УДК 625.1.656.022.846

В. В. РИБКІН, М. Б. КУРГАН, Н. В. ХАЛІПОВА (ДІІТ),
В. І. ХАРЛАН (Придніпровська залізниця)

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУ ЛІНІЇ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ БАР'ЄРНИХ МІСЦЬ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Запропонований підхід обґрунтування параметрів плану лінії для ліквідації бар'єрних місць базується на моделюванні просторових коливань вантажного і пасажирського вагонів, що забезпечує комфортабельність їзди пасажирів при впровадженні швидкісного руху.

Предложен подход обоснования параметров плана линии для ликвидации барьерных мест, который базируется на моделировании пространственных колебаний грузового и пассажирского вагонов и обеспечивает комфортабельность езды пассажиров при введении скоростного движения.

An approach has been proposed to substantiation of the track plane parameters with the aim of removal of barrier places. The approach is based on modelling spatial fluctuations of freight and passenger cars and provides for comfort of passenger journeys at introduction of high-speed traffic.

1. Загальні положення. Постановка задачі

Реконструкція траси існуючих залізниць з метою організації швидкісного руху поїздів приводить до необхідності зміни параметрів кривих, в тому числі і радіуса. Задача вибору мінімально допустимого радіуса кругової кривої непроста, тому що при підвищенні швидкостей руху збільшується динамічний вплив рухомого складу на рейкову колію, в зв'язку з чим відбувається зростання вертикальних і горизонтальних сил. Зменшення динамічного впливу досягається зменшенням вантажонапруженості. Наприклад, на польських залізницях прийнято, що при введенні для пасажирських поїздів максимальної швидкості до 160 км/год швидкість вантажних поїздів може бути меншою чи рівною 100 км/год при вантажонапруженості 10 млн т·км/км, при швидкості 161…200 км/год – швидкість вантажних поїздів не менше 100 км/год, а вантажонапруженість 5 млн т·км/км [1].

Незважаючи на зниження обсягів перевезень за останні роки, умови роботи залізниць України залишаються більш важкими, ніж на закордонних дорогах. Це, насамперед, характеризується інтенсивністю перевезень вантажів і пасажирів, величиною статичного навантаження на вісь, середньою вагою вантажних поїздів, що обертаються. За таким показником, як середня маса поїзда, українські залізниці випереджають всі європейські держави (після Росії). Вантажонапруженість магістральних ліній України в 3,5 рази перевищує середньоєвропейський рівень [2].

Як правильно в цих умовах встановити значення мінімально допустимого радіуса кривих, підвищення зовнішньої рейки і довжини перехідних кривих при реконструкції існуючих залізниць?

При встановленні мінімального радіуса необхідно забезпечити виконання наступних вимог:

– міцність і надійність несучих елементів конструкцій верхньої будови колії;
– стійкість рейко-шпальної решітки поперечному зсуву по баласту;
– стійкість коліс від вкочення на головку рейки;
– комфортабельність їзди пасажирів.

Слід відмітити, що при виборі мінімального радіуса кривих в умовах суміщеного вантажного й пасажирського руху поїздів необхідно забезпечити найкращі умови роботи колії, що можливо при мінімізації впливу вантажного рухомого складу на рейкову колію.

2. Прийняті вихідні дані і результати розрахунків

У даний час існують різні пропозиції щодо встановлення мінімально допустимих радіусів кривих у плані на ділянках швидкісного руху поїздів.

Обґрунтування оптимального варіанта повинно включати техніко-економічні розрахунки, що враховують умови роботи колії, швидкість руху і базуються на моделюванні руху пасажирського і вантажного вагонів по кривих різних радіусів з визначенням спектра динамічних показників, а також враховувати вартість уположення кривих, що зв'язана з переносом вісі колії на нову трасу.

Вихідні дані для першої частини досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні дані

Показники	Максимальна швидкість пасажирських поїздів 140 км/год на кривих ділянках колії з параметрами				
R, м	800	1000	1200	1400	1600
h, мм	60	60	60	60	60
$L_{\text{пер}}$, м	70	70	70	70	70
h, мм	90	90	90	90	90
$L_{\text{пер}}$, м	100	100	100	100	100
h, мм	120	120	120	120	120
$L_{\text{пер}}$, м	130	130	130	130	130
h, мм	150	150	150	150	150
$L_{\text{пер}}$, м	170	170	170	170	170

У таблиці позначені:

h – підвищення зовнішньої рейки;

$L_{\text{пер}}$ – довжина перехідної кривої;

$V_{\min}$ – мінімальна швидкість вантажних поїздів.

При виконанні розрахунків була використана математична модель і програма обчислень, розроблені лабораторією динаміки і міцності рухомого складу ДІІТу [3], за допомогою якої визначалися переміщення, сили і прискорення при русі вагонів по інерційній пружно-дисипативній залізничній колії з вертикальною і горизонтальною нерівностями для різних екіпажів, рівнів швидкості, підвищення зовнішньої рейки і радіусів кривих.

Для знаходження бічної сили, що діє на рейки з боку коліс, і рамних сил, що діють на колісні пари, обчислювалась направляюча сила, що являє собою реакцію рейки на загальний опір повороту візка (екіпажа) при русі по кривій. Визначення цієї сили відноситься до класу задач геометричного вписування. Для візкових екіпажів найбільш типовим є перекісне положення, що змінюється після кожного імпульсу в зоні контакту гребеня колеса з рейками.

При відомих направляючих силах HN, бічні HB і рамні сили HR визначались за формулами:

$$HB_{(i,j,k)} = HN_{(i,j,k)} - Y_{(i,j,k)},$$

$$HR_{(i,j)} = HN_{(i,j,k)} - \sum_{k=1}^{2} Y_{(i,j,k)},$$

де i – номер візка; j – номер колісної пари у візку; k – сторона (1 – ліва, 2 – права, якщо дивитися на вагон позаду); $Y_{(i,j,k)}$ – поперечні сили тертя між рейкою і лівим чи правим колесом відповідної колісної пари і візка.

Як приклад, вираз для визначення бічної сили, що діє з боку колії на ліве колесо першої колісної пари першого візка буде мати вигляд

$$HB_{(1,1,1)} = HN_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,2)}.$$

Значення рамної сили, що діє на першу колісну пару першого візка, визначається з виразу

$$HR_{(1,1)} = HN_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,1)} - Y_{(1,1,2)}.$$

Крім бічних сил, був проаналізований цілий спектр різних динамічних показників, отриманих при моделюванні просторових коливань пасажирського і вантажного вагона:

$k_{VD\,(i,j,k)}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки колії по силах взаємодії коліс з рейками (відношення динамічної добавки вертикальної сили до статичного тиску колеса на рейку);

$k_{GD\,(i,j,k)}$ – коефіцієнт горизонтальної динаміки колії по горизонтальних силах взаємодії коліс з рейками;

$SI_{(k)}$ – кромочні напруження в підошві рейки під колесами першої колісної пари;

$F_{(k)}$ – фактор зносу бічної грані бандажа колеса першої колісної пари першого візка;

$П_{(k)}$ – показник зносу поверхні кочення колеса першої колісної пари першого візка;

$k_{VKO\,(i,j)}$ – коефіцієнт стійкості від сповзання колеса на рейку.

Програма здійснює інтегрування системи диференціальних рівнянь у процесі руху вагона на ділянці колії 100 м. Після виключення на довжині близько 50 м перехідного процесу, виконується розрахунок екстремальних і статистичних характеристик найбільших значень сил, переміщень і прискорень, що виникають при русі вагона по реальних нерівностях колії.

Для кожного з динамічних показників визначались:

– мінімальні значення $F_{\min}$ і абсциса колії, при якій досягнуте $X_{\min}$;

– максимальне значення $F_{\max}$ і відповідна абсциса колії $X_{\max}$;

– середнє значення показника на даній ділянці *M*;

– дисперсія *D*;

– середньоквадратичне відхилення *S*;

– максимально-ймовірне значення, що дорівнює $|M| + 2{,}5S$.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки, кромочні напруження, бокові сили та інші показники були використані при обґрунтуванні мінімального радіуса кривих, довжини прямих вставок між суміжними кривими, для вибору підвищення зовнішньої рейки від потоку поїздів різних категорій тощо.

В табл. 2–4 наведені результати розрахунків для пасажирського вагона, що були отримані на основі моделювання взаємодії колії і пасажирського вагона при русі по кривих і використані для наступного аналізу.

Таблиця 2

Максимально імовірні бокові сили

Варіант	Параметри кривої	Максимально імовірні бокові сили							
		*Y*кр111	*Y*кр112	*Y*кр121	*Y*кр122	*Y*кр211	*Y*кр212	*Y*кр221	*Y*кр222
Радіус кривої 800 м									
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	58,83	12,01	41,54	7,9	54,86	10,22	40,71	10,29
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	55,82	11,33	38,42	9,05	48,94	9,13	35,70	11,36
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	57,34	11,39	39,52	8,64	52,71	9,60	38,33	10,45
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	54,15	10,33	36,80	9,43	48,40	8,66	34,91	11,23
Радіус кривої 1000 м									
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	41,500	5,020	27,690	8,370	37,890	5,100	27,180	11,760
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	38,582	5,506	25,145	9,797	32,943	6,252	23,605	12,367
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	38,048	5,357	24,543	9,754	33,118	5,986	23,363	12,263
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	36,915	5,520	23,656	10,079	32,180	6,193	22,467	12,521
Радіус кривої 1200 м									
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	29,47	4,80	18,84	11,15	26,28	5,67	19,49	13,27
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	26,31	5,72	16,16	11,34	22,05	6,18	16,29	12,85
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	26,13	5,87	16,25	11,73	22,47	6,50	16,60	13,19
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	25,33	6,13	15,85	12,03	21,61	6,70	15,92	13,38
Радіус кривої 1400 м									
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	20,92	5,59	15,10	11,38	18,34	6,83	16,37	12,46
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	18,79	6,07	13,72	11,26	15,26	7,15	14,23	11,61
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	18,03	6,05	12,99	11,31	15,02	7,18	13,89	11,92
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	17,28	6,60	12,73	11,58	14,62	7,49	13,53	12,17

Таблиця 3

Максимально імовірні рамні сили і коефіцієнт горизонтальної динаміки

Варіант	Параметри кривої	Рамні сили				Коефіцієнт горизонтальної динаміки			
		перша вісь перший візок	друга вісь перший візок	перша вісь другий візок	друга вісь другий візок	перша вісь перший візок	друга вісь перший візок	перша вісь другий візок	друга вісь другий візок
Радіус кривої 800 м									
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	39,61	36,78	38,74	41,07	0,28	0,26	0,27	0,29
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	37,95	35,44	35,32	37,95	0,27	0,25	0,25	0,27
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	38,19	35,68	36,51	38,84	0,24	0,22	0,21	0,23
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	36,72	34,46	34,38	36,83	0,19	0,19	0,16	0,19
Радіус кривої 1000 м									
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	30,990	30,080	30,240	33,580	0,220	0,210	0,210	0,240
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	29,569	28,991	27,620	31,003	0,2079	0,2039	0,1959	0,2201
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	29,569	28,991	27,620	31,003	0,2079	0,2039	0,1959	0,2201
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	28,481	27,962	26,652	29,900	0,1459	0,1514	0,1258	0,1533
Радіус кривої 1200 м									
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	25,73	26,28	24,93	28,95	0,18	0,19	0,18	0,21
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	23,36	24,02	21,88	25,74	0,17	0,17	0,15	0,18
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	23,78	24,47	22,55	26,36	0,15	0,16	0,14	0,16
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	23,48	24,22	22,01	25,84	0,12	0,13	0,11	0,13
Радіус кривої 1400 м									
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	21,79	23,48	20,99	25,70	0,15	0,17	0,15	0,18
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	20,35	22,08	18,61	22,95	0,14	0,15	0,13	0,16
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	19,64	21,41	18,43	22,89	0,13	0,14	0,11	0,14
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	19,68	21,51	18,12	22,49	0,10	0,12	0,09	0,11

Таблиця 4

Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу

Варіант	Параметри кривої	Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу							
		111	112	121	122	211	212	221	222
Радіус кривої 800 м									
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	2,09	5,08	2,99	6,25	2,45	6,1	2,09	5,08
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	2,08	5,13	2,80	6,83	2,34	6,63	3,03	4,59
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	2,11	6,08	2,91	6,53	2,23	7,56	3,20	5,40
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	2,42	10,19	3,44	6,45	3,37	8,94	4,95	5,65
Радіус кривої 1000 м									
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	2,83	10,33	3,90	7,08	3,11	7,84	4,09	5,05
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	2,75	8,93	3,94	6,27	3,04	7,28	4,19	5,34
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	2,78	10,54	4,25	6,77	3,13	9,65	4,87	5,83
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	3,81	10,73	6,22	6,89	4,76	9,43	6,45	6,37

Закінчення табл. 4

Варіант	Параметри кривої	Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу							
		111	112	121	122	211	212	221	222
	Радіус кривої 1200 м								
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	3,56	10,60	5,08	6,43	3,92	7,14	4,66	4,43
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	4,00	9,71	6,29	6,75	4,32	9,13	6,59	5,51
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	3,50	10,08	5,69	6,72	3,78	8,19	6,10	5,20
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	4,68	9,19	7,54	7,29	6,49	8,70	6,41	6,55
	Радіус кривої 1400 м								
1	*h* – 60 мм, *l*–70 м	4,57	9,12	6,12	6,02	4,68	7,14	5,67	5,27
2	*h* – 90 мм, *l* – 100 м	4,51	9,96	6,20	6,04	4,97	8,38	6,28	5,67
3	*h* – 120 мм, *l* – 130 м	5,11	10,42	7,70	6,51	5,69	9,30	7,04	7,06
4	*h* – 150 мм, *l* – 170 м	7,29	9,55	8,00	7,95	9,65	10,67	8,57	8,83

3. Забезпечення міцності несучих елементів конструкцій верхньої будови колії

При підвищенні швидкостей руху поїздів зростає динамічний вплив на колію рухомого складу, в зв'язку з чим збільшуються вертикальні і горизонтальні сили і, як наслідок, напруження в кромках підошви рейок. Останній показник, тобто максимальні напруження, що виникають в кромках підошви рейки, використовується як критерій для встановлення допустимих швидкостей. Максимально ймовірні кромочні напруження не повинні перевищувати 240 МПа для колії з рейками Р65, чим і визначається допустима швидкість руху.

Відомо, що на величину кромочних напружень впливають такі фактори як швидкість руху, величина радіусу, підвищення зовнішньої рейки, тип рухомого складу (осьове навантаження) та ін. Вплив перелічених факторів на величину напружень різний. Для встановлення залежності кромочних напружень від величини радіусів кривих, які можуть підлягати перебудові на швидкісних ділянках, використуємо результати дослідних поїздок швидкісних електровозів ЧС2м і ЧС4, що були проведені Всеросійським науково-дослідним інститутом залізничного транспорту [4; 5] і дані виконаних розрахунків, що отримані на основі моделювання руху вагона.

На рис. 1 показані графіки кромочних напружень, отриманих за експериментом, на прямих і кривих ділянках колії при різних значеннях швидкості руху.

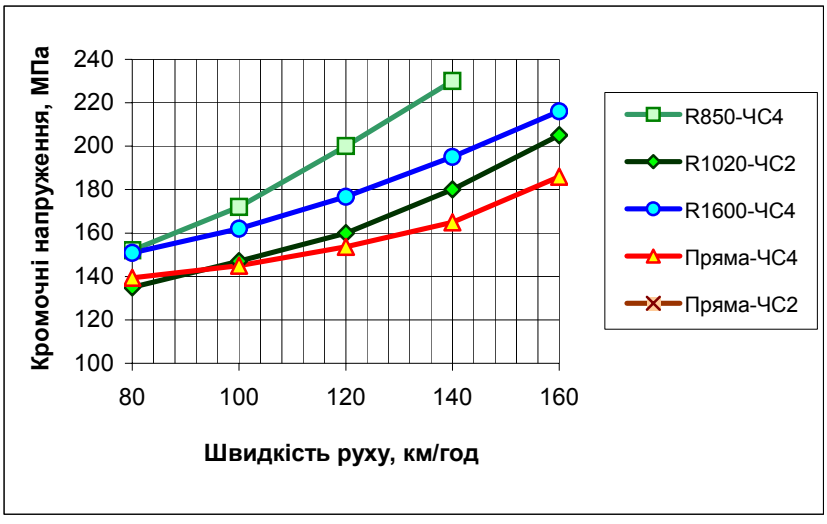

Рис. 1. Залежність напружень в кромках підошви рейки від швидкості руху електровоза на прямій і в кривих різних радіусів

Аналіз графіків показав, що значення кромочних напружень інтенсивно зростають при підвищенні швидкості руху і досить точно апроксимуються поліномом 4-го ступеня. При збільшенні швидкості руху від 120 до 160 км/год напруження в кромках підошви рейки зростають за розрахунками на 26,8 %, за експериментом – на 28,1 %. Можна вважати, що модель адекватно відображає реальний рух екіпажів. Таким чином, перехід до швидкісного руху призводить до збільшення напружень в середньому в 1,3 рази, але в кривих радіусом 1000 м і більше максимальні напруження не перевищують допустимих значень.

Оскільки на величину кромочних напружень впливає величина встановленого підвищення зовнішньої рейки, то були виконані відповідні розрахунки з використанням моделі і результати наведені на рис. 2.

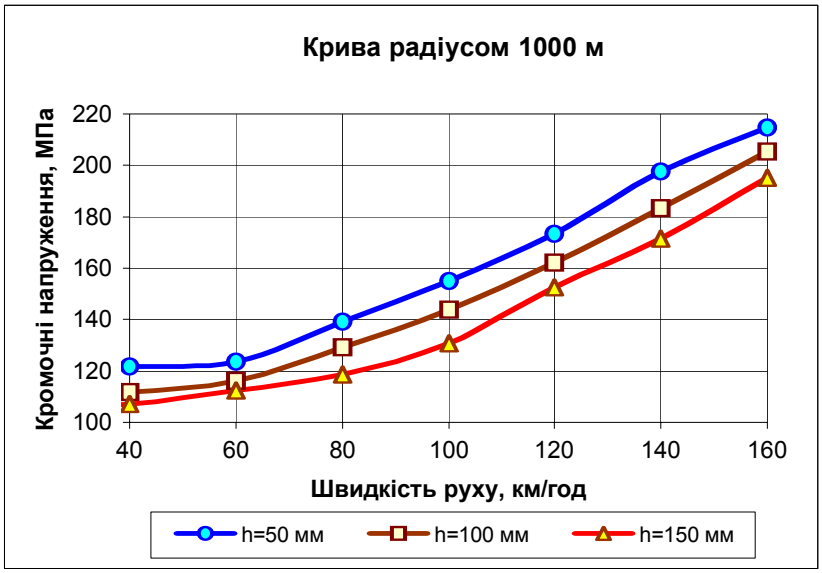

Рис. 2. Залежність напружень в кромках підошви рейки від швидкості руху для кругової кривої радіусом 1000 м з підвищенням зовнішньої рейки 50, 100 і 150 мм

Аналіз графіків показує, що більш суттєво на величину кромочних напружень впливає величина швидкості і радіус кривої і значно менше величина підвищення зовнішньої рейки. Так, при збільшенні підвищення від 50 до 100 мм або від 100 до 150 мм напруження в кромках підошви рейок зменшуються на 5–10 %.

За умови неперевищення непогашених прискорень 0,7 м/с^2 при проходженні найбільш швидкого поїзда, мінімальні радіуси складають відповідно 1200 м при максимальній швидкості 140 км/год і 1500 м при максимальній швидкості 160 км/год (рис. 3). Отже, в таких кривих не виникає загроза щодо перевищення допустимих значень кромочних напружень.

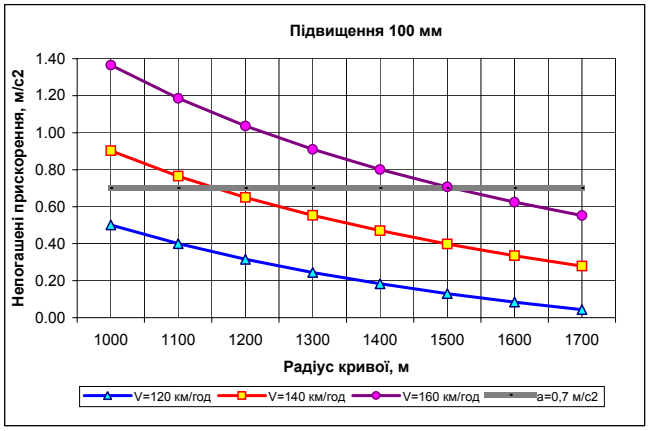

Рис. 3. Залежність поперечних непогашених прискорень
від радіуса кривої для максимальної швидкості 120, 140 і 160 км/год

Іншим фактором, що визначає безпеку руху і міцність колії є бокові сили, що виникають при русі в кривих. На рис. 4 показані залежності максимально ймовірних бокових сил при русі вантажного вагона в кривій радіусом 700 м.

При збільшенні швидкості від 40 до 80 км/год, тобто вдвічі, бокові сили збільшуються в 1,2 рази і досягають 45–50 кН, що вдвічі менше допустимого значення (рис. 4). При збільшенні підвищення бокові сили зменшуються, але цей вплив менш суттєвий. Так, при збільшенні підвищення від 30 до 60 мм, або від 60 до 120 мм, бокові сили зменшуються всього на 5–6 % (див. рис. 4).

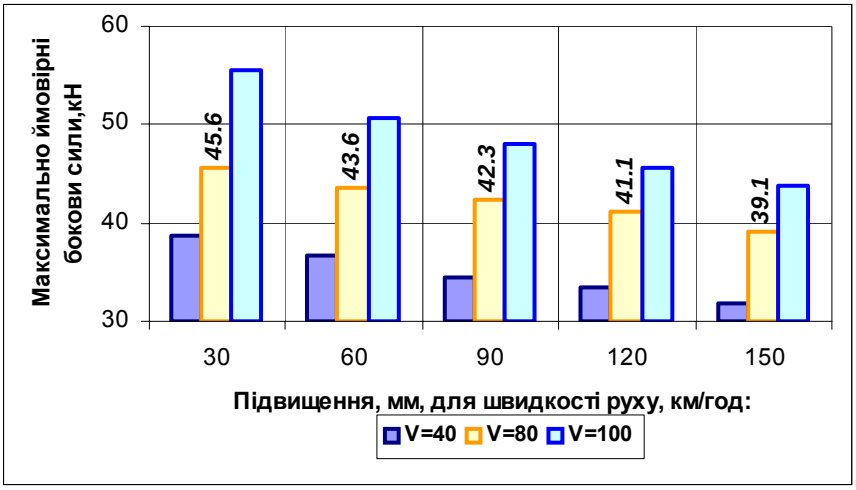

Рис. 4. Залежність максимально ймовірних бокових сил від швидкості руху
і підвищення зовнішньої рейки в кривій радіусом 700 м

Аналогічні результати отримані для пасажирського вагона при моделюванні його руху в кривій радіусом 1000 м (рис. 5). При підвищенні швидкості руху від 120 до 160 км/год бокові сили збільшуються вдвічі, але не перевищують допустимих.

Рис. 5. Залежність максимально ймовірних бокових сил
від швидкості руху в кривій радіусом 1000 м

4. Забезпечення стійкості рейко-шпальної решітки поперечному зсуву по баласту

Крім забезпечення міцності елементів верхньої будови колії, важливе значення має умова забезпеченості стійкості рейко–шпальної решітки проти зсуву по баласту. При підвищенні швидкості руху різко зростають поперечні сили в сполученні з короткочасним зменшенням вертикального навантаження. Аналіз великої кі-

лькості дослідних матеріалів показує, що ймовірність одночасного сполучення максимальних значень горизонтальних навантажень на колію з мінімальною величиною вертикальних сил, що сприймається шпалою, близька до нуля [6]. Тому розрахунковий опір шпали зсуву прийнято визначати по середніх значеннях вертикального навантаження від коліс на рейки. Коефіцієнт стійкості рейко–шпальної решітки в колії з щебеневим баластом повинен бути

$$k_{\text{ZSU}} = \frac{H_{\max}}{P_{\text{сер}}} \le 1{,}4\,, \qquad (1)$$

де $H_{\max}$ – максимальна горизонтальна сила, що сприймається шпалою від направляючого колеса екіпажа;

$P_{\text{сер}}$ – середнє значення динамічного вертикального навантаження рейки на шпалу.

Як показали розрахунки, значення коефіцієнта k_{ZSU} знаходиться в діапазоні 0,73 для радіуса 1000 м до 0,50 для радіуса 1500 м при максимальній швидкості 160 км/год, тобто умова (1) виконується.

Наступним важливим показником є коефіцієнт горизонтальної динаміки колії k_{GD}, який є критерієм безпеки від зсуву рейко–шпальної решітки. Коефіцієнт горизонтальної динаміки визначається як відношення максимальної рамної сили $Y_{\text{р}}$ до статичного навантаження $P_{\text{ст}}$ колісних пар на рейки

$$k_{GD} = \frac{Y_{\text{р}}}{P_{\text{ст}}} \le 0{,}4\,. \qquad (2)$$

З рис. 6 видно, що при максимальній швидкості 140 км/год коефіцієнт горизонтальної динаміки менший 0,35 при радіусі 1000 м і підвищенні зовнішньої рейки 60 мм, тобто умова (2) безпеки від поперечного зсуву рейко–шпальної решітки забезпечується.

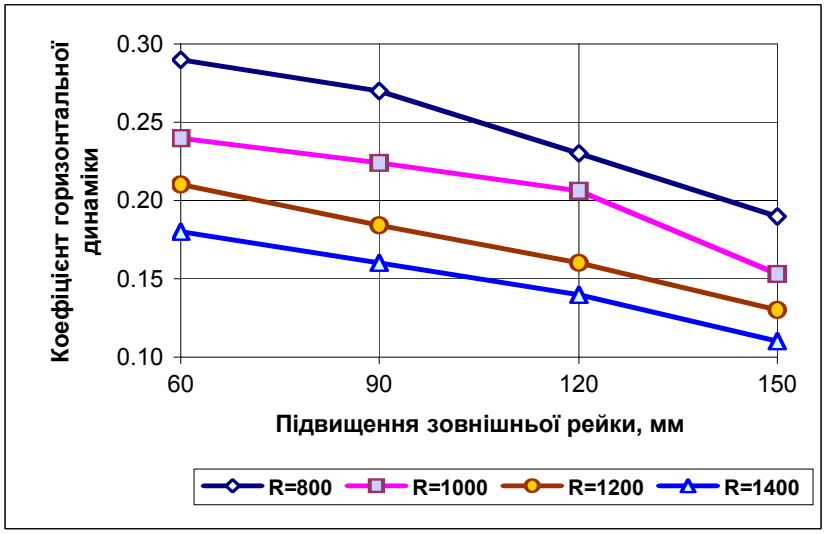

Рис. 6. Зміна коефіцієнта горизонтальної динаміки в залежності від радіуса кривої і підвищення зовнішньої рейки

При збільшенні підвищення зовнішньої рейки коефіцієнт k_{GD} зменшується. Так, при збільшенні підвищення від 60 до 90 мм k_{GD} зменшується на 7 %. При збільшенні радіуса від 1000 м до 1200 м коефіцієнт горизонтальної динаміки колії зменшується в 1,2 рази.

5. Забезпечення стійкості коліс проти кочення на головку рейки

Стійкість колеса проти вкочення його гребня на рейку залежить від відношення бокової сили $Y_{Б}$, що передається від колеса на рейку, до вертикальної сили P взаємодії колеса й рейки

$$k_{\text{VKO}} = \frac{Y_{\text{Б}}}{P} > [1{,}4]\,. \qquad (3)$$

Перевірка щодо забезпечення безпеки від сходу коліс з рейок показала, що коефіцієнт запасу стійкості колеса проти вкочення на головку рейки k_{VKO} знаходиться в діапазоні 1,7…2,5 для вантажних і більше 2,0 для пасажирських вагонів (рис. 7), що перевищує допустиме значення 1,4 при ймовірності 0,01, тобто умова (3) теж виконується.

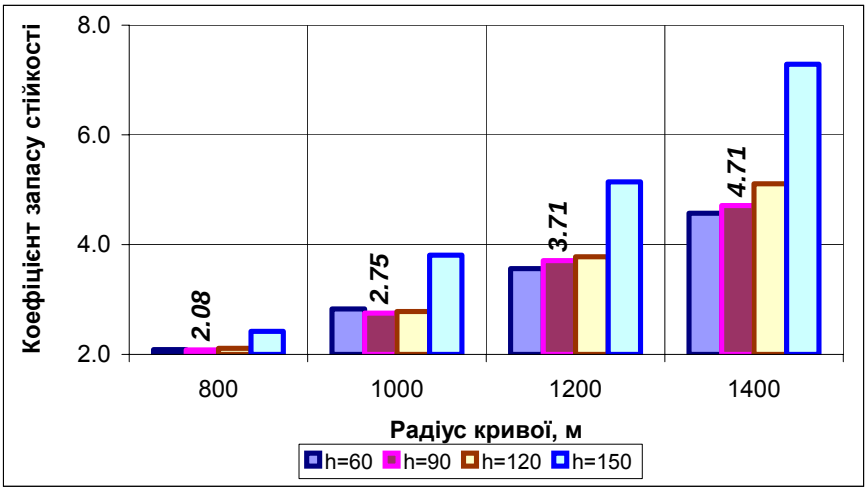

Рис. 7. Зміна коефіцієнта запасу стійкості проти вкочення на головку рейки

7. Забезпечення неперевищення непогашених прискорень

Виконання цієї умови розповсюджується на пасажирські й вантажні поїзди, тобто:

– неперевищення непогашених прискорень, спрямованих від центру кривої при проходженні швидкого поїзда

$$\alpha_{\text{нп пас}} \le [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}}; \qquad (4)$$

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

$$\alpha_{\text{нп вант}} \le [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{вн}}, \qquad (5)$$

де $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}}$, $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{вн}}$ – допустимі непогашені прискорення відповідно для пасажирських ($\pm 0{,}7$) і вантажних ($\pm 0{,}3$) поїздів, м/с^2.

Необхідно підкреслити, що критерій 0,7 м/с^2 є не тільки показником комфортабельності їзди для пасажирів. Усі іспити нового і модернізованого рухомого складу проводяться на основі вимог неперевищення такого прискорення, габарити в кривих прийняті також із умови нахилу кузова на ресорах при $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{зов}} = 0{,}7$ м/с^2 [7]. Таким чином, цей критерій забезпечує і комфортабельність і безпеку руху. За цим критерієм встановлюються і мінімально допустимі радіуси кругових кривих (див. рис. 3).

З урахуванням суміщеного руху пасажирських і вантажних поїздів на швидкісних напрямках залізниць, максимальне розрахункове підвищення не повинно перевищувати 90–110 мм. Величина максимального підвищення залежить від значення мінімального радіуса кривих, максимальної швидкості пасажирських і мінімальної швидкості вантажних поїздів та інші факторів. В свою чергу, від прийнятого підвищення залежить мінімальне значення радіусу. Розрахунки показали, що для вищеназваних умов можна рекомендувати мінімальний радіус

1200 м при встановленій максимальній швидкості 140 км/год і 1500 м – при швидкості 160 км/год.

Висновки

1. На основі аналізу даних, отриманих з використанням моделі і результатів експериментів установлено, що максимально імовірні кромочні напруження досягають 200–220 МПа в кривих радіусом 1000 м і не перевищують допустимого значення 240 МПа. При такому ж радіусі значення коефіцієнта стійкості рейко–шпальної решітки в колії з щебеневим баластом становить 0,7–0,8, що менше допустимого значення. Коефіцієнт горизонтальної динаміки колії, який можна вважати критерієм безпеки від зсуву рейко–шпальної решітки, не перевищує допустимого значення 0,4 в кривих радіусом 1000–1200 м. При таких радіусах забезпечується також стійкість коліс проти вкочення на головку рейки.

2. Визначальною умовою для визначення мінімального радіуса є неперевищення допустимих непогашених прискорень. А тому при виборі мінімально допустимого радіуса, в зв’язку з перебудовою кривої, достатньо обмежитись умовами неперевищення непогашених

прискорень, спрямованих від центра кривої при проходженні найбільш швидкого поїзда і неперевищення непогашених прискорень, спрямованих усередину кривої при проходженні вантажного поїзда з найменшою швидкістю. При такому радіусі кривої будуть забезпечені всі інші вимоги, тобто міцність елементів верхньої будови колії, стійкість рейко–шпальної решітки поперечному зсуву й стійкість коліс проти вкочення їхніх гребенів на головку рейки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дифференцированные технические требования для железнодорожного пути в сообщении Европа – Азия. Р 786/1.1-е изд. Утв. совещ. V Комиссии ОСЖД, Варшава, 1999. – 25 с.
2. Кирпа Г. Н., Корженевич И. П., Курган Н. Б. Динаміка транспортних сполучень та діяльність залізничного транспорту України за період 1991–2000 рр. / Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних заходів і поїздів. Праці Зах. наук. центру, Львів, 2000, № 8. – С. 67–70.
3. Железнодорожный путь и подвижной состав для высоких скоростей движения. / Под ред. М. А. Чернышова. – М.: Транспорт, 1964. – 272 с.
4. Желнин Г. Г., Молодиков В. А., Певзнер В. О. и др. Динамические качества и воздействие на путь скоростных электровозов ЧС4, ЧС2м, ВЛ40, тепловоза ТЭ109 и электровоза ВЛ8 с модернизированной экипажной частью / Труды ЦНИИ МПС, вып. 542. – М.: Транпорт, 1975. – С. 4–78.
5. Данович В. Д., Рейдемейстер А. Г., Халипова Н. В. Математическая модель взаимодействия пути и пассажирского вагона при движении по участкам произвольной кривизны // Транспорт: Сб. научн. тр. ДИИТа. Вып. 8 – Д., 2001. – С. 124–138.
6. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах) / Под ред. Н. В. Колодяжного. – М., Транпорт, 1976. – 416 с.
7. Певзнер В. О. Устройство пути в кривых: возвышение и отводы / Путь и путевое хозяйство, 2001, № 11. – С. 10–13.

Надійшла до редколегії 08.10.03.