людьми и без соответствующего внутреннего императива разработка комплекса мер для реализации этой цели не будет считаться настолько важным, насколько является на самом деле. Всё это относится и к руководителям, принимающим решения о развитии городской транспортной системы, руководителям транспортных предприятий и работникам транспорта, а также ко всем участникам движения.

Таким образом, проведённый анализ показал, что устойчивое развитие городского транспорта общего пользования является необходимым условием реализации большинства целей Повестки дня до 2030 года.

1. S. Amoroso, L. Caruso & F. Castelluccio, Indicators for sustainable mobility in the cities//Электронный ресурс, url: www.researchgate.net/publication/271423117_Indicators_for_sustainable_mobility_in_the_cities, дата обращения 10.09.2018
2. Transforming our world: The 2030 Agenda for sustainable development// Электронный ресурс, url: sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf, дата обращения 28.06.2014
3. Sustainable Mobility for All// электронный ресурс, url: <http://www.sum4all.org/publications/global-mobility-report-2017>, дата обращения 11.09.2018
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году»//электронный ресурс, url: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2016_, обращения 24.10.2018
5. Key world energy statistics// сайт IEA, url: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>, дата обращения 12.10.2017
6. The importance of investing in sustainable urban mobility in the post-2020 EU budget // сайт UITP, url: http://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/UITP_PositionPaper_The%20Importance%20of%20investing%20in%20sustainable%20urban%20mobility%20in%20the%20post-2020%20EU%20budget.pdf, дата обращения 02.07.2018
7. For a sustainable and cost-efficient clean bus deployment: UITP Position on the revision of directive 2009/33/EC//сайт UITP, url: http://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/UITP_PositionPaper_Clean%20Vehicles%20Directive_2018.pdf, дата обращения 3.07.2018
8. Bus systems for the future. Achieving Sustainable Transport Worldwide //Электронный ресурс, URL: <https://east.unep.ch/assets/publications/Local-sustainable-transport-policies/bus-systems-for-the-futureachieving-sustainable-transport-worldwide.pdf>, дата обращения 20.03.2018

Непомнящий Н.В., Косенко С.А.

Анализ работы балластного слоя железнодорожного пути при длительной эксплуатации

*Сибирский государственный университет путей сообщения
(Россия, Новосибирск)*

doi: 10.18411/lj-10-2018-194

idsp: 000001:lj-10-2018-194

Аннотация

В статье рассмотрены важные вопросы состояния балластного слоя в условиях эксплуатации Российских железных дорог.

Целью статьи является анализ работы балластного слоя и размеры накопления остаточных деформаций в балластном слое в зависимости от его состояния. Это необходимо для обеспечения стабильности балласта. Анализ его работы проведен графическим методом.

Из-за недостаточных объемов среднего ремонта, ежегодно растет протяженность участков с загрязненным щебеночным балластом более 30 %.

Анализ данных накопления остаточных деформаций в балластном слое показал, что есть необходимость в использовании динамических стабилизаторов.

Применение динамических стабилизаторов позволяет обеспечить упругость деформаций и предсказуемость поведения балласта при эксплуатации. В результате степень уплотнения подшпальной зоны слоя сильно повышается. Динамические стабилизаторы хорошо имитируют воздействие на путь проходящего поезда, когда под колесами путевая решетка прогибается, а под пролетными частями подвижного состава приподнимается.

В связи с выше сказанным применение динамических стабилизаторов является технико-экономически целесообразным.

Ключевые слова: Железнодорожный путь, верхнее строение пути, балластный слой, стабильность, остаточные деформации.

Балластный слой является важным элементом железнодорожного пути, обеспечивающим устойчивость рельсовой колеи в профиле плане при динамических воздействиях колес подвижного состава. От устойчивости балластного слоя зависят сроки службы элементов верхнего строения пути.

Балластный слой железнодорожного пути работает при нагрузках в области упруго-остаточных деформаций. При этом следует учитывать, что при одних и тех же условиях движения размеры накопления остаточных деформаций в балластном слое различны в зависимости от его состояния, определяемого периодами и условиями эксплуатации. Например, при загрязнении балластного слоя засорителями накопление остаточных деформаций резко увеличивается. В различных климатических условиях один и тот же балластный материал работает по-разному. Поэтому важно правильно и своевременно оценивать состояние балластного слоя с тем, чтобы устранять проявляющиеся дефекты в нем и не допускать нарушений устойчивости пути.

На замену и содержание балластной призмы ежегодно расходуются значительные средства. При текущем содержании пути на работы, связанные с нарушением балластного слоя – исправление пути по уровню, рихтовку пути и др., затрачивается более 60 % всех расходов рабочей силы на текущее содержание пути [1]. Из этого видно, какое значение имеет правильное и экономное расходование средств, отпускаемых на содержание и ремонт балластного слоя.

Загрязнение балластной призмы приводит к уменьшению трения в щебне, уменьшению угла распространения давления, повышению давления на основную площадку земляного полотна [2]. В результате загрязнения ухудшается эластичность пути и уменьшается долговечность положения пути.

При эксплуатации балластной призмы загрязнение балластной призмы происходит от нагрузки подвижного состава передающей к рельсу, которая приводит к расщеплению щебня в точках прикосновения, к перегруппировке фракции щебня, процессам трения и этим самым увеличению доли мелкой фракции. Балластный слой также загрязняется:

- от частиц, поднимающихся с нижнего строения пути;
- влияния окружающей среды;
- потеря в пути, транспортируемого груза;
- растительность в зоне железнодорожного полотна.

Даже при укладке нового щебня, доля мелкой фракции составляет 3-5 %.

Многолетний опыт эксплуатации железнодорожного пути с щебеночным балластом показал, что накопление остаточных деформации в различных сечениях по-разному, то есть каждое поперечное сечение балластного слоя в тот или иной отрезок времени работает отлично от других сечений [3]. При устранении этих отступлений путь в каждом сечении призмы приводит к общей профильной его линии, образующейся в процессе эксплуатации.

На рисунке 1 приведены отступления от профильной линии по одному поперечному сечению пути в различные отрезки времени.

Принципиальная схема работы балластной призмы выражается в виде кривой накопления остаточных деформаций в зависимости от пропущенного тоннажа [4].

В других поперечных сечениях пути возможно повторение таких отступлений, но в большинстве случаев, как известно из результатов проверки пути и записей путеизмерительных вагонов, на пути нет плавной профильной линии, а имеются чередующиеся отступления от нее, которые характеризуют работу балластной призмы в разных поперечных сечениях призмы. Это объясняется неодинаковой несущей способностью балластной призмы по протяженности пути и главным образом различными силовыми воздействиями подвижного состава.

Работа балластного слоя разбита на четыре периода:

I – период стабилизации балластного слоя;

II – период нормальной работы балластного слоя;

III – период роста накоплений остаточных деформаций балластного слоя;

IV – период работы балластного слоя при невыполнении ремонта в уставленный срок.

Рисунок 1 - Схема работы балластной призмы

В *I* – период после капитального ремонта пути, балластный слой недостаточно уплотнен, идет интенсивное накопление остаточных деформаций. Интенсивность накопления при одинаковых условиях эксплуатации в основном зависит от типа верхнего строения пути, рода балласта, толщины слоя его под шпалой и степени уплотнения балласта.

Исследованиями установлено, что величину накопления остаточных деформаций в *I* период работы балласта можно выразить степенной функцией от пропущенного тоннажа

$$y'_{бал} = \alpha Q_1^{\kappa}, M \quad (1)$$

где $y'_{бал}$ – накопление остаточных деформации в *I* период работы балластного слоя после капитального ремонта пути, в мм;

α – постоянный коэффициент;

Q_1 – пропущенный тоннаж после капитального ремонта пути, млн. т брутто;

k – показатель степени (определяется на основании опыта), зависящий от типа верхнего строения пути, рода балласта и его физико-механических свойств, толщины и степени уплотнения балластного слоя (меньше 1).

II период – период нормальной работы балластного слоя – характеризуется менее интенсивным накоплением остаточных деформаций пути. В этом периоде балластный слой стабилизировался и не получил еще загрязнения. В первом приближении этот период по накоплению остаточных деформаций может быть выражен уравнением прямой

$$y''_{бал} = bQ_2, \text{ мм} \quad (2)$$

где $y''_{бал}$ – накопление остаточных деформации во *II* периоде, в мм;

b – тангенс угла наклона прямой накопления остаточных деформаций во *II* периоде к исходной профильной линии;

Q_2 – пропущенный тоннаж после *I* периода, млн. т *брутто*.

III период характеризуется ростом накопления остаточных деформаций вследствие загрязнения балластного слоя и уменьшения в связи с этим его упругости.

Накопление остаточных деформаций в *III* период работы балласта может быть выражено так же, как и в *I* периоде степенной функцией от пропущенного тоннажа, но с показателем степени больше 1:

$$y'''_{бал} = \alpha Q_3^k, \text{ мм} \quad (3)$$

где $y'''_{бал}$ – накопление остаточных деформации в *III* период работы балластного слоя после капитального ремонта пути, в мм;

α – постоянный коэффициент;

Q_3 – пропущенный тоннаж после *II* периода, млн. т *брутто*;

k – показатель степени (определяется на основании опыта), зависящий от типа верхнего строения пути, рода балласта и его физико-механических свойств, толщины и степени уплотнения балластного слоя.

В этот период требуется производить большие объемы работ по устранению просадок и выправки по уровню рельсовой нити, чем во *II* периоде. При увеличении этих объемов работ 2 – 3 раза по сравнению со *II* периодом требуется производить ремонт (очистку) балластного слоя.

Чрезмерно интенсивным накоплением остаточных деформаций характеризуется *IV* период вследствие загрязнения балластного слоя сверх установленных норм, что приводит к ограничению скоростей движения поездов и перенапряжениям в элементах пути.

Анализ данных накопления остаточных деформаций в балластном слое показал, что на первый период работы балластной призмы приходится около 50 % всей величины накопленных деформации пути. Для управления этим периодом и для удлинения основного периода работы балластного слоя (*II*-го периода) необходимо использовать динамические стабилизаторы пути (*ДСП*).

Стабилизированное состояние балластного слоя достигается взаимосвязанными технологическими операциями по выправке пути [5], уплотнению балластной призмы в подшпальной, откосно-плечевой и междупутной зонах. Цель такого комплекса работ – обеспечить упругость деформаций и предсказуемость поведения балласта при эксплуатации. В результате работы *ДСП* степень уплотнения подшпальной зоны слоя сильно повышается. *ДСП* хорошо имитирует воздействие на путь проходящего поезда, когда под колесами путевая решетка прогибается, а под пролетными частями подвижного состава приподнимается [6].

Опыт эксплуатации ДСП в России и Австрии показал, что при рабочих скоростях (приблизительно 1 - 1,1 км/ч) обеспечил среднюю осадку 30,2 мм. При этом не наблюдалось увеличения ширины колеи (благодаря специальным калибровочным устройствам), а происходило наоборот, сужение в среднем на 1 мм. Стабилизатор практически не меняет положение пути по уровню, оставляя первоначальное после работы ВПО-3000 возвышение полевой нити. Отмеченные преимущества свидетельствуют о технико-экономической целесообразности ДСП, что позволяет использовать эффективный виброударный режим уплотнения с периодическим разгрузением балласта для лучшего уплотнения частиц.

На дорогах Западной Европы применяют механизированные комплекты машин (MDZ), которые после глубокой очистки балласта выправляют колею с подбивкой выправочно-подбивочно-рихтовочными машинами, выравнивают балластную призму самоходными планировщиками и стабилизируют путь ДСП. Опыт использования комплектов показывает, что для пропуска высокоскоростных поездов требуется минимально трехкратный проход выправочно-подбивочно-рихтовочных, планировочных машин, а также динамических стабилизаторов пути.

Выводы. Для обеспечения длительной стабильности балластного слоя, динамический стабилизатор пути следует пропускать первый раз сразу после работы щебнеочистительной машины после опускания пути. Затем его следует пропускать после послышной подъёмки пути (7-10 см) и последний раз - при чистовой выправке пути. Только в этом случае может быть обеспечена быстрая и качественная стабилизация пути с последующими равномерными осадками балластного слоя под воздействием поездов.

1. Косенко С.А. [и др.]. Совершенствование технологического обслуживания бесстыкового пути // Транспорт Урала. 2016. – № 2(49). С.44-47.
2. Косенко С.А., Акимов С.С. Причины отказов элементов железнодорожного пути на полигоне Западно-Сибирской железной дороги (статья) // Вестник СГУПС. – 2017. – № 3 (42). С. 26-34.
3. Косенко С.А., Акимов С.С. Оценка влияния промежуточных скреплений на интенсивность износа рельсов в кривых. Материалы международной конференции «Инновационные факторы развития. Теория и практика», часть 1, СГУПС (РИНЦ), 2017, С.32-40.
4. Патент на изобретение РФ №2643324, МПК E01B 29/05 (2006.01). Способ замены зажатых уравнильных рельсов и рельсов временного восстановления плети бесстыкового пути (варианты)/ Шуругин А.С., Шаньгин Р.В., Косенко С.А., Акимов С.С., Старовойт Н.Н.; опубликовано 31.01.2018, Бюл. № 4.
5. Косенко С.А., Акимов С.С. Performance characteristics of differentially quenched rails (статья на англ. языке) // Инженерно-строительный журнал 2017. № 7 (75) С. 94-105.
6. Косенко С.А., Исаенко Э.П. Моделирование и расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций железнодорожного пути методом конечных элементов // Монография. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2017. – 144 с.

Осетров А.Ю., Зарапина И.В., Алейников И.К., Рыбина А.А.

Исследование влияния содержания ультрадисперсной углеродной фазы на защитную эффективность оксидных покрытий, полученных методом щелочного оксидирования

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
(Россия, Тамбов)*

doi: 10.18411/lj-10-2018-195

idsp: 000001:lj-10-2018-195

Аннотация

В современном мире коррозия металлов и защита их от коррозии является одной из важнейших научных и экономических проблем. В настоящее время имеется большое