

НЕИСПРАВНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Стаття присвячена найбільш розповсюдженим несправностям земляного полотна та способам їх усунення. У статті розглядається використання геосинтетичних матеріалів, які сприяють підвищенню стійкості земляного полотна.

ROADBED DAMAGES AND WAYS OF THEIR REMOVAL

This paper describes the most typical damages of the roadbeds and ways of their removal. It is proposed to use geo-synthetical materials that can improve durability of the roadbeds.

Земляное полотно предназначено для обеспечения стабильности пути при различных климатических условиях, независимо от того, какими физико-механическими свойствами обладает грунт, из которого было сооружено земляное полотно.

Учитывая, что основная часть главных железнодорожных магистралей эксплуатируется более 100 лет, на многих из них земляное полотно исчерпало свой ресурс. При создании первых железнодорожных магистралей расчетные осевые нагрузки составляли: для паровозов – 12,5 – 15 т на ось, вагонов – 2,2 – 2,6 т на ось [1].

Наиболее распространенные неисправности земляного полотна – сплывы, оползни, размывы, пучение, проседание балластной призмы с образованием балластных корыт и линз, глубиной до 4 – 9 м.

При сооружении земляного полотна преимущественно используются местные грунты различных пород, у которых физико-механические свойства неодинаковы, поэтому при взаимодействии с грунтовыми и поверхностными водами, при сезонном промерзании и оттаивании, восприятии временной динамической нагрузки от проходящих поездов, грунты подвергаются неодинаковому напряжению и деформациям.

Проблемы устойчивости земляного полотна актуальны для магистральных, промышленных и рудничных железных дорог. Одна из основных причин ослабления путевой структуры – снижение несущей способности земляного полотна. Без применения защитных мер путь, уложенный на слабом грунте, подвергается значительным деформациям при прохождении подвижного состава с большими осевыми нагрузками, что, в свою очередь, приводит к увеличению расходов по текущему содержанию и ремонту пути, длительным перерывам в движении поездов, а в некоторых случаях – к сходам подвижного состава с рельсов.

Для повышения устойчивости существует несколько методов восстановления несущей способности пути. Одним из таких методов является подрезка балласта, однако этот способ зачастую не дает желаемого эффекта, так как при этом не выполняется очистка и восстановление дренажных устройств, а также основной площадки земляного полотна. При подрезке балластной призмы ку

но параллельно проводить очистку плеч балластной призмы, кюветов, дренажей [2].

Другим, более эффективным способом, является применение различных разделительных материалов, которые укладываются между балластным слоем и основной площадкой земляного полотна. Это препятствует попаданию дождевых вод на основную площадку земляного полотна, а так же не допускают проникновение и смешивание частиц земляного полотна с балластным слоем.

Для повышения устойчивости земляного полотна в качестве защитного слоя могут применяться следующие материалы: защитный слой из гравийно-песчаной смеси, из горячей асфальтовой смеси, с использованием геосинтетических материалов на основе геотекстиля [3].

Улучшение устойчивости пути можно также достигнуть путем искусственного закрепления частиц эластомерными материалами, которые создадут дополнительные удельные силы сцепления, которые в составе с силами сопротивления от удельного трения, при этом общее удельное сопротивление перемещению частиц значительно возрастет [4].

Для защиты земляного полотна требуются достаточно плотные материалы, которые должны соответствовать следующим требованиям:

- для защиты слабого земляного полотна от перегрузки;
- для защиты от промерзания;
- для фильтрации между балластом и земляным полотном;
- для защиты земляного полотна от атмосферных вод.

Для защиты грунта от промерзания необходимо ограничить процентное содержание мелких частиц и распределять неравномерно фракции по размерам, чтобы предотвратить застаивание воды в верхнем слое или земляном полотне, замерзание которой может привести к вспучиванию грунта. Для этого необходимо предотвратить попадание глинистых частиц земляного полотна в балластный слой [3].

Одним, из наиболее перспективных вариантов является укладка геосинтетических материалов.

Известно, что разделительная функция геотекстиля заключается в предотвращении проникновения фракций балласта в земляное полотно. С другой стороны, геотекстиль предотвращает попадание частиц земляного полотна в балласт и тем самым его загрязнение и снижение несущей способности. Дренажная функция геотекстиля заключается в пропуске через него грунтовых вод из земляного полотна вверх к поверхности путевой структуры. Поскольку накопление воды под геотекстилем может привести к ослаблению земляного полотна, его делают водопроницаемым.

Существует ошибочное мнение, что геотекстиль должен быть проницаемым и для пропуски дождевой воды из балласта в основание пути, однако когда дождевая вода доходит до геотекстиля, ее необходимо отвести на обочину пути в дренажный кювет, так как пропуск воды в земляное полотно снижает несущую способность земляного полотна.

В зависимости от несущей способности и однородности грунта, из которого отсыпано земляное полотно, от уровня грунтовых вод под земляным полотном используются разные марки геотекстиля.

Британская компания Tetraim [5] занимается производством геосинтетических материалов и, в частности, геотекстиля для применения в качестве защитного слоя, для защиты земляного полотна от поверхностных и грунтовых вод с начала 90-х годов. В настоящее время производится несколько марок геотекстиля, которые применяются в зависимости от уровня грунтовых вод, профиля железных дорог, скорости движения поездов и грузонапряженности. Большинство из них прошли испытания, показали себя с лучшей стороны и эксплуатируются на железных дорогах Великобритании [5].

Наиболее распространенным защитным материалом является геотекстиль марки RW1 [5], который позволяет грунтовым водам легко выходить вверх под давлением от проходящих поездов. Однако во время дождя наличие геотекстиля способствует тому, чтобы проникающая через балласт вода не попадала на основную площадку земляного полотна, а отводилась в дренажные кюветы.

В нормальном статическом состоянии и при нормальной работе дренажа частицы вязкого глинистого и илесто-глинистого грунта перекрывают мелкие поры, но в то же время вода может дренировать через них. В динамическом состоянии под воздействием проходящего подвижного состава под балластным слоем возникает явление подсоса. В результате под действием пульсирующей динамической нагрузки глинистые и илистые частицы грунта стремятся проникнуть вверх, в балластный слой. Укладка геотекстиля на глинистый или илестый грунт под балластом может замедлить проникновение частиц грунта в балласт, но не предотвратить его полностью.

Наиболее эффективным техническим решением по предотвращению загрязнения балласта частицами глинистого и илистого грунта является укладка подбалластного защитного слоя из сортированного мелкого песка, поверх которого укладывается геотекстиль. Мелкий песок не допускает попадания илесто-глинистых грунтов в геотекстиль, а геотекстиль предотвращает смешивание песка с балластом. При этом размер пор в геотекстиле должен быть близок к размеру частиц мелкого песка, чтобы обеспечить соответствующую водопроницаемость. Если поры будут меньше, возникнет значительное сопротивление водному потоку. Достаточная для эффективной фильтрации толщина песчаного слоя составляет 15 мм, однако, на практике такой слой укладывается толщиной не менее 50-мм. Такое техническое решение применяется на влажных грунтах при высоком уровне грунтовых вод, в том числе артезианских, что особенно актуально для обеспечения водоотвода в выемках. Применение геотекстиля позволяет уменьшить толщину защитного песчаного слоя и тем самым снизить стоимость текущего содержания и ремонтов пути.

Если уровень грунтовых вод под земляным полотном не выше 600 мм, то снижение давления с помощью укладки водопроницаемого слоя геотекстиля не

требуется. Вместо этого целесообразно использовать водонепроницаемую мембрану, так как помимо отделения грунта от балласта, она защищает земляное полотно от проникновения дождевой воды.

В таких случаях оптимальным решением является укладка композитного материала Tetram марки RW3 [5], в основе которого лежит гибкая и плотная водонепроницаемая пленка, защищенная сверху и снизу геотекстилем марки RW1. Его легко доставлять к месту работ и быстро укладывать, что является большим преимуществом по сравнению с сочетанием песчаного слоя и однослойного геотекстиля, так как не требуется «окон» большой продолжительности. При этом проникающая из балластного слоя вода стекает по пленке на обочину пути в дренажные кюветы.

Следует учитывать, что не все загрязняющие балласт частицы проникают снизу из земляного полотна. Под действием динамической нагрузки от проходящих поездов со временем происходит абразивное истирание балластного слоя, и в нем самом образуются илстые частицы, которые снижают несущую способность балластного слоя, вследствие чего требуется очистка или замена балластного слоя. Образование илстых частиц в балласте приводит к снижению дренажных функций балласта, так как вода удерживается в нем. Для устранения этого явления компания Tetram разработала материал марки RW2, который представляет собой дренажную сетку, уложенную между двумя слоями геотекстиля RW1. Tetram RW2 обеспечивает поперечный отвод воды у основания балластного слоя, и, несмотря на истирание балласта, его дренажные свойства сохраняются. Структура RW2 обеспечивает высокую сопротивляемость прокалыванию.

В настоящее время геотекстиль данной марки широко применяют при реконструкции магистральных железнодорожных линий в Великобритании.

Для условий, когда грунт земляного полотна слаб или неоднороден, то для обеспечения несущей способности основания пути компанией Tetram создан композитный материал марки RW4. В его состав входят геотекстиль марки RW1 и жесткая геосинтетическая решетка Tensar SS40. Результаты испытаний показали, что геосинтетическая решетка увеличивает жесткость подрельсового основания и снижает интенсивность осадки пути до уровня, соответствующего земляному полотну из стабильных грунтов. Кроме этого, снижается и упругая осадка, что способствует обеспечению равножесткости пути по его длине.

В настоящее время Tetram ведет разработку геотекстильного материала новой марки RW5, детектируемого радаром. Применение радара позволит значительно повысить точность контроля состояния пути и тем облегчить и снизить стоимость работ по содержанию земляного полотна [5].

В отличие от британского геотекстиля различных марок изготовленных компанией Tetram, американский аналог GEOWEB [6], разработанный компанией Presto Products имеет ячеистую (сотовую) структуру с переменной высотой открытых сверху и снизу ячеек. Высота ячеек 205 мм.

Испытания данного материала проводились Центром транспортных технологий (ТТС) в США на экспериментальном участке [6].

Земляное полотно было сооружено из слабых глинистых грунтов. Модуль упругости пути – 140 кг/см^2 . Среднее напряжение в подрельсовой зоне земляного полотна – $0,9 \text{ кг/см}^2$. При осевых нагрузках в $35,5 \text{ т}$ после пропуска, в среднем, каждые 14 млн. т брутто приходилось проводить выправку пути, чтобы содержать линию в работоспособном состоянии.

Для увеличения жесткости верхнего строения пути и снижения напряжения в слабом земляном полотне было принято решение произвести усиление верхнего строения пути путем укладки гранулированного подбалластного слоя и геосинтетического материала GEOWEB.

При этом геосинтетический материал укладывался на подбалластный гранулированный слой толщиной 100 мм , отверстия ячеек сверху заполнили тем же самым гранулированным материалом, поскольку боковые стенки ячеек геосинтетика удерживают насыпанный в них гранулированный материал от бокового расширения, общая жесткость комбинированного подбалластного слоя возрастает, а несущая способность увеличивается. Для уплотнения заполнителя в ячейках использовали вибрационный каток. Сверху геосинтетика также отсыпали подбалластный гранулированный слой, толщиной 100 мм . Суммарная толщина подбалластного слоя и геосинтетика составила 405 мм . Сверху на подбалластный слой отсыпали слой балласта толщиной 205 мм . Ширина геосинтетика – $3,7 \text{ м}$.

После укладки геосинтетического материала GEOWEB по данной линии было пропущено 165 млн. т брутто поездной нагрузки с такой же осевой нагрузкой, Результаты испытаний были следующими: средняя величина модуля упругости пути возросла до 175 кг/см^2 , а среднее значение напряжения в земляном полотне снизилось до $0,7 \text{ кг/см}^2$. При этом выправка пути даже после пропуска данной поездной нагрузки не требовалась. Также производились измерения положения рельсовых нитей в профиле, в зависимости от пропущенной поездной нагрузки на хорде, длиной 19 м отклонения от нормального положения не превысило 15 мм , при допустимом отклонении 50 мм [6].

Выводы

Опыт промышленной эксплуатации показывает, что применение геосинтетических материалов – один из наиболее эффективных способов борьбы со многими неисправностями земляного полотна, так как они способствуют значительному повышению устойчивости рельсового пути.

Применение данных материалов в качестве защитного слоя земляного полотна – более перспективный вариант также потому, что данные материалы значительно проще транспортировать и укладывать в путь, они обеспечивают наилучшее водоотведение с основной площадки земляного полотна как атмосферных, так и грунтовых вод, что очень актуально в условиях горных разработок. Гравийно-песчаная смесь при отводе грунтовых вод работает хуже, чем геотекстиль.

Однако нормальное функционирование любого защитного слоя возможно лишь при наличии и содержании в исправном состоянии дренажных и водоотводных устройств.

Недостатком метода является сравнительно высокая стоимость геосинтетических материалов, отсутствие инструктивных и эксплуатационных данных по данным материалам в местных условиях, отсутствие опыта изготовления данных материалов на промышленных предприятиях и применения на магистральных и промышленных железнодорожных путях Украины. Поэтому актуальными являются вопросы разработки технологии и технических средств, обеспечивающих стабильность земляного полотна рельсового пути, применительно к рельсовому транспорту Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клюкин А.Н. Земляное полотно – основа пути // Путь и путевое хозяйство: М., 2005, - № 10 – С. 10.
2. Chrismer S. Railway Track & Structures, 2001. № 4. – Р. 32-34 – Проблемы устойчивости пути // Железные дороги мира. М.: № 12, 2003. – С. 69-71.
3. Говоруха В.В. Лопаков С.А. Проблемы устойчивости подрельсового основания и земляного полотна рельсового пути // Геотехническая механика: Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ НАН Украины.– Днепрпетровск, 2006. – Вып. 62. – С. 140 – 143.
4. Говоруха В.В. Физико-технические основы создания элементов рельсового транспорта шахт и карьеров. – К.: Наукова думка, 1992.- 200 с.
5. Jay T. International Railway Journal, 2002, № 3. – Р. 34 – 35. – Геосинтетические материалы с улучшенными функциональными характеристиками // Железные дороги мира. М.: № 2, 2003. – С. 65 – 66.
6. Li D., Chrismer S. Railway Track & Structures, 1999, № 10. – Р. 15 – 18. – Методы укрепления пути на слабом земляном полотне // Железные дороги мира. М.: № 2, 2003. – С. 65 – 66.

УДК 656.22:519.674

Д.К. Овчаренко
(ИГТМ НАН Украины)

РАЦІОНАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Статья посвящена описанию математической постановки и методов решения задачи рационального планирования технического обслуживания и ремонта железнодорожных вагонов.

RATIONAL MAINTENANCE PLANNING FOR TRANSPORT VEHICLES

This paper describes mathematical defining and solving problems of rational maintenance and repair planning for railroad cars.

Розглянемо транспортне підприємство, що має n ремонтних баз. Відомі вартості ремонту транспортного засобу на кожній з цих баз, які складають відповідно c_1, c_2, \dots, c_n . Відома продуктивність кожної з баз, тобто максимальна кількість відремонтованих транспортних засобів за один місяць на кожній з баз, ці величини складають T_1, T_2, \dots, T_n відповідно.