

УДК 625.041.2

Переходные участки бесстыкового пути, примыкающие к стрелочным переводам

Е. И. Шехтман, В. А. Черняева, А. В. Наумов, А. А. Чупрынин

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Шехтман Е. И., Черняева В. А., Наумов А. В., Чупрынин А. А. Переходные участки бесстыкового пути, примыкающие к стрелочным переводам // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 3. С. 73–82. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-03-73-82

Аннотация

Цель: рассмотреть проблему взаимодействия стрелочных переводов с примыкающими к ним участками бесстыкового железнодорожного пути. **Методы:** статистический анализ данных. **Результаты:** проведен анализ результатов отечественных и зарубежных исследований, которые показывают, что на таких участках имеет место скачок с последующим выдавливанием материала меньшей жесткости и увеличением уклона упругой неровности, то есть возникает нежелательное явление — ударная волна. Сила удара зависит от массы подвижного состава и скорости движения, геометрической ровности рельсовой колеи и выбранных подходов к проектированию переходной зоны в целом. Скачок и в основном возникает из-за сжатия и выталкивания конструктивных слоев и материалов меньшей жесткости в подрельсовой зоне. Ударные волны, вызываемые неравножесткостью участков, имеют негативные последствия (появление отступлений по уровню, просадки, перекосы, повышение интенсивности износа рельсов, появление дефектов рельсов), которые увеличивают затраты на техническое обслуживание железнодорожного пути. Проведен анализ накопления остаточных деформаций, который показывает систематическое образование геометрических неровностей на примыкающих участках в зоне стрелочных переводов. **Практическая значимость:** с точки зрения устройства переходной зоны ожидаемыми преимуществами будут дифференциация конструктивных материалов и элементов и их влияние на достижение оптимальной градации жесткости железнодорожного пути в вертикальном и горизонтальном (поперечном, продольном направлениях), подбор оптимального соотношения механических свойств отдельных элементов конструкции верхнего строения. Следует также отметить необходимость проведения дополнительного технико-экономического обоснования целесообразности устройства переходных участков в зоне сопряжения пути и стрелочных переводов с учетом эксплуатационных особенностей отдельных железнодорожных линий.

Ключевые слова: железнодорожный путь, верхнее строение пути, рельсовая колея, стрелочный перевод, переходные участки, просадки железнодорожного пути, геометрическая неровность пути

Введение

На участках железнодорожного пути, примыкающих к стрелочным переводам, имеет место скачок с последующим выдавливанием материала меньшей жесткости и увеличением уклона упругой неровности, то есть возникает нежелательное явление — ударная волна. В данной работе под ударной волной понимается волна, распространяющаяся в твердой среде за счет действия упругих сил. При распространении такой волны в среде перемещаются малые упругие колебания. Источником упругой волны является удар. Сила удара зависит от массы подвижного

состава и скорости движения, геометрии рельсовой колеи и выбранного подхода к проектированию переходной зоны в целом. Скачок и в основном возникает из-за сжатия и выталкивания конструктивных слоев и материалов меньшей жесткости в подрельсовой зоне [1–11].

Возрастающее распространение бесстыкового пути, увеличение длины бесстыковых рельсовых плетей, а следовательно, продольных температурных сил, возникающих в рельсовых плетях, характерные особенности стрелочных переводов (неравножесткость рельсовых нитей) усугубляют ударно-динамическое взаимодействие подвижного состава и железнодорожного пути на участках примыкания к стрелочным переводам.

Согласно рекомендациям [3], для обеспечения устойчивости стрелочных переводов, снижения уровня продольных температурных сил, передаваемых с примыкающих участков бесстыкового пути, на стрелочный перевод с обеих сторон стрелочного перевода на длину 50–100 м должны устраиваться переходные участки. Особое требование предъявляется к балластной призме переходного участка. Она должна обеспечивать заданное сопротивление продольному сдвигу шпал в балласте. Переходные участки, с одной стороны, предназначены для обеспечения устойчивости стрелочных переводов, работающих в составе бесстыкового пути, с другой — вследствие систематического появления отклонений геометрии рельсовой колеи от нормативов в зоне примыкания к стрелочным переводам являются источником дополнительного динамического воздействия на примыкающий стрелочный перевод и плети бесстыкового пути.

Неравножесткость переходных участков

Железнодорожный путь представляет собой многоопорную конструкцию, поэтому обеспечить равножесткость каждой опоры практически невозможно. Кроме того, балластный слой вследствие разнообразия условий работы не позволяет обеспечивать одинаковую плотность подшпального основания. Неравножесткость пути, или неравноподатливость, как и жесткость пути, характеризует конструкцию железнодорожного пути и его состояние (рис. 1, 2).

Неравноупругость подрельсового основания вследствие в том числе различия в плотности подбивки балласта под шпалами вдоль пути обуславливает различия в сопротивлении поперечным перемещениям рельсошпальной решетки, вследствие чего создаются условия, способствующие нарушению плавности ее очертания в плане при воздействии на путь различных по величине горизонтальных сил. Перечисленные факторы обуславливают появление дополнительного силового взаимодействия железнодорожного пути и подвижного состава, что отрицательно сказывается на стабильности рельсошпальной решетки в поперечном и продольном направлении и неравномерности накопления остаточных деформаций и дополнительного динамического воздействия на путь.

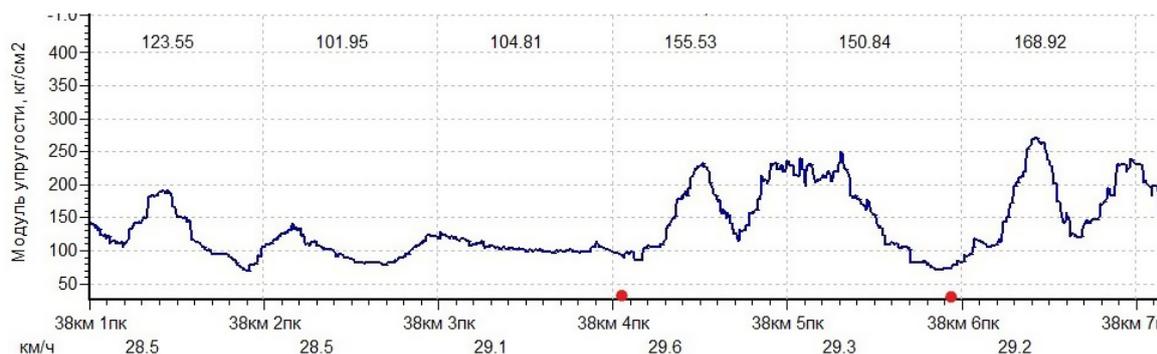


Рис. 1. Изменение вертикальной жесткости железнодорожного пути на участках в зоне примыкания к стрелочным переводам:
 ● — начало стрелочного перевода

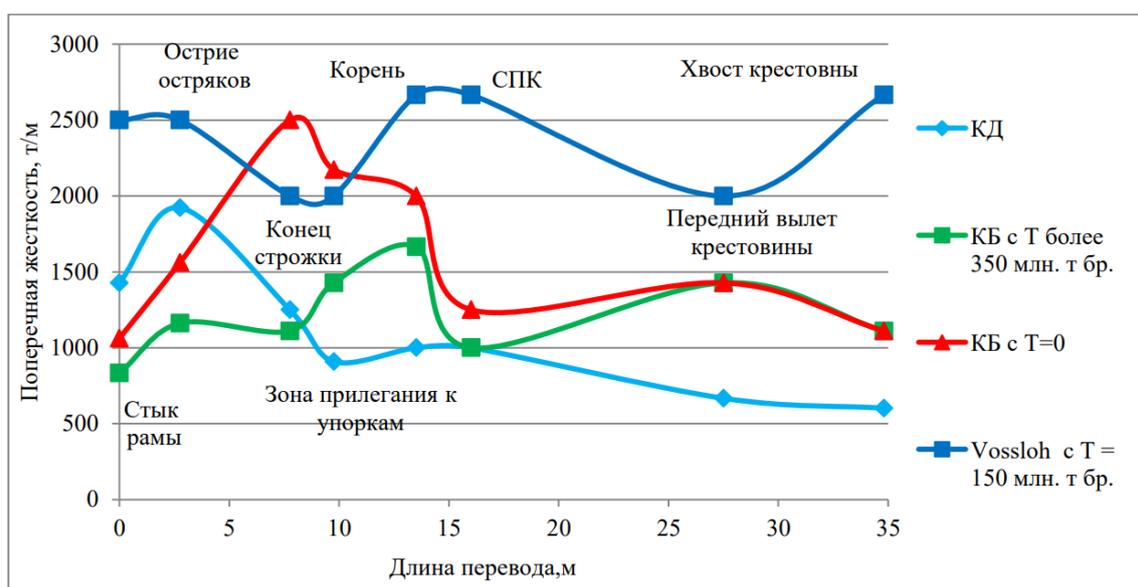


Рис. 2. Изменение поперечной жесткости в пределах стрелочного перевода [12]

Впервые неравножесткость рельсовой нити учтена в расчетах пути на прочность проф. М. Ф. Вериго. При определении дополнительного динамического давления неравножесткость оценивалась как динамический уклон, образующийся из-за влияния материала и формы элементов железнодорожного пути на упругость подрельсового основания.

В работе [13] рекомендованы следующие значения уклонов, образуемых неравножесткостью и соответствующие значения перепадов жесткости рельсовых нитей для эксплуатационной проверки.

В вертикальной плоскости:

$$i_y = 0,25 \dots 0,3.$$

В горизонтальной плоскости:

$$i_y = 0,6.$$

Остаточные деформации переходных участков

Ударные волны, вызываемые неравножесткостью участков, имеют негативные последствия (появление отступлений по уровню, просадки, перекосы, повышение интенсивности износа рельсов, появление дефектов рельсов), которые увеличивают затраты на текущее содержание железнодорожного пути.

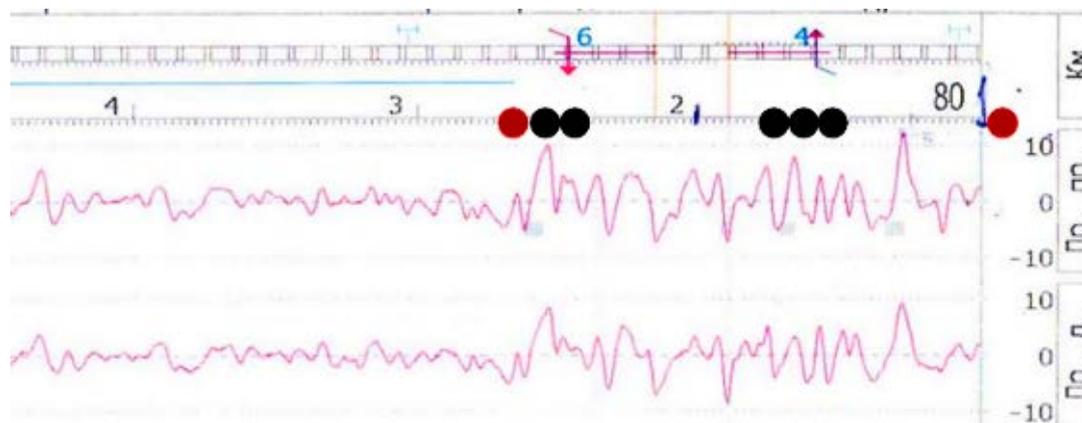


Рис. 3. Дефекты и деформации железнодорожного пути на участках в зоне примыкания к стрелочным переводам:

- — превышение конструктивной величины стыковых зазоров;
- — поверхностный дефект рельса

На рис. 3 изображены фрагменты лент вагона-путеизмерителя, явно иллюстрирующие неравномерность накопления остаточных деформаций на участке железнодорожного пути. Геометрические неровности зафиксированы на переходных участках в зоне стрелочных переводов.

Состояние геометрии рельсовой колеи увеличивает динамическую составляющую воздействия на путь, что также приводит к образованию дефектов рельсов (рис. 3). Для справки: введение тяжеловесных и длинносоставных поездов с 2010 по 2019 год вновь привело к росту дефектности рельсов по 11-му коду на 63 % (с 9039 шт. в 2010 году до 24 828 шт. в 2019 году).

Анализ накопления остаточных деформаций в годичном цикле показывает, что именно участок сопряжения в зоне стрелочного перевода имеет наибольшее количество выявленных неровностей (рис. 4).

Появление геометрических отступлений рельсовой колеи в одних и тех же местах (табл. 1) связано в том числе со следующими особенностями работы рельса под нагрузкой: в случае если рельс определенное время находится под поездной нагрузкой в изогнутом состоянии, происходит релаксация возникающих дополнительных собственных напряжений. Рельс переходит в устойчивое криволинейное состояние. После проведения выправочных работ (приведение рельса в прямолинейное положение) рельс стремится вернуться к своему устойчивому криволинейному

ТАБЛИЦА 1. Количество выявленных геометрических неровностей в годичном цикле

Расстояние, м	янв.	февр.	март	апр.	май	июнь	июль	август	сент.	окт.	нояб.	дек.	янв.	февр.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	
																					Стрелочный перевод
Участок сопряжения в зоне стрелочного перевода	220–230				1	1							1								
	230–240				1	1															
	240–250																1		1		
	250–260			1	2	2	1	1	1		1		1	2	1	1	1	1	2		1
	260–270	1	1			1	2	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1		2	1
	270–280				1																
	280–290	1		1	2		1	1	2	1				2	1						
	290–300						1														
	300–310					1					1			2							
	310–320						1								2	1		1			
	320–330				1									1		1					1
	330–340																				
340–350															1						
350–360																					
360–370															1						

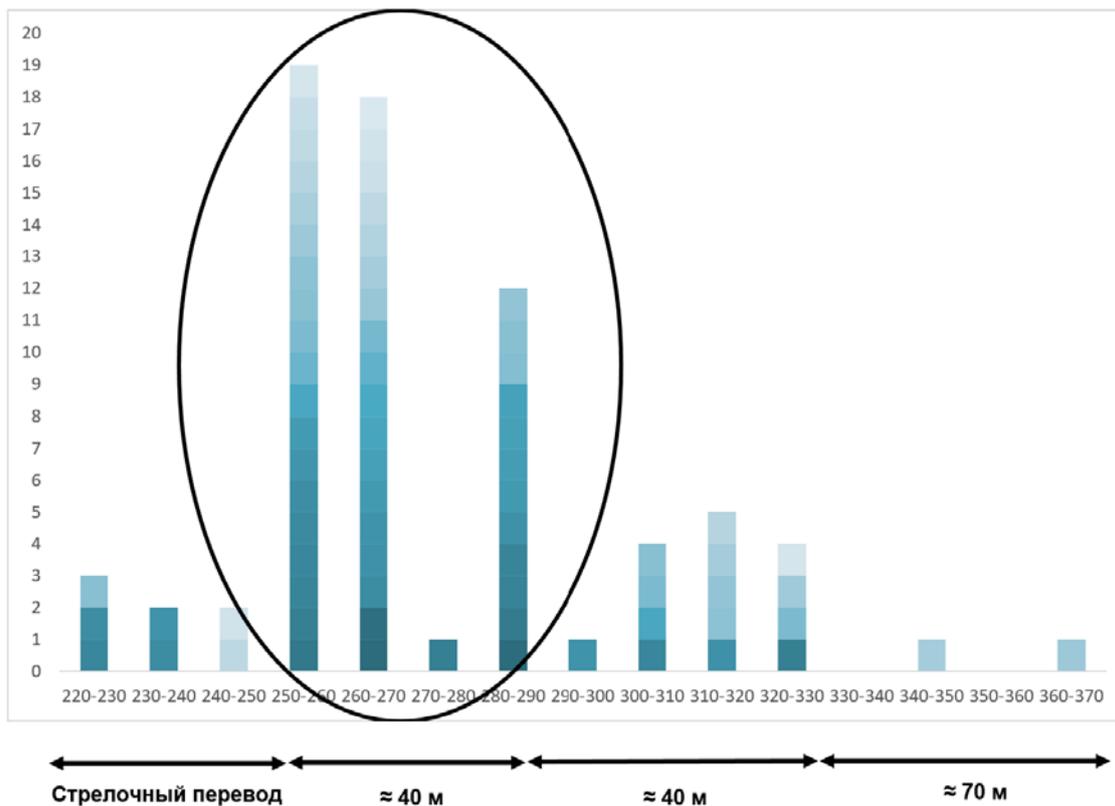


Рис. 4. Количество выявленных геометрических неровностей в годичном цикле

состоянию [6], что оказывает дополнительное воздействие на подшпальное основание и приводит к появлению его осадок.

Нарушения геометрии рельсовой колеи в профиле обусловлены в первую очередь осадками конструктивных слоев подшпального основания.

Участки в зоне примыкания к стрелочным переводам характеризуются наличием стыков. В зоне рельсового стыка ударно-силовое воздействие рельсошпальной решетки на подшпальное основание значительно выше, чем в середине звена, что способствует интенсификации развития остаточных деформаций (рис. 5).

Необходимость устройства переходных участков перед и после стрелочных переводов, целесообразность градации жесткости железнодорожного пути в вертикальном и горизонтальном (продольном) направлении, повышение характеристик сопротивления балластной призмы сдвигу предлагается оценивать по результатам проездов путеизмерительных средств, где в зоне примыкания к стрелочным переводам отмечается систематическое расстройство рельсовой колеи.

Длину переходного участка целесообразно определять для каждого конкретного объекта протяжением фактической зоны повышенных расстройств пути, а также скорости движения поездов. Для выделения таких зон могут быть использованы путеизмерительные средства, результаты испытаний нагрузочными комплексами.



Рис. 5. Просадка железнодорожного пути в зоне рельсового стыка
(фото автора)

Заключение

На участках железнодорожного пути, где по длине имеются зоны с различной интенсивностью накопления остаточных деформаций в вертикальной и горизонтальной плоскостях, в частности на переходных участках в зоне сопряжения со стрелочными переводами, стабилизация балластной призмы геосинтетическими материалами может дать положительный эффект.

Стабилизация балластной призмы геосинтетическими материалами, вероятнее всего, позволит обеспечить заданное сопротивление продольному и поперечному сдвигу шпал в балласте, снизить неравножесткость участков сопряжения, что приведет к уменьшению неравномерности интенсивности накопления остаточных деформаций в вертикальной и горизонтальной плоскостях, в том числе в условиях тяжеловесного движения поездов.

Следует также отметить необходимость проведения дополнительного технико-экономического обоснования необходимости (отсутствия необходимости) проектирования переходных участков переменной жесткости в зоне сопряжения пути и стрелочных переводов с учетом эксплуатационных особенностей отдельных железнодорожных линий.

Библиографический список

1. Безруков М. В. Соединение рельсовых плетей бесстыкового пути со стрелочными переводами: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1999. 131 с.
2. СП 119.13330.2017. Свод правил. Железные дороги колеи 1520 мм: актуализированная редакция СНиП 32-01-95 (утв. и введ. в действие Приказом Минстроя России от 12.12.2017 № 1648/пр; ред. от 24.12.2019).
3. Рекомендации по обеспечению устойчивости стрелочных переводов, работающих в составе бесстыкового пути. Р.709/11. III изд. разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 13–15 мая 2014 г. (утв. совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 21–24 октября 2014 г.) / Комитет ОСЖД, Варшава.

4. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути (утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 № 2544р).
5. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути (утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 № 2288р).
6. Шахунянец Г. М. Железнодорожный путь. М.: Трансжелдориздат, 1961. 615 с.
7. Вериго М. Ф. Новые методы в установлении норм устройства и содержания бесстыкового пути / ВНИИЖТ. М.: Интекс, 2000. 184 с.
8. Першин С. П. Метод расчета устойчивости бесстыкового пути // Труды МИИТ. Вып. 147: Путь и путевое хозяйство. М., 1962. С. 28–97.
9. Коган А. Я. Продольные силы в железнодорожном пути // Труды ВНИИЖТ. Вып. 332. М.: Транспорт, 1967. 166 с.
10. Глюзберг Б. Э. Влияние параметров гребней вагонных колес на безопасность движения по стрелочным переводам // ВНИИЖТ. 2018. № 2. С. 67–76. DOI: 10.21780/2223-9731-2018-77-2-67-76. EDN XMGDDN.
11. Hodas S., Vrchofsky E., Pultznerova A. Monitoring and Expertise of Sections with a Sudden Change in Railway Track Stiffness — Transition Zones of Bridges // Buildings. 2023. No. 13 (8). P. 2056. DOI: 10.3390/buildings13082056.
12. Егоров М. А. Конструктивно-технологические и организационные мероприятия повышения стабильности геометрии рельсовой колеи на стрелочных переводах: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2017. 177 с.
13. Зак М. Г., Ершков О. П., Ткалов Е. Д. Теоретический анализ влияния расстройств рельсовой колеи на динамическое воздействие подвижного состава и пути и оценка неравножесткости рельсовых нитей // Труды ВНИИЖТ. 1980. Вып. 628. С. 67–101.

Дата поступления: 07.07.2024

Решение о публикации: 23.08.2024

Контактная информация:

ШЕХТМАН Евгений Иосифович — докт. воен. наук, профессор; director@sptgt.ru

ЧЕРНЯЕВА Виктория Андреевна — канд. техн. наук, доцент; chernyaeva@pgups.ru

ЧУПРЫНИН Александр Андреевич — аспирант; alechup93@inbox.ru

НАУМОВ Андрей Владимирович — студент; naumov_andrei@list.ru

Transitional sections of continuous track adjacent to turnouts

E. I. Shehtman, V. A. Chernyaeva, A. V. Naumov, A. A. Chuprinin

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Shehtman E. I., Chernyaeva V. A., Naumov A. V., Chuprinin A. A.* Transitional sections of continuous track adjacent to turnouts // Bulletin of scientific research results. 2024. Iss. 3. P. 73–82. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-03-73-82

Abstract

Purpose: consider the problem of interaction between turnouts and adjacent sections of a seamless railway track. **Methods:** statistical data analysis. **Results:** an analysis of the results of domestic and foreign studies has been carried out, which show that in such areas there is a jump with subsequent extrusion of material of less rigidity and an increase in the slope of the elastic unevenness, i. e., an undesirable phenomenon occurs — a shock wave. The impact force depends on the mass of the rolling stock and the speed of movement, the geometric evenness of the rail track and the chosen approaches to designing the transition zone as a whole. Jump and mainly occurs due to compression and pushing out of structural layers and materials of lower rigidity in the under-rail area. The impact force depends on the mass of the rolling stock and the speed of movement, the geometric evenness of the rail track and the chosen approaches to designing the transition zone as a whole. Jump and mainly occurs due to compression and pushing out of structural layers and materials of lower rigidity in the under-rail area. Shock waves caused by uneven rigidity of sections have negative consequences (the appearance of deviations in level, subsidence, distortions, increased intensity of rail wear, the appearance of rail defects), which increase the cost of maintenance of the railway track. An analysis of the accumulation of residual deformations has been carried out, which shows the systematic formation of geometric irregularities in adjacent areas in the turnout area. **Practical importance:** from the point of view of the design of the transition zone, the expected advantage will be the differentiation of structural materials and elements and their influence on achieving the optimal gradation of railway track rigidity in the vertical and horizontal (transverse, longitudinal directions), selection of the optimal ratio of the mechanical properties of individual elements of the superstructure structure. It should also be noted that it is necessary to conduct an additional feasibility study of the feasibility of constructing transition sections in the area where the track and switches meet, taking into account the operational features of individual railway lines.

Keywords: railway track, superstructure of the track, rail track, turnouts, transition sections, subsidence of the railway track, geometric unevenness of the track

References

1. Bezrukov M. V. Soedinenie rel'sovyyh pletej besстыkovogo puti so strelochnymi perevodami: diss. ... kand. tehn. nauk. M., 1999. 131 s. (In Russian)
2. SP 119.13330.2017. Svod pravil. Zheleznye dorogi kolei 1520 mm: aktualizirovannaya redakciya SNiP 32-01-95 (utv. i vved. v dejstvie Prikazom Ministroya Rossii ot 12.12.2017 № 1648/pr; red. ot 24.12.2019). (In Russian)
3. Rekomendacii po obespecheniyu ustojchivosti strelochnyyh perevodov, rabotayushhih v sostave besстыkovogo puti. R.709/11. III izd. razrabotano ekspertami Komissii OSZhD po infrastrukture i podvizhnomu sostavu 13–15 maya 2014 g. (utv. soveshhaniem Komissii OSZhD po infrastrukture i podvizhnomu sostavu 21–24 oktyabrya 2014 g.) / Komitet OSZhD, Varshava. (In Russian)

4. Instrukciya po ustrojstvu, ukladke, sodержaniyu i remontu besstykovogo puti (utv. rasporyazheniem OAO "RZhD" ot 14.12.2016 № 2544r). (In Russian)
5. Instrukciya po tekushhemu sodержaniyu zheleznodorozhnogo puti (utv. Rasporyazheniem OAO "RZhD" ot 14.11.2016 № 2288r). (In Russian)
6. Shahunyancz G. M. Zheleznodorozhnyj put'. M.: Transzheldorizdat, 1961. 615 s. (In Russian)
7. Verigo M. F. Novye metody v ustanovlenii norm ustrojstva i sodержaniya besstykovogo puti / VNIIZhT. M.: Inteks, 2000. 184 s. (In Russian)
8. Pershin S. P. Metod rascheta ustojchivosti besstykovogo puti // Trudy MIIT. Vyp. 147: Put' i putevoe hozyajstvo. M., 1962. S. 28–97. (In Russian)
9. Kogan A. Ya. Prodolnye sily v zheleznodorozhnom puti // Trudy VNIIZhT. Vyp. 332. M.: Transport, 1967. 166 s. (In Russian)
10. Glyuzberg B. E. Vliyanie parametrov grebnej vagonnyh koles na bezopasnost' dvizheniya po strelochnym perevodam // VNIIZhT. 2018. No. 2. S. 67–76. DOI: 10.21780/2223-9731-2018-77-2-67-76. EDN XMGDDN. (In Russian)
11. Hodas S., Vrchovsky E., Pultznerova A. Monitoring and Expertise of Sections with a Sudden Change in Railway Track Stiffness — Transition Zones of Bridges // Buildings. 2023. № 13 (8). P. 2056. DOI: 10.3390/buildings13082056.
12. Egorov M. A. Konstruktivno-tehnologicheskie i organizacionnye meropriyatiya povysheniya stabil'nosti geometrii rel'sovoj kolei na strelochnykh perevodah: diss. ... kand. texn. nauk. M., 2017. 177 s. (In Russian)
13. Zak M. G., Ershkov O. P., Tkalov E. D. Teoreticheskij analiz vliyaniya rasstrojstv rel'sovoj kolei na dinamicheskoe vozdejstvie podvizhnogo sostava i puti i ocenka neravnozhestkosti rel'sovykh nitej // Trudy VNIIZhT. 1980. Vyp. 628. S. 67–101. (In Russian)

Received: 07.07.2024

Accepted: 23.08.2024

Author's information:

Evgenii I. SHEHTMAN — Doctor of Military Sciences, Professor; director@sptgt.ru

Victoria A. CHERNYAEVA — PhD in Engineering, Associate Professor; chernyaeva@pgups.ru

Aleksandr A. CHUPRININ — Postgraduate Student; alechup93@inbox.ru

Andrey V. NAUMOV — Student; naumov_andrei@list.ru