
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ — ТРАНСПОРТУ

УДК 625.12.033.38

Перспективные технологии усиления основной площадки земляного полотна подбалластным защитным слоем с применением высокопроизводительных комплексов российского производства

С. В. Акулинин, В. Б. Воробьев, В. А. Ульянов

АО «Тулажелдормаш», Группа ПТК, Российская Федерация, 105066, Россия, Москва, ул. Ольховская, 4/2

Для цитирования: Акулинин С. В., Воробьев В. Б., Ульянов В. А. Перспективные технологии усиления основной площадки земляного полотна подбалластным защитным слоем с применением высокопроизводительных комплексов российского производства // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 2. — С. 161–170. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-2-161-170

Аннотация

Цель: Рассмотреть вопрос необходимости проведения мероприятий по усилению основной площадки земляного полотна железнодорожного пути для снижения влияния ремонтов пути на инфраструктуру и обеспечения и повышения провозной способности железнодорожных линий. Показать необходимость увеличения выработки ведущих машин по технологии закрытого перегона с высоким качеством, а также предложить проведение дополнительных мероприятий, направленных на оптимизацию количества машин и персонала, задействованных в производственном процессе. **Методы:** Сравнение применяемых в настоящее время технологий усиления основной площадки земляного полотна подбалластными защитными слоями автотракторной техникой и железнодорожно-строительными машинами, путевыми комплексами зарубежного производства с предлагаемой технологией и использованием высокоэффективной путевой техники отечественного производства. Анализ показателей выработки и выбор оптимального варианта. **Результаты:** Указана необходимость приоритетного выбора отечественных технологий и путевых машин для выполнения капитальных ремонтов пути как наиболее эффективного способа повышения несущей способности верхнего строения пути. Рассмотрены актуальные требования к технологическим процессам и путевой технике для обеспечения устойчивой эксплуатации железнодорожного пути в условиях растущей грузонапряженности железных дорог. Представлены технические характеристики новой путевой машины для вырезки и уплотнения балласта с созданием подбалластных защитных слоев. Приводятся данные об особенностях конструкции путевой машины. **Практическая значимость:** Показаны необходимость внедрения высокотехнологичной техники и инновационных технологий, обладающих высокой выработкой в сравнении с зарубежными аналогами, и возможный экономический эффект от внедрения предлагаемых технологий. Предложенная технология позволит увеличить продолжительность жизненного цикла железнодорожного пути и снизить расходы на его эксплуатацию.

Ключевые слова: Железнодорожный путь, подбалластный защитный слой, технологический процесс, ремонт пути, многофункциональная путевая техника.

Введение

Одним из важнейших средств железнодорожного транспорта является железнодорожный путь. От состояния железнодорожного пути зависят непрерывность и безопасность движения поездов, объем перевозок [1]. Железнодорожный путь работает в различных климатических условиях, и на его эксплуатационные свойства непосредственное влияние оказывают природные факторы (температура, атмосферные осадки и пр.) [1, 2]. От организации текущего содержания и соблюдения периодичности ремонтов зависит долговечность конструкции верхнего строения пути.

К 2025 году на сети железных дорог прогнозируется увеличение количества участков пути с грузонапряженностью более 200 млн т-км брутто/км в год. Возможные реалии будущей среды определяются следующими параметрами:

- рост грузонапряженности на 20–60 %;
- уменьшение количества «окон» на 30–50 %;
- снижение «оконного» времени на 20–50 %;
- снижение предоставляемых технологических «окон».

Для реализации Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 27 ноября 2021 г. № 3363-р [3], необходимо развивать грузовые перевозки с повышенными осевыми нагрузками, весом и длиной поезда, обеспечить стабильную эксплуатационную работу инфраструктуры.

Проблема обеспечения стабильности земляного полотна

Земляное полотно на всем протяжении сети 86,763 тыс. км в основном удовлетворяет требованиям перевозочного процесса, однако с различными дефектами и деформациями эксплуатируется 7,804 тыс. км (9 %). Очевидно, что при разработке проектов новых насыпей, особенно на слабом основании (переувлажненных глинистых грунтах), актуальное значение имеют правильная оценка величины осадки насыпи и обеспечение уширения основной площадки земляного полотна. Сложные условия работы грунтов основной площадки привели к широкому распространению дефектов и деформаций этого элемента в виде балластных углублений и пучин, что вызывает повышенные затраты на содержание пути. Нормативный срок превышен на 52,5 тыс. км, или 61 %, что способствует накоплению и дальнейшему развитию дефектности.

В настоящее время ОАО «Российские железные дороги» с 2019 года с участием ведущих профильных вузов проводит активную работу по разработке конструкции и технологий содержания железнодорожного пути, обеспечивающих наработку 2,5 млрд тонн брутто пропущенного тоннажа. Однако возможности

усиления пути за счет повышения мощности верхнего строения ограничены, в то время как работа с характеристиками земляного полотна более перспективна.

Изучением работы земляного полотна и возникающих в ходе эксплуатации деформаций и дефектов занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Значительный вклад в развитие отечественной науки о земляном полотне внесли Е. С. Ашпиз, В. В. Виноградов, Г. М. Шахунянц, Т. Г. Яковлева и др. Вопросы технологии и организации работ при строительстве и реконструкции земляного полотна железных дорог нашли отражение в работах С. П. Першина, А. М. Призмазона, Э. С. Спиридонова и др.

Опыт укладки подбалластных защитных слоев

Зарубежный опыт показал, что на содержание пути с подбалластным защитным слоем требуется 20 % расходов от работ на путях традиционных конструкций, так как исключается трудоемкая выправка пути по уровню, обычно необходимая в процессе эксплуатации. Подбалластный защитный слой, уложенный на земляное полотно, может служить 40–50 лет. При этом в ходе текущего содержания пути выполняется только натяжение клемм рельсовых скреплений немногочисленными мобильными бригадами.

Отечественные исследования и работы по сооружению защитного слоя земляного полотна из щебеночно-песчаной смеси проводились на опытных полигонах, в том числе на участке экспериментального кольца ВНИИЖТа на станции Щербинка Московской железной дороги, что позволило накопить определенный опыт для дальнейших разработок нормативной базы и технологий [4].

Ведущими учеными Петербургского государственного университета путей сообщения под руководством доктора технических наук, профессора Л. С. Блажко выполнен анализ способов повышения несущей способности грунтов основной площадки земляного полотна на примере устройства подбалластного защитного слоя на линии Санкт-Петербург — Москва общестроительной техникой и машиной АНМ 800-R австрийской компании Plasser & Theurer, предназначенной для механизации устройства подбалластных защитных слоев [5, 6]. Производительность АНМ 800-R составляет до 70 м/ч в зависимости от глубины и ширины вырезки имеющегося балластного слоя, а также от рода грунта срезаемого земляного полотна.

По качеству выполняемых работ традиционная дорожно-строительная техника не могла конкурировать с АНМ 800-R, так как не позволяла обеспечить равномерную оптимальную влажность смеси по всему слою, а следовательно, достигнуть максимального равнопрочного уплотнения. Кроме того, существовали сложности с равномерной толщиной слоя и качеством поверхности.

Недостатки традиционных технологий

Основным и существенным недостатком традиционной технологии вырезки и очистки загрязненного балласта являлось отсутствие оборудования на щебнеочистительных машинах автоматизированной системы с контурами подъемно-рихтовочного устройства и заглублением баровой цепи на проектные отметки. АНМ 800-R выполняла все эти операции автоматически, однако производительность машины была низкой. Повысить ее можно было за счет увеличения количества машин, но это повлекло бы дополнительные расходы на эксплуатацию техники и содержание контингента.

Существующие во время ремонтных работ ограничения не позволяют применить многие из тех способов, которые используются при строительстве нового земляного полотна. Устройство классических защитных слоев из смеси щебнеочно-песчано-гравийных грунтов — надежный способ усиления основной площадки, однако его главный недостаток заключается в необходимости вырезки грунтов на глубину до 1 м, что в условиях большинства российских железных дорог становится дорогостоящей технологией и не вписывается в традиционные схемы ремонта пути.

Таким условиям хорошо отвечают способы с применением геосинтетических материалов, которые обеспечивают выполнение необходимых функций при меньшей толщине. К примеру, георешетки позволяют сократить толщину защитного слоя более чем в два раза, улучшив его характеристики. Эффективное применение геосинтетических материалов возможно только при соблюдении условий, при которых геотекстильный материал сохраняет свои фильтрационные свойства в течение нормативного срока службы [7, 8].

Приоритетным направлением является усиление земляного полотна на реконструкции и капитальном ремонте пути в сжатые сроки, минимизируя влияние ремонта на движение поездов. Выбор организационно-технологических решений при выполнении реконструкции и ремонте земляного полотна получил обоснование в трудах ученых ПГУПС и РУТ (МИИТ), коллективами которых наряду с научными исследованиями проведена огромная практическая работа с ремонтными и строительными организациями.

Исходя из этого, крайне необходима разработка и внедрение новых требований к технике и технологиям ремонта пути.

Особенности отечественной разработки

Существующие технологии укладки подбалластных защитных слоев автодорожной техникой и дорогостоящей низкопроизводительной машиной АНМ 800-R не удовлетворяли требованиям железнодорожников в условиях растущего объема

перевозок. Перед отечественными машиностроителями стояла сложная задача — разработать такую технику, которая позволяла бы выполнять укладку подбалластного защитного слоя без съема рельсошпальной решетки в «окно» с выработкой, превышающей зарубежные аналоги.

Благодаря результатам научных исследований ПГУПС в области усиления основной площадки земляного полотна, а также исходя из опыта укладки подбалластного защитного слоя на Октябрьской железной дороге стало возможным определить основные параметры и требования к проектированию техники и к материалу подбалластного защитного слоя.

Для решения изложенной задачи конструкторским коллективом ООО «КБ «Тулажелдормаш» (входит в Группу ПТК) разработана путевая машина для вырезки, укладки подбалластного защитного слоя и уплотнения балласта ЩОМ-МР (щебнеочистительная машина — машина распределительная), внедрение которой позволит повысить производительность и эффективность работ.

Коллективом РУТ (МИИТ) совместно с конструкторами ООО «КБ «Тулажелдормаш» в 2022 году были разработаны «Технические требования к конструкции подбалластного защитного слоя с использованием продуктов от вырезки старого балласта щебнеочистительными комплексами» [9].

Стендовые испытания виброплит ЩОМ-МР проводились на заводе АО «Тулажелдормаш» и показали выработку 200 м/ч с модулем деформации подбалластного защитного слоя, соответствующего «Техническим требованиям к конструкции подбалластного защитного слоя с использованием продуктов от вырезки старого балласта щебнеочистительными комплексами».

На основании результатов стендовых испытаний предложена технология на основе отечественной разработки.

Внедрение ЩОМ-МР (рис. 1) в цепочке с ЩОМ-2000 (рис. 2) позволит повысить качество выполнения работ по вырезке и очистке загрязненного щебеночного балласта, а также создание подбалластного защитного слоя.



Рис. 1. Машина ЩОМ-МР



Рис. 2. Комплекс для устройства подбалластного защитного слоя

Технические характеристики ЩОМ-МР

Параметр	Величина показателя
Вписывание в габарит в транспортном положении, ГОСТ 9238—2013	1-Т
Производительность в режиме: – удаления выплесков, м ³ /ч – замены балласта, м/ч – формирования подбалластного защитного слоя, м/ч	600 200 200
Глубина вырезки щебня под подошвой шпал, мм	250–600
Ширина вырезки щебня, мм	4000–6000
Глубина вырезки накопленных балластных материалов вторым баровым устройством от уровня верха головки рельсов, мм	до 600
Ширина вырезки накопленных балластных материалов вторым баровым устройством, мм	3900–6000
Скорость движения собственным ходом в двух направлениях, км/ч	0,06–1,5
Транспортировка осуществляется по кривым малого радиуса: – ЩОМ-МР – ЩОМ-МР в сцепе с ЩОМ-2000	от 125 м от 130 м
Величина понижения пути за один проход машины, мм, не менее	150
Мощность энергетической установки, кВт, не менее	400
Экипаж, чел.	4
Срок службы, лет	35

При работе комплекса обеспечивается укладка подбалластного защитного слоя в уплотнительном состоянии за один проход толщиной от 200 до 400 мм. ЩОМ-МР может выполнять работу в кривой минимального радиуса 300 м. Подробные характеристики машины представлены в таблице.

Комплекс машин способен выполнять сразу несколько ключевых задач: получать необходимый объем засорителя и обеспечивать сформированный заданный гранулометрический состав подбалластного защитного слоя с последующей подачей его под рельсошпальную решетку. Это гарантирует стабильную работу по укладке и уплотнению подбалластного защитного слоя с производительностью до 200 м/ч и повторное использование очищенного балласта.

Комплекс оснащен подъемно-рихтовочными устройствами, которые устанавливают рельсошпальную решетку на проектную ось пути. Захваты роликового типа позволяют иметь сменные бандажи по рабочим поверхностям, обеспечивающие удержание рельсовой головки. Наличие двухпоточной конвейерной системы обеспечивает подачу материала полного объема с каждой из сторон. Уплотнение верхней и боковой поверхности щебеночно-песчано-гравийной смеси выполняется до требуемого значения — 120 Мпа коэффициента деформативности. За беспрепятственную работу ЩОМ-МР отвечает отвал-планировщик высотой не менее 300 мм и конвейер-распределитель с шириной рабочей зоны 4–5 м.

Предлагаемая концепция обеспечивает:

- формирование подбалластного защитного слоя высотой до 300 мм и шириной до 5 м в полном объеме из материала балластного слоя, вырезанного и очищенного первой секцией ЩОМ-2000;
- использование очищенного щебня в объеме до 700 м³/км для предварительной балластировки пути;
- применение комплекса на всех технологиях ремонта пути при очистке или замене балласта, учитывая достигнутую производительность при формировании подбалластного защитного слоя и выполнении операции балластировки пути;
- дополнительным преимуществом данной концепции является использование 100 % объема вырезанного первого слоя балласта для формирования подбалластного защитного слоя и балластировки пути, что на 40 % сокращает объем вывозимых материалов при работе комплекса.

Перспектива применения технологии

В апреле 2021 года на полигоне Юго-Восточной железной дороги в рамках пилотного проекта по плану внедрения технологий ремонтно-путевых работ отработывалась новая технология глубокой очистки и стабилизации балластной призмы с применением щебнеочистительного комплекса ЩОМ-2000 и выправочно-подбивочно-отделочной машины ВПО-С. Результаты показали ее преимущества по критериям рабочей скорости, производительности и качеству стабилизации балластной призмы — темпы выполнения ремонтных работ увеличились вдвое.

При включении в состав технологической цепочки ЩОМ-МР решаются сразу две сложные задачи, связанные с созданием подбалластно-защитного и послойного объемно-уплотненного балластного слоя из очищенного щебня.

Главное преимущество такой технологии заключается в том, что равномерная объемно-уплотненная балластная призма правильной геометрии создается сразу же по завершении «окна», что дает возможность без промедления открывать движение поездов со скоростью от 80 до 100 км/ч вместо установленных нормативом 60 км/ч [10].

Это позволит значительно повысить пропускную способность на сети железных дорог. Следует также отметить, что внедрение технологии укладки подбалластных защитных слоев увеличивает межремонтные сроки верхнего строения пути до 20 %. Начало серийного выпуска новой техники намечено на 2025 год.

Права интеллектуальной собственности оформлены патентом на изобретение «Способ формирования подбалластного защитного слоя и комплекс машин для его осуществления» [11].

Библиографический список

1. СП 238.1326000.2015. Железнодорожный путь. — М.: Стандартинформ, 2015. — 71 с.
2. Яковлева Т. Г. Железнодорожный путь / Т. Г. Яковлева, Н. И. Карпущенко, С. И. Клинов и др.; Под ред. Т. Г. Яковлевой. — М.: Транспорт, 2010. — 405 с.
3. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.
4. Козлов А. В. Сооружение защитного слоя земляного полотна из щебеночно-песчаной смеси на опытном участке экспериментального кольца ВНИИЖТа на ст. Щербинка Московской железной дороги / А. В. Козлов // Научные труды ОАО ЦНИИС. — М.: ОАО ЦНИИС, 2005. — Вып. 228. — С. 44–56.
5. Блажко Л. С. Анализ способов повышения несущей способности грунтов основной площадки земляного полотна / Л. С. Блажко, С. Н. Чуян, В. Б. Захаров и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2016. — Вып. 3(48). — С. 328–336.
6. Шмелев В. А. Современные технологии и материалы, применяемые для ремонта и усиления земляного полотна / В. А. Шмелев // Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Г. М. Шахунянца. — Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути и сооружений. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований. 19–20 октября 2004 г. — М.: МИИТ, ОАО «РЖД», 2004.
7. Блажко Л. С. Защита от кольматирования геотекстильных материалов, применяемых в балластной призме в качестве разделительного слоя / Л. С. Блажко, В. И. Штыков, Ю. А. Канцибер и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2014. — Вып. 4(41). — С. 22–26.
8. Уланов И. С. Оценка осадки земляного полотна на участках слабых оснований / И. С. Уланов // Мир транспорта. — 2017. — № 4. — С. 102–108.
9. Технические требования к конструкции подбалластного защитного слоя с использованием продуктов от вырезки старого балласта щебнеочистительными комплексами (для опытного применения), РУТ (МИИТ), утвержденные ОАО «РЖД» № ЦДИ-375 от 22.02.2022. — 5 с.
10. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ от 14.12.2016 № 2540/р. — 209 с.
11. Патент № 277616 Российская Федерация. Способ формирования подбалластного защитного слоя и комплекс машин для его осуществления / ООО «КБ «Тулажелдормаш», 14.07.2022.

Дата поступления: 23.03.2023

Решение о публикации: 07.04.2023

Контактная информация:

АКУЛИНИН Сергей Викторович — технический директор; 3953@svmail.ru

ВОРОБЬЕВ Владимир Борисович — канд. техн. наук, председатель совета директоров; puteetz@yandex.ru

УЛЬЯНОВ Виталий Андреевич — инженер; 0208@svmail.ru

Prospective Technologies for Strengthening the Main Trackbed with a Sub-Ballast Protective Layer Using High-Performance Complexes of Russian Production

S. V. Akulinin, V. B. Vorobyov, V. A. Ulyanov

AO "Tulazheldormash", PTK Group, 4/2 Olkhovskaya str., Moscow, 105066, Russian Federation

For citation: Akulinin S. V., Vorobiev V. B., Ulyanov V. A. Prospective Technologies for Strengthening the Main Trackbed with a Sub-Ballast Protective Layer Using High-Performance Complexes of Russian Production. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 2, pp. 161–170. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-2-161-170

Summary

Purpose: To examine the necessity of conducting measures to strengthen the main trackbed of railway tracks in order to reduce the impact of track repairs on infrastructure, ensure and enhance the carrying capacity of railway lines. To demonstrate the need to increase the output of high-quality leading machines using closed-loop technology, as well as to propose additional measures aimed at optimizing the number of machines and personnel involved in the production process. **Methods:** A comparison is made between the currently employed technologies for strengthening the main trackbed with sub-ballast protective layers using automotive and tractor equipment and railway construction machinery, as well as track complexes of foreign production, with the proposed technology and the utilization of high-efficiency domestic track machinery. Analysis of productivity indicators and the selection of the optimal option. **Results:** The necessity of prioritizing domestic technologies and track machinery for conducting major track repairs is indicated as the most effective means of increasing the load-bearing capacity of the track superstructure. Current requirements for technological processes and track machinery to ensure the sustainable operation of railway tracks under growing freight traffic intensity are examined. Technical specifications of the new track machine for ballast excavation, compaction, and the creation of sub-ballast protective layers are presented. Details regarding the design features of the track machine are provided. **Practical significance:** The need for implementing high-tech equipment and innovative technologies with higher productivity compared to foreign counterparts is demonstrated, along with the potential economic benefits of adopting the proposed technologies. The suggested technology will increase the lifespan of railway tracks and reduce operating costs.

Keywords: Railway track, sub-ballast protective layer, technological process, track repair, multifunctional track machinery.

References

1. SP 238.1326000.2015. *Zheleznodorozhnyy put'* [SP 238.1326000.2015. Railway track]. Moscow: Standartinform Publ., 2015, 71 p. (In Russian)
2. Yakovleva T. G., Karpushchenko N. I., Klinov S. I. et al. *Zheleznodorozhnyy put'* [Railway way]. Moscow: Transport Publ., 2010, 405 p. (In Russian)
3. *Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda, utverzhennaya rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 27 noyabrya 2021 g. № 3363-r* [Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period until 2035, approved by the order of the Government of the Russian Federation of November 27, 2021 № 3363-r]. (In Russian)
4. Kozlov A. V. Sooruzhenie zashchitnogo sloya zemlyanogo polotna iz shchebenochno-peschanoy smesi na opytном uchastke eksperimental'nogo kol'tsa VNIIZhTa na st. Shcherbinka Moskovskoy zheleznoy dorogi [Construction of a protective layer of subgrade from crushed stone-sand mixture at the experimental site of the VNIIZhT experimental ring at st. Shcherbinka of the Moscow

Railway]. *Nauchnye trudy OAO TsNIIS* [Scientific works of JSC TsNIIS]. Moscow: OAO TsNIIS Publ., 2005, Iss. 228, pp. 44–56. (In Russian)

5. Blazhko L. S., Chuyan S. N., Zakharov V. B. Analiz sposobov povysheniya nesushchey sposobnosti gruntov osnovnoy ploshchadki zemlyanogo polotna [Analysis of ways to increase the bearing capacity of soils of the main subgrade area]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University]. 2016, Iss. 3(48), pp. 328–336. (In Russian)

6. Shmelev V. A. *Sovremennyye tekhnologii i materialy, primenyaemye dlya remonta i usileniya zemlyanogo polotna. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora G. M. Shakhunyantsa. Sovremennyye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti i sooruzheniy. Povyshenie kachestva podgotovki spetsialistov i urovnya nauchnykh issledovaniy. 19–20 oktyabrya 2004 g.* [Modern technologies and materials used to repair and strengthen the subgrade. Proceedings of the international scientific and technical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor G. M. Shakhunyants. Modern problems of design, construction and operation of the railway track and structures. Improving the quality of training of specialists and the level of scientific research. October 19–20, 2004]. M.: MIIT, OAO “RZhD” Publ., 2004. (In Russian)

7. Blazhko L. S., Shtykov V. I., Kantsiber Yu. A. Zashchita ot kol'matirovaniya geotekstil'nykh materialov, primenyaemykh v ballastnoy prizme v kachestve razdelitel'nogo sloya [Protection from clogging of geotextile materials used in a ballast prism as a separating layer]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University]. 2014, Iss. 4(41), pp. 22–26. (In Russian)

8. Ulanov I. S. Otsenka osadki zemlyanogo polotna na uchastkakh slabykh osnovaniy [Evaluation of subgrade settlement in areas of weak foundations]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2017, Iss. 4, pp. 102–108. (In Russian)

9. *Tekhnicheskie trebovaniya k konstruksii podballastnogo zashchitnogo sloya s ispol'zovaniem produktov ot vyrezki starogo ballasta shchebneochistitel'nymi kompleksami (dlya opytnogo primeneniya), RUT (MIIT), utverzhdennyye OAO “RZhD” № TsDI-375 ot 22.02.2022* [Technical requirements for the design of the under-ballast protective layer using products from cutting old ballast by crushed stone cleaning complexes (for experimental use), RUT (MIIT), approved by Russian Railways № TsDI-375 dated 22.02.2022]. 5 p. (In Russian)

10. *Instruktsiya po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya poezdov pri proizvodstve putevykh rabot № 2540/r ot 14.12.2016* [Instruction for ensuring the safety of train traffic in the production of track works № 2540/r dated 12/14/2016]. 209 p. (In Russian)

11. *Sposob formirovaniya podballastnogo zashchitnogo sloya i kompleks mashin dlya ego osushchestvleniya* [The method of forming a sub-ballast protective layer and a set of machines for its implementation]. Patent RF, no. 277616, 2022. (In Russian)

Received: March 23, 2023

Accepted: April 07, 2023

Author's information:

Sergey V. AKULININ — Technical Director; 3953@svmail.ru

Vladimir B. VOROBYOV — PhD in Engineering, Chairman of the Board of Directors;
puteetz@yandex.ru

Vitaly A. ULYANOV — Engineer; 0208@svmail.ru