

УДК 625.12

Оценка интенсивности накопления остаточных деформаций основной площадки земляного полотна на участках обращения тяжеловесных и длинносоставных поездов

**А. В. Романов, А. А. Киселев, А. А. Мирошник, М. В. Бушуев,
Н. В. Канашин, Д. А. Афонин, И. А. Карпов**

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

Для цитирования: Оценка интенсивности накопления остаточных деформаций основной площадки земляного полотна на участках обращения тяжеловесных и длинносоставных поездов / Романов А. В., Киселев А. А., Мирошник А. А., Бушуев М. В., Канашин Н. В., Афонин Д. А., Карпов И. А. // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 1. С. 265–273. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-01-265-273

Аннотация

Цель: оценка интенсивности накопления остаточных деформаций основной площадки земляного полотна на участках обращения тяжеловесных и длинносоставных поездов, сформированных из вагонов с осевой нагрузкой до 25 тс. **Методы:** измерения остаточных деформаций основной площадки земляного полотна производились геодезическими методами путем проложения замкнутого нивелирного хода. Для этого каждый экспериментальный участок был оборудован грунтовыми марками, установленными на основную площадку земляного полотна и реперами. Измерения проводились с 30.05.2022 года по 08.11.2023 года. **Результаты:** установлены зависимости накопления остаточных деформаций земляного полотна от пропущенного тоннажа при различных конструкциях железнодорожного пути, условиях эксплуатации и инженерно-геологических условиях. **Практическая значимость:** предложены мероприятия по снижению интенсивности накопления остаточных деформаций основной площадки земляного полотна.

Ключевые слова: тяжеловесные и длинносоставные поезда, взаимодействие пути и подвижного состава, остаточные деформации основной площадки земляного полотна, геосинтетические материалы, подбалластные защитные слои.

Введение

Растущие объемы перевозок на основных направлениях сети ОАО «РЖД» ставят задачу перед путевым хозяйством снизить затраты на обслуживание и ремонт железнодорожного пути и увеличить межремонтный ресурс для различных условий эксплуатации. Ведущие научно-исследовательские институты, инжиниринговые центры и транспортные университеты ведут работу по созданию новой конструкции пути, обеспечивающей

наработку 2,5 млрд т брутто пропущенного тоннажа. При этом вопрос обеспечения прочности и устойчивости конструкции, то есть по первому предельному состоянию, на сегодняшний день полностью решен.

На сети дорог продолжает расти протяженность участков с деформациями земляного полотна, в кривых участках пути радиусом менее 650 м ресурс рельсов не достигает 200 млн т брутто. Обеспечение требуемой

деформативности по второму предельному состоянию, повышение ресурса рельсов и колес возможно путем оптимизации взаимодействия в системе «колесо — рельс» [1]. На уровень силового воздействия влияет множество факторов, одним из которых является наличие неровностей на пути, которые формируют соответствующие силы инерции от подвижного состава. Неровности на пути формируются за счет деформаций верхнего строения пути (подрельсовые прокладки и балласт) и основной площадки земляного полотна [2].

На интенсивность накопления остаточных деформаций земляного полотна влияет уровень вибродинамического воздействия [3]. Модуль деформации, угол внутреннего трения и удельное сцепление грунтов основной площадки земляного полотна при действии вибродинамической нагрузки может снижаться на 30–40% [4, 5].

Целью данной работы является определение интенсивности накопления остаточных деформаций основной площадки земляного полотна (далее — ОПЗП) на особогрузонапряженных участках Октябрьской железной дороги.

Описание экспериментальных участков

Для оценки интенсивности накопления остаточных деформаций ОПЗП были выбраны три участка на направлении Мга — Гатчина — Веймарн — Усть-Луга, на котором обращаются тяжеловесные и длинносоставные поезда, а также один контрольный участок на направлении Веймарн — Ивангород, на котором эти поезда не обращаются. Характеристики участков представлены в табл. 1.

Участки № 1 и № 2 расположены на насыпи высотой 1,95 м и 4,5 м соответственно, сложенной из мелкого песка. Участок № 3 расположен в выемке глубиной 1 м, в основании которой залегают мелкие пески толщиной до 1 м. Контрольный участок № 4 расположен на насыпи высотой 1,8 м, сложенной из песка с примесью щебня.

Каждый экспериментальный участок был оборудован опорной геодезической высотной сетью. По три грунтовых репера были установлены на расстоянии не менее 50 м от оси пути, глубина погружения зависела от местных условий и составила от 2 до 5 м. На основную площадку земляного полотна были установлены грунтовые деформационные

ТАБЛИЦА 1. Характеристики экспериментальных участков

Характеристики участка	Участок № 1	Участок № 2	Участок № 3	Участок № 4 (контрольный)
Грузонапряженность, млн т·км брутто / км в год	185,5	139,9	139,9	15,4
Скорость движения, км/ч	80/80	80/60	80/80	100/80
Класс пути	1ОП	1ОП	1ОП	3ГШ
Пропущенный тоннаж, млн т брутто	208,8	919,84	785,2	739,1
Радиус кривой, м	610	605	620	625
Верхнее строение пути				
– конструкция пути	Бесстыковой путь, Р65			
– промежуточное скрепление	АРС-4			КБ-65
– балласт	Щебеночный до 50 см			
– защитный слой	ЩПС	ЩПС	ЩПС	–
– разделительный слой	геотекстиль, геосетка		геосетка	–

марки как в продольном, так и поперечном направлении. На рис. 1 представлена типовая схема расположения грунтовых марок на экспериментальном участке.

Японский метод нивелирования

Согласно пункту 4.2 ГОСТ 24846-2019 [6], класс точности измерения вертикальных деформаций основной площадки земляного полотна установлен III, то есть допустимая погрешность измерения вертикальных деформаций составляет 5 мм. Таким образом, допустимая погрешность определения высот грунтовых деформационных марок не должна превышать 3,5 мм, а положение высотной опорной сети следует выполнять по классу точности на ступень выше, чем класс точности деформационной сети, то есть по II классу.

Согласно ГОСТ 24846-2019 [6], в каждый цикл наблюдений выполнялся контроль стабильности опорных реперов в кусте. Учиты-

вая, что удаленность друг от друга реперов в кусте составляет не более 30 м, нивелирование выполнялось с одной станции высокоточным цифровым нивелиром Trimble DiNi 03 в комплекте с инварной рейкой LD12 с соблюдением равенства плеч. Паспортная средняя квадратическая погрешность определения превышения на 1 км двойного хода по инварной рейке со штрихкодовой разметкой составляет 0,3 мм.

Нивелирование грунтовых деформационных марок выполнялось по замкнутому ходу в двух направлениях нивелиром Trimble DiNi 03 и инварной рейкой LD12 при двух горизонтах инструмента на каждой станции нивелирования. Нивелирование выполнялось из середины, разности плеч на станции не превышали 1 м, а накопление неравенства плеч — 5 м. Часть марок использовалась как связующая точка, и превышения по ним были получены дважды: в прямом и обратном



Рис. 1. Схема расположения грунтовых деформационных марок и опорных реперов на экспериментальном участке

направлениях. Отклонения в полученных значениях не превысили 0,8 мм.

Перед началом работы, за 45 мин до начала наблюдений, нивелир устанавливался на штативе в тени, для того чтобы он принял температуру окружающего воздуха, и затем выполнялось определение угла i двойным нивелированием по японскому методу в следующей последовательности (рис. 2) [7]. На равнинном участке местности в точках A и B , находящихся на расстоянии всего $S = 30$ м друг от друга, устанавливают нивелирные башмаки или забивают костыли. На этих точках ставят отвесно рейки. Первая станция нивелирования расположена посере-

дине, между точками A и B (станция 1). Приводят нивелир в рабочее положение 2 и берут отсчеты a_1, b_1 . Переносят нивелир за точку B на расстоянии $S_1 = 3$ м и после приведения его в рабочее положение берут отсчеты по рейкам b_2, a_2 . Значение угла i вычисляют по формуле:

$$i = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{S} = \frac{h_2 - h_1}{2}.$$

Результаты измерений

В период с 30.05.2022 года по 08.11.2023 года проведены 23 цикла геодезических измерений остаточных деформаций ОПЗП. Результаты представлены на рис. 3–7.

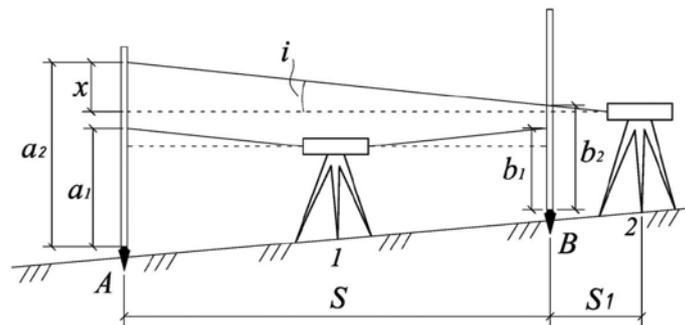


Рис. 2. Схема определения угла по японскому методу

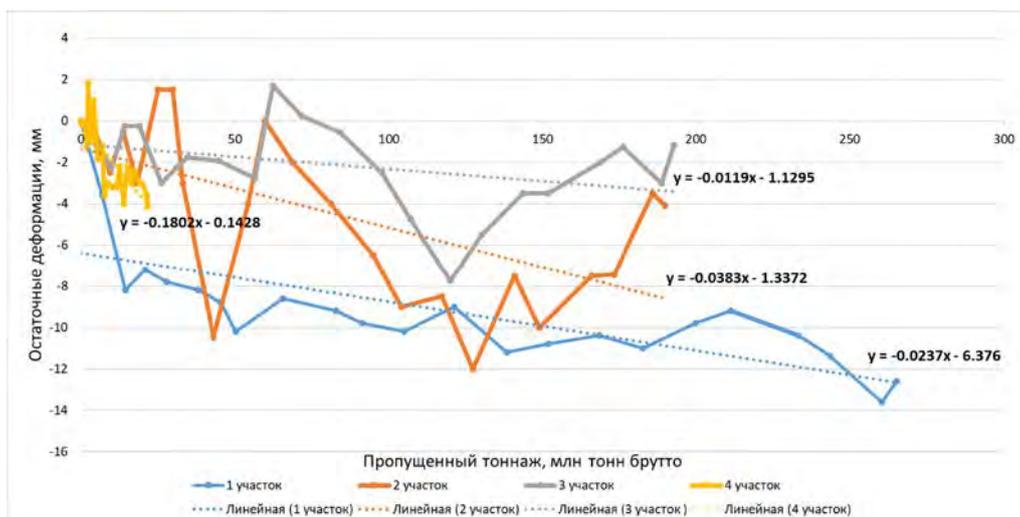


Рис. 3. Результаты измерений остаточных деформаций основной площадки земляного полотна. Конец переходной кривой (КПК), средние значения

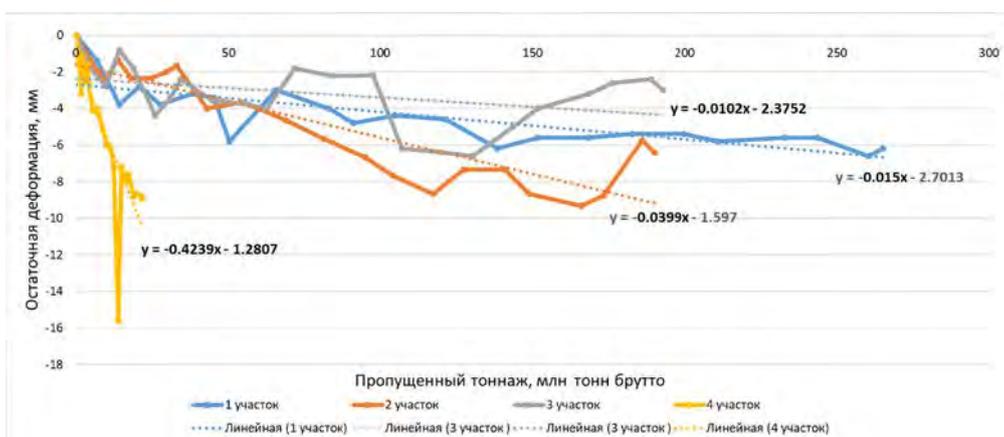


Рис. 4. Результаты измерений остаточных деформаций основной площадки земляного полотна. Начало переходной кривой (НПК), средние значения

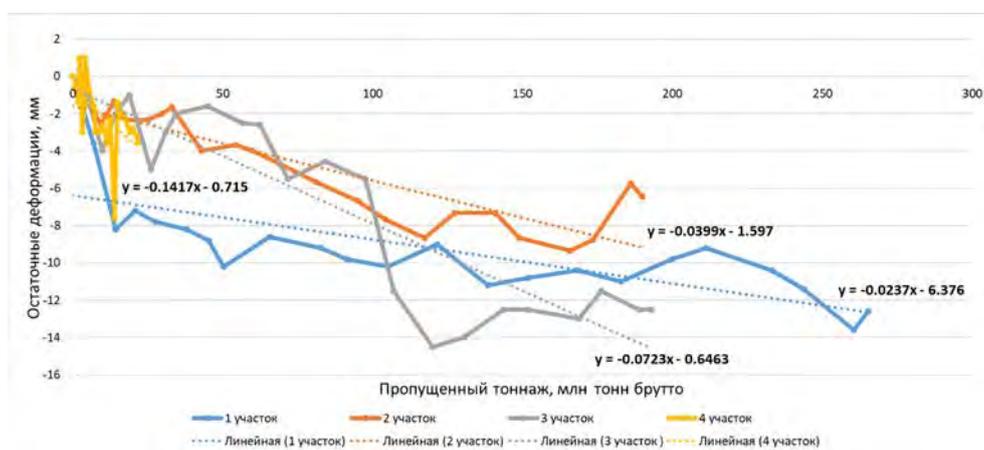


Рис. 5. Результаты измерений остаточных деформаций основной площадки земляного полотна. Середина круговой кривой (СКК), средние значения

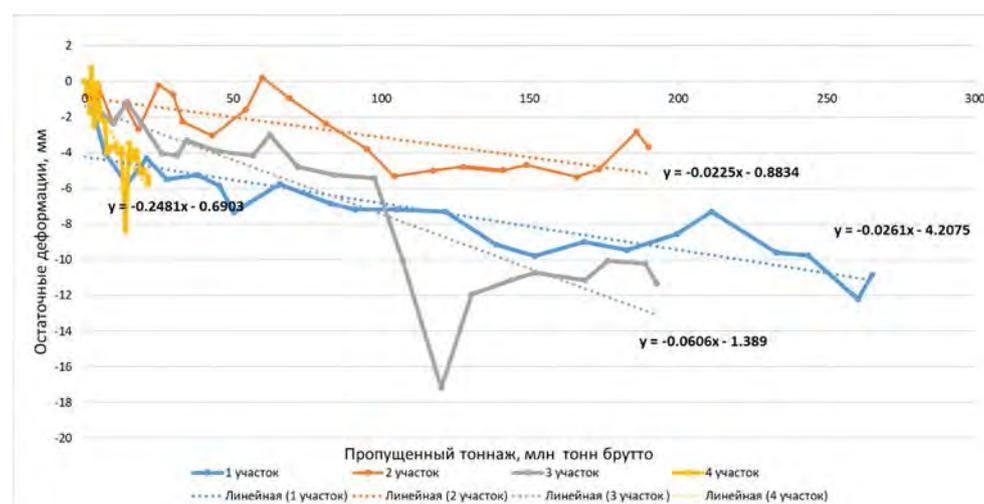


Рис. 6. Результаты измерений остаточных деформаций основной площадки земляного полотна. Внутренняя рельсовая нить, средние значения

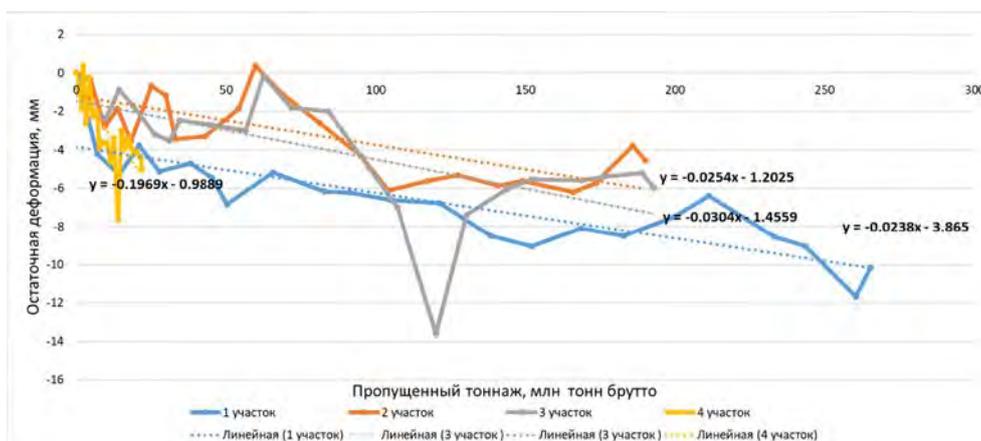


Рис. 7. Результаты измерений остаточных деформаций основной площадки земляного полотна. Наружная рельсовая нить, средние значения

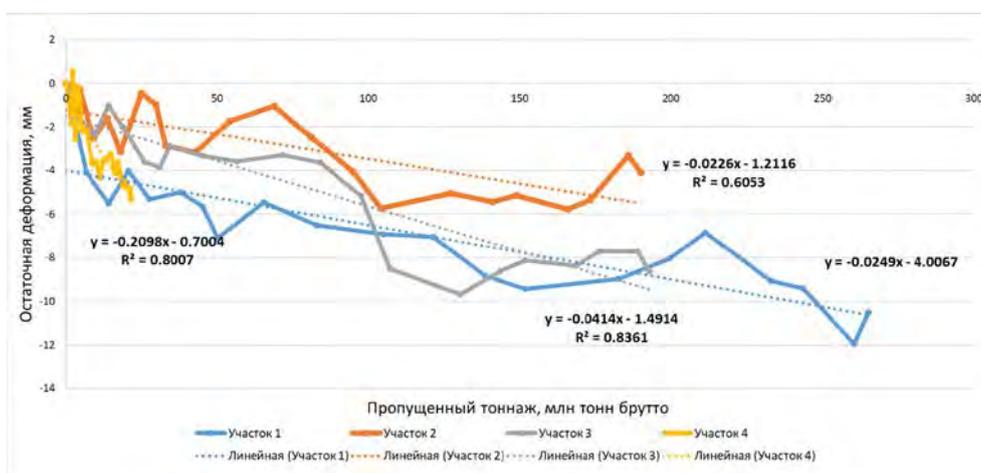


Рис. 8. Результаты измерений остаточных деформаций основной площадки земляного полотна. Сводный график

Заключение

На рис. 8 представлен сводный график результатов измерений остаточных деформаций ОПЗП. Результаты наблюдений показывают, что накопление остаточных деформаций ОПЗП может быть аппроксимировано линейной зависимостью:

$$\Delta \varepsilon = aT - \delta,$$

где a — интенсивность накопления остаточных деформаций, мм/млн т брутто;

T — пропущенный тоннаж, млн т брутто;
 δ — поправочный коэффициент, учитывающий первоначальную осадку деформационной марки.

Интенсивность накопления остаточных деформаций зависит от инженерно-геологических условий участка. На экспериментальных участках № 1 и № 2, где обращаются тяжеловесные и длинносоставные поезда, сформированные из вагонов с осевой нагрузкой 23,5 и 25 т/ось, интенсивность накопления остаточных деформаций

основной площадки земляного полотна составила 0,022–0,025 мм/млн т брутто, в то время как на участке № 3, расположенном в выемке, интенсивность накопления остаточных деформаций зафиксирована практически в 2 раза выше — до 0,041 мм/млн т брутто. Грузонапряженность экспериментального участка № 1 составляет 185,5 млн т брутто на км в год, грузонапряженность экспериментального участка № 2 и № 3 составляет 139,9 млн т брутто на км в год. На интенсивность накопления остаточных деформаций влияет не только интервал между проследованиями поездов, но и конструкция железнодорожного пути. Участки № 1 и № 2 расположены на насыпях, сложенных из песчаных грунтов с защитным подбалластным слоем и разделительным слоем из геосетки. Участок № 3 расположен в выемке, где также уложен защитный подбалластный слой и разделительный слой из геосетки. При этом все участки расположены в сложных инженерно-геологических условиях. Основания земляного полотна сложены из текучих, водонасыщенных глинистых грунтов, склонных к снижению своих прочностных и деформативных характеристик под действием вибродинамической нагрузки.

На контрольном участке № 4 грузонапряженность составляет 15,4 млн т брутто на км в год, защитные и разделительные слои отсутствуют и интенсивность накопления остаточных деформаций основной площадки земляного полотна составила 0,182–0,3917 мм/млн т брутто, что существенно выше, чем на особогрузонапряженных участках. Причиной также могут являться время эксплуатации земляного полотна и уровень технического обслуживания, как на менее ответственном участке.

Одним из важных мероприятий, которые позволяют существенно снизить интенсив-

ность накопления остаточных деформаций в балласте и земляном полотне, по нашему мнению, является армирование основной площадки земляного полотна и балласта геосинтетическими материалами.

Толщина защитного слоя под балластной призмой и необходимость его армирования геосинтетическими материалами должна определяться расчетом, исходя из условий:

- обеспечения несущей способности (прочности) грунтов земляного полотна, подстилающих защитный слой;
- достижения на поверхности основной площадки требуемого штампового модуля деформации;
- ограничения деформаций железнодорожного пути под воздействием морозного пучения грунтов.

На участках интенсивных неисправностей геометрических параметров рельсовой колеи, балластных углублений, выплесков и деформаций морозного пучения возможно применение геосинтетических материалов в балласте.

Применение этих решений позволит увеличить несущую способность балластного слоя до 2,1 раза и увеличить модуль общей деформации до 3 раз.

Библиографический список

1. Певзнер В. О., Ромен Ю. С., Сидорова Е. А. и др. Влияние осевой нагрузки и состояния пути на интенсивность износа рельсов // *Техника железных дорог*. 2021. № 2 (54). С. 64–69.
2. Певзнер В. О., Чечельницкий А. И., Шапетько К. В. и др. Влияние длинных неровностей продольного профиля на безопасность движения в условиях интенсификации перевозочного процесса // *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ)*. 2020. № 79 (5). С. 271–275. DOI: 10.21780/2223–9731–2020–79–5–271–275.

3. Железнов М. М., Певзнер В. О., Соловьев В. П. и др. Влияние длительности и частоты приложения нагрузки на напряженно-деформированное состояние пути // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2018. № 77 (6). С. 364–367. DOI: 10.21780/2223-9731-2018-77-6-364-367.

4. Прокудин И. В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку: дис. ... докт. техн. наук. Ленинград, 1982. 455 с.

5. Великотный В. П. Исследование деформируемости глинистых грунтов железнодорожного земляного полотна при вибродинамических нагрузках: дис. ... канд. техн. наук. Ленинград, 1980. 211 с.

6. ГОСТ 24846-2019 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200174422?ysclid=lsivu01jbi767452815> (дата обращения: 12.02.2024).

7. Филатова А. В., Самсонов А. Д. Особенности определения угла и цифровых нивелиров // Исследования. Инновации. Практика. 2022. № 4. С. 10–12.

Дата поступления: 20.01.2024

Решение о публикации: 24.02.2024

Контактная информация:

РОМАНОВ Андрей Валерьевич — канд. техн. наук, доцент; andrey.romanov@mail.ru

КИСЕЛЕВ Артем Александрович — канд. техн. наук, доцент; zhdp10@gmail.com

МИРОШНИК Александр Анатольевич — канд. техн. наук, доцент; alexmiroschnik@mail.ru

БУШУЕВ Михаил Владимирович — канд. техн. наук, доцент; 8921918@mail.ru

КАНАШИН Николай Владимирович — канд. техн. наук, доцент; kanashin@pgups.ru

АФОНИН Дмитрий Андреевич — канд. техн. наук, доцент; afonin@pgups.ru

КАРПОВ Иван Алексеевич — аспирант; karpov.ivan3920@yandex.ru

Assessment of the intensity of accumulation of residual deformations of the main platform of the roadbed in the areas of circulation of heavy and long-component trains

A. V. Romanov, A. A. Kiselyov, A. A. Miroshnik, M. V. Bushuev, N. V. Kanashin, D. A. Afonin, I. A. Karpov

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

For citation: Assessment of the intensity of accumulation of residual deformations of the main platform of the roadbed in the areas of circulation of heavy and long-component trains / *Romanov A. V., Kiselyov A. A., Miroshnik A. A., Bushuev M. V., Kanashin N. V., Afonin D. A., Karpov I. A.* // Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 1. P. 265–273. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-01-265-273. (In Russian)

Abstract

Objective: the article presents an assessment of the intensity of accumulation of residual deformations of the main platform of the roadbed in the areas of circulation of heavy and long-composite trains formed from wagons with an axial load of up to 25 tons. **Methods:** measurements of residual deformations of the

main site of the roadbed were carried out by geodetic methods by laying a closed leveling course. To do this, each experimental site was equipped with soil stamps installed on the main site of the roadbed and reference points. The measurements were carried out from 30.05.2022 to 08.11.2023. **Results:** as a result, the dependences of the accumulation of residual deformations of the roadbed on the missed tonnage have been established for various railway track structures, operating conditions and engineering and geological conditions. **Practical importance:** measures are proposed to reduce the intensity of accumulation of residual deformations of the main site of the roadbed.

Keywords: heavy-weight and long-component trains, the interaction of track and rolling stock, residual deformations of the main platform of the roadbed, geosynthetic materials, protective layers under the ballast.

References

1. Pevzner V. O., Romen Yu. S., Sidorova E. A. i dr. Vliyanie osevoj nagruzki i sostoyaniya puti na intensivnost' iznosa rel'sov // *Tekhnika zheleznyh dorog*. 2021. No. 2 (54). S. 64–69. (In Russian)

2. Pevzner V. O., Chechel'nickij A. I., Shapet'ko K. V. i dr. Vliyanie dlennyh nerovnostej prodol'nogo profilya na bezopasnost' dvizheniya v usloviyah intensivifikatsii perevoznogo processa // *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta (Vestnik VNIIZHT)*. 2020. № 79 (5). S. 271–275. DOI: 10.21780/2223-9731-2020-79-5-271-275. (In Russian)

3. Zheleznov M. M., Pevzner V. O., Solov'ev V. P. i dr. Vliyanie dlitel'nosti i chastoty prilozheniya nagruzki na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie puti // *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta (Vestnik VNIIZHT)*. 2018. No. 77 (6). S. 364–367. DOI: 10.21780/2223-9731-2018-77-6-364-367. (In Russian)

4. Prokudin I. V. Prochnost' i deformativnost' zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna iz glinistykh gruntov, vosprinimayushchih vibrodinamicheskuyu nagruzku: dis. ... dokt. tekhn. nauk. Leningrad, 1982. 455 s. (In Russian)

5. Velikotnyj V. P. Issledovanie deformiruемости glinistykh gruntov zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna pri vibrodinamicheskikh nagruzkah: dis. ... kand. tekhn. nauk. Leningrad, 1980. 211 s. (In Russian)

6. GOST 24846-2019 “Grunty. Metody izmereniya deformatsij osnovanij zdaniy i sooruzhenij” // *Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii [Elektronnyj resurs]*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200174422?ysclid=lsivu-01jbi767452815> (data obrashcheniya: 12.02.2024). (In Russian)

7. Filatova A. V., Samsonov A. D. Osobennosti opredeleniya ugla i cifrovyyh nivelirov // *Issledovaniya. Innovacii. Praktika*. 2022. № 4. S. 10–12. (In Russian)

Received: 20.01.2024

Accepted: 24.02.2024

Author's information:

Andrey V. ROMANOV — PhD in Engineering, Associate Professor; andrey.romanov@mail.ru

Artyom A. KISELYOV — PhD in Engineering, Associate Professor; zhdp10@gmail.com

Alexander A. MIROSHNIK — PhD in Engineering, Associate Professor; alexmiroschnik@mail.ru

Mikhail V. BUSHUEV — PhD in Engineering, Associate Professor; 8921918@mail.ru

Nikolay V. KANASHIN — PhD in Engineering, Associate Professor; kanashin@pgups.ru

Dmitry A. AFONIN — PhD in Engineering, Associate Professor; afonin@pgups.ru

Ivan A. KARPOV — Postgraduate Student of the Department “Railway”; karpov.ivan3920@yandex.ru