

УДК 625.141, 625.123

Л. С. Блажко, С. Н. Чуян, В. Б. Захаров, Е. В. Черняев

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ  
ГРУНТОВ ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

Дата поступления: 04.07.2016

Решение о публикации: 04.10.2016

**Цель:** Обобщить опыт применения и устройства защитных подбалластных слоев для снижения интенсивности накопления остаточных деформаций земляного полотна в уровне основной площадки. Обозначить задачи, требующие скорейшего решения для повышения качества производства работ по устройству подбалластного защитного слоя. **Методы:** Использован метод теоретического анализа в части использования различных материалов и технологий, направленных на изменение свойств грунтов основной площадки земляного полотна железнодорожного пути. **Результаты:** Определена область эффективного применения защитных подбалластных слоев с учетом эксплуатационных особенностей участка железнодорожного пути. Сформулированы задачи, требующие обоснованного решения в организации производства капитальных путевых работ с использованием современной высокопроизводительной техники и контроля их качества. **Практическая значимость:** На основании многочисленных экспериментов, проведенные в разные годы учеными ПГУПС на участках пути, находящихся в различных эксплуатационных условиях, определена связь между уровнями напряжений в элементах железнодорожного пути и используемыми защитными подбалластными слоями.

Напряжение, деформация, геоматериалы, подбалластный защитный слой, земляное полотно, путеремонтный комплекс АНМ-800R.

**Lyudmila S. Blazhko**, D. Sci. (Eng.), professor; **Sergey N. Chuyan**, Cand. Sci. (Eng.), **Vladislav B. Zakharov**, Cand. Sci. (Eng.), \***Yevgeniy V. Chernyayev**, Cand. Sci. (Eng.), kaf\_jdp@mail.ru (Petersburg State Transport University) ANALYSIS OF METHODS FOR INCREASING SOIL BEARING CAPACITY OF SUPPORTING SUBGRADE

**Objective:** To summarise the experience of application and setting up safety sub-ballast layers for reduction of intensity of development of residual deformation of earthwork in the roadbed level. To set out tasks that require urgent solution to improve the quality of works conducted for setting up sub-ballast safety layer. **Methods:** Method of theoretical analysis as regards the use of various materials and technologies aimed at changing the qualities of soils of supporting subgrade of railroad track. **Results:** The field of efficient application of safety sub-ballast layers was determined with the account for operational peculiarities of a rail track section. Tasks which require justified solution in organisation of capital trackworks with the use of modern high-powered equipment and quality control thereof. **Practical importance:** On the basis of numerous experiments conducted by Petersburg State Transport University (PGUPS) researchers over a number of years on track sections experiencing different operational conditions, connection was established between stress levels in rail track elements and sub-ballast safety layers being used.

Strain, deformation, geomaterials, sub-ballast safety layer, earth work, track-repair system АНМ-800R.

В стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года заявлено: «Эффективное функцио-

нирование железнодорожного транспорта Российской Федерации играет исключительную роль в создании условий для модер-

низации, перехода на инновационный путь развития и устойчивого роста национальной экономики, способствует созданию условий для обеспечения лидерства России в мировой экономической системе» [12].

При модернизации железнодорожного транспорта предусматриваются обеспечение необходимой пропускной способности на основных направлениях перевозок, перевозок инновационным подвижным составом с исключением из эксплуатации подвижного состава с истекшим сроком службы, коренная модернизация объектов инфраструктуры, разработка и внедрение новых требований к технике и технологиям, строительство новых железнодорожных линий для динамичного расширения железнодорожной сети.

Безотказную работу конструкции железнодорожного пути при максимально возможном сроке эксплуатации в межремонтный период обеспечивает комплексное развитие железнодорожного транспорта. Состояние верхнего строения пути (ВСП) определяет качество услуги, которую перевозчик ОАО «РЖД» предоставляет заказчику. Поскольку на ряде длительно эксплуатируемых направлений необходимо реализовать программы развития грузовых перевозок с повышенными осевыми нагрузками, весом и длиной поезда, появляется задача не допустить превышения значения напряжений в элементах конструкции железнодорожного пути при взаимодействии с подвижным составом.

### **Влияние геосинтетических материалов на уровень напряжений в элементах конструкции железнодорожного пути**

Для обеспечения требуемых показателей несущей способности грунтов основной площадки земляного полотна при повышенных осевых нагрузках или при возрастающем вибродинамическом воздействии от движения высокоскоростных поездов используется одно из наиболее действенных решений –

подбалластный защитный слой, в том числе армированный геоматериалами [2, 4–6]. Сегодня на сети железных дорог России применяются различные геосинтетические материалы, классифицируемые по цели применения (армирование, разделение, фильтрация и др.), по месту расположения в конструкции железнодорожного пути (основная площадка земляного полотна, рабочая зона, откосы и др.), по конструктивному элементу (плиты, геотекстиль, георешетки и др.) и по химическому составу материала. Специалисты кафедры «Железнодорожный путь» ПГУПС выполнили натурные эксперименты на путях общего пользования при типовых условиях эксплуатации линии Санкт-Петербург – Москва II главный путь перегон Тосно – Ушаки Октябрьской железной дороги, чтобы определить эффективность использования ряда геосинтетических материалов (георешетки Fortrak, Tenax, геоячейки «Геокаркас», геокомпозита Enkagrid TRC) для снижения интенсивности накопления остаточных деформаций в рабочей зоне земляного полотна в уровне основной площадки [1, 9]. Результаты показали, что использование в конструкции пути геоматериалов уменьшает уровень как вертикальных, так и горизонтальных напряжений в подрельсовом сечении по сравнению с опытным участком аналогичной конструкции, на котором геоматериалы не использовались. Например, если применять многослойные конструкции (2 слоя георешетки Fortrak), то вертикальные напряжения снижаются в 1,2 раза. При этом вертикальные напряжения перераспределяются по поперечному сечению: наибольшие напряжения зафиксированы в сечении у торца шпалы и по оси пути.

Горизонтальные напряжения в подрельсовом сечении уменьшаются по сравнению с контрольным участком в 1,2 раза при укладке георешеток Tenax в 1 слой и более чем в 2 раза – при укладке геокомпозита Enkagrid TRC и при использовании геоячеек «Геокаркас», а перераспределяются горизонтальные напряжения за счет их уменьшения по оси рельса и торцу шпалы и роста по оси пути.

Анализ напряженного состояния грунтов земляного полотна в уровне основной площадки с георешетками Fortrak, Tenaх, уложенных в подбалластную зону в один слой, и с георешеткой Fortrak, уложенной в два слоя, показал, что один слой георешеток Tenaх лучше выполняет функцию армирования, нежели георешетка Fortrak. Укладка последней в два слоя нецелесообразна из-за необходимости существенно изменять технологию производства работ и из-за общего удорожания за счет увеличения объема работ и материалов.

Учитывая, что георешетка Tenaх более жесткая и лучше армирует грунт, чем георешетка Fortrak, можно утверждать, что для равномерного распределения подвижной нагрузки по основной площадке земляного полотна необходимо применять геоматериалы с показателями более высокой жесткости.

Если грунты основной площадки земляного полотна армированы геоматериалами, то снижается влияние как скорости поездов, т. е. вибродинамического воздействия, так и осевых нагрузок, определяющих уровень вертикальных и горизонтальных напряжений, как следствие, уменьшается интенсивность накопления остаточных деформаций в земляном полотне вообще и в уровне основной площадки в частности. Стоит отметить, что наибольший эффект достигается при соблюдении технологии укладки и правильном подборе свойств геоматериала для конкретных эксплуатационных, природно-климатических и инженерно-геологических условий [3, 13].

### **Работа машины АНМ-800R как решение проблемы механизации работ по устройству защитного подбалластного слоя**

Учитывая природно-климатические особенности района работы железнодорожного пути, а также физико-механические характеристики грунтов земляного полотна, на котором размещается ВСП, применение описанных выше методов повышения несущей

способности грунтов основной площадки земляного полотна ограничено. Интенсивность образования остаточных деформаций грунтов основной площадки земляного полотна, сложенного слабыми и (или) чрезмерно увлажненными грунтами земляного полотна вне зависимости от наличия или типа защитного слоя будет иметь положительную динамику развития по сравнению с земляным полотном, сложенным дренирующими грунтами. Рост деформации в уровне основной площадки земляного полотна (образование балластных углублений), в свою очередь, способствует увеличению влажности грунта земляного полотна и как следствие – снижению его несущей способности.

Предлагались разные технические решения для снижения развития деформаций в уровне рабочей зоны основной площадки земляного полотна [7, 8], в том числе цементация, битумизация, силикатизация и др. В 2008 г. на линии Санкт-Петербург – Москва перегон Торбино – Боровенка была опробована технология устройства защитного подбалластного слоя, который состоял из разделительного слоя (геотекстиля+георешетки), уложенного на грунты земляного полотна и щебеночно-песчано-гравийной смеси (ЩПГС), которую послойно уплотняли общестроительной техникой, создавая основу для устройства ВСП. Необходимость создания столь мощной конструкции было продиктовано неукоснительным обеспечением безопасности движения на экспериментальном участке пути, где проходили опытные заезды поезда «Сапсан» со скоростью до 275 км/ч. Положительная практика эксплуатации созданной конструкции определила её распространение на участках обращения как высокоскоростных поездов, так и (с дополнительным усилением объемной георешеткой) грузовых поездов повышенной массы и длины. Главной проблемой при создании таких подбалластных защитных слоев в недавнем прошлом была сложная технология их устройства. Тогда ОАО «РЖД» решило приобрести инновационную путевую машину АНМ-800R производства австрий-

ской компании Plasser&Theurer для механизации устройства защитных подбалластных слоев [10, 11, 14, 15].

Производство данной путевой техники начато в 1994 г. в Австрии. В настоящее время выпущено не более 30 машин, больше всего их эксплуатируется в Китае – 8 штук. Сертификационные испытания машины АНМ-800R в РФ выполнены в апреле 2013 г. на перегоне Веймарн – Вервенка Октябрьской железной дороги.

Производительность машины составляет до 70 м в час в зависимости от глубины и ширины вырезки имеющегося балластного слоя, а также от рода грунта срезаемого земляного полотна. Обслуживают машину высокопрофессиональные специалисты, которые проходят специальную подготовку в компании Plasser&Theurer. Состав одной смены 8 машинистов. В России машина работает в круглосуточные «окна» в две смены. Плановая годовая выработка машины составляет 50–70 км модернизации главных путей. Технические характеристики машины представлены в таблице.

Путевая машина АНМ-800R является многофункциональным путеремонтным комплексом на железнодорожном ходу. В составе комплекса по ходу движения включены:

- установка для переработки (рециклинга) щебня, который после дробления используется как один из компонентов подбалластного защитного слоя, устраиваемого непрерывно комплексом АНМ-800R в зоне основной площадки земляного полотна;
- экскаваторная секция, предназначенная для полной вырезки материала балластного слоя и срезки грунта основной площадки земляного полотна;
- приводной модуль;
- вагон-цистерна для снабжения машины водой при необходимости увлажнения ЦППС.

Устройство подбалластного защитного слоя с частичным использованием материала балласта ремонтируемого участка выполняется в такой последовательности:

- вырезка первым баровым устройством машины загрязненного щебеночного балласта и его переработка (дробление) для дальней-

Технические характеристики машины АНМ-800R

Показатель	Величина
Производительность машины (вырезка балластного материала, укладка и уплотнение щебеночно-песчано-гравийной смеси (ЩПГС), м/ч	30–70
Ширина вырезки, мм: – первым баровым устройством – вторым баровым устройством	4000 4050–6600
Максимальная глубина вырезки ниже УГР, мм – первым баровым устройством – вторым баровым устройством	1000 1200
Максимальная высота укладки ЦППС за один проход в уплотненном состоянии, мм	500
Ширина отсыпаемого защитного подбалластного слоя, мм	5000
Радиус проходимых криволинейных участков пути, м	250
Максимальная скорость движения, км/ч – самоходом (без прицепной нагрузки) – транспортная, в составе поезда	20 80

шего использования при укладке защитного подбалластного слоя;

- вырезка вторым баровым устройством машины накопленных балластных материалов и верхнего слоя земляного полотна с погрузкой в составы для засорителей;

- планировка поверхности среза земляного полотна;

- укладка на поверхность среза разделительного, и (или) армирующего, и (или) теплоизоляционного материала (геотекстиля, георешетки, геоячейки, пенополистирола и др.), определенного проектом с учетом инженерно-геологических, природно-климатических и эксплуатационных условий;

- укладка защитного подбалластного слоя из ЩПГС, его увлажнение, планировка и уплотнение специальными виброплитами машины АНМ-800R.

К неоспоримым преимуществам использования машины перед существующими технологиями модернизации железнодорожного пути с применением общестроительной техники следует отнести:

- возможность непрерывно формировать подбалластный защитный слой толщиной до 50 см без демонтажа рельсошпальной решетки, что существенно повышает производительность работ без привлечения дополнительной техники. Кроме того, для формирования защитного слоя частично применяется материал балластной призмы, предварительно измельченный и смешанный с гравийно-песчаной смесью. Все операции производятся в темпе работы машины;

- возможность в темпе работы машины увлажнять материал защитного слоя для его эффективного уплотнения виброплитами машины. Данную операцию обеспечивает применение вагона-цистерны, включенной в состав машины, емкость цистерны позволяет непрерывно увлажнять значительные участки защитного слоя. Подача и расход воды могут контролироваться как автоматически, так и оператором машины и корректироваться в зависимости от темпа работы и влажности ЩПГС;

- возможность одновременного устройства разделительного и (или) армирующего слоя геосинтетическими материалами, поставляемыми в рулонах. Конструкция машины позволяет в сечении устройства защитного подбалластного слоя разместить рулонный защитный материал (геотекстиль, геокомпозит), который укладывается в темпе машины, раскатываясь на грунтах основной площадки земляного полотна. Это предупреждает смешение материалов ЩПГС и грунта земляного полотна, а кроме того, геокомпозит, обладающий армирующей функцией, дополнительно уменьшает интенсивность образования деформаций в подрельсовой зоне на уровне грунтов основной площадки земляного полотна;

- сокращение времени закрытия пути, что позволяет более эффективно использовать временной ресурс для производства основных работ по устройству защитного подбалластного слоя;

- отсутствие необходимости закрытия соседнего пути; машина в рабочем положении находится в габарите, что обеспечивает – хотя и в меньшем объеме – пропускную способность железнодорожной линии;

- отсутствие потребности в использовании соседнего пути для обеспечения подвоза материала ЩПГС, воды. Это очевидное преимущество позволяет обеспечивать минимально необходимую провозную способность на участке капитальных путевых работ;

- минимизацию нагрузки на основную площадку земляного полотна во время проведения работ. Рельсошпальная решетка укладывается на сформированный защитный подбалластный слой, уплотненный до такой степени, при которой в зоне контакта со шпалой не возникает углублений и просадок (рис. 1).

В 2014 г. впервые в России на участках высокоскоростного движения Октябрьской железной дороги (перегон Малая Вишера – Бурга (21 км) и Вышний Волочек – Академическая (15,6 км)) при реконструкции пути применялась путевая машина АНМ-800R.

На 2015 г. были запланированы работы в объеме 28,4 км на двух участках высокоско-



Рис. 1. Расположение рельсошпальной решетки на сформированном защитном слое

ростного движения (перегоны Спирово – Калашниково и Вышний Волочек – Елизаровка). В результате 100%-го выполнения плановых работ на данных перегонах установлена скорость 230 и 250 км/ч, соответственно.

В плане путевых работ 2016 г., который начался 11 апреля, машина АНМ-800R должна была выполнить модернизацию перегонов Малая Вишера – Бурга II гл. путь (18 км) и Чудово – Гряды I гл. путь (23 км) [10].

В процессе эксплуатации машины АНМ-800R на Октябрьской железной дороге выявлены задачи в части совершенствования организации работ и контроля их качества:

- составление карты характеристик земляного полотна на участке работ машины для качественной проработки проектных решений;
- адресная разработка технологического процесса всего комплекса работ с применением машины АНМ-800R, включая вспомогательные операции в зависимости от инженерно-геологических, природно-климатических и эксплуатационных условий;
- разработка детальной технологии работы на отводах в местах зарядки и разрядки машины (рис. 2);
- разработка технических решений по работе машины в местах, ограниченных габаритом (возле опор контактной сети);
- контроль качества ЩПГС и полученного из нее защитного слоя (в ходе и по окончании работ);



Рис. 2. Применение мешков со щебнем для устройства отвода в месте зарядки машины

- разработка метода непрерывного контроля качества подбалластного защитного слоя на стадии укладки;
- разработка и утверждение норм времени и расхода материалов на весь технологический процесс;
- разработка технологии дозирования машины водой для увлажнения защитного слоя, поскольку ёмкость цистерны, включенной в комплекс машины, недостаточна;
- разработка конструкции крепления или системы направления работы машины (используемый сегодня направляющий трос зачастую вызывает сбой в работе машины) (рис. 3).

Отдельное внимание необходимо уделить контролю качества балласта, получаемого в результате дробления материала, и его последующего смешивания с песчано-гравийной смесью, определить жесткие требования к

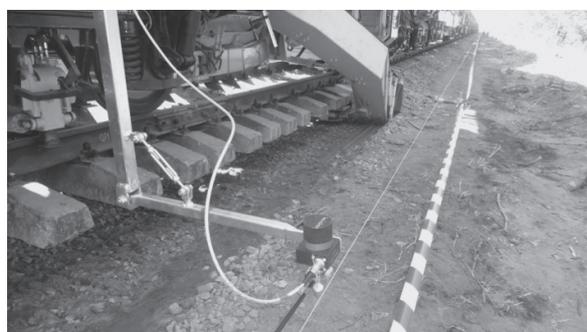


Рис. 3. Крепление направляющего троса машины

однородности материала по всей ширине и по длине укладки.

Сформированный машиной АНМ-800R подбалластный слой должен удовлетворять требованиям, заявленным и утвержденным Инструкцией по устройству подбалластных защитных слоев при реконструкции (модернизации) железнодорожного пути.

## Заключение

Хотелось бы отметить, что любой метод и технология, положительно зарекомендовавшие себя в конкретных условиях эксплуатации, а также полученные в результате моделирования, могут быть рекомендованы к опытному применению, однако подлежат пристальному анализу и при необходимости – коррекции. Сегодня путевые работы, выполненные по технологиям усиления несущей способности грунтов земляного полотна, не имеют своего технико-экономического обоснования о влиянии на систему технического обслуживания пути в дальнейшем. На наш взгляд, надо продумать все возможные варианты технологий текущего содержания, ремонта и реконструкции подбалластного защитного слоя по истечении срока его безотказной службы с максимально возможным уровнем механизации при оптимальных трудовых материальных затратах и минимальных потерях, связанных с производством работ.

Еще один вопрос, требующий тщательной проработки – это оценка изменения взаимодействия ВСП с подбалластным слоем, с подвижным составом, его влияния на возможное развитие неблагоприятных изменений в элементах ВСП и подвижного состава, связанных с изменением во времени жесткости подбалластного слоя под воздействием вибродинамической нагрузки от подвижного состава и природно-климатических факторов.

## Библиографический список

1. Блажко Л. С. Влияние геоматериалов в конструкции балластного (защитного) слоя на работу

рельсов и основной площадки земляного полотна / Л. С. Блажко // Материалы регионал. науч.-техн. конф. «Железнодорожный транспорт. Итоги и перспективы развития». – Новосибирск : СГУПС, 2002.

2. Блажко Л. С. Геоматериалы при высоких осевых нагрузках / Л. С. Блажко // Путь и путевое хозяйство. – 2002. – № 10. – С. 36–37.

3. Блажко Л. С. Дополнительные требования к геотекстильным материалам, применяемым в качестве разделительного слоя в железнодорожном полотне / Л. С. Блажко, В. И. Штыков, Е. В. Черняев, А. Б. Пономарев // Междунар. науч.-практич. конф. «Транспорт-2014», Ростов-н/Дону, 22–25 апр. 2014 г. : сб. трудов. Ч. 2. – Ростов-н/Дону, 2014. – С. 156–158.

4. Блажко Л. С. К вопросу об эффективности применения геоматериалов в конструкции защитного слоя / Л. С. Блажко, А. В. Петряев, Е. С. Свинцов // Актуальные проблемы Транссиба на рубеже веков : сб. науч. тр. Всерос. науч.-техн. конф. Ч. 1. – Екатеринбург : Урал. гос. ун-т путей сообщения, 2000. – С. 338–342.

5. Блажко Л. С. Напряженно-деформированное состояние рельсов в зоне укладки геоячеек / Л. С. Блажко // Применение геоматериалов при строительстве и реконструкции транспортных объектов : материалы 2-й междунар. науч.-техн. конф. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2002. – С. 63–65.

6. Блажко Л. С. Напряженное состояние основной площадки земляного полотна, усиленной геосинтетическими материалами / Л. С. Блажко, И. В. Прокудин, А. Ф. Колос // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : материалы регионал. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : УрГУПС, 2003. – С. 133–141.

7. Блажко Л. С., Штыков В. И., Черняев Е. В. Железнодорожный путь. Пат. на полезную модель № 97737. Оpubл. 20.09.2010. – Бюл. 26.

8. Блажко Л. С., Штыков В. И., Черняев Е. В. Железнодорожный путь. Пат. на полезную модель № 118640. Оpubл. 27.07.2012. – Бюл. 21.

9. Блажко Л. С. Эксперименты с геоматериалами / Л. С. Блажко // Путь и путевое хозяйство. – 2003. – № 2. – С. 12–13.

10. Дорощенко Н. Ставка на скорость / Н. Дорощенко // Октябрьская магистраль. – 2016. – 07.04. – С. 7. – URL : [www.gudok.ru/rzd/169/?ID=1333093](http://www.gudok.ru/rzd/169/?ID=1333093).

11. Позолотчикова Я. Техника – на перспективу. Путьевая машина АНМ-800R будет работать на участках ВСМ // Гудок. – 2015. – Вып. 163. – 14 сент.

12. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года (утв. распоряжением правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р).

13. Черняев Е. В. Срок службы геотекстильных материалов / Е. В. Черняев // Путь и путьевое хозяйство. – 2010. – № 7. – С. 37–39.

14. Piereder F. Planumsverbesserung mit der Aushubmaschine АНМ 800-R / F. Piereder, R. Schilder. – URL : [https://www.plassertheurer.com/pdf/publications/etr\\_0009.pdf](https://www.plassertheurer.com/pdf/publications/etr_0009.pdf).

15. Strengthening the formation. Recycling of used ballast as a sand/gravel mixture. – URL : [www.plassertheurer.com/en/machines-systems/formation-rehabilitation-ahm-800-r.html](http://www.plassertheurer.com/en/machines-systems/formation-rehabilitation-ahm-800-r.html).

## References

1. Blazhko L. S. Vliyaniye geomaterialov v konstruktsii ballastnogo (zashchitnogo) sloya na rabotu relsov i osnovnoy ploshchadki zemlyanogo polotna [Influence of Geomaterials in the Construction of Ballast (Safety) Layer on the Operation of Rails and Supporting Subgrade]. *Materialy regionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Zheleznodorozhnyy transport. Itogi i perspektivy razvitiya” [Papers of the Regional Sci. and Technical Conference “Rail Transport. Results and Perspectives for development”]*. Novosibirsk, SGUPS, 2002.

2. Blazhko L. S. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 2002, no. 10, pp. 36-37.

3. Blazhko L. S., Shtykov V. I., Chernyayev Ye. V. & Ponomarev A. B. Dopolnitelnyye trebovaniya k geotekstilnym materialam, primenyayemym v kachestve razdelitel'nogo sloya v zheleznodorozhnom polotne [Additional Requirements for Geotextiles Applied as Separation Layer in Railway Groundwork]. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Transport-2014” [Int. Sci. and Practical Conf. Trans-*

*port-2014]*, Rostov-on-Don, Apr. 22–25 2014: Coll. Papers. Pt. 2. Rostov-on-Don, 2014. Pp. 156-158.

4. Blazhko L. S., Petryayev A. V. & Svintsov Ye. S. K voprosu ob effektivnosti primeneniya geomaterialov v konstruktsii zashchitnogo sloya [On Efficiency of Application of Geomaterials in Construction of Safety Layer]. *Aktualnyye problemy Transsiba na rubezhe vekov: sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Current Problems of the Transsiberian Railway at the Turn of the Century: Coll. Sci. Papers of the All-Russian Sci. and Technical Conf.]*. Pt. 1. Yekaterinburg, Uralskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, 2000. Pp. 338-342.

5. Blazhko L. S. Napryazhenno-defirmirovannoye sostoyaniye relsov v zone ukladki geoyacheyek [Strain-Stress State of Rails in the Zone of Geocell Placement]. *Primeneniye geomaterialov pri stroitel'stve i rekonstruktsii transportnykh ob'yektov: materialy 2-oy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Application of Geomaterials in Construction and Reconstruction of Transport Objects: Papers of the 2nd Int. Sci. and Technical Conf.]*. St. Petersburg, PGUPS, 2002. Pp. 63-65.

6. Blazhko L. S., Prokudin I. V. & Kolos A. F. Napryazhennoye sostoyaniye osnovnoy ploshchadki zemlyanogo polotna, usilennoy geosinteticheskimi materialami [Strain State of Supporting Subgrade Strengthened by Geosynthetic Materials]. *Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnoy transporta: materialy regionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Problems and Development Perspectives of Rail Transport: Papers of the Regional Sci. and Technical Conference]*. Yekaterinburg, UrGUPS, 2003. Pp. 133-141.

7. Blazhko L. S., Shtykov V. I. & Chernyayev Ye. V. Zhelznodorozhnyy put [Rail Track]. Utility Patent № 97737. Published Sep. 20, 2010. Bull. 26.

8. Blazhko L. S., Shtykov V. I. & Chernyayev Ye. V. Zhelznodorozhnyy put [Rail Track]. Utility Patent № 118640. Published Jul. 27, 2012. Bull. 21.

9. Blazhko L. S. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 2003, no. 2, pp. 12-13.

10. Doroshchenko N. *Oktyabrskaya Magistral – October Mainline*, Apr. 7, 2016, p. 7, available at: [www.gudok.ru/rzd/169/?ID=1333093](http://www.gudok.ru/rzd/169/?ID=1333093).

11. Pozolotchikova Ya. *Gudok – Siren*, Sep. 14, 2015, Is. 163.

12. Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda [Strategy for Development of Rail Transport in the Russian Federation through to 2030], enacted by Russian Federation government order N 877-r on Jun. 17, 2008.

13. Chernyayev Ye. V. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 2010, no. 7, pp. 37-39.

14. Piereder F. & Schilder R. Planumsverbesserung mit der Aushubmaschine AHM 800-R, available at: [https://www.plassertheurer.com/pdf/publications/etr\\_0009.pdf](https://www.plassertheurer.com/pdf/publications/etr_0009.pdf).

15. Strengthening the formation. Recycling of used ballast as a sand/gravel mixture, available at: [www.plassertheurer.com/en/machines-systems/formation-rehabilitation-ahm-800-r.html](http://www.plassertheurer.com/en/machines-systems/formation-rehabilitation-ahm-800-r.html).

БЛАЖКО Людмила Сергеевна – доктор техн. наук, профессор; ЧУЯН Сергей Николаевич – канд. техн. наук; ЗАХАРОВ Владислав Борисович – канд. техн. наук; \*ЧЕРНЯЕВ Евгений Владимирович – канд. техн. наук, [kaf\\_jdr@mail.ru](mailto:kaf_jdr@mail.ru) (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).