

М. І. УМАНОВ, В. В. ЦИГАНЕНКО,
А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, Н. В. ХАЛШОВА, В. В. КОВАЛЬОВ (ДІПТ)

УСТАНОВЛЕННЯ ДОПУСТИМИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ ПО ДІЛЯНЦІ КОЛІЇ, ВІДРЕМОНТОВАНИЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ КОЛІЙНИХ МАШИН

Наведено результати експериментальних та теоретичних досліджень з визначення допустимих швидкостей руху поїздів по ділянках колії, відремонтованих в умовах тривалого закриття перегону із застосуванням колійних машин RM-80 (або аналогічної), ВПР, динамічного стабілізатора колії, та даються рекомендації відносно розробки технологічних процесів виконання ремонту колії з застосуванням вищезгаданої колійної техніки.

Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований по определению допустимых скоростей движения поездов по участкам пути, отремонтированных в условиях длительного закрытия перегона с применением путевых машин RM-80 (или аналогичной), ВПР, динамического стабилизатора пути, и даются рекомендации относительно разработки технологических процессов выполнения ремонта пути с применением вышеперечисленной путевой техники.

The article presents the outcomes of experimental and theoretical research on determination of allowed train running speeds on the segments of track repaired in conditions of long-time section closure, with the use of track maintenance machines RM-80 (or a similar one), VPR or Dynamic Track Stabilizer, and gives the guidelines on development of technological processes of track repair with use of the above-mentioned machinery.

Досі допустимі швидкості руху поїздів визначались в результаті виконання експериментальних досліджень напружень і деформацій типової рейкової колії під дією рухомого складу і теоретично розраховувались для інших типів верхньої будови колії.

На залізницях України допустима швидкість руху поїздів по відремонтованій колії регламентується «Інструкцією з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні колійних робіт». У ній відсутні рекомендації щодо допустимих швидкостей руху поїздів після ремонту колії з застосуванням динамічних стабілізаторів.

У 2003–2004 рр. у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДІПТ) виконувалися наукові дослідження з метою розробки рекомендацій щодо допустимих швидкостей руху поїздів на ділянках колії, відремонтованих в умовах тривалого закриття перегону.

Досліджувалися стан залізничної колії, процеси, що відбуваються в ній при виконанні робіт і їх вплив на динаміку рухомого складу, зміна стану баластової призми і колії в процесі ремонту і після завершення його окремих етапів, а також динаміка рухомого складу під час руху по ділянках колії залежно від технології й етапу виконання ремонту колії.

Для експериментальних досліджень була обрана дослідна ділянка на одному з перегонів Придніпровської залізниці, де планувалося вико-

нати модернізацію колії при тривалому закритті перегону. Випробування по визначенню жорсткості колії проводилися в кривій радіусом $R = 2150$ м після укладання там нової колії з інвентарними рейками типу Р65. Вертикальна жорсткість колії вимірялася в 41 перетині, при цьому перетини розташовувалися через 1 м. Дослідна ділянка знаходилася в середній частині кривої.

Відповідно до програми виміри жорсткості здійснювалися:

- після очищення щебеню машиною RM-80;
- після виправлення колії машиною ВПО-3000 (на першій половині дослідної ділянки) і виправлення колії машиною ВПР-02 (на другій половині дослідної ділянки);
- після повторного виправлення колії машиною ВПР-02 на всій ділянці;
- після першої стабілізації колії динамічним стабілізатором DGS-62N;
- після другої стабілізації колії динамічним стабілізатором DGS-62N;
- після третьої стабілізації колії динамічним стабілізатором DGS-62N.

Характеристики жорсткості рейкових ниток у вертикальній площині визначалися на основі експериментальних вимірів деформацій рейкових ниток від впливу навантажень, що прикладаються до рейок. При цьому вертикальні навантаження на рейку, що викликають осідання колії, передавалися на обидві рейкові нитки за

допомогою спеціальних гідравлічних навантажувальних пристроїв, змонтованих у вантажному вагоні-лабораторії ДПТУ. При вимірах вертикальна сила на одну рейку становила до 160 кН. Запис вертикальних прогинів рейок здійснювався за допомогою прогиномірів, укріплених на спеціальній рамі. Запис залежностей переміщень рейок від навантаження здійснювалася двокоординатними самописними приладами типу ПДС-021. У результаті на планшеті з'являлася петля гістерезису, що дозволяла одержати характеристики жорсткості підрейкової основи.

Для одержання характеристик жорсткості колії розшифровці піддавалася лінія завантаження. При цьому вона попередньо лінеалізувалася у межах 4...8 т. Як показали дослідження ДПТУ [1] величина жорсткості колії при

зміні навантаження в інтервалі 4...8 т добре відповідає її величині при зміні навантаження в інтервалі 0...16 т.

Значення жорсткостей рейкових ниток при вертикальному (β_z) вигині визначаються на основі вимірюваних вертикальних осьових прогинів підосви рейок по залежності:

$$\beta_z = \Delta P / \Delta z,$$

де ΔP – зміна вертикальної сили, (кН); Δz – зміна вертикального осьового прогину рейок (мм).

Отримані дані об'єднувалися й оброблялися статистично. У результаті обчислювалися середні значення жорсткості колії ($\bar{\beta}$) і її середньоквадратичне відхилення (S), що наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати статистичної обробки даних по жорсткості колії (кН/мм), отриманих після роботи колійних машин

Показники	RM-80	ВПО-3000	ВІР-02	ВПО-3000 + ВІР-02	ВІР-02 + ВІР-02	ВПО-3000 + ВІР-02 DGS-62N (1 раз)	ВІР-02 + ВІР-02 DGS-62N (1 раз)	ВПО-3000 + ВІР-02 DGS-62N (2 рази)	ВІР-02 + ВІР-02 DGS-62N (2 рази)	ВПО-3000 + ВІР-02 DGS-62N (3 рази)	ВІР-02 + ВІР-02 DGS-62N (3 рази)
$\bar{\beta}$	30	37	33	37	33	38	35	42	38	43	39
S	9,5	5,6	6,6	5,2	6,3	5,0	5,6	5,0	5,6	5,2	5,6

Крім того, виконувалися виміри стану дослідної ділянки колії вагоном-колієвимірювачем. Вони здійснювалися після виконання таких етапів ремонту:

- після виправлення колії машиною ВПО-3000 (на першій половині дослідної ділянки (перетини $-20...0$) і машиною ВІР-02 на другій половині дослідної ділянки (перетини $0...20$);
- після повторного виправлення колії машиною ВІР-02 на всій ділянці (перетини $-20...+20$);
- після першої стабілізації колії динамічним стабілізатором DGS-62N;
- після другої стабілізації колії динамічним стабілізатором DGS-62N;
- після третьої стабілізації колії динамічним стабілізатором DGS-62N;
- У результаті були отримані такі параметри стану колії:
 - ширина колії;
 - осідання колії;
 - положення колії в профілі та за рівнем;
 - положення колії в плані.

Також з метою визначення величини зміни положення поздовжнього профілю колії після проходу кожної з колійних машин (RM-80, ВІР-

02, ВПО-3000), а також після кожного з трьох робочих проходів машини DGS-62N, здійснювалися виміри стану колії за допомогою нівелірів.

Далі, в зв'язку з відкриттям перегону і пропуску по ньому поїздів, не вдалося продовжити спостереження за осіданнями колії на цій ділянці після пропуску графікових поїздів при різній кількості проходів стабілізатора. Тому з метою визначення величин осідань залізничної колії від графікових поїздів залежно від числа проходів DGS було виконано три цикли геометричного нівелювання на сусідній ділянці цього ж перегону, де слідом за першою ділянкою почали виконувати роботи з модернізації колії при тривалому закритті перегону.

Перший цикл – після укладання рейкошпальної решітки, очищення щебеню, постановки і стабілізації колії. При цьому виділялися ділянки, на яких стабілізація виконувалася 1 раз, 2 рази і 3 рази.

Другий цикл – після того, як по цій ділянці було пропущено близько 1 млн т вантажів.

Третій цикл – після того, як по цій ділянці було пропущено близько 2 млн т вантажів.

Результати вимірів, визначені по різниці в положенні точок, обмірюваних у першому і

другому циклах, наведені на рис. 1. Аналіз результатів показав, що в більшості випадків дійсно відбулися осідання колії. У декількох точках осідання мають знак (+), що свідчить про виконання роботи з виправлення колії в

деяких перетинах, що підтвердив місцевий шляховий майстер. Тому ці точки з розрахунків були виключені. Результати статистичної обробки результатів вимірів наведені в табл. 2.

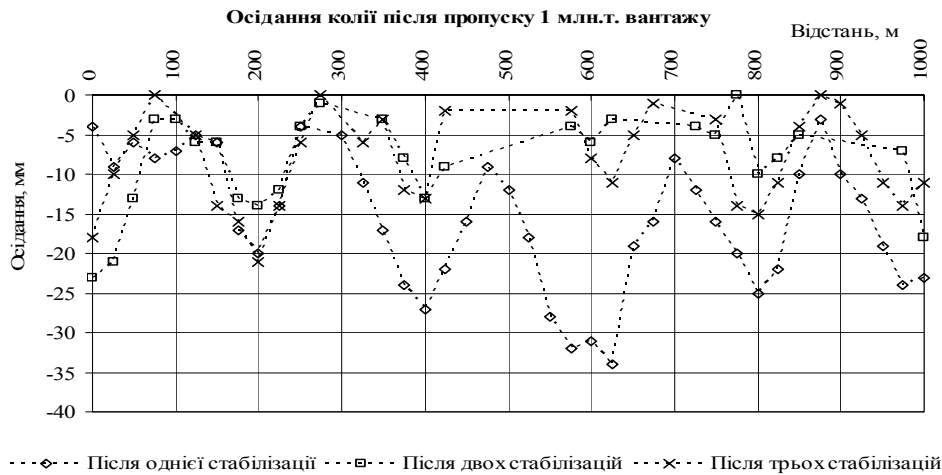


Рис. 1. Величини осідань за результатами геометричного нівелювання залізничної колії залежно від кількості стабілізацій

Таблиця 2

Осідання колії після пропуску графікових поїздів

№ км	Число проходів DGS	Середнє осідання колії після пропуску вантажу, млн т \bar{v}_i (мм)		Середньоквадратическое відхилення після пропуску вантажу, млн т s_i (мм)		Максимальне спостережене осідання колії після пропуску вантажу, млн т v_M^{CT} (мм)		Максимальні вірогідні осідання колії після пропуску вантажу, млн т v_M^B (мм)	
		1	2	1	2	1	2	1	2
964	1	17,4	2,3	8,0	2,1	34,0	6	37,4	7,6
965	2	7,2	1,7	4,5	1,1	18,0	4	18,6	4,5
966	3	7,8	1,9	5,6	1,7	21,0	8	21,8	6,2

Як видно з табл. 2, середня величина осідання колії після одного проходження динамічного стабілізатора і пропуску 1 млн т вантажу добре збігається з результатами досліджень [2], а після двох проходів і пропуску 1 млн т вантажу – з результатами [3]. Ці результати також показують, що осідання колії після одного проходження динамічного стабілізатора значно вище, ніж після його двох або трьох проходів. В останніх випадках осідання колії виявилися практично однаковими.

Це показує, що третю стабілізацію колії необхідно виконувати тільки після заміни інвентарних рейок плітьми і виправлення колії машинами типу ВПР, а інакше вона недоцільна.

Теоретичні дослідження з встановлення допустимих швидкостей руху поїздів на ділянці колії, відремонтованій із застосуванням сучасних колійних машин, виконувалися на основі

моделювання взаємодії колії з пасажирським і вантажним вагонами. У роботі були використані математичні моделі взаємодії колії з пасажирським і вантажним вагонами, раніше розроблені в ДПТі [4–6] й апробовані при виконанні роботи [7]. Ці моделі були доповнені спеціально розробленим математичним забезпеченням, що дозволяє враховувати вплив нерівножорсткості колії з урахуванням силової нерівності, а також додатковий вплив на колію рухомого складу, що має безперервні або ізольовані нерівності на колесах.

Додатково було розроблено математичне забезпечення, що дозволяє оцифровувати отримані нерівності колії для введення цих цифрових масивів у програму.

При виконанні теоретичних досліджень розраховувалися коефіцієнти горизонтальної ($K_{ДГ}$) і вертикальної ($K_{ДВ}$) динаміки і коефіцієнти стій-

кості проти вкочування гребеня колеса на рейку ($K_{ст}$). Аналізувалися максимальні значення коефіцієнтів горизонтальної і вертикальної динаміки і порівнювалися з нормативними значеннями. При оцінці результатів з розрахунку коефіцієнта стійкості виходили з того, що запас стійкості колеса від вкочування на головку рейки забезпечений, якщо значення коефіцієнта не менше 1,3 для вантажного вагона і 1,8 для пасажирського вагона. У протилежному разі вважали, що запас стійкості недостатній. Нормативні значення коефіцієнтів, що розраховувалися та аналізувалися наведені в [8].

Дослідження взаємодії колії і пасажирського вагона в пологих кривих показали, що за винятком коефіцієнта вертикальної динаміки в буксовому підвішуванні і коефіцієнта стійкості, інші досліджувані параметри не перевищують нормативних значень у всьому досліджуваному діапазоні швидкостей 50...90 км/год.

Одержані залежності для параметрів, за якими можливе обмеження швидкості руху, наведені на рис. 2–10 у вигляді графіків, де пунктирною лінією показані нормативні значення досліджуваних параметрів.

Залежності досліджуваних параметрів для пасажирського вагона на етапі після роботи машин ВПО і ВПР без виконання стабілізації приведено на рис. 2–3. На рис. 2 наведено графік зміни коефіцієнта вертикальної динаміки в буксовому ступені при швидкості руху пасажирського вагона 60 км/год. З нього видно, що при цій швидкості значення коефіцієнта досягає нормативного значення. На рис. 3 наведено графік зміни коефіцієнта стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки залежно від швидкості руху. Аналіз показує, що нормативні значення досягаються також при швидкості 60 км/год. Таким чином, допустима швидкість руху для пасажирських поїздів на цьому етапі обмежується величиною 60 км/год.

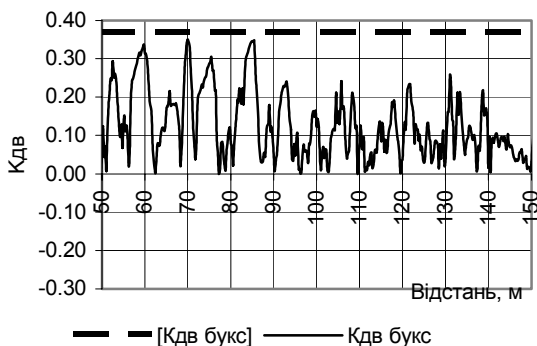


Рис. 2. Коефіцієнт вертикальної динаміки на буксовому ступені для пасажирського вагона при швидкості руху 60 км/год у пологих кривих на етапі після роботи машин ВПО і ВПР

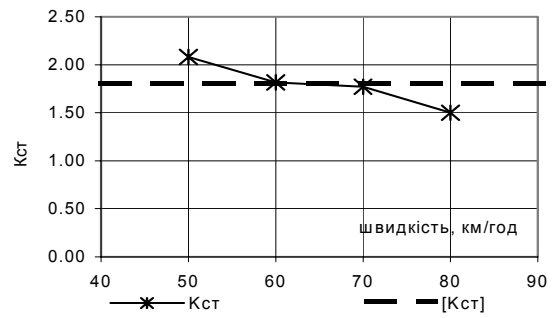


Рис. 3. Залежність коефіцієнта стійкості пасажирського вагона від швидкості руху в пологих кривих на етапі після роботи машин ВПО і ВПР

На рис. 4–5 наведені залежності досліджуваних показників на етапі після однієї стабілізації колії. Динамічні показники досліджувалися в діапазоні швидкостей 60...120 км/год. Наведений графік для коефіцієнта вертикальної динаміки на буксовому ступені підвішування (рис. 4) під час руху вагона зі швидкістю 100 км/год має точки, в яких досягаються нормативні значення коефіцієнта. Аналіз залежності коефіцієнта стійкості від швидкості руху (рис. 5) показав, що обмеження також настає при швидкості руху 100 км/год. Таким чином, на ділянці колії після однієї стабілізації допустима швидкість для пасажирських поїздів складає 100 км/год.

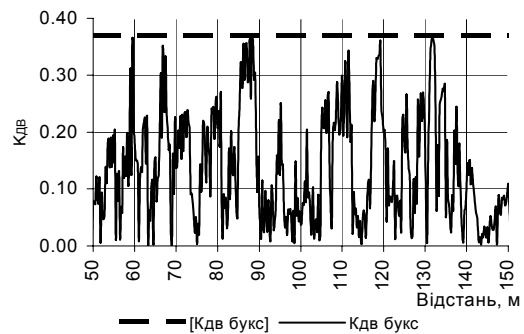


Рис. 4. Коефіцієнт вертикальної динаміки на буксовому ступені для пасажирського вагона при швидкості руху 100 км/год у пологих кривих на етапі після однієї стабілізації

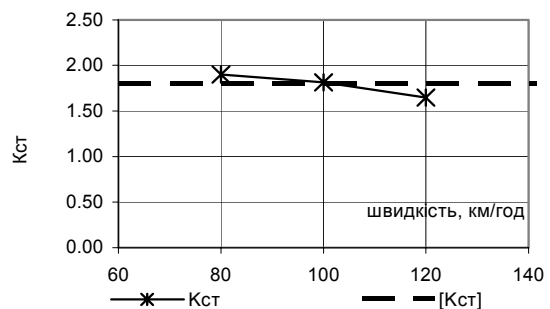


Рис. 5. Залежність коефіцієнта стійкості пасажирського вагона від швидкості руху в пологих кривих на етапі після однієї стабілізації

На рис. 6–8 наведені залежності досліджуваних показників на етапі після двох стабілізацій колії. Діапазон швидкостей складає 80...140 км/год. Графіки коефіцієнта вертикальної динаміки на буксовому і центральному ступенях (рис. 6–7) показують, що ці параметри досягають нормативних значень при швидкості 140 км/год. Обмеження швидкості за коефіцієнтом стійкості (рис. 8) настає при швидкості руху 120 км/год. Таким чином, допустима швидкість для пасажирських поїздів по колії після двох стабілізацій складає 120 км/год.

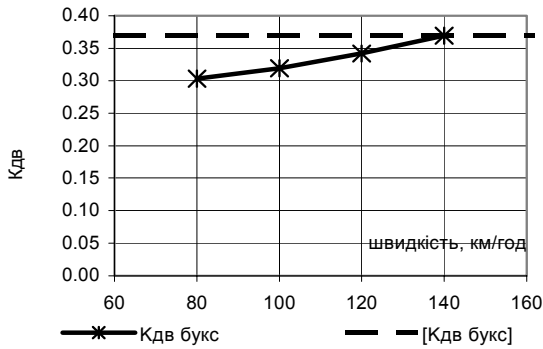


Рис. 6. Залежність коефіцієнта вертикальної динаміки на буксовому ступені пасажирського вагона від швидкості руху в пологих кривих на етапі після двох стабілізацій

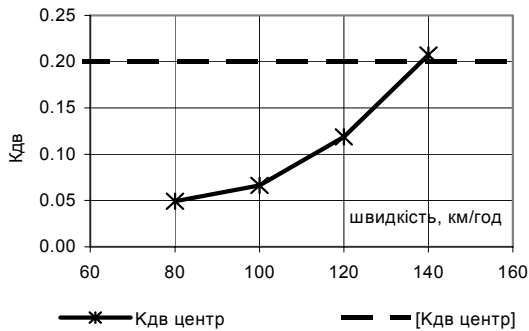


Рис. 7. Залежність коефіцієнта вертикальної динаміки на центральному ступені пасажирського вагона від швидкості руху в пологих кривих на етапі після двох стабілізацій

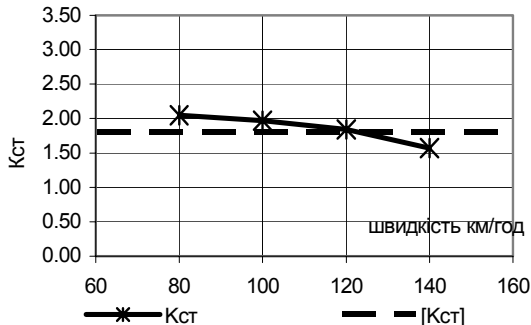


Рис. 8. Залежність коефіцієнта стійкості пасажирського вагона від швидкості руху в пологих кривих на етапі після двох стабілізацій

На рис. 9–10 наведені залежності динамічних показників на ділянці після двох стабілізацій колії і пропуску 1 млн т вантажів. Діапазон швидкостей – 60...140 км/год. Із графіків видно, що обмеження швидкості за значенням коефіцієнта вертикальної динаміки на буксовому ступені ресорного підвішування (рис. 10) і коефіцієнта стійкості (рис. 11) настає при швидкості руху 120 км/год.

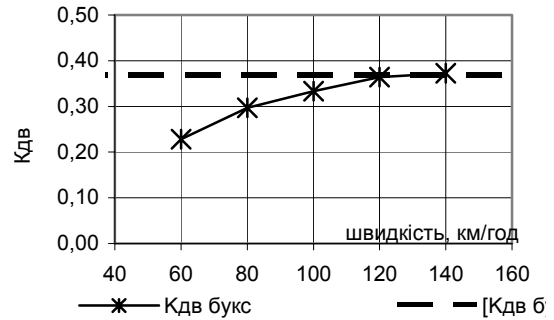


Рис. 9. Залежність коефіцієнта вертикальної динаміки на буксовому ступені пасажирського вагона від швидкості руху в пологих кривих на етапі після двох стабілізацій та пропуску 1 млн т вантажу

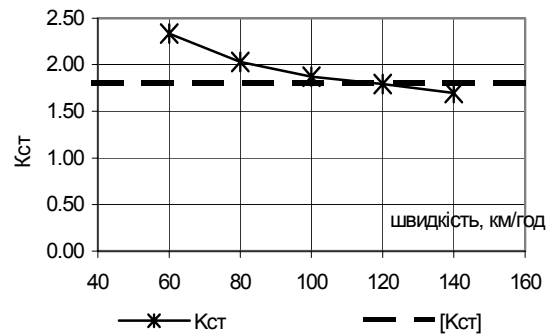


Рис. 10. Залежність коефіцієнта стійкості пасажирського вагона від швидкості руху в пологих кривих на етапі після двох стабілізацій і пропуску 1 млн тонн вантажів

Залежності, одержані при дослідженні взаємодії колії і порожнього вантажного вагона в пологих кривих, наведені на рис. 11–13. Оскільки коефіцієнти вертикальної і горизонтальної динаміки приймають значення значно нижчі нормативних (коефіцієнт вертикальної динаміки не перевищує 0,6 при нормативному значенні 0,85, а горизонтальної – 0,2 при нормативному значенні 0,4), то на рисунках наведені тільки графіки коефіцієнта стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки, за яким обмежувалися швидкості руху порожнього вантажного вагона.

Аналіз одержаних залежностей для коефіцієнта стійкості показав, що після всіх етапів робіт допустима швидкість руху порожнього вантаж-

ного вагона складає 60 км/год. Це обумовлено нестійкістю руху порожнього вантажного вагона в горизонтальній площині [9]. Тому на рис. 11–13 наведені залежності коефіцієнта $K_{ст}$ від швидкості та графіки процесів при швидкості руху 60 км/год і 80 км/год тільки на етапі робіт після двох стабілізацій колії.

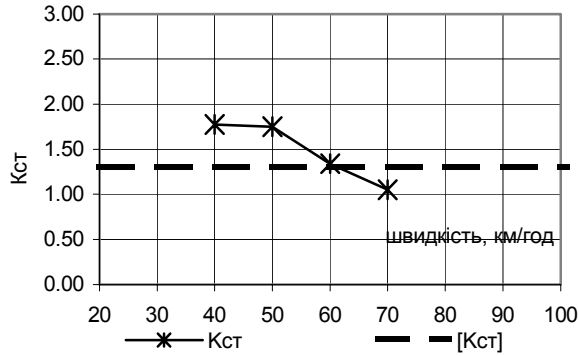


Рис. 11. Залежність коефіцієнта стійкості порожнього вантажного вагона від швидкості руху в пологих кривих на етапі після двох стабілізацій

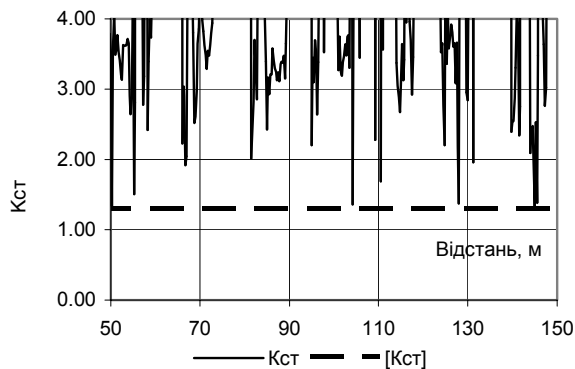


Рис. 12. Залежність коефіцієнта стійкості для порожнього вантажного вагона при швидкості руху 60 км/год на етапі після двох стабілізацій

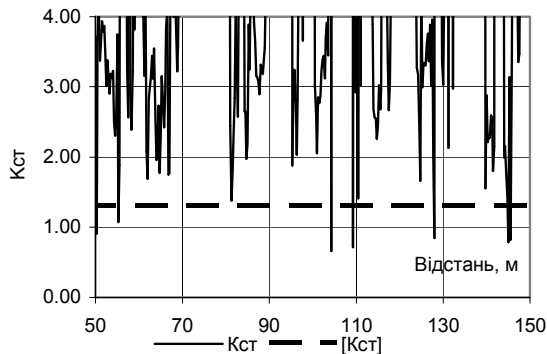


Рис. 13. Залежність коефіцієнта стійкості для порожнього вантажного вагона при швидкості руху 80 км/год на етапі після двох стабілізацій

Дослідження для навантаженого вантажного вагона виконувалися для всіх етапів робіт. В Україні для навантажених вантажних

вагонів з візками моделей 18-100 (ЦНИИ-ХЗ) і 18-101 з буксами на роликових підшипниках і навантаженням на вісь відповідно 235 і 220 кН встановлена допустима швидкість 90 км/год [11]. Тому розрахунки виконувалися при швидкості руху 90 км/год.

Результати розрахунків для навантаженого вантажного вагона після виправки при одній стабілізації колії наведені на рис. 14. Оскільки аналіз результатів показав, що коефіцієнти вертикальної і горизонтальної динаміки не перевищують допустимих значень, а мінімальні значення коефіцієнта стійкості досягають нормативних значень, то на рис. 14 наведені залежності тільки для коефіцієнта стійкості.

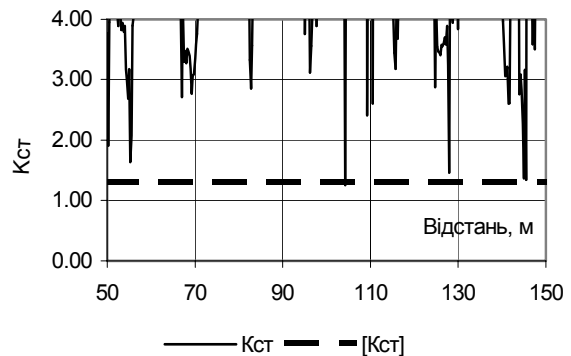


Рис. 14. Залежність коефіцієнта стійкості для навантаженого вантажного вагона при швидкості руху 90 км/год на етапі після однієї стабілізації

Виходячи з цього, для ділянок, де виконувалася одна або дві стабілізації колії, рекомендується встановити для навантаженого вантажного вагона допустиму швидкість руху 90 км/год.

На основі експериментальних та теоретичних досліджень сформульовані наступні практичні пропозиції.

При виконанні вимог [12] відносно стану колії після її ремонту допустима швидкість руху пасажирських вагонів в прямих та пологих кривих по колії, виправленій машинами типу ВПО і ВПР, після одного проходу динамічного стабілізатора складає 100 км/год, а для навантажених вантажних вагонів встановлюється рівною 90 км/год.

При виконанні вимог [12] відносно стану колії після її ремонту допустима швидкість руху пасажирських вагонів в пологих кривих по колії, виправленій машинами типу ВПО і ВПР, після двох проходів динамічного стабілізатора складає 120 км/год, а для навантажених вантажних вагонів встановлюється рівною 90 км/год відповідно до [9].

Аналіз отриманих результатів дозволяє сформулювати наступні пропозиції з технології виконання модернізації колії на довгостроково закритому перегоні.

Після заміни рейкошпальної решітки й очищення щебеню машиною РМ-80 необхідно виконати виправлення колії машиною типу ВПО, потім виправлення колії машиною типу ВПР, а потім її стабілізацію. Після заміни інвентарних рейок плітками і суцільного виправлення колії машинами типу ВПР необхідно виконати другу стабілізацію колії

Крім того, пропонується після пропуску 1 млн т вантажу виконати додаткове суцільне виправлення колії машинами типу ВПР і ще одну стабілізацію колії динамічним стабілізатором.

Це забезпечить сталу роботу колії під поїздами на тривалий термін, а також допустиму швидкість руху поїздів, більшу 120 км/год. Але для визначення конкретного значення допустимої швидкості руху поїздів у таких умовах необхідно додатково виконати спеціальні дослідження.

Розроблена методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів може бути застосована в інших випадках. Наприклад, після ремонту колії в кривих середнього та малого радіуса та ін.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Леванков И. С. О выборе расчетных значений модуля упругости подрельсового основания // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава: Сб. науч. та. ДИИТа. – Д.: 1967. – Вып. 88. – С. 83–88.
2. Гапеенко Ю. В. Стабилизация пути после глубокой очистки балласта // Путь и путевое хозяйство. 1997. – № 10. – С. 13–16.
3. Цикунов Ю. И. Динамический стабилизатор пути в технологических цепочках / Ю. И. Цикунов и др. // Путь и путевое хозяйство. 2000. – № 6, – С. 22–23.

4. Данович В. Д. О переносном движении вагонов по криволинейным участкам пути / В. Д. Данович, В. Г. Ленивенко, Н. В. Халипова. // Транспорт. – Д.: Нова ідеологія, 1999. – Вып. 4. – С. 31–37.
5. Данович В. Д. Уравнения движения железнодорожного экипажа в переходных и круговых кривых / В. Данович, А. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халипова // Транспорт. – Д.: Нова ідеологія, 2002. – Вып. 10. – С. 86–91.
6. Ландау Л. Д. Механика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – 210 с.
7. Уманов М. И. Экспериментальные исследования по воздействию на путь в переходных кривых при наличии несовпадений отводов кривизны и возвышения / М. И. Уманов, Л. Я. Воробейчик, Н. В. Халипова // Транспорт. – Д.: Нова ідеологія, 2001. – Вып. 10. – С. 106–111.
8. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: Гос НИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
9. Волошко Ю. Д. Особенности воздействия на путь длинносоставных поездов из порожних полувагонов / Ю. Д. Волошко, М. И. Уманов // Проблемы механики ж.-д. тр-та: Динамика, прочность и надежность подвижного состава: Тез. док. конф. – Д., 1992. – С. 48–49.
10. Данович В. Д. Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по железнодорожным путям колеи 1520 мм / В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, С. В. Мямлин и др. // Вестник Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. – Д.: Нова ідеологія, 2003. – Вып. 2. – С. 77–86.
11. Наказ № 233-Ц від 21.11.96 р. Про порядок планування, виконання, прийомки і забезпечення високої якості ремонтно-колійних робіт. 8 с.

Надійшла до редколегії 23.05.2005.