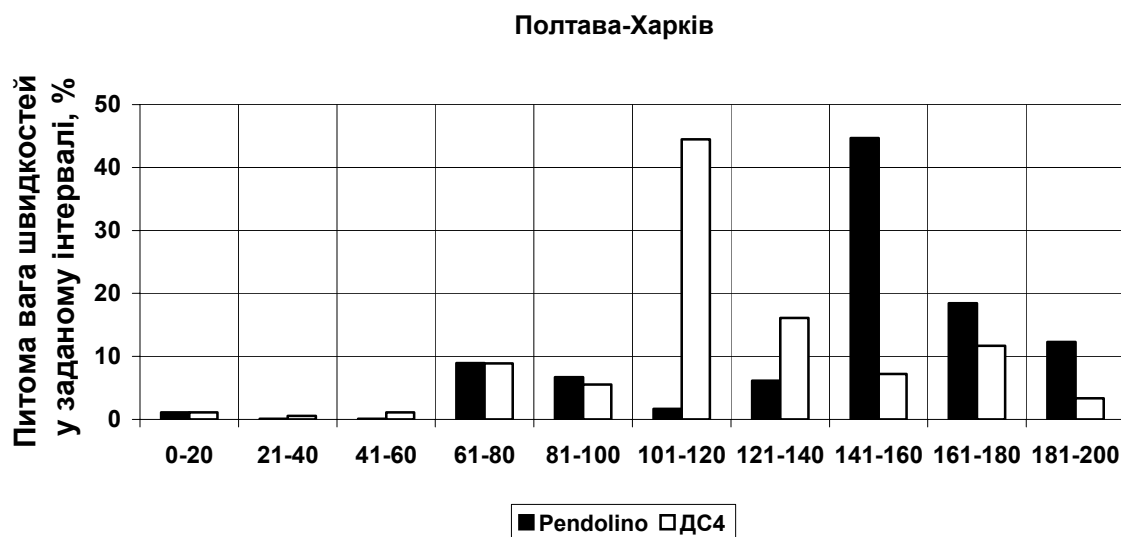


Рис. 14. Використання швидкості на ділянці Полтава–Харків

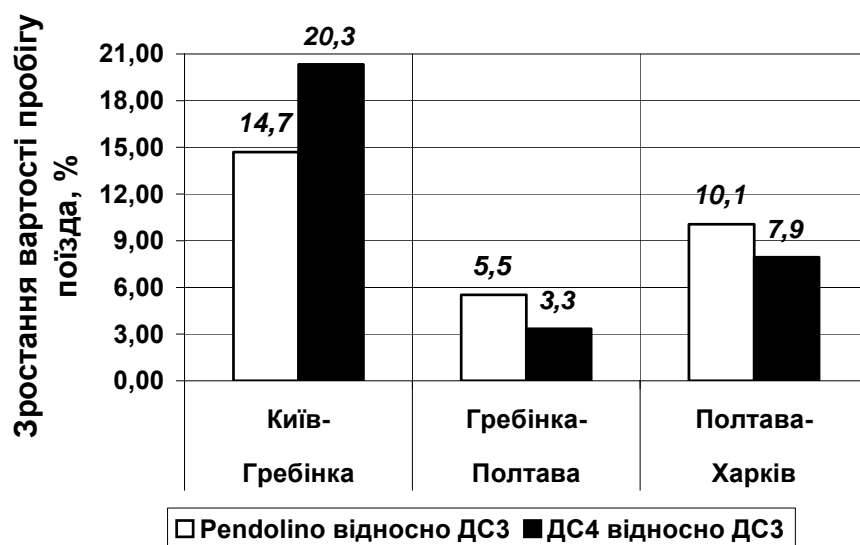


Рис. 15. Зростання вартості пробігу поїзда в залежності від складності плану лінії

Викладені вище розрахунки були виконані й на інших ділянках міжнародних транспортних коридорів.

Висновки

1. Застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів дозволяє збільшити швидкість проходження кривих у середньому на 25...30 %. Процент реалізації швидкості 180...200 км/год залежить від величини розрахункового підвищення зовнішньої рейки, яке визначається в основному вантажними поїздами.

2. Аналіз результатів тягових розрахунків на ділянках Київ-Гребінка-Полтава-Харків показав, що ділянки мають різні параметри плану й профілю. Так, на першій ділянці рухомий склад з локомотивом ДСЗ може реалізувати швидкість 141...160 км/год у середньому на 67 % в кожному напрямку, на другій і третій ділянках – на 21...24 %. Що стосується рухомого складу з примусовим нахилом кузова, то швидкість 181...200 може бути реалізована на 32 % довжини першої ділянки і біля 2 % – на другій і 15 % – на третій.

3. Наявність сполучених кривих, коротких перехідних кривих і крутих відводів підвищення зовнішньої рейки часто не дозволяє забезпечити високу швидкість руху на ділянках колії, і скорочення часу руху в середньому становить 10...15 %.

4. Витрати енергії і потрібна потужність пропорційні швидкості у другій і третій степені відповідно. При підвищенні швидкості на 10 % аеродинамічний опір збільшується на 20 %, а потрібна потужність на 30 %. Цим можна пояснити той факт, що реалізація більш високої швидкості Pendolino у порівнянні з існуючим рухомим складом веде до збільшення механічної роботи локомотива і до росту енергії, яка споживається, і витрат на пробіг поїздів.

5. Обмеження максимальної швидкості обумовлено відхиленнями від норм утримання

кривих, зокрема перехідних, коли навіть за умови задовільної геометрії вплив на пасажирів не може бути компенсовано системою нахилу кузова. Навіть при русі по прямій плавність ходу залежить від довжини хвилі нерівностей шляху.

6. Застосування рухомого складу типу Pendolino призводить до збільшення середньої ходової швидкості на 7...22 % в залежності від параметрів плану і поздовжнього профілю залізниці.

7. Оскільки основне обмеження максимальної швидкості викликається підвищенням зовнішньої рейки, яке, в свою чергу, обмежується невисокою швидкістю вантажних поїздів, то суттєвого ефекту від застосування рухомого складу з примусовим нахилом кузова можна досягти тільки при зменшенні маси вантажних поїздів і відповідно швидкості їх руху.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. SIX CARS ELECTRIC PENDOLINO for Ukraine. Technical Description. Alstom. Savigliano. – 2003. – 18 s.
2. Гребенюк П. Т. Тяговые расчеты: Справочник / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, А. И. Скворцова; Под ред. П. Т. Гребенюка. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
3. Методика определения максимальных допускаемых скоростей движения в кривых при существующих параметрах их устройства на линиях, подготавливаемых к обращению поездов со скоростями до 200 км/ч с использованием лент путеизмерительных вагонов / ВНИИЖТ. – М., 1985. – 35 с.
4. Орловський А. М. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих / А. М. Орловський, О. М. Патласов, В. В. Циганенко, Л. Я. Воробейчик, В. І. Климов, М. Б. Курган; ЦП/0056; Затв. наказом Укрзалізниці від 27.04.99 №124-Ц. – Д.: Арт-Прес, 1999. – 44 с.

Надійшла до редколегії 09.05.04.