

Изменение количества отступлений рельсовой колеи после укладки геосинтетических материалов в подшпальное основание

Е. П. Дудкин, А. В. Петряев

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

Для цитирования: Дудкин Е. П., Петряев А. В. Изменение количества отступлений рельсовой колеи после укладки геосинтетических материалов в подшпальное основание // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 206–215. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-206-215

Аннотация

Цель: Оценить влияние укладки геосинтетических материалов в подшпальное основание на геометрию рельсовой колеи. **Методы:** В работе использованы методы оценки геометрии рельсовой колеи вагонами-путеизмерителями. Для внеклассной высокоскоростной линии Санкт-Петербург — Москва и для грузонапряженной линии Москва — Смоленск — Минск были оценены параметры геометрии рельсового пути с уложенными в конструкцию подшпального основания геосинтетическими материалами и контрольными участками без геосинтетических материалов. Суммирующим показателем состояния геометрии была приведенная сумма отступлений (ПСО). **Результаты:** В первые год-два после ремонта, независимо от наличия геосинтетического материала, стабилизация пути идет одинаковыми темпами, и к третьему году эксплуатации уровень ПСО составляет в среднем 4,9 шт/км. Далее стандартная конструкция показывает нарастание ПСО и к 6 году достигает величины 6,9 шт/км, а затем уменьшается, что объясняется проведением среднего ремонта в этот период. Для пути с геосинтетическим материалом уровень ПСО неуклонно снижается и к 7–10 году достигает величины 3,45 шт/км. После четвертого года эксплуатации среднее значение балловой оценки для участков, усиленных геоматериалами, составляет не более 85 % от среднего балловой оценки участков пути без усиления. **Практическая значимость:** Стабилизация подшпального основания геосинтетическими материалами позволяет добиться равномерности осадки в продольном оси пути направлении, что, естественно, не будет приводить к существенному искажению продольного профиля и позволит снизить затраты на текущее содержание пути за счет сокращения числа выправочных работ примерно в два раза.

Ключевые слова: Подшпальное основание, стабилизация, геосинтетические материалы, вагоны-путеизмерители, приведенная сумма отступлений.

Введение

На железных дорогах, где вводятся большегрузные и высокоскоростные поезда, наблюдается увеличение количества и длины участков пути с ограничением скорости движения поездов. Появление этих участков во многих случаях связано с невозможностью обеспечить стабильность геометрии трассы.

В последнее время геосинтетические материалы все чаще используются для укрепления железнодорожного полотна. Преимущества усиления подшпального основания георешеткой были подчеркнуты рядом исследований [1–5]. Георешетки обладают значительной прочностью на разрыв, высоким модулем деформации (низкое относительное удлинение при разрыве), высокой устойчивостью к температурным, химическим и биологическим воздействиям и, благодаря этому, характеризуются длительным сроком службы [6–11]. Изменение во времени геометрии рельсовой колеи железнодорожного пути, стабилизированного геосинтетическими материалами, представляет значительный интерес.

Методы исследования

Влияние укладки геосинтетических материалов в подшпальное основание оценивалось вагонами-путеизмерителями. Оценка пути вагонами-путеизмерителями производилась согласно инструкции [12] с использованием программного продукта WAY.

Суммирующим показателем состояния геометрии служил показатель — приведенная сумма отступлений (ПСО). Расчет показателя ПСО выполнялся по формуле:

$$\text{ПСО} = \sum \text{II}_{\text{ст}} + 1,35 \cdot \sum \text{III}_{\text{ст}} + 1,71 \cdot \sum \text{IV}_{\text{ст}},$$

где $\sum \text{II}_{\text{ст}}$, $\sum \text{III}_{\text{ст}}$, $\sum \text{IV}_{\text{ст}}$ — это сумма отступлений второй, третьей и четвертой степени соответственно согласно оценке состояния геометрии рельсошпальной решетки [12].

Анализ динамики количества отступлений от норм содержания рельсовой колеи помогает выявлять проблемные места в подшпальном основании. Кроме оценки состояния пути по количеству отступлений от норм содержания, для оценки эффективности используется показатель «средний балл». Методика определения этого показателя также приведена в инструкции [12].

Исследования проводились на объектах Октябрьской железной дороги и Московской железной дороги. Перегоны были разделены на участки пути, не имеющие геосинтетических материалов в подшпальном основании (далее — стандарт), и участки пути, имеющие в подшпальном основании геосинтетические материалы на основной площадке (далее — усиленные участки).

Точкой отсчета изменений принят либо год последнего капитального ремонта, либо год последнего среднего ремонта пути. В оценке эффективности были использованы данные за период от года, следующего за годом последнего ремонта, до десятого года эксплуатации. На результаты исследования влияет то обстоятельство, что учет и хранение данных по форме ПУ32 ведется на участке пути и километр рассматривается как единое целое, геоматериалы же укладывались лишь в локальных местах.

Оценка состояния пути, стабилизированного геосинтетическими материалами, по данным вагонов-путеизмерителей

При анализе состояния объектов использовались 92 194 записи о состоянии геометрии рельсошпальной решетки.

Оценка состояния пути линии Санкт-Петербург — Москва с течением времени по показателю «приведенная сумма отступлений» (ПСО) для выделенных конструкций ВСП (стандарт и усиленные участки) представлена на рис. 1.

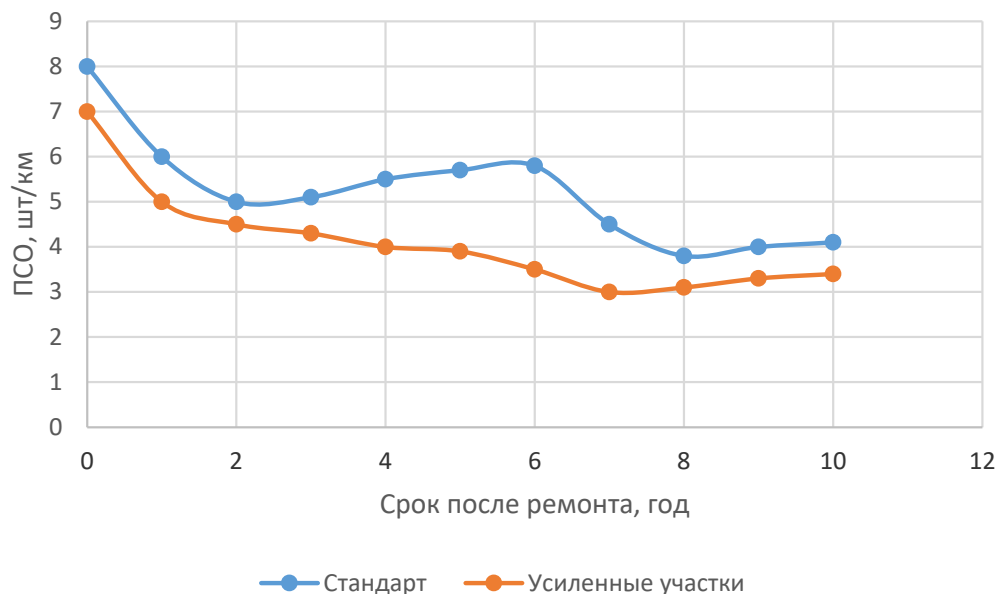


Рис. 1. Изменение средней величины ПСО

Анализ полученных результатов показывает, что общее количество отступлений, превышающих номинальные значения, в послеремонтный период неуклонно снижается. В первый год-два после ремонта, независимо от наличия геосинтетического материала, стабилизация пути идет одинаковыми темпами, и к третьему году эксплуатации уровень ПСО составляет в среднем 4,9 шт/км. Далее стандартная конструкция показывает нарастание ПСО и к 6 году достигает величины 6,9 шт/км, а затем уменьшается, что объясняется проведением среднего ремонта в этот период. Для пути с геосинтетическим материалом уровень ПСО неуклонно снижается, к 7 году достигает величины 3 шт/км и только после этого начинает возрастать, но оставаясь меньше чем на стандартном участке.

Таким образом, динамика изменения количества нештрафуемых отступлений выгодно отличает участки пути с геоматериалами. Количество отступлений от номинальных значений, регламентируемых инструкцией [12], для участков, где геосинтетический материал был уложен в процессе капитального ремонта, через семь-восемь лет эксплуатации настолько мало, что сравнимо с точностью измерений вагонов КВЛП.

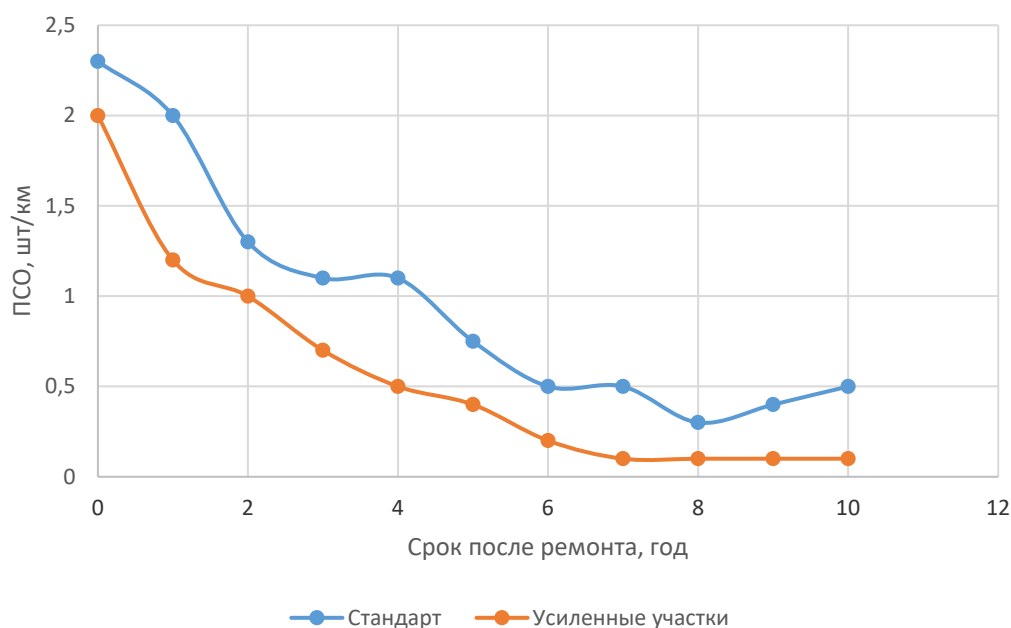


Рис. 2. Изменение среднего количества отступлений 3 степени по годам

Наличие штрафующих отступлений третьей степени в условиях внеклассной линии Санкт-Петербург — Москва относится к неисправностям, которые сразу возникли с амплитудой и длиной, определяющими опасность для движения поездов с установленными скоростями. Специфика содержания этой линии такова, что переход какой-либо неисправности второй степени в неисправность третьей степени практически полностью исключается. Графическое отражение динамики изменения штрафующих отступлений приведено на рис. 2.

На рис. 2 отчетливо виден эффект от укладки геоматериалов в подшпальном основании. Количество отступлений от норм содержания рельсовой колеи, которым присваивается 3 степень, на второй год послеремонтной эксплуатации настолько мало, что становится сравнимым с точностью измерений и оценки пути вагонами КВЛП. На участках без усиления подшпального основания геоматериалами такая степень стабилизации в условиях усиленного текущего содержания внеклассной линии достигается на четвертом году эксплуатации, когда уже требуются работы по приведению пути в нормативное состояние, вызванные нарастанием ПСО. Отступления третьей степени на участках, где были уложены геоматериалы, для первого года послеремонтной эксплуатации следует связывать со стабилизацией балластных материалов после технологии глубокой очистки щебня без снятия путевой решетки.

Дополнительным подтверждением большей стабильности пути с геоматериалами в подшпальном основании может служить зависимость, приведенная на рис. 3. При том что средняя величина балловой оценки неуклонно снижается благодаря усиленному текущему содержанию, соответствующему внеклассной линии, балловая оценка участков со стандартной конструкцией ВСП всегда выше,

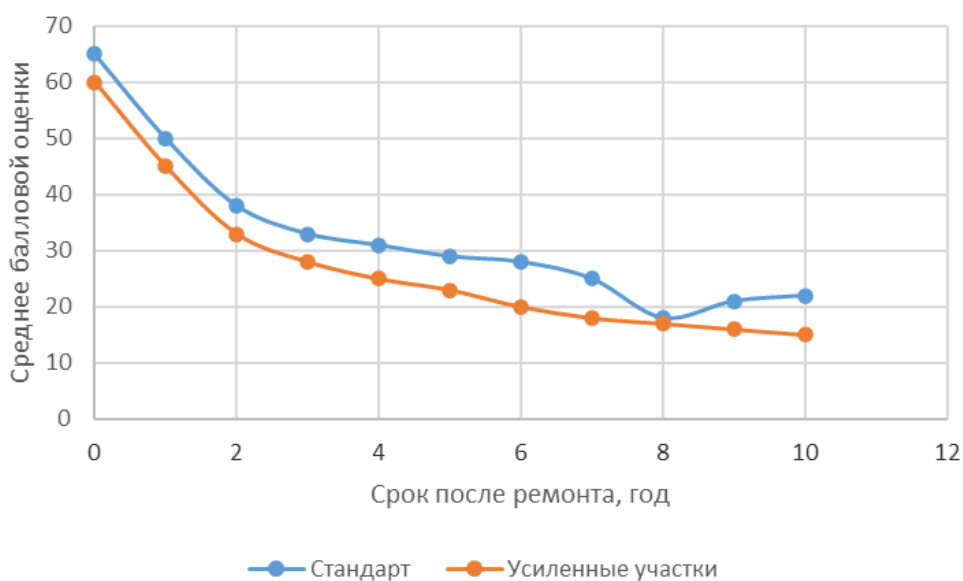


Рис. 3. Изменение средней балловой оценки по годам

чем участков с геоматериалами в основании балластной призмы. После четвертого года эксплуатации среднее значение балловой оценки для участков, усиленных геоматериалами, составляет не более 85 % от средней балловой оценки участков пути без усиления.

Для проверки результатов оценки применения геоматериалов на Октябрьской железной дороге была проведена оценка применения защитных геоматериалов на Московской железной дороге в условиях линии Москва — Смоленск — Минск.

Динамика изменения показателей состояния геометрии пути показала, что и для внеклассной высокоскоростной линии Санкт-Петербург — Москва и для грузонапряженной линии Москва — Смоленск — Минск характер изменения этих показателей одинаковый. Обобщенные результаты оценки состояния пути на участках укладки защитных геоматериалов на Московской железной дороге приведены в таблице.

Данные таблицы показывают, что применение геоматериалов характерно для проблемных участков пути. На участках, где применили геоматериалы, количество отступлений 3 степени в предремонтный год больше в 1,5–2,5 раза. Соответственно, и балловая оценка этих участков была больше в 1,3–1,6 раза по сравнению с теми, где оставили стандартную конструкцию ВСП.

Участки, на которых были уложены геоматериалы, демонстрируют большую стабильность рельсошпальной решетки. На пятый год после ремонта среднее балловой оценки для этих участков составляет 22–26 единиц, в сравнении с 40 единицами для участков со стандартной конструкцией ВСП. Наличие отступлений 3 степени для участков с геосинтетическими материалами характеризуется средней величиной 1,5 шт/10 км. Для пути со стандартной конструкцией ВСП эта величина составляет 2,3 шт/10 км, значения приведены на пятый год эксплуатации.

Изменение оценочных показателей до и после укладки геоматериалов

Период	Конструкция ВСП	
	стандарт	усиленные участки
	среднее показателя ПСО; шт/км	
в год перед ремонтом	53,2	50,2
на 5-й год после ремонта	20,2	14,1
соотношение, до/после	2,6	3,6
	среднее балловой оценки	
в год перед ремонтом	90	141
на 5-й год после ремонта	40	22
соотношение, до/после	2,3	6,4
	среднее количество отступлений 3степени; шт/10 км	
в год перед ремонтом	6,33	15,6
на 5-й год после ремонта	2,27	0,75
соотношение, до/после	2,8	20,8

Оценка состояния пути по данным нивелирования

В целях получения результатов, оценивающих влияние геоматериалов на осадку пути в период с апреля по октябрь, на опытном участке Октябрьской ж. д. были проведены пять нивелировок. Отсчеты снимались по обеим рельсовым нитям. Длина участка проведения работ составила 408 м. При этом усиленный участок располагался в центре. Таким образом, представлялось возможным оценить осадку пути на усиленном и на обычном участках.

Перед проведением нивелировок выполнялись следующие работы:

На местности закреплялось начало и конец участка нивелирования. Выбирались реперы вблизи пути. В качестве реперов принимались фундаменты опор контактной сети, высотное и плановое положение которых не изменяется во времени. В пределах участка на шейках рельсов краской размечались и нумеровались точки с интервалом через 10 шпал. Начало и конец участка наблюдений, точки нивелирования, реперы, места стоянок нивелира были привязаны к пикетажу линии. За условную отметку начального репера принималось значение 10 м.

Анализируя изменение отметок головок рельсов за период с 06.04 по 12.10, можно сделать следующий вывод: в интервалах времени между нивелировками 06.04 и 19.04, а также между 20.06 и 16.08 были проведены выправочные работы. Тогда величину осадки можно оценить по разнице абсолютных отметок между нивелировками 19.04 и 20.06, а также 16.08 и 12.10. На участке без усиления осадка в среднем составила 11 мм между 2 и 3 нивелировками и 20 мм между 4 и 5. Такая разница в значениях просядок может быть обусловлена разными временем, прошедшим между выправочными работами и проведенным нивелированием.

На усиленном геоматериалами участке осадка составила в среднем 8 мм для интервала между 2 и 3 нивелировкой и 7 мм для интервала между 4 и 5, что соответственно в 1,4 и в 2,9 раза меньше по сравнению с обычным участком пути. По результатам проведенных работ также видно, что между 2 и 3 нивелировками прошел 21 день, а между 4 и 5 — 51 день. Следовательно, можно сказать, что в среднем за один день путь садится на 0,46 мм на неусиленном отрезке пути и на 0,26 мм на усиленном. Таким образом, степень накопления осадок во времени на усиленном участке ниже, чем на обычном, в 1,8 раза.

Рассмотрев равномерность осадки пути по его длине, приходим к выводу, что на усиленном отрезке железнодорожной линии проявляется более равномерная осадка, чем на неусиленном. Действительно, в пределах обычного участка величина максимального отклонения от средней осадки составила 9 мм между 2 и 3 нивелировками и 22 мм между 4 и 5, что в 2,4 раза выше. Следовательно, чем больше временной интервал, тем значительнее разница в осадках в отдельных сечениях. На усиленном геоматериалами пути величина максимального отклонения от средней осадки составила соответственно 5 мм и 7 мм, т. е. в 1,4 раза больше. Таким образом, неравномерность просадок на усиленном геоматериалами участке в 1,7 раза ниже по сравнению с обычным. Это является одним из положительных свойств геоматериалов, позволяющих добиться равномерности осадки в продольном оси пути направлении, что, естественно, снижает изменение продольного профиля и позволяет снизить затраты на текущее содержание пути за счет сокращения числа выправочных работ примерно в два раза.

Заключение

Результаты выполненных исследований позволяют утверждать, что участки пути, на которых были уложены геоматериалы, имеют большую стабильность рельсошпальной решетки. Интенсивность накопления остаточных деформаций пути во времени на участке с геосинтетическими материалами в основании подшпального основания ниже, чем на контрольном, в 1,8 раза, а неравномерность просадок — в 1,7 раза. Это является одним из положительных свойств геоматериалов, позволяющих добиться равномерности осадки пути, что, естественно, уменьшает искажение продольного профиля и позволяет снизить затраты на текущее содержание пути за счет сокращения числа выправочных работ примерно в два раза.

Библиографический список

1. Серебряков Д. В. Исследование влияния конструкций переменной жесткости на несущую способность земляного полотна в зоне сопряжения с мостами / Д. В. Серебряков // Актуальные проблемы развития транспортной инфраструктуры: сборник научных трудов. — 2018. — С. 27–33.

2. Kolos A. Reducing of negative heavy axle load impact on the railway track structure / A. Kolos, A. Petriaev, I. Kolos et al. // AIP Conference Proceedings. Proceedings of the Scientific Conference on Railway Transport and Engineering, RTE 2021. — 2021. — P. 060007.

3. Петряев А. В. Расчетный анализ поведения подшпального основания при его стабилизации геосинтетическими материалами / А. В. Петряев, В. Н. Парамонов // Транспорт Урала. — 2022. — № 1(72). — С. 62–67.

4. Петряев А. В. К вопросу о практическом применении метода конечных элементов для расчетов напряженно-деформируемого состояния армогрунтовых конструкций / А. В. Петряев, И. Н. Журавлев // Применение геоматериалов при строительстве и реконструкции транспортных объектов: материалы III Международной научно-технической конференции. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. — 2013. — С. 101–104.

5. Brown S. F. Identifying the key parameters that influence geogrid reinforcement of railway ballast / S. F. Brown, J. Kwan, N. H. Thom // Geotextiles and Geomembranes — 2007. — № 25. — Pp. 326–335.

6. Esmaeili M. Laboratory and field investigation of the effect of geogrid-reinforced ballast on railway track lateral resistance / M. Esmaeili, J. A. Zakeri, M. Babaei // Geotextiles and Geomembranes. — 2017. — № 45(2). — Pp. 23–33.

7. Indraratna B. Behavior of geogrid-reinforced ballast under various levels of fouling / B. Indraratna, N. T. Ngo, C. Rujikiatkamjorn // Geotextiles and Geomembranes. — 2011. — № 29(3). — Pp. 313–322.

8. Gobel C. H. Effectiveness of a reinforcing geogrid in a railway subbase under dynamic loads / C. H. Gobel, U. C. Weisemann, R. A. Kirschner // Geotextiles and Geomembranes. — 1994. — № 13(2). — Pp. 91–99.

9. Kwan J. Geogrid reinforcement of railway ballast / J. Kwan. — Thesis, University of Nottingham, UK. — 2006. — 195 p.

10. Sharpe P. Geogrid trials at coppull moor on the west coast main line / P. Sharpe, M. J. Brough, J. Dixon // Proceedings of Railway foundations conference: Railfound 06, University of Birmingham, UK. — 2006. — P. 375.

11. Ishikawa T. Application of the UIUC model for predicting ballast settlement to unsaturated ballasts under moving wheel loads / T. Ishikawa, T. Li, T. Yang et al. // Transportation Geotechnics. — 2019. — № 18. — Pp. 149–162.

12. Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов. — Утв. МПС РФ от 14 октября 1997 г. № ЦП-515. — М.: МПС РФ, 1997. — 57 с.

Дата поступления: 28.01.2023

Решение о публикации: 15.02.2023

Контактная информация:

ДУДКИН Евгений Павлович — д-р техн. наук, проф.; ed@pgups-tempus.ru

ПЕТРЯЕВ Андрей Владимирович — канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; pgups60@mail.ru

Changes in the Number of Rail Gauge Crimes after Laying Geosynthetics under the Sleeper Base

E. P. Dudkin, A. V. Petriaev

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Dudkin E. P., Petriaev A. V. Changes in the Number of Rail Gauge Crimes after Laying Geosynthetics under the Sleeper Base. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 206–215. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-206-215

Summary

Purpose: To consider the effect of laying geosynthetic materials in the footplate on the geometry of the rail track. **Methods:** The paper uses methods for evaluating the geometry of the rail track by track measuring cars. For the extra-curricular high speed line St. Petersburg — Moscow and for the heavy-duty line Moscow — Smolensk — Minsk, the parameters of the rail track geometry were evaluated for sections with geosynthetic materials and control sections laid in the construction of the base. The summative indicator of the geometry state was the indicator of the reduced amount of deviations (PSO). **Results:** In the first year or two after repair, regardless of the presence of geosynthetic material, the stabilization of the track is proceeding at the same pace and by the third year of operation, the level of PSO is on average 4.9 pcs/km. Further, the standard design shows an increase in PSO, and by the 6th year reaches a value of 6.9 pcs/km, and then decreases, which is explained by the average repair during this period. For the rail track with geosynthetic material, the level of PSO is steadily decreasing and by the 7th — 10th year reaches a value of 3.45 pcs/km. After the fourth year of operation, the average score for sections reinforced with geomaterials is no more than 85% of the average score for sections of the track without reinforcement. **Practical significance:** Stabilization of the track base with geosynthetic materials makes it possible to achieve uniformity of precipitation in the longitudinal axis of the path, which naturally will not lead to a significant distortion of the longitudinal profile and of course will reduce the cost of the current maintenance of the rail track by reducing the number of track realigning by about half.

Keywords: Sleeper bearing, stabilization, geosynthetic materials, track meters, amount of deviations.

References

1. Serebryakov D. V. Issledovanie vliyaniya konstruktsii peremennoi gestkosti na nesushyu sposobnost zemlyanogo polotna v zone sopryazheniya s mostami [Investigation of the influence of structures of variable rigidity on the bearing capacity of the roadbed in the area of interface with bridges]. *Actualnie problemmi razvitiya transportnoi infrastruktury. Sbornik nauchnix trudov* [Actual problems of transport infrastructure development. Collection of scientific papers]. 2018, pp. 27–33. (In Russian)
2. Kolos A., Petriaev A., Kolos I. et al. Reducing of negative heavy axle load impact on the railway track structure. AIP Conference Proceedings. Proceedings of the Scientific Conference on Railway Transport and Engineering, RTE 2021. 2021, p. 060007.
3. Petriaev A. V., Paramonov V. N. Raschetnii analiz povedeniya podshpalnogo osnovaniya pri ego stabilizatsii geosynteticheskimi materialami [Computational analysis of the behavior of the subshell

base during its stabilization by geosynthetic materials]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2022, Iss. 1(72), pp. 62–67. (In Russian)

4. Petriaev A. V., Zhuravlev I. N. k voprosu o prakticheskom primenenii metoda konechnih elementov dlya raschetov napryagenno-deformiruemogo sostoyaniya armogruntovykh konstrukttsii [On the practical application of the finite element method for calculations of the stress-strain state of armogruntovykh structures]. *Primenenie geomaterialov pri stroitelstve i rekonstrukttsii transportnykh obektov. Materiali III Megdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii* [The use of geomaterials in the construction and reconstruction of transport facilities. Materials of the III International Scientific and Technical Conference]. Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 2013, pp. 101–104. (In Russian)

5. Brown S. F., Kwan J., Thom N. H. Identifying the key parameters that influence geogrid reinforcement of railway ballast. *Geotextiles and Geomembranes*, 2007, vol. 25, pp. 326–335.

6. Esmaeili M., Zakeri J. A., Babaei M. Laboratory and field investigation of the effect of geogrid-reinforced ballast on railway track lateral resistance. *Geotextiles and Geomembranes*, 2011, vol. 29(3), pp. 313–322.

7. Indraratna B., Ngo N. T., Rujikiatkamjorn C. Behavior of geogrid-reinforced ballast under various levels of fouling. *Geotextiles and Geomembranes*, 2011, Iss. 29(3), pp. 313–322.

8. Gobel C. H., Weisemann U. C., Kirschner R. A. Effectiveness of a reinforcing geogrid in a railway subbase under dynamic loads. *Geotextiles and Geomembranes*, 1994, vol. 13(2), pp. 91–99.

9. Kwan J. Geogrid reinforcement of railway ballast. Thesis, University of Nottingham, UK, 2006, 195 p.

10. Sharpe P., Brough M. J., Dixon J. Geogrid trials at coppull moor on the west coast main line. Proceedings of railway foundations conference: Railfound 06, University of Birmingham, UK, 2006, 375 p.

11. Ishikawa T., Li T., Yang T. et al. Application of the UIUC model for predicting ballast settlement to unsaturated ballasts under moving wheel loads. *Transportation Geotechnics*, 2019, vol. 18, pp. 149–162.

12. *Instruktsiya po rasshifrovke lent i otsenke sostoyaniya relsovoi kolei po pokazaniyam puteismeritel'nogo vagona TSNII-2 i meram po obespecheniu bezopasnosti dvigeniya poezdov* [Instructions for assessing the condition of the track gauge by track measuring means and measures to ensure traffic safety]. Appr. by the Ministry of Railways of the Russian Federation no. TsPT-515, dated 14th, October 1997. Moscow, The Ministry of Railways of the Russian Federation Publ., 2000, 57 p. (In Russian)

Received: January 28, 2023

Accepted: February 15, 2023

Author's information:

Evgeniy P. DUDKIN — Dr. Sci. in Engineering, Professor; ed@pgups-tempus.ru

Andrei V. PETRIAEV — PhD in Engineering, Senior Researcher; pgups60@pgups.ru