

М. И. УМАНОВ, В. В. ЦЫГАНЕНКО, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР (ДИИТ),  
Н. В. ХАЛИПОВА (Академия таможенной службы Украины)

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕМОНТА ПУТИ НА ДЛИТЕЛЬНО ЗАКРЫТОМ ПЕРЕГОНЕ И ПО УСТАНОВЛЕНИЮ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ ЭТИХ РАБОТ

У статті сформульовані пропозиції щодо технології виконання модернізації колії на довгостроково закритому перегоні. На основі аналізу результатів теоретичних і експериментальних досліджень сформульовані рекомендації з установлення допустимих швидкостей руху поїздів у кривих після виконання модернізації на довгостроково закритому перегоні.

В статье сформулированы предложения по технологии выполнения модернизации пути на длительно закрытом перегоне. На основе анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований сформулированы рекомендации по установлению допускаемых скоростей движения поездов в кривых после выполнения модернизации на длительно закрытом перегоне.

In clause offers on technology of performance of modernization of a way are formulated on is long the closed site. On the basis of the analysis of results theoretical and experimental researches recommendations on an establishment of admitted speeds of movement of trains in curves after performance of modernization are formulated on is long the closed site.

Исследования, проведенные ДИИТом в 2004 г., показали, что допускаемая скорость движения пассажирских и грузовых вагонов в прямых по пути, выправленному машинами типа ВПО и ВПР без выполнения динамической стабилизации, при реальных величинах неровностей, измеренных с помощью хорды длиной 20 м, т. е. при максимальной разнице стрел в соседних точках (через 10 м) около 33 мм, ограничивается величиной 40 км/ч [1]. Это соответствует существующему положению вещей и закреплено в инструкции [2]. Если уменьшить величину неровности до разницы стрел в соседних точках, равной 25 мм, то можно обеспечить допускаемую скорость движения пассажирских и грузовых вагонов в прямых, равной 60 км/ч. Это также соответствует существующему положению вещей и закреплено в инструкции [2]. Однако уже в пологой кривой радиуса 2000 м для достижения такой же скорости необходимо существенно ужесточить требования к состоянию пути в плане, т. е. для обеспечения скорости 60 км/ч необходимо уменьшить величину неровности в плане до разницы стрел в соседних точках, равной 16,5 мм. Эти требования в действующей инструкции пока не отражены.

Результаты исследований 2004 года также показали, что существующая технология модернизации пути на длительно закрытом перегоне, состоящая в том, что после очистки щебня машиной типа RM выполняется выправка

пути машинами типа ВПО или ВПР, а затем стабилизация пути динамическим стабилизатором, не обеспечивает достаточной стабильности пути. Результаты измерения осадок пути на опытном участке при различном количестве выправок пути и его стабилизации после открытия перегона и пропуска 1 и 2 млн. т груза приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, осадки пути после одного прохода динамического стабилизатора существенно (примерно в 2 раза) выше, чем после двух или трех его проходов. После двух или трех проходов динамического стабилизатора осадки пути оказались практически одинаковыми.

Эти результаты говорят о том, что третью стабилизацию во время работ по модернизации пути на длительно закрытом перегоне выполнять нецелесообразно.

После пропуска 2 млн. т груза осадки пути не зависят от количества его стабилизаций, они практически прекратились и их средняя величина на всех трех участках находилась в пределах 2...3 мм, что соответствует точности нивелировки.

О том, что существующая технология модернизации пути на длительно закрытом перегоне не обеспечивает достаточной стабилизации пути, свидетельствуют также результаты измерения вертикальной жесткости пути, приведенные в табл. 2.

Осадки пути после пропуска графиковых поездов

№ опытного участка	Число выправок и проходов DGS	Средняя осадка пути (мм) после пропуска груза, млн. т		Среднеквадратическое отклонение (мм) после пропуска груза, млн. т		Максимальная наблюдаемая осадка пути (мм) после пропуска груза, млн. т		Максимальная вероятная осадка пути (мм) после пропуска груза, млн. т	
		1	2	1	2	1	2	1	2
I	1	17,4	2,3	8,0	2,1	34,0	6	37,4	7,6
II	2	7,2	1,7	4,5	1,1	18,0	4	18,6	4,5
III	3	7,8	1,9	5,6	1,7	21,0	8	21,8	6,2

Таблица 2

Результаты статистической обработки данных по жесткости пути, полученных после пропуска следующих машин

Показатели	Наименование машин										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\bar{\beta}$ , кН/мм	27	37	33	38	34	42	37	45	40	46	41
$S_{\beta}$ , кН/мм	9,5	5,6	6,6	5,2	6,3	5,0	5,6	5,0	5,6	5,0	5,6
$\bar{U}$ , МПа	10,5	16	13,7	16,6	14,3	18,9	16	20,8	17,8	21,4	18,3
$s_u$ , МПа	3,7	2,4	2,7	2,3	2,6	2,3	2,4	2,3	2,5	2,3	2,5

Примечание: 1 – RM-80; 2 – ВПО-3000; 3 – ВПР-02; 4 – ВПО-3000 + ВПР-02; 5 – ВПР-02 + ВПР-02; 6 – ВПО-3000 + ВПР-02 DGS-62N (1 раз); 7 – ВПР-02 + ВПР-02 DGS-62N (1 раз); 8 – ВПО-3000 + ВПР-02 DGS-62N (2 раза); 9 – ВПР-02 + ВПР-02 DGS-62N (2 раза); 10 – ВПО-3000 + ВПР-02 DGS-62N (3 раза); 11 – ВПР-02 + ВПР-02 DGS-62N (3 раза).

Вертикальная жесткость пути измерялась с помощью вагона-лаборатории ДИИТа. При этом, вертикальные нагрузки на рельсы, вызывавшие их осадки, передавались на обе рельсовые нити с помощью специальных гидравлических нагрузочных устройств, смонтированных в грузовом вагоне-лаборатории. При измерениях вертикальная сила на один рельс доводилась до 160 кН. Запись вертикальных прогибов рельсов выполнялась с помощью прогибомеров, укрепленных на специальной рамке и опирающихся на неподвижные опоры. Запись зависимости перемещений рельсов от нагрузки осуществлялась двухкоординатными самописцами типа ПДС-021. В результате на планшете записывалась петля гистерезиса, которая позволяла получить жесткость подрельсового основания.

Для получения характеристик жесткости пути расшивке подвергалась линия загрузки. При этом она предварительно линеаризировалась в пределах 40...80 кН. Как показал опыт многолетних измерений жесткости пути, выполненных ДИИТом, вертикальная жесткость при изменении нагрузки в интервале 40...80 кН

дает результаты, близкие к жесткости при изменении нагрузки в интервале 0...160 кН [3].

Значения жесткости рельсовых нитей при вертикальном изгибе ( $\beta_z$ ) определялись по следующей зависимости:

$$\beta_z = \Delta P / \Delta z, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – изменение вертикальной силы, кН;  $\Delta z$  – изменение вертикального осевого прогиба рельсов, мм.

Расчеты модуля упругости подрельсового основания выполнялись согласно [4] по выражению

$$U_z = \sqrt[3]{\frac{(\beta_z)^4}{64EI_y}},$$

где  $U_z$  – вертикальный модуль упругости подрельсового основания;  $EI_y$  – параметры изгибной жесткости рельса.

Как видно из табл. 2, до открытия перегона вертикальная жесткость пути и вертикальный модуль его упругости были примерно в 1,5–2 раза ниже, чем на стабилизированном пути.

Анализ полученных результатов позволяет сформулировать предложения по технологии выполнения модернизации пути на длительно закрытом перегоне.

Существующая технология уплотнения балластной призмы при выполнении модернизации пути на длительно закрытом перегоне не обеспечивает отсутствие неравномерных осадков пути после окончания путевых работ. Поэтому предлагаются следующие изменения технологии выполнения работ.

После смены рельсошпальной решетки и очистки щебня машиной RM-80 необходимо выполнить выправку пути машиной типа ВПО, затем выправку пути машиной типа ВПР, а затем стабилизацию пути динамическим стабилизатором. После смены инвентарных рельсов плетями и сплошной выправки пути машинами типа ВПР необходимо выполнить вторую стабилизацию пути. Кроме того, предлагается после пропуска 1 млн т груза ввести дополнительную сплошную выправку пути машинами типа ВПР и еще одну стабилизацию пути динамическим стабилизатором.

Это обеспечит устойчивую работу пути под поездами на длительный срок.

Теоретические и экспериментальные исследования в данном направлении были продолжены ДИИТом в 2006 году.

При выполнении теоретических исследований были использованы математические модели взаимодействия пути с пассажирским и грузовым вагонами, разработанные в ДИИТе под руководством проф. В. Д. Дановича, и апробированные ранее при выполнении научно-исследовательских работ [5].

Также использовалось математическое обеспечение, позволяющее преобразовывать данные вагона-путеизмерителя по отступлениям пути в плане, профиле и по уровню в цифровой вид для использования в качестве исходных данных при теоретических расчетах динамических показателей подвижного состава [6; 7].

При теоретических исследованиях рассчитывались динамические показатели вагонов, в т. ч. коэффициенты горизонтальной и вертикальной динамики, а также коэффициенты устойчивости против вкатывания гребня колеса на рельс. Полученные результаты расчетов сопоставлялись с нормативными значениями указанных динамических показателей [8], которые приведены в табл. 3.

Экспериментальные исследования выполнялись в кривой радиусом 1000 м, где была проведена сплошная послеосадочная выправка пути и его стабилизация динамическим стабилизатором DGS после пропуска 1 млн. т груза. Они показали, что вертикальная жесткость пу-

ти и его модуль упругости в этом случае увеличиваются в 1,5–2 раза по сравнению с состоянием пути до открытия перегона.

Таблица 3

Допустимые значения динамических показателей вагонов

Коэффициенты		Пассажирский вагон	Грузовой вагон	
			груженный	порожний
вертикальной динамики	в буксовой ступени [Кбдв]	0,37	0,80	0,85
	в центральной ступени [Ксдв]			
горизонтальной динамики Кдг		0,25	0,40	0,40
устойчивости против вкатывания колеса на рельс [Куст]		1,80	1,30	1,30

При этом результаты экспериментальных исследований показали хорошую сходимость динамических показателей подвижного состава, полученных в результате экспериментальных и теоретических исследований в кривой радиуса 1000 м.

Поэтому для кривых других радиусов в 2006 году были выполнены только теоретические исследования по определению допускаемых скоростей движения поездов в кривых после выполнения модернизации на длительно закрытом перегоне.

Теоретические исследования взаимодействия пути и пассажирских вагонов выполнялись для кривых радиусом 500, 600, 800, 1000, 1500, 2000 м и в прямых. В результате были определены допустимые скорости движения поездов для состояния пути, соответствующего двум основным этапам работ на длительно закрытом перегоне (после выправки и одной стабилизации пути и после повторной выправки и второй стабилизации пути), а также для этапа после открытия перегона, пропуска по участку около 1 млн. тонн груза, сплошной послеосадочной выправки и третьей стабилизации пути.

Расчеты проводились при горизонтальных неровностях величиной 5 мм и 10 мм, что соответствует требованиям [9, 10], а также для промежуточного значения горизонтальной неровности 8 мм. Результаты исследований приведены в табл. 4–6.

Анализ результатов теоретических исследований взаимодействия пути и пассажирского вагона показывает увеличение уровня допустимых скоростей движения поездов с увеличением плотности балластной призмы, уменьшением максимальной величины неровности пути в плане и с увеличением радиусов кривых.

Таблица 4

**Допускаемые скорости движения поездов после одной стабилизации  
пути динамическим стабилизатором**

Радиус кривой, м	Величина неровности в плане, мм	Диапазон непогашенного ускорения		Диапазон возвышения, мм		Допустимая скорость, км/ч	Максимальная скорость, км/ч
		начальное	конечное	начальное	конечное		
прямая	5	–	–	–	–	160	160
	10	–	–	–	–	160	160
	16.5	–	–	–	–	100	100
2000	5	0,05	0,43	90	150	160	160
2000	10	0,28	0,48	60	30	130	135
1500	5	0,38	0,57	120	150	160	160
1500	10	0,34	0,52	30	0	100	100
1000	5	0,30	0,50	105	70	110	110
1000	8	0,26	0,44	60	30	90	90
1000	10	0,36	0,56	30	0	85	85
800	5	0,05	0,54	105	25	85	90
800	8	0,37	0,61	40	0	80	80
800	10	0,10	0,40	50	0	65	70
600	5	0,28	0,45	60	30	70	70
600	8	0,37	0,61	40	0	65	65
600	10	0,28	0,46	30	0	60	60
500	5	0,37	0,55	30	0	60	60

Таблица 5

**Допускаемые скорости движения поездов после двух стабилизаций пути  
динамическим стабилизатором**

Радиус кривой, м	Величина неровности в плане, мм	Диапазон непогашенного ускорения		Диапазон возвышения, мм		Допустимая скорость, км/ч	Максимальная скорость, км/ч
		начальное	конечное	начальное	конечное		
прямая	5	–	–	–	–	160	160
	10	–	–	–	–	160	160
	16.5	–	–	–	–	120	120
2000	5	0,05	0,43	90	150	160	160
2000	10	0,20	0,57	90	30	140	140
1500	5	0,38	0,57	120	150	160	160
1500	10	0,35	0,55	65	30	120	130
1000	5	0,20	0,56	150	90	120	125
1000	8	0,40	0,58	60	30	100	100
1000	10	0,42	0,62	35	0	90	95
800	5	0,37	0,51	80	60	95	100
800	8	0,48	0,56	35	20	85	85
800	10	0,43	0,61	30	0	80	80
600	5	0,37	0,60	75	35	80	80
600	8	0,30	0,58	55	10	70	70
600	10	0,30	0,54	40	0	65	65
500	5	0,30	0,55	40	0	70	70

**Допускаемые скорости движения поездов после пропуска 1 млн т, выправки пути и его третьей стабилизации динамическим стабилизатором**

Радиус кривой, м	Величина неровности в плане, мм	Диапазон непогашенного ускорения		Диапазон возвышения, мм		Допустимая скорость, км/ч	Максимальная скорость, км/ч
		начальное	конечное	начальное	конечное		
прямая	5	—	—	—	—	160	160
	10	—	—	—	—	160	160
2000	5	0,07	0,78	150	35	160	160
2000	10	0,57	0,68	50	30	150	150
1500	5	0,40	0,70	150	100	160	160
1500	10	0,46	0,68	90	55	140	145
1000	5	0,38	0,60	150	115	130	140
1000	8	0,56	0,77	90	55	120	130
1000	10	0,39	0,695	50	0	95	100
800	5	0,57	0,75	130	105	120	125
800	8	0,43	0,63	85	55	100	110
800	10	0,39	0,695	50	0	85	90
600	5	0,60	0,78	90	60	95	100
600	8	0,61	0,79	50	25	85	90
600	10	0,30	0,63	55	0	70	75
500	5	0,60	0,78	90	60	90	90

Это хорошо видно из рис. 1–6, где на рис. 1–3 приведены зависимости допускаемой скорости движения пассажирских вагонов от кривизны пути при горизонтальной неровности величиной 5, 8 и 10 мм при разной степени уплотнения балласта, а на рис. 4–6 приведены зависимости допускаемой скорости движения пассажирских вагонов в кривых радиусом 600...1000 м от величины горизонтальной неровности при разной степени уплотнения балласта.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

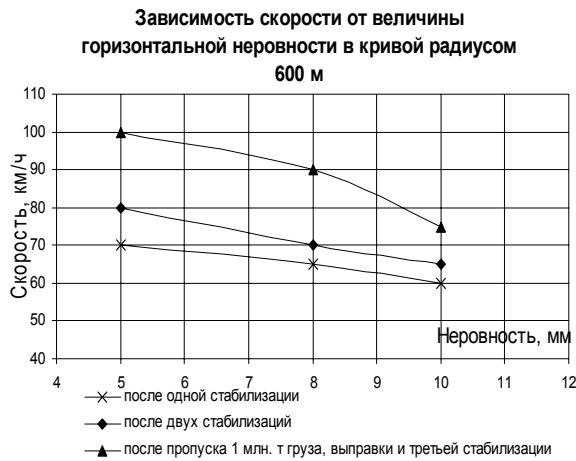


Рис. 4

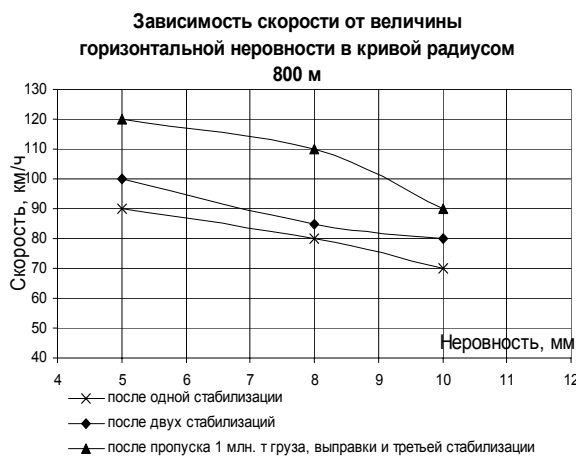


Рис. 5



Рис. 6

В результате исследований были предложены дополнения к инструкции [2], приведенные в табл. 7.

Для промежуточных значений радиусов кривых при соответствующей степени уплотнения балласта и величине горизонтальной неровности пути допускаемые скорости движения подвижного состава могут быть определены интерполированием по рис. 1–3.

Для промежуточных значений горизонтальной неровности пути в кривых радиусов 600, 800 или 1000 м при соответствующей степени уплотнения балласта допускаемые скорости движения подвижного состава могут быть определены интерполированием по рис. 4–6.

Таблица 7

**Допустимая скорость движения пассажирских поездов при использовании динамических стабилизаторов во время ремонта пути**

План пути (радиус кривой, м)	Допустимая скорость движения пассажирских поездов на разных этапах работ, км/ч		
	После одной стабилизации пути	После двух стабилизаций пути	После пропуска 1 млн.т, выправки и третьей стабилизации пути
прямая	100	120	установленная
2000	100	120	
1500	100	120	
1000	100	120	
800	85	95	
600	70	80	
500	60	70	

Анализ результатов исследований для груженых грузовых вагонов показал, что в кривых нет ограничений допустимой скорости по выбранным динамическим показателям и по коэффициенту устойчивости против вкатывания гребня колеса на головку рельса. Все величины исследованных показателей не превышали нормативных значений. Поэтому для груженых грузовых вагонов при определении допустимых скоростей движения следует пользоваться нормативным значением непогашенного ускорения ( $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$ ) или устанавливать их согласно инструкции [11].

Допустимая скорость движения поездов из груженых грузовых вагонов при использовании хотя бы одной динамической стабилизации после выправки пути машинами в профиле и плане (при величине неровности в плане не больше 10 мм) в прямых ограничивается 90 км/ч, а в кривых - ограничивается только уровнем непогашенного ускорения  $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$ .

Допустимая скорость движения поездов при нахождении в их составе порожних грузовых вагонов с тележками ЦНИИ-ХЗ-О во всех случаях ограничивается уровнем 65 км/ч из-за их неустойчивости по Ляпунову в горизонтальной плоскости.

Считаем целесообразным проведение дополнительных исследований и анализа скорости движения поездов в переходных кривых

для оптимизации их параметров и снятия возможных ограничений скорости движения в круговых кривых.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уманов М. І. Установлення допустимих швидкостей руху поїздів по ділянці колії, відремонтованій із застосуванням сучасних колійних машин / М. І. Уманов, В. В. Циганенко, О. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халіпова, В. В. Ковальов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 9. – Дніпропетровськ. – 2005. – С.81-87
2. Інструкція з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні колійних робіт / А. П. Татуревич, В. В. Рибкін, К. В. Мойсеєнко та ін. – Д.: Вид-во АТЗТ ВКФ «Арт-прес», 2001. – 132 с.
3. Леванков И. С. О выборе расчетных значений модуля упругости подрельсового основания. В кн: Исследование взаимодействия пути и подвижного состава // Труды Дн-ского ин-та инж. тр-та, – Д.: ДИИТ, 1967. – Вип. 88. – С. 83–88.
4. Ершков О. П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити// (Тр. ВНИИЖТ, 1960. Вип. 192). – С. 59–101.
5. Данович В. Д. Математическая модель взаимодействия пути и пассажирского вагона при движении по участкам произвольной кривизны В. Д. Данович, А. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халіпова // Транспорт. – Вип. 8. – Д.: Нова ідеологія. – 2001. – С. 124–138.
6. Курган Д. Н. К вопросу определения параметров кривой по ленте путеизмерительного вагона. Збірник наукових праць ДНУЗТ.– Д., 2002. – Вип.. 10. – С. 76–82.
7. Уманов М. Визначення впливу нерівножорсткості колії на показники взаємодії колії та рухомого складу / М. Уманов, О. Рейдемейстер, Н. Халіпова, В. Циганенко и др. // Вісник академії митної служби України. – Вип. 3. – Д.: АМСУ. – 2005. – С. 84–93.
8. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: Гос НИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
9. Правила приймання робіт після виконання модернізації і ремонтів колії та її облаштувань. ЦП/0140. – 2006. – 53 с.
10. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП/0138. К., 2006
11. 9. Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 (1524) мм. Затв. наказом УЗ від 18.06.2004 р. №479-ЦЗ. – 2004. – 50 с.

Поступила в редколлегию 04.01.2007.