

УДК 624.138

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-161-174

С.А. КОСЕНКО, И.А. КОТОВА, С.С. АКИМОВ,
Сибирский государственный университет путей сообщения

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОДБАЛЛАСТНЫХ СЛОЕВ ИЗ ГРУНТОБЕТОНА ПРИ ТЯЖЕЛОВЕСНОМ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ*

Разработка способов создания прочного основания для укладки верхнего строения железнодорожного пути становится особенно актуальной в условиях расширения полигона тяжеловесного движения поездов.

Цель исследования – технико-экономическое обоснование применения метода холодной регенерации грунтов для усиления основной площадки земляного полотна.

Для выявления преимуществ данного метода созданы модели технологических процессов производства работ по созданию слоев грунтобетона различной толщины, определены основные технико-экономические показатели моделей, выполнен сравнительный анализ с аналогичными показателями наиболее используемых в настоящее время технологических вариантов усиления рабочей зоны земляного полотна: заменой слабого грунта и созданием защитного слоя из щебеночно-песчано-гравийной смеси, армированного объемной георешеткой.

В результате проведенных исследований определены: необходимое количество исполнителей, продолжительность работ, выработка, производительность и затраты труда, заработная плата, стоимость эксплуатации машин и механизмов, затраты на материалы и общая стоимость работ.

При анализе их значений для всех сравниваемых технологических вариантов сделан вывод об очевидном преимуществе метода холодной регенерации грунтов практически по всем показателям.

Ключевые слова: железнодорожный путь; земляное полотно; тяжеловесное движение поездов; защитный подбалластный слой; грунтобетон.

Для цитирования: Косенко С.А., Котова И.А., Акимов С.С. Технико-экономическое обоснование устройства защитных подбалластных слоев из грунтобетона при тяжеловесном движении поездов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 161–174. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-161-174

S.A. KOSENKO, I.A. KOTOVA, S.S. AKIMOV,
Siberian State Transport University

FEASIBILITY STUDIES OF PROTECTIVE SUB-BALLAST SOIL-CEMENT LAYERS AT HEAVY-TRAIN TRAFFIC

The development of ways to create a solid base for laying the track structure becomes especially relevant in conditions of the heavy-train traffic. This work presents feasibility studies of using a cold regeneration soil method for strengthening the main subgrade site. The advantages

* Настоящее исследование выполнено в рамках целевого грантового проекта ОАО «Российские железные дороги» № 3704995 от 10.12.2019 г.: «Противодеформационное укрепление основной площадки железнодорожного земляного полотна методом холодной регенерации (ресайклинг) на участках обращения тяжеловесных поездов».

of this method are identified by the creation of models of production processes for soil-cement layers of various thickness. The main performance indicators are analyzed and compared with similar indicators of the most used engineering solutions for strengthening the subgrade working area: soft soil replacing and creation of a protective layer from a rubble-sand-gravel mixture reinforced with a geocell.

The obtained results allow determining the following parameters: the number of employees, length of employment, outputs, productivity, labor costs, wages, costs of machine and mechanism operation, materials and works.

Based on the results, a conclusion is made that there is an obvious advantage of the cold regeneration soil method for all parameters.

Keywords: railway; subgrade; heavy-train traffic; protective sub-ballast layer; soil-cement.

For citation: Kosenko S.A., Kotova I.A., Akimov S.S. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie ustroystva zashchitnykh podballastnykh sloev iz gruntobetona pri tyazhe- lovesnom dvizhenii poezdov [Feasibility studies of protective sub-ballast soil-cement layers at heavy-train traffic]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno- stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 161–174.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-161-174

Введение

В условиях ежегодного увеличения грузоперевозок, повышения веса поезда и осевых нагрузок на железных дорогах ОАО «РЖД» [1] становится актуальным вопрос продления межремонтных сроков и жизненного цикла конструкций железнодорожного пути [2].

Существенное снижение межпоездных интервалов превращает в проблему вопрос предоставления «окон» для ремонтов и своевременного текущего содержания пути на участках особогрузонапряженных при тяжеловесном движении поездов [3], и на Восточном полигоне они составляют уже сейчас большую часть главных путей БАМа и Транссиба, и ежегодно их протяженность растет.

Эта задача комплексная и многофакторная. Является ежегодной темой практически всех НТС ОАО «РЖД». Целью ставится двукратное увеличение межремонтных сроков с 700 до 1400 млн т брутто. Для ее решения принимаются новые нормативные документы и идет планомерное совершенствование методов ведения путевого хозяйства [4], повышения качества и эксплуатационных характеристик рельсов [5], промежуточных рельсовых скреплений [6], шпального основания, балластного слоя, усиления основной площадки земляного полотна [7]. На стадии проектирования новых конструкций правильность выбранных решений осуществляется моделированием расчетами численными методами [8]. Необходимо также совершенствование технических и технологических методов содержания железнодорожного пути в исправном состоянии [9–10]. Тяжеловесные поезда в составе 90 вагонов с повышенной осевой нагрузкой 25 т/ось (245 кН/ось) оказывают дополнительное негативное воздействие на искусственные сооружения [11] и на высокие подходные пойменные насыпи [12], устойчивость которых необходимо дополнительно увеличивать, а также контролировать различными методами, особенно в суровых климатических условиях.

Для придания железнодорожному полотну равномерно-жесткого состояния в верхней части земляного полотна, особенно на участках тяжеловесного движения поездов, непосредственно под балластной призмой устраивается защитный слой, выполняющий распределительную, фильтрационную, разделительную, виброзащитную, теплоизоляционную функции.

Существуют и активно используются для усиления рабочей зоны земляного полотна железнодорожного пути различные варианты защитных слоев из щебеночно-песчано-гравийной смеси (ЩПГС), как с армированием геосинтетическими материалами, так и без них [13].

Какой защитный слой устраивать в каждом конкретном случае, решается после анализа состояния грунтов рабочей зоны земляного полотна на предмет их деформативности и с учетом основных эксплуатационных характеристик участков [14], таких как скорость движения поездов, грузонапряженность, средняя масса поезда, средняя осевая нагрузка, а также общая устойчивость земляного полотна.

В последние годы при усилении земляного полотна автомобильных дорог активно стал применяться метод холодной регенерации грунтов, который позволяет значительно увеличить несущую способность грунтов основной площадки [15]. На железных дорогах этот метод пока используется редко, в том числе из-за его малой изученности и недостаточной отработки технологии его устройства в условиях интенсивного движения поездов. Поэтому задача исследования возможности и эффективности применения грунтобетона в конструкциях защитных слоев является весьма актуальной.

За рубежом также активно и эффективно решают аналогичные задачи с учетом наличия стабилизирующих материалов [16], свойств грунтов [17], эксплуатационных условий [18] при максимальной технологичности [19], производительности, выработки с обязательным соблюдением мер безопасности [20]. Усиление земляного полотна считается приоритетной задачей [21].

Цель настоящей работы – технико-экономическое обоснование применения метода холодной регенерации грунтов для усиления основной площадки земляного полотна.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

– создание моделей технологических процессов производства работ по усилению основной площадки земляного полотна существующими методами и способом холодной регенерации грунтов;

– определение и сравнительный анализ технико-экономических показателей созданных моделей технологических вариантов создания защитных слоев.

Для исследования возможности устройства защитного слоя из грунтобетона по технико-экономическим показателям принята его оптимальная толщина от 20, 30 и 40 см. Такой диапазон обоснован результатами ранее выполненных расчетно-экспериментальных работ, а также технологических и эксплуатационных ограничений [22–24]. Толщина слоя грунтобетона меньше 20 см недостаточно эффективна, более 40 см избыточна [24]. Назначение конкретной толщины слоя зависит от величины осевых нагрузок и скоростей движения и веса тяжеловесных поездов [Там же].

В качестве альтернативных грунтобетону способов использовались следующие варианты создания защитного слоя:

- из ЩПГС с армированием объемной георешеткой;
- с заменой грунта с недостаточной несущей способностью на дренирующий грунт (ЩПГС).

В работе рассматривался только основной этап создания защитного слоя, т. к. остальной перечень работ (подготовительные работы, вырезка загрязненного балласта щебнеочистителями, балластировка пути новым щебнеочистителем, выправка и стабилизация пути, отделочные работы) одинаковы для всех принятых к сравнению вариантов технологии.

Такое разделение работ возможно при их выполнении по технологии «закрытого перегона», при которой ремонтируемый участок одного из путей двухпутного перегона закрывается для движения поездов на длительный (до 10 дн.) срок, в течение которого работы по ремонту выполняются отдельными этапами фронтами 1000–3000 м.

Модели технологических процессов разрабатывались на длину фронта 1000 м пути.

Методы

Для решения поставленных задач были определены основные параметры моделей технологических процессов: объемы работ, затраты труда и продолжительность каждой технологической операции, составлены ведомости затрат труда по техническим нормам, построены графические модели производства работ (рис. 1–3).

Эффективность технологических процессов определяется с помощью ряда показателей [25], таких как трудоемкость, количество задействованных работников, выработка на единицу времени, производительность труда, заработная плата монтеров пути, участвующих в производстве работ, стоимость материалов, эксплуатации машин и механизмов, итоговая стоимость производства работ в соответствии с исполнительной калькуляцией.

Этот комплекс параметров был определен для созданных моделей технологических процессов.

Результаты

Результаты определения основных технико-экономических показателей представлены на рис. 4 и в таблице.

По большинству показателей (количество задействованных монтеров пути, продолжительность работ, выработка, производительность и затраты труда) использование грунтобетона в качестве защитного слоя является наиболее выгодным вариантом в диапазоне глубины холодной регенерации грунтов 20–40 см.

Стоимость работ по устройству защитного слоя при использовании грунтобетона соизмерима с аналогичным показателем для защитного слоя из ЩПГС с армированием объемной георешеткой. Разница в стоимости в сторону удорожания составляет даже для глубины регенерации 40 см 434 278,54 руб.

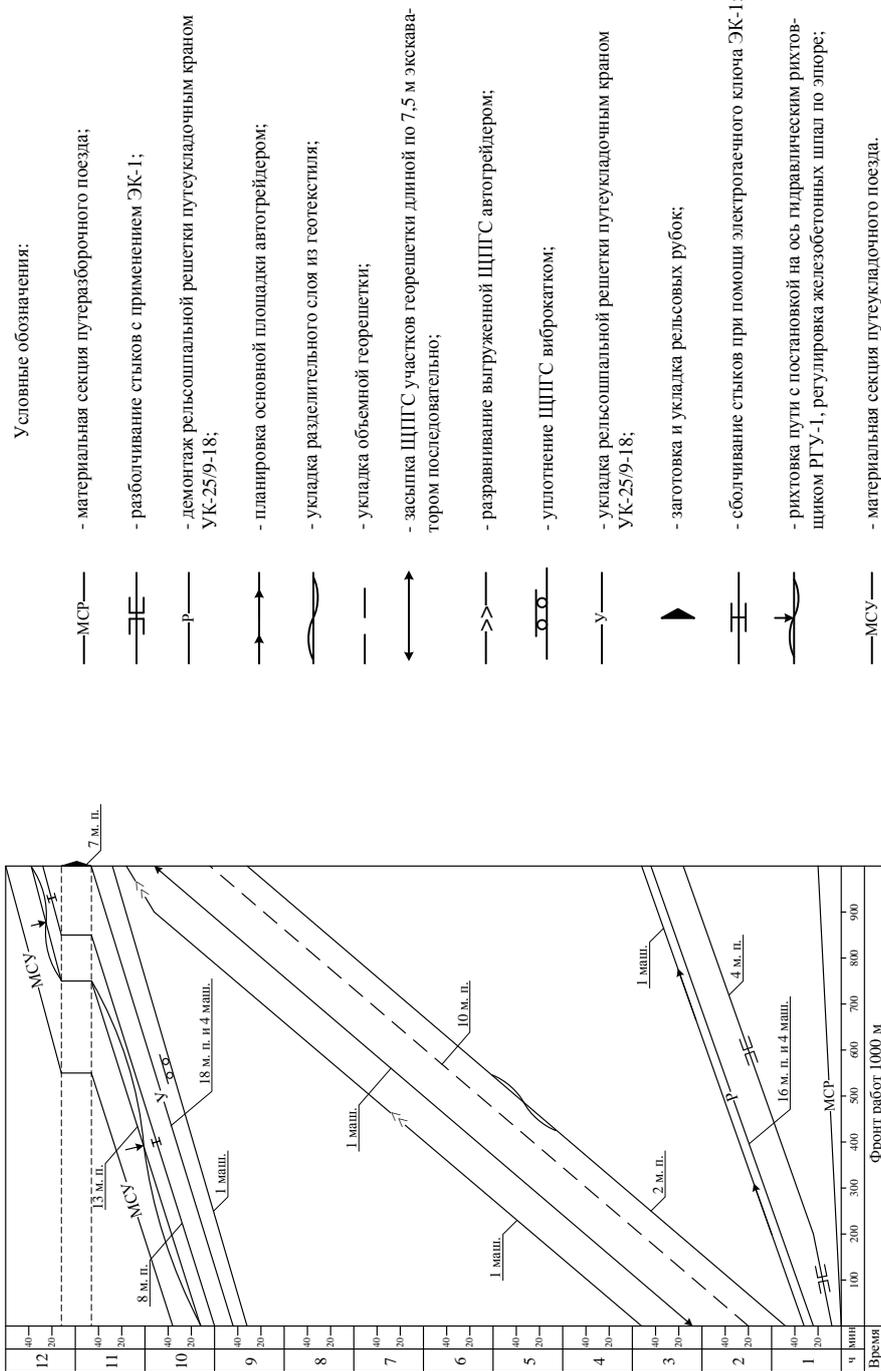


Рис. 1. График производства основных работ по замене рельсошпальной решетки и устройству защитного слоя из ЦППС с армированием объемной георешеткой

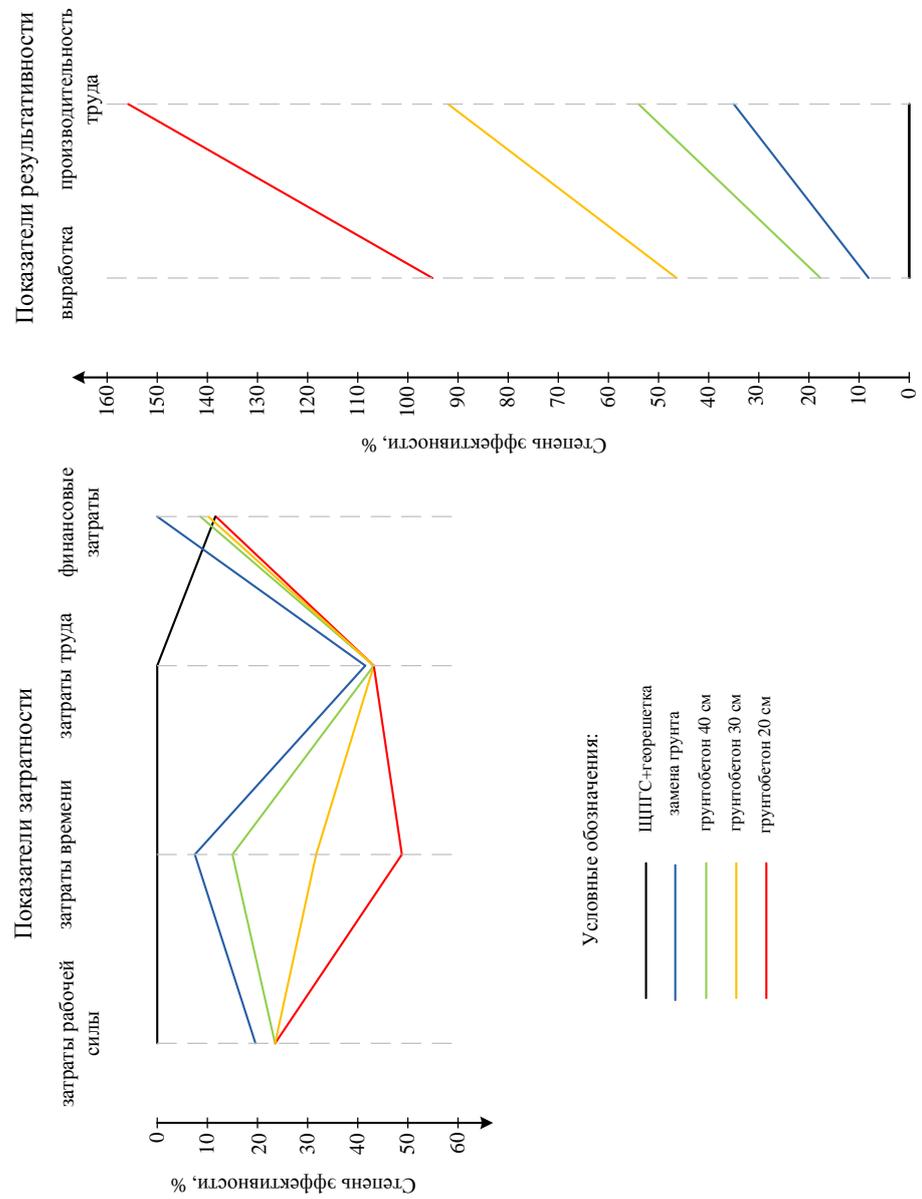


Рис. 4. Поле эффективности сравнимых вариантов технологий

Результаты расчета основных технико-экономических показателей технологических процессов

Технологический процесс устройства защитного слоя		Основные технико-экономические показатели					
Номер	с использованием	N , чел.	$t_{з.п.}$, ч	S , м/ч	P , м/чел.-ч	Затраты труда, чел.-ч	Итоговые затраты по калькуляции, руб.
1	ЩПГС, армированной объемной георешеткой	51	12	83,33	1,63	242,00	12 793 972,76
2	замены слабого грунта на дренирующий (ЩПГС)	41	11,1	90,09	2,20	141,53	14 468 142,06
3	грунтобетона на глубину:	39				137,44	
	20 см		6,15	162,60	4,17		12 778 251,61
	30 см		8,2	121,95	3,13		12 999 377,57
	40 см		10,2	98,04	2,51		13 228 251,30

Примечание. Буквами в таблице обозначены: N – количество задействованных в работах монтеров пути, $t_{з.п.}$ – продолжительность работ, S – выработка, P – производительность труда.

Стоимость же работ при небольшой глубине регенерации 20 см даже несколько ниже (на 15 721,15 руб.) стоимости работ по созданию защитного слоя, армированного георешеткой.

Увеличение глубины регенерации грунтов не приводит к существенному удорожанию ремонта. При увеличении толщины грунтобетонного слоя на 10 см стоимость устройства защитного слоя возрастает всего на 1,8 %.

Вариант устройства защитного слоя путем замены слабого грунта на дренирующий нельзя считать конкурентным из-за высокой стоимости работ.

В результате комплексного укрепления грунтов методом холодной регенерации существенно повышается модуль деформации и несущая способность основной площадки земляного полотна, что, в свою очередь, снизит образование, развитие и распространение пучинно-просадочных деформаций технической системы «земляное полотно – верхнее строение пути». Опыт ДВГУПС по стабилизации грунтов основной площадки земляного полотна железнодорожного пути укрепляющими минеральными композициями на Дальневосточной железной дороге показал, что прочность грунтов на сжатие увеличивается в 20 раз, снижаются пучинистые свойства грунтов [26]. Из исследований, выполненных Д.А. Разуваевым [27], было выявлено, что на участках дорог с наличием стабилизированных грунтов имеют меньшую влажность (до 8 %) не только стабилизированные грунты, но и грунты рабочей зоны земляного полотна. Выполненные коллективом авторов исследования в рамках гранта ОАО «РЖД» [24] показали, что наличие грунтобетонного слоя толщиной 0,2–0,4 м обеспечивает требуемые нормативные значения предельно допустимых напряжений по условию несущей способности $[\sigma_h] = 0,08$ МПа в уровне основной площадки земля-

ного полотна (рис. 5) [24]. Кроме того, наличие грунтобетонного слоя способствует снижению высоты морозного пучения. Например, слой грунтобетона толщиной 0,4 м снижает пучение на 27 % [24] и при этом повышает устойчивость насыпей на 6,5–7,4 % [24].

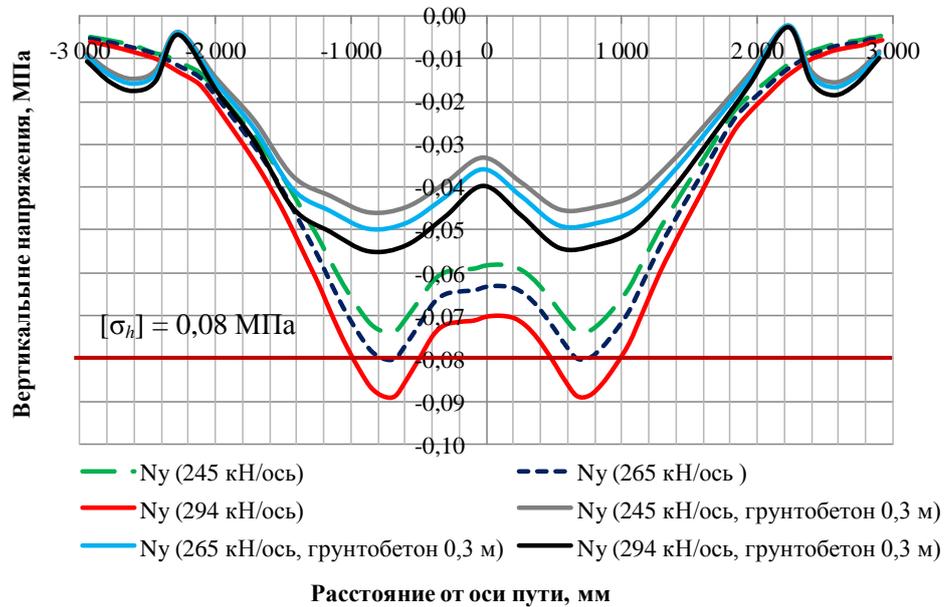


Рис. 5. Нормальные вертикальные напряжения в уровне основной площадки земляного полотна

Заключение

В результате исследований, выполненных в данной работе, созданы модели технологических процессов устройства защитного подбалластного слоя на участке тяжеловесного движения поездов.

Проведена оценка моделей технологических процессов, определены основные технико-экономические показатели, определена стоимость одного километра устройства защитного слоя. Проведено сравнение трех вариантов по основным показателям.

По большинству показателей использование грунтобетона в качестве защитного слоя является наиболее технико-экономически выгодным вариантом в диапазоне рациональной глубины холодной регенерации грунтов 20–40 см. Причем увеличение глубины регенерации грунтов с 0,2 до 0,4 м не приводит к существенному удорожанию ремонта.

Стоимость работ по устройству защитного слоя при использовании грунтобетона незначительно отличается от аналогичного показателя для защитного слоя из ЩПГС с армированием объемной георешеткой. При глубине регенерации 20 см она ниже стоимости работ по созданию защитного слоя, армированного объемной георешеткой, на 0,2 %, при глубине регенерации 30 и 40 см – выше соответственно на 1,6 и 3,4 %.

В соответствии с результатами проведенного исследования метод холодной регенерации грунтов может быть рекомендован к использованию при усилении рабочей зоны земляного полотна на участках тяжеловесного движения поездов.

Таким образом, при меньшей стоимости и большей производительности стабилизация грунтов верхнего слоя земляного полотна методом холодной регенерации позволит значительно снизить отказы всех вышележащих элементов железнодорожного пути и продлить межремонтные периоды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лисицын А.И.* Перспективы развития конструкции верхнего строения пути и его элементов // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 10. С. 2–7.
2. *Косенко С.А. и др.* Оценка стоимости жизненного цикла верхнего строения пути для различных ремонтных схем и промежуточных скреплений // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 2 (53). С. 92–100.
3. *Kosenko S.A., Akimov S.S.* Design of track structure for corridors of heavy-train traffic // MATEC Web of Conferences. 2018. № 239. P. 1–12.
4. *Косенко С.А., Исмагулова С.О., Сулова Т.М.* Новая структура ведения путевого хозяйства на железных дорогах Казахстана // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2012. № 6. С. 39–41.
5. *Kosenko S.A., Akimov S.S.* Performance characteristics of differentially quenched rails // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 7. P. 94–105.
6. *Севостьянов А.А., Величко Д.В.* Основные причины отказов рельсов в процессе эксплуатации // Транспорт Урала. 2017. № 2 (53). С. 51–54.
7. *Akimov S., Kosenko S., Bogdanovich S.* Stability of the Supporting Subgrade on the Tracks with Heavy Train Movement // Advances in Intelligent Systems and Computing : VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019. 2020. № 1116. P. 228–236.
8. *Косенко С.А., Исаенко Э.П.* Моделирование и расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций железнодорожного пути методом конечных элементов. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2017. 144 с.
9. *Патент № 2643324* Российской Федерация, МПК E01B 29/05. Способ замены зажатых уравнивающих рельсов и рельсов временного восстановления плети бесстыкового пути (варианты) : заявл. 02.09.16 : опубл. 31.01.18 / Шуругин А.С., Шаньгин Р.В., Косенко С.А., Акимов С.С., Старовойт Н.Н. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Российские железные дороги». № 2016135672, Бюл. № 4. 7 с.
10. *Kosenko S, Akimov S., Surovin P.* Technology of rail replacement at end stresses // MATEC Web of Conferences. 2018. № 216. P. 1–8.
11. *Бондарь И.С., Квашинин М.Я., Косенко С.А.* Диагностика и мониторинг балочных пролетных строений железнодорожных мостов // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке. IX Международная научно-техническая конференция «Политранспортные системы». Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2017. С. 35–43.
12. *Квашинин М.Я., Косенко С.А., Бондарь И.С.* Вибродиагностика подходной насыпи железнодорожного моста // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017. № 2 (41). С. 34–39.
13. *Котова И.А., Чижов А.В., Юдин О.Г., Вобликов А.А.* Оптимизация технологии устройства защитных слоев с применением объемной георешетки при модернизации железнодорожного пути // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2015. № 2. С. 32–38.
14. *Котова И.А., Чижов А.В., Юдин О.Г.* Сравнительный анализ технологических вариантов создания подбалластных защитных слоев при ремонтах железнодорожного пути // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке.

- IX Международная научно-техническая конференция «Политранспортные системы»: сборник статей. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2017. С. 150–153.
15. Акимов С.С., Косенко С.А. Ресайклинг как альтернативный способ повышения прочности подбалластного основания железнодорожного пути // Наука, образование, кадры : материалы нац. конф. в рамках IX Междунар. Сиб. трансп. форума (Новосибирск, 22–25 мая 2019 г.). Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2019. С. 204–212.
 16. Le T.H.M., Lee S.-H., Park D.-W. Evaluation on full-scale testbed performance of cement asphalt mortar for ballasted track stabilization // Construction and Building Materials. 2020. № 254. P. 119249.
 17. Shang Y., Xu L., Zhao Y., Huang Y., Ning-yi O.U. Experimental study on the dynamic features of cement-stabilized expansive soil as subgrade filling of heavy haul railway // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2017. V. 10. № 6. P. 136.
 18. Lazorenko G., Kasprzhitskii A., Khakiev Z., Yavna V. Dynamic behavior and stability of soil foundation in heavy haul railway tracks: A review. 2019. 205. 30 April. P. 111–136. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.01.184
 19. Saygili A., Dayan M. Freeze-thaw behavior of lime stabilized clay reinforced with silica fume and synthetic fibers // Cold Regions Science and Technology. 2019. № 161. P. 107–114.
 20. Krysan V., Petrenko V., Tiutkin O., Andrieiev V. Improving the safety of railway subgrade when it is strengthened using soil-cement elements // MATEC Web of Conferences. 2019. № 294. P. 03006.
 21. Nie R., Leng W., Yang Q., Chen Y.F., Xu F. Comparison and evaluation of railway subgrade quality detection methods // Journal of Rail and Rapid Transit. 2016. № 232 (2). P. 356–368.
 22. Иванов П.В. Повышение несущей способности железнодорожного земляного полотна, воспринимающего вибродинамическую нагрузку, искусственным укреплением грунтов основной площадки : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иванов П.В. Санкт-Петербург, 1999. 189 с.
 23. Колос А.Ф. Противодинамическая стабилизация железнодорожного земляного полотна путем цементации грунтов основной площадки : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Колос А.Ф. Санкт-Петербург, 2000. 163 с.
 24. Акимов С.С., Исаков А.Л., Косенко С.А., Королев К.В., Кузнецов А.О., Гудкова И.Н., Котова И.А. Противодеформационное укрепление основной площадки железнодорожного земляного полотна методом холодной регенерации (ресайклинг) на участках обращения тяжеловесных поездов : отчет о НИР. Новосибирск, 2020. 289 с.
 25. Котова И.А., Чижев А.В., Юдин О.Г. Техничко-экономическое сравнение технологических вариантов устройства подбалластных защитных слоев с использованием объемной георешетки // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017. № 1. С. 36–45.
 26. Полевиченко А.Г., Жданова С.М. Противодеформационные конструкции для стабилизации земляного полотна. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2005. 82 с.
 27. Разуваев Д.А. Совершенствование метода проектирования дорожных одежд при стабилизации рабочего слоя земляного полотна (на примере Новосибирской области) : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Разуваев Д.А. Новосибирск, 2013. 180 с.

REFERENCES

1. Lisitsyn A.I. Perspektivy razvitiya konstruktssii verkhnego stroeniya puti i ego elementov [Development of track superstructure and its elements]. *Put' i putevoe khozyaistvo*. 2019. V. 10. Pp. 2–7. (rus)
2. Kosenko S.A., Akimov S.S., Bogdanovich S.V., et al. Otsenka stoimosti zhiznennogo tsikla verkhnego stroeniya puti dlya razlichnykh remontnykh skhem i promezhtochnykh skreplenii [Life cycle cost estimation of the permanent way for various repair schemes and intermediate fastenings]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2020. V. 53. No. 2. Pp. 92–100. (rus)
3. Kosenko S.A., Akimov S.S. Design of track structure for corridors of heavy-train traffic. *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 239. P. 05005.

4. Kosenko S.A., Ismagulova S.O., Suslova T.M. Novaya struktura vedeniya putevogo khozyaistva na zheleznykh dorogakh Kazakhstana [New structure of track facilities management on Kazakhstan railways]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*. 2012. V. 6. Pp. 39–41. (rus)
5. Kosenko S.A., Akimov S.S. Performance characteristics of differentially quenched rails. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. V. 7. Pp. 94–105.
6. Sevost'yanov A.A., Velichko D.V. Osnovnye prichiny otkazov rel'sov v protsesse ekspluatatsii [Main causes of rail breakdowns in the operation process]. *Transport Urala*. 2017. V. 53. No. 2. Pp. 51–54. (rus)
7. Akimov S., Kosenko S., Bogdanovich S. Stability of the supporting subgrade on the tracks with heavy train movement. *Advances in Intelligent Systems and Computing: VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019*. 2020. V. 1116. Pp. 228–236.
8. Kosenko S.A., Isaenko E.P. Modelirovanie i raschety napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstruktivnykh zheleznodorozhnogo puti metodom konechnykh elementov [Stress-strain state modeling and analysis of railway track structures using finite element method]. Novosibirsk, 2017. 144 p. (rus)
9. Shurugin A.S., Shan'gin R.V., Kosenko S.A., Akimov S.S., Starovoi N.N. Sposob zameny zashchitnykh uravnitel'nykh rel'sov i rel'sov vremennogo vosstanovleniya pleti besstykovogo puti (varianty) [Replacement of clamped buffer rails and rails for temporary reconstruction of continuous welded rail track length]. Patent Russ. Fed. N 2643324. 2018. 7 p. (rus)
10. Kosenko S., Akimov S., Surovin P. Technology of rail replacement at end stresses. *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 216. P. 01002.
11. Bondar' I.S., Kvashnin M.Ya., Kosenko S.A. Diagnostika i monitoring balochnykh proletnykh stroenii zheleznodorozhnykh mostov [Diagnostics and monitoring of girder spans of railway bridges]. Nauchnye problemy realizatsii transportnykh projektov v Sibiri i na Dal'nem Vostoke. IX Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Politransportnye sistemy" (*Proc. 9th Int. Sci. Conf. 'Multitransport Systems'*). Novosibirsk, 2017. Pp. 35–43. (rus)
12. Kvashnin M.Ya., Kosenko S.A., Bondar' I.S. Vibrodiagnostika podkhodnoi nasypyi zheleznodorozhnogo mosta [Vibrodiagnostics of the railway bridge approach embankment]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2017. V. 41. No. 2. Pp. 34–39. (rus)
13. Kotova I.A., Chizhov A.V., Yudin O.G., Voblikov A.A. Optimizatsiya tekhnologii ustroystva zashchitnykh sloev s primeneniem ob'emnoi georeshetki pri modernizatsii zheleznodorozhnogo puti [Optimization of protective layer construction using geocell for railway modernization]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2015. No. 2. Pp. 32–38. (rus)
14. Kotova I.A., Chizhov A.V., Yudin O.G. Sravnitel'nyi analiz tekhnologicheskikh variantov sozdaniya podballastnykh zashchitnykh sloev pri remontakh zheleznodorozhnogo puti. [Comparative analysis of technological options for creating subballast protective layers during railway track repairs]. Nauchnye problemy realizatsii transportnykh projektov v Sibiri i na Dal'nem Vostoke. IX Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Politransportnye sistemy" (*Proc. 9th Int. Sci. Conf. 'Multitransport Systems'*). Novosibirsk, 2017. Pp. 150–153. (rus)
15. Akimov, S.S., Kosenko S.A. Resaikling kak al'ternativnyi sposob povysheniya prochnosti podballastnogo osnovaniya zheleznodorozhnogo puti [Recycling as an alternative method of increasing the strength ballast foundation of the railway track]. Nauka, obrazovanie, kadry : materialy nats. konf. v ramkakh IX Mezhdunar. Sib. transp. foruma (*Proc. National Sci. Conf. 'Science, Education, Personnel'*). Novosibirsk, 2019. Pp. 204–212. (rus)
16. Le T.H.M., Lee S.-H., Park D.-W. Evaluation on full-scale testbed performance of cement asphalt mortar for ballasted track stabilization. *Construction and Building Materials*. 2020. V. 254. P. 119249.
17. Shang Y., Xu L., Zhao Y., Huang Y., Ning-yi Ou. Experimental study on the dynamic features of cement-stabilized expansive soil as subgrade filling of heavy haul railway. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2017. V 10. No. 6. Pp. 136.
18. Lazorenko G., Kasprzhitskii A., Khakiev Z., Yavna V. Dynamic behavior and stability of soil foundation in heavy haul railway tracks: A review. *Construction and Building Materials*. 2019. V. 205. Pp. 111–136.

19. Saygili A., Dayan M. Freeze-thaw behavior of lime stabilized clay reinforced with silica fume and synthetic fibers. *Cold Regions Science and Technology*. 2019. V. 161, Pp. 107–114.
20. Krysan V., Petrenko V., Tiutkin O., Andrieiev V. Improving the safety of railway subgrade when it is strengthened using soil-cement elements. *MATEC Web of Conferences*. 2019. V. 294. P. 03006.
21. Nie R., Leng W., Yang Q., Chen Y.F., Xu F. Comparison and evaluation of railway subgrade quality detection methods. *Journal of Rail and Rapid Transit*. 2016. V. 232. No. 2. Pp. 356–368.
22. Ivanov P.V. Povyshenie nesushchei sposobnosti zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna, vosprinimayushchego vibrodinamicheskuyu nagruzku, iskusstvennym ukreplenie gruntov osnovnoi ploshchadki: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Artificial reinforcement of the main site soils to improve the bearing capacity of the railroad bed under vibrodynamic load. PhD Thesis]. Saint-Petersburg, 1999. 189 p. (rus)
23. Kolos A.F. Protivodinamicheskaya stabilizatsiya zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna putem tsementatsii gruntov osnovnoi ploshchadki [Anti-dynamic stabilization of railway subgrade by cementing the main site soils]. Saint-Petersburg, 2000. 163 p. (rus)
24. Akimov S.S., Isakov A.L., Kosenko S.A., Korolev K.V., Kuznetsov A.O., Gudkova I.N., Kotova I.A. Protivodeformatsionnoe ukreplenie osnovnoi ploshchadki zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna metodom kholodnoi regeneratsii (resaikling) na uchastkakh obrashcheniya tyazhelovesnykh poezdov [Anti-deformation strengthening of railway subgrade surface using cold regeneration (recycling) in heavy train traffic]. Novosibirsk, 2020. 289 p. (rus)
25. Kotova I.A., Chizhov A.V., Yudin O.G. Tekhniko-ekonomicheskoe sravnenie tekhnologicheskikh variantov ustroystva podballastnykh zashchitnykh sloev s ispol'zovaniem ob'emnoi georeshetki [Feasibility studies of creating sub-ballast protective layers using three-dimensional geocell]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2017. No. 1. Pp. 36–45. (rus)
26. Plevichenko A.G., Zhdanova S.M. Protivodeformatsionnye konstruksii dlya stabilizatsii zemlyanogo polotna [Anti-deformation design for subgrade stabilization]. Khabarovsk, 2005. 82 p. (rus)
27. Razuvaev D.A. Sovershenstvovanie metoda proektirovaniya dorozhnykh odezhd pri stabilizatsii rabocheho sloya zemlyanogo polotna (na primere Novosibirskoi oblasti) [Improvement of road surface design technique in stabilizing the roadbed layer (the Novosibirsk case studies)]. Novosibirsk, 2013. 180 p. (rus)

Сведения об авторах

Косенко Сергей Алексеевич, докт. техн. наук, профессор, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, kosenko.s.a@mail.ru

Котова Ирина Александровна, канд. техн. наук, доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, kotovaia@mail.ru

Акимов Сергей Сергеевич, аспирант, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ak_s_s@mail.ru

Authors Details

Sergei A. Kosenko, DSc, Professor, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, kosenko.s.a@mail.ru

Irina A. Kotova, PhD, A/Professor, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, kotovaia@mail.ru

Sergei S. Akimov, Research Assistant, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, ak_s_s@mail.ru