

В. І. ХАРЛАН (Придніпровська залізниця)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ТРАСИ ЗАЛІЗНИЦІ І ТИПУ РУХОМОГО СКЛАДУ НА РІВЕНЬ МАКСИМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ

Досліджено вплив параметрів плану, поздовжнього профілю і типу рухомого складу на рівень максимальної швидкості при впровадженні швидкісного руху поїздів.

Исследовано влияние параметров плана, продольного профиля и типа подвижного состава на уровень максимальной скорости при введении скоростного движения поездов.

The article investigates the influence of plane, the longitudinal profile parameters and the kind of rolling stock on the level of maximal speed in introduction of high speed train services.

Вступ

Основною метою організації швидкісного руху пасажирських поїздів в Україні є суттєве підвищення швидкостей руху поїздів та покращення сервісу обслуговування пасажирів.

Для підвищення швидкостей руху поїздів у кривих ділянках колії застосовують різні способи зменшення непогашеного прискорення. Найбільш розповсюджений метод у Європі - це примусовий нахил.

У 2003 р. представники Укрзалізниці ознайомились з досвідом впровадження швидкісного руху на залізницях Фінляндії з застосуванням поїздів типу Pendolino і надали пропозиції щодо проведення техніко-економічного обґрунтування доцільності впровадження на залізницях України поїздів Pendolino з вагонами, що обладнані пристроями нахилу кузова.

Нові поїзди, які випускає компанія Alstom Transport, можуть використовуватись на залізницях, електрифікованих як на постійному струмі 3 кВ, так і змінному 25 кВ, 50 Гц. Вартість одного поїзду з 9 вагонів – 16...18 млн дол. США [1].

Викликає інтерес дослідження можливості застосування подібного типу рухомого складу на залізницях України, в тому числі на Придніпровській залізниці на напрямках швидкісного руху.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження впливу параметрів плану, поздовжнього профілю і типу рухомого складу на рівень максимальної швидкості при впровадженні швидкісного руху поїздів, проведення порівняльного аналізу поїздів, що пла-

нуються до випуску в Україні, з поїздами типу Pendolino, що використовуються за кордоном.

Оскільки ефект від впровадження рухомого складу досягається в кривих ділянках колії, то розглянемо, які сили діють на екіпаж і чому отримується підвищення швидкості руху для звичайного екіпажа і з примусовим нахилом кузова вагонів.

Одиниця рухомого складу, що рухається по кривій, підпадає дії двох основних сил, прикладених в центрі тяжіння: горизонтальної центробіжної сили $F = \frac{mV^2}{R}$, яка направлена назовні колії і складової ваги екіпажа $P \sin \beta = mg \sin \beta$, де V – швидкість, м/с, g – прискорення вільного тяжіння, m – маса екіпажа.

Рівнодіюча цих двох сил R_1 урівноважується, коли вона перпендикулярна горизонтальній площині, що проходить через поверхні кочення рейок, тобто коли підвищення зовнішньої рейки дорівнює теоретичному h_m , яке визначається розрахунком.

На рис. 1 наведена розрахункова схема для визначення підвищення.

Відповідно до рисунка теоретичне підвищення $h_m = S \sin \beta$, де S – ширина колії. При малих кутах $\sin \beta \approx \text{tg} \beta$.

Оскільки

$$\text{tg} \beta = \frac{F}{P},$$

то

$$h_m = \frac{SV^2}{gR}.$$

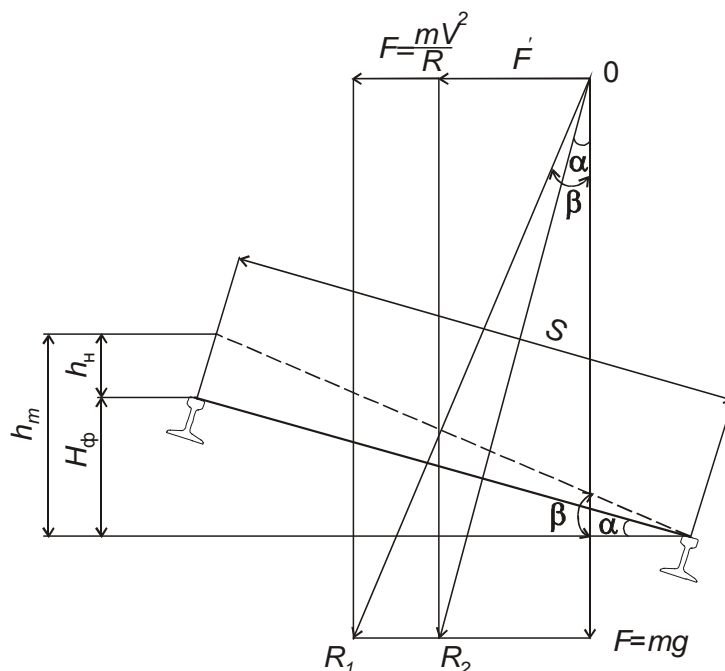


Рис. 1. Схема сил, що діють на одиницю рухомого складу в кривій

Якщо на залізниці сумішений рух вантажних і пасажирських поїздів, що рухаються по кривій з різними швидкостями, то центробіжна сила може не врівноважуватись і тоді необхідно установити середньозважене підвищення (фактичне) h_{ϕ} , щоб уникнути перевантаження внутрішньої рейки поїздами, які рухаються із швидкістю менше розрахункової. У цьому випадку врівноважується тільки частина F' центробіжної сили. Різниця $F - F'$ (між теоретичним і практичним підвищенням) – не зрівноважену частину центробіжної сили, а нестача підвищення визначається як

$$h_n = h_m - h_{\phi}$$

(рис. 1), причому різниця $F - F'$ пропорційна нестачі підвищення

$$F - F' = \frac{P}{S}(h_m - h_{\phi}) = \frac{P}{S}h_n$$

Теоретичне підвищення h_m збільшується при підвищенні швидкості руху поїздів, різниця $h_m - h_{\phi}$ також збільшується з ростом швидкості. При деякому значенні швидкості нестача підвищення стає настільки значною, що поперечні сили перевищать допустимі значення, і тоді виникає необхідність обмеження швидкості руху, що визначається нестачею підвищення.

Таблиця 1

Допустима швидкість руху рухомого складу без примусового нахилу кузова (непогашене прискорення 0,7 м/с²)

Підвищ. мм	Допустима швидкість руху, км/год, для кривих радіусів, м												
	3000	2500	2000	1750	1500	1250	1000	900	800	700	600	500	400
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
150	220	220	205	192	177	162	145	137	130	121	112	102	92
140	220	220	201	188	174	159	142	135	127	119	110	100	90
130	220	220	197	184	171	156	139	132	125	117	108	98	88
120	220	216	193	180	167	153	136	129	122	114	106	96	86
110	220	211	189	177	163	149	133	127	119	112	103	94	84
100	220	206	184	173	160	146	130	124	117	109	101	92	83
90	220	201	180	168	156	142	127	121	114	107	99	90	81

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
80	215	196	176	164	152	139	124	118	111	104	96	88	79
70	210	191	171	160	148	135	121	115	108	101	94	86	77
60	204	186	166	156	144	132	118	112	105	98	91	83	74
50	198	181	162	151	140	128	114	108	102	96	88	81	72
40	192	175	157	146	136	124	111	105	99	93	86	78	70
30	185	169	151	142	131	120	107	102	96	90	83	76	68
20	179	163	146	137	126	115	103	98	92	86	80	73	65
10	172	157	140	131	122	111	99	94	89	83	77	70	63

У сучасних екіпажах, що при проходженні кривої мають примусовий крен усередину кривої γ (до 8°), додатково компенсується непогашене прискорення, що діє на пасажира. Розрахунки і практика експлуатації поїздів Pendolino показали, що можна прийняти $\alpha_{\text{нп.прим}} = 1,8 \text{ м/с}^2$. При проходженні поїздів Pendolino допустима швидкість в кривих зростає (табл. 2).

При підвищенні швидкості збільшуються динамічні сили взаємодії в системі колесо-рейка, а тому європейський стандарт для таких поїздів орієнтований на низьке осьове

навантаження 16,5 т. Максимальні сили, що діють на колію при допустимому непогашеному прискоренні $1,8 \text{ м/с}^2$: вертикальна сила між колесом і рейкою – 160 кН, бокова сила між колесом і рейкою 60 кН (радіус кривої від 300 до 1000 м) і 55 кН (радіус кривої більше 1000 м).

За даними табл. 2 можна зробити висновок, що швидкість руху в кривих може збільшитись до 30 %. Остаточні висновки можна зробити тільки після детальних досліджень на конкретних ділянках колії.

Таблиця 2

Збільшення швидкості руху (у відсотках) у порівнянні з рухомим складом без примусового нахилу кузова

Підвищ. мм	Збільшення допустимої швидкості для рухомого складу з примусовим нахилом кузова, км/год, для кривих радіусів, м												
	3000	2500	2000	1750	1500	1250	1000	900	800	700	600	500	400
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
150	0,0	0,0	6,9	11,7	19,3	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8
140	0,0	0,0	8,7	13,3	20,9	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4
130	0,0	0,0	10,5	15,1	22,5	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1
120	0,0	2,0	12,3	16,8	24,1	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
110	0,0	4,1	14,2	18,6	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
100	0,0	6,2	16,1	20,4	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2
90	0,0	8,5	18,1	22,3	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
80	2,2	10,7	20,2	24,3	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9
70	4,8	13,1	22,2	26,2	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8
60	7,4	15,5	24,4	28,3	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
50	10,1	17,9	26,6	30,3	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9
40	12,9	20,5	28,9	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30	15,7	23,1	31,2	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3
20	18,7	25,8	33,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6
10	21,8	28,6	36,1	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0

Щоб урахувати складність плану лінії (частоту розташування кривих, їхній взаємний вплив) і крутизну підйомів на поздовжньому профілі, були виконані розрахунки для таких варіантів:

1-й варіант. План лінії складний, криві радіусом 600 м розташовані на короткій відстані одна від одної. Допустима швидкість руху при підвищенні зовнішньої рейки 100 мм становить 101 км/год (див. табл. 1). Максимальна швидкість, що характерна для швидкісного руху (160...200 км/год), не може бути реалізована на прямих ділянках, тобто діє суцільне обмеження швидкості за параметрами кривих.

Із вітчизняних розглядалися локомотиви

ДС3 (конструкційна швидкість 160 км/год) і ДС4 (проектна швидкість 200 км/год). Для порівняння були виконані розрахунки для рухомого складу з примусовим нахилом кузова вагонів – Pendolino (200 км/год). За такими ж вихідними даними максимально допустима швидкість в кривих більша на 26 км/год, тобто становить близько 130 км/год.

2-й варіант. План лінії менш складний. Криві радіусом 600 м розташовані на відстані, що дозволяє поїздам розігнатись і рухатись певний час з максимальною швидкістю (рис. 2). Допустимі швидкості руху в кривих такі ж, як у першому варіанті.

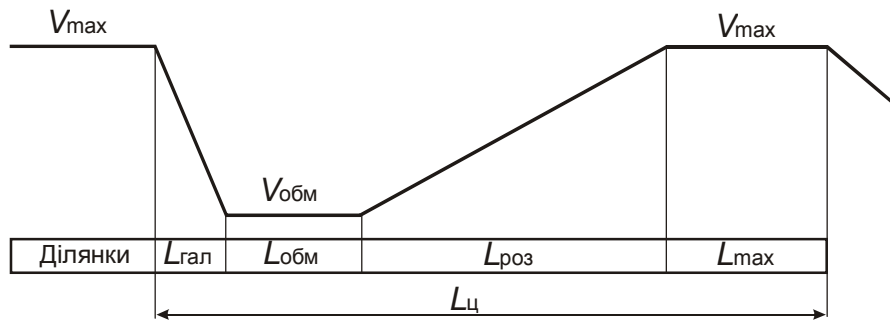


Рис. 2. Схема проходження поїздом кривої:

$L_{гал}$ – довжина ділянки гальмування для зниження швидкості з максимально допустимої на прямій V_{max} до обмежуючої на кривій $V_{обм}$; $L_{роз}$ – ділянка розгону до максимальної швидкості; L_{max} – довжина ділянки, де поїзд рухається з максимальною швидкістю, визначається економічними розрахунками і становить близько 5...7 км

Відповідно до рис.2 час руху поїзда на ділянці довжиною $L_{ц}$ визначається за формулою

$$T_{ц} = \frac{L_{ц}}{V_{сер}} = \frac{V_{max} - V_{обм}}{b_{сер}} + \frac{L_{обм}}{V_{обм}} + \frac{V_{max} - V_{обм}}{a_{сер}} + \frac{L_{ц} - (L_{гал} + L_{обм} + L_{роз})}{V_{max}},$$

де $b_{сер}$, $a_{сер}$ – середнє прискорення відповідно при гальмуванні і розгоні.

3-й варіант. Криві радіусом 600 м розташовані на такій відстані, що дозволяє поїздам розігнатись і рухатись певний час з максимальною швидкістю 180...200 км/год. Допустимі швидкості руху в кривих такі ж, як у першому варіанті. Крутизна уклонів у всіх варіантах приймалась

від 0 до 9 ‰. Результати виконаних розрахунків наведені на графіках (рис. 3–5).



Рис. 3. Скорочення часу руху і збільшення механічної роботи локомотива на ділянках складного плану лінії

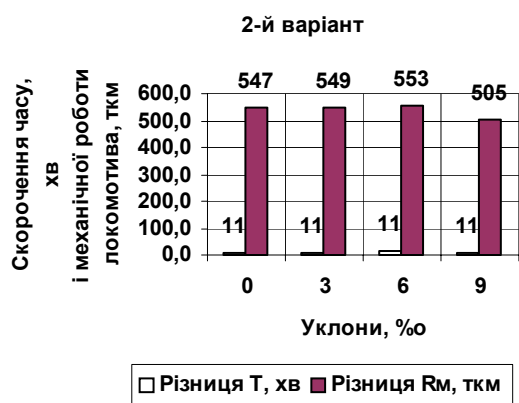


Рис. 4. Скорочення часу руху і збільшення механічної роботи локомотива (максимальна швидкість між кривими до 160 км/год)

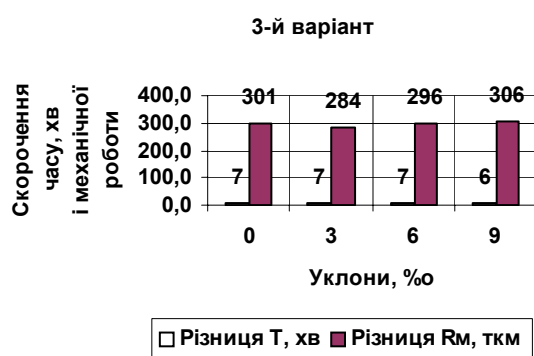


Рис. 5. Скорочення часу руху і збільшення механічної роботи локомотива (максимальна швидкість між кривими до 200 км/год)

Аналіз результатів

З аналізу гістограм видно, що найбільше скорочення часу руху при застосуванні поїздів

Pendolino досягається на складних ділянках плану лінії, але при цьому збільшуються механічна робота локомотива і витрати електроенергії. Вплив параметрів профілю незначний при формуванні легких поїздів масою 400...500 т.

У другому варіанті досягається значно менша економія часу – 11 хв. І ДС4 і Pendolino реалізують швидкість до 160 км/год, але в першому випадку обмеження в кривих 100 км/год і необхідно розігнатись від $V_{обм}$ до V_{max} ($\Delta V = 60$ км/год), у другому випадку $\Delta V = 30$ км/год і для цього потрібні менші витрати електроенергії.

У третьому варіанті економія часу становить всього 7 хв.

Подальші розрахунки були виконані для ділянки П'ятихатки–Дніпропетровськ, де вже впроваджений прискорений рух поїздів (до 140 км/год).

На ділянці П'ятихатки–Верхівцеве швидкість до 160...180 км/год може бути реалізована тільки на перегоні Вольногорськ–Верховцеве як ДС4, так і Pendolino. Скорочення часу руху на ділянці 49 км становить 7 хв.

Ділянка Верхньодніпровськ–Дніпропетровськ має більш складні параметри плану, максимальна швидкість досягається 160 км/год на одному з перегонів Верховцево–Верньодніпровськ. Скорочення часу руху на ділянці 71 км становить всього 4 хв.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. SIX CARS ELECTRIC PENDOLINO for Ukraine. Technical Description. Alstom. Savigliano. – 2003. – 18 s.

Надійшла до редколегії 05.06.04.