



Перспективы полигона безбалластного пути



Александр ЗАМУХОВСКИЙ

Alexander V. ZAMUHOVSKY

Автором обозначены рациональные сферы применения безбалластного пути, названы его достоинства и недостатки. Анализ результатов вычислений и динамических характеристик позволил обосновать повышение требований к нормам устройства и содержания геометрии рельсовой колеи безбалластного пути. Показаны необходимость снижения жесткости путевой конструкции и способы её инженерного обеспечения. Определены критерии ограничения силового взаимодействия при проектировании участков с сопряжением разной жесткости. Приведены возможные подходы к выбору численных значений параметров безбалластного пути и переходных участков. Сделаны выводы, позволяющие объективно оценить долговременные перспективы безбалластных технологий для полигона высокоскоростных линий.

Ключевые слова: железная дорога, искусственные сооружения, безбалластный путь, рациональная жесткость пути, критерии ограничения, силовое воздействие, высокоскоростной путь, безопасность эксплуатации.

Замуховский Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство», заведующий научно-исследовательской путепыкательной лабораторией Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

В связи с развитием полигона высокоскоростного движения в России остро стоит вопрос о создании конструкции пути, обеспечивающей достаточную стабильность геометрии рельсовой колеи (ГРК) независимо от климатических и иных условий эксплуатации линии.

В мировой практике высокоскоростное движение реализуют на отдельных линиях при исключении смешанного движения. В качестве верхнего строения пути все большее применение находят различные безбалластные конструкции. При этом надо отметить, что безбалластный вариант используется в основном на таких искусственных сооружениях, как мосты, путепроводы, эстакады и тоннели. На земляном полотне он возможен только в случае его полной стабилизации. Интерес к расширению полигона безбалластного пути обусловлен несколькими факторами.

Во-первых, потому что речь идет, как сказано, о достижении высокой стабильности геометрии рельсовой колеи, а следовательно, и о более безопасных условиях движения.

Во-вторых, не требуются периодическая очистка и замена щебня, проведение выправочных работ.

В-третьих, при скоростях более 250 км/ч возникают аэродинамический подъем щебенки при проходе поезда, необходимость в закреплении балластной призмы (например, за счет

полива ее поверхности полимерными вяжущим материалом).

Традиционный путь на балласте имеет неоспоримое преимущество, заключающееся в простоте выправки пути в профиле и плане. Однако, как часто бывает в технических системах, подобное преимущество является и источником недостатков. Для пути на балласте это выражается в накоплении остаточных деформаций в процессе эксплуатации, потере надежности и появлении дополнительных рисков.

По сравнению с такого рода особенностями безбалластный путь имеет меньший вес, меньшую строительную высоту и обеспечивает при необходимости лучшие условия для создания виброзащиты. Дело в том, что наибольшую эффективность виброгашения обеспечивает конструкция типа масса-пружина, которую проще реализовать как раз на безбалластном пути. Причем применение, к примеру, эстакад вместо насыпей позволяет существенно уменьшить полосу отвода для строительства железнодорожной трассы, осложняет несанкционированный выход на путь посторонних лиц, снижает техногенную нагрузку на окружающее пространство, что особо важно при эксплуатации линий в городах и населенных пунктах, районах с повышенными экологическими требованиями [1].

В то же время укладку безбалластного пути на земляном полотне можно рассматривать лишь в тех случаях, когда полностью исключены последующие осадки или пучения. Иначе преимущества такого пути перейдут в свою противоположность.

К недостаткам безбалластного пути следует отнести то, что помимо высокой начальной стоимости он обладает высокой жесткостью в вертикальной плоскости. Высокая жесткость подрельсового основания (или модуль упругости пути) приводит к уменьшению длины линии влияния сил, возникновению значительных динамических добавок инерции при проходе подвижным составом каких-либо неровностей на пути. По тем же причинам высокая жесткость безбалластного пути увеличивает частоту вибраций при движении поезда по сравнению с путем на балласте при прочих равных условиях. Например, эксплуатационные испытания опытного участка безбалластного пути конструкции Rheda-2000 компании RailOwn, уложенного на перегоне Саблино–Тосно Октябрьской железной дороги, показали: высокая скорость распространения в бетоне упругих колебаний звуковых

частот приводит к тому, что даже при незначительной генерации вибраций на самом безбалластном пути (у подошвы насыпи высотой 3 м) уровень колебаний такой же, как и на участке традиционной конструкции.

Жесткость пути традиционной конструкции формируется всеми элементами верхнего строения пути и рабочей зоной земляного полотна (верхние 2–3 м). Каждый из элементов, формирующих жесткость, обладает своими параметрами прочности и долговечности. Можно сказать, что в данный момент наименее прочными элементами пути следует считать прокладки-амортизаторы промежуточных скреплений и в некоторых случаях – основную площадку земляного полотна. Проблемы повышения несущей способности такой площадки решаются укладкой подбалластных защитных слоев различных конструкций [2].

Выбор параметров упругости верхнего строения безбалластного пути является одной из основных задач его проектирования. От этих параметров зависят долговечность прокладок-амортизаторов в узле промежуточного скрепления, силы взаимодействия пути и подвижного состава, влияющие на развитие контактно-усталостных дефектов в рельсах, генерация вибрации при проходе подвижного состава, сопротивление движению и т.д. Причем все указанные факторы связаны между собой и оказывают взаимное влияние друг на друга.

Удельная потенциальная энергия от воздействия постоянной (монтажные усилия, собственный вес) и временной нагрузки (поездной) на упругую прокладку-амортизатор, приходящаяся на единицу её объема, прямо пропорциональна силе, действующей на прокладку, относительной деформации сжатия прокладки и обратно пропорциональна опорной площади после закрытия монтажных рифлей [3].

Согласно исследованиям, выполненным для условий грузового движения [3], чем больше упругий элемент перерабатывает энергии в единице объема, тем меньше при прочих равных условиях срок его службы. Таким образом можно найти удельную потенциальную энергию для прокладок, работающих в различных условиях. Отсюда возникает возможность определения наибольшей допускаемой удельной потенциальной энергии в упругих прокладках, соответствующей заданному сроку службы.

Срок службы элементов высокоскоростного пути (ВСП) зависит от напряжений, которые в них возникают. Для упругих прокладок они прямо пропорциональны силе,





передаваемой рельсом на подрельсовую прокладку, и обратно пропорциональны опорной площади после закрытия монтажных рифлей.

Объединив рассмотренные зависимости, можно было бы выразить оптимальный модуль упругости безбалластного пути через допускаемые напряжения и удельную потенциальную энергию с точки зрения долговечности упругих элементов ВСП. Однако отсутствие достаточных данных о допускаемой удельной потенциальной энергии по условию заданного срока службы и значительный разброс значений напряжения в упругих подрельсовых прокладках не позволяют вычислить оптимальный модуль упругости таким способом.

Рассмотрим другой подход к определению упругих характеристик безбалластного пути.

Из многолетнего эксплуатационного опыта и материалов длительных ресурсных испытаний на экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ» известно, что путь с отступлениями, не превышающими 1 степень в соответствии с [4], обеспечивает заданные межремонтные сроки.

Определим максимальную силу, действующую на упругую прокладку, для типового верхнего строения пути на щебеночном балласте с железобетонными шпалами со скреплениями АРС-4, имеющем просадку, относящуюся к 1 степени отступления (до 10 мм). Вычисления выполняли для следующих условий: грузовой 4-осный вагон с нагрузкой на ось 235 кН, скорость движения 80 км/ч, модуль упругости пути 50 МПа. Длина неровности не превышала 6 м, поскольку неровности большей длины путеизмерительные вагоны определяют некорректно. Расчеты делались по принятой методике [5]. Получено, что наибольшая сила, действующая на упругую прокладку, составляет 41,7 кН. Это значение можно считать допустимой величиной вертикальной силы.

Очевидно, что если обеспечить установленные пределы этих сил в безбалластном пути, то срок службы элементов ВСП будет таким же, как и для пути на земляном полотне.

Учитывая, что упругие свойства безбалластного пути определяются жесткостью упругих прокладок в узле скрепления, а модуль упругости пути по отношению жесткости узла скрепления к шагу подрельсовых опор (расстоянию между осями подрельсовых площадок), можно рассчитать модуль упругости пути безбалластной конструкции с соответствующими скреплениями. Для скреплений АРС-4 с типовыми прокладками, имеющими в среднем жесткость 100 МН/м, модуль упругости пути составит 200 МПа.

Выполнив аналогичные вычисления для безбалластного пути с просадкой, не превышающей 1 степень отступления, при тех же условиях воздействия получим, что сила, действующая на упругую прокладку, превышает такую же силу для пути на балласте на величину от 19 до 42% в зависимости от амплитуды и длины неровности.

Таким образом, если упругие свойства безбалластного пути и нормы его устройства и содержания оставить без изменения, следует ожидать значительное снижение срока службы элементов ВСП и прежде всего прокладок-амортизаторов.

Анализ результатов вычислений позволил определить, при каких величинах неровностей и модулях упругости пути значения сил, действующих на упругую прокладку, не будут превышать 41,7 кН. Например, при двукратном снижении модуля упругости безбалластного пути (до 100 МПа) силу ниже допускаемой можно получить только при очень жестких допусках на вертикальную неровность пути — не более 1 мм независимо от длины. При модуле упругости 90 МПа величина допустимой неровности составит уже 2 мм при любой длине; при модуле 80 МПа — 3 мм независимо от длины и 4 мм при длине 3 и 4 м и т. д. При модуле упругости 50 МПа допустимая величина вертикальной неровности будет соответствовать просадке 1 степени отступления.

Поскольку динамическая добавка сил взаимодействия пути и подвижного состава к статической силе зависит как от нагрузки на ось, так и от скорости движения экипажа, то приведенные выше рассуждения справедливы и для скоростного, и высокоскоростного движения.

Отсюда вытекают два возможных направления обеспечения срока службы элементов безбалластного ВСП, равного сроку службы пути на балласте: снижение жесткости безбалластного пути и ужесточение допусков при его устройстве и эксплуатации. Одновременно можно определить допуски на вертикальные неровности безбалластного пути при известной (проектируемой) его жесткости и, наоборот, найти необходимую упругость пути при известных допусках на его геометрию. Например, при устройстве безбалластного пути в тоннеле с рамами МГР длиной 2 м и допусками на пропеллерность 1 мм, при точности их позиционирования по вертикали ± 1 мм получим расчетную неровность 2 мм на длине 4 м (удвоенная длина рамы). Тогда модуль упругости пути не должен превышать 90 МПа.

Снижение общей жесткости безбалластного пути возможно либо за счет снижения жесткости прокладок амортизаторов, либо за счет создания дополнительного упругого слоя. Снижение жесткости прокладок-амортизаторов нежелательно по двум причинам: теряется их долговечность и увеличивается угол поворота рельсового сечения при действии боковых сил (рис. 1). В результате растет ширина колеи под поездом, изменяется геометрия контакта колеса и рельса.

Создание дополнительного упругого слоя может быть обеспечено между подрельсовой опорой и путевым бетоном. Именно к этому варианту тяготеет развитие безбалластных конструкций в нашей стране и за рубежом (путь с рамами МГР в тоннелях, БМП с упругим креплением на мостах, конструкции LVT и EBS). Кстати, необходимо отметить, что на пути с балластной призмой уменьшение общей его жесткости в некоторых странах выполняют за счет укладки подшпальных прокладок. Применение их в опытном порядке в механических стыках (по три шпалы от стыка) на Большом московском кольце (г. Щербинка) показало существенное снижение интенсивности накопления остаточных деформаций [6].

В соответствии с требованиями СТН Ц-01-95 в местах сопряжений безбалластной конструкции на мостах с конструкцией пути на подходных насыпях при необходимости должны укладываться участки переходного пути с переменной жесткостью. Это требование следует считать справедливым для любых вариантов сопряжения балластных и безбалластных конструкций. Устройство таких участков предопределяется наличием в этих местах «предмостовых ям», то есть зон, где происходит прогрессирующее во времени накопление остаточных деформаций в балластном слое и земляном полотне, требующее постоянных выправок пути и приводящее к повышенному выходу из строя элементов верхнего строения пути.

Разработку конструкций переходного участка осуществляют с учетом обеспечения плавного изменения по длине упругих осадок пути под колесами и остаточных осадок, возникающих в процессе длительной эксплуатации. При этом в качестве критерия изменения жесткости пути принимают [7]:

- силовой уклон по головке рельса $|i_y| \leq 0,5\%$;
- приращение силового уклона по головке рельса $|\Delta i_y| \leq 0,2\%$;
- разность давлений на смежные опоры рельса $|\Delta Q| \leq 12 \text{ кН}$.

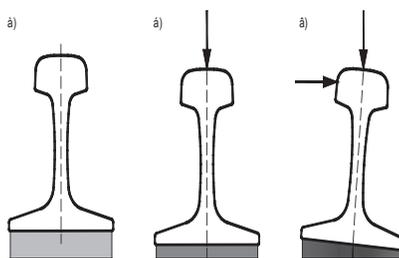


Рис. 1. Положение рельсового сечения: а) без нагрузки; б) при действии только вертикальной силы; в) при совместном действии вертикальной и боковой сил.

Одним из вариантов получения переменной жесткости, отвечающим обозначенным критериям, является постепенное приращение к безбалластному пути толщины балластных материалов, заменяющих грунты верхней части земляного полотна. Для исключения горизонтальных перемещений балласта он располагается между слоями георешеток (геосеток).

Длину переходного участка в соответствии с [7] принимают не менее 25 м. Количество слоев геосинтетика назначается 5-6 у безбалластного пути с постепенным сведением каждого слоя на нет. При этом срезка грунта земляного полотна осуществляется в каждом сечении на расчетную глубину, обеспечивающую плавное понижение модуля упругости от безбалластного к обычному пути.

ВЫВОДЫ

1. Наибольшую целесообразность имеет применение безбалластного пути на искусственных сооружениях. Применение такого пути на высокоскоростных линиях на земляном полотне может быть оправдано лишь при обеспечении его полной стабилизации.

2. При более высокой жесткости безбалластного пути должны быть соответственно повышены требования к нормам устройства и содержания геометрии рельсовой колеи в вертикальной плоскости.

Снижение жесткости безбалластного пути более рационально обеспечивать устройством дополнительного упругого слоя между подрельсовыми опорами и путевым бетоном. В зонах сопряжения безбалластного пути и пути на балласте необходимо устройство переходных участков. Для их проектирования важны критерии ограничения силового уклона по головке рельса, приращения силового уклона разности давлений на смежные подрельсовые опоры.





3. Приведены возможные подходы к определению численных значений параметров безбалластного пути и переходных участков, которые позволяют соблюсти все требования безопасной эксплуатации ВСП.

4. Необходимо продолжить исследования свойств прокладок-амортизаторов с точки зрения их долговечности при обеспечении оптимальной пространственной жесткости узла скрепления и пути в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Замуховский А. В., Копыленко В. А., Фридкин В. М. О технико-экономической целесообразности применения железнодорожных эстакад вместо высоких насыпей // Транспортное строительство. – 2012. – № 10. – С. 15–16.

2. Инструкция по устройству подбалластных защитных слоев при реконструкции (модернизации) железнодорожного пути. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 12.12.2012 № 2544р.

3. Каменский В. Б. Направления совершенствования системы ведения путевого хозяйства. – М.: НИИТКД, 2009. – 392 с.

4. Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов (В ред. от 16.07.1998, телеграммы МПС от 01.09.1998, указания МПС от 30.07.1999 № С-1529у, от 12.05.2000 № С-1331у, приказы МПС от 01.09.2001 № 27 (в ред. от 27.04.2002 № 20), от 11.08.2003 № 60 / ЦП-515).

5. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности / ЦПТ-52–14, утв. 15.06.2000.

6. Отчет о НИОКР «Разработка технических решений по снижению деформативности подшпальной основы на маршрутах обращения поездов повышенной массы и длины». Шифр 10.2.014.Н. (заключительный). Рук. темы Е. С. Ашпиз. – М.: МИИТ, 2008.

7. Руководство по применению полимерных материалов (пенопластов, геотекстилей, георешеток, полимерных дренажных труб) для усиления земляного полотна при ремонтах пути. Утверждено МПС РФ от 19.12.2001.

OUTLOOK FOR BALASTLESS TRACK

Zamuhovsky, Alexander V. – Ph.D. (Tech), associate professor at the department of track and track facilities, head of research laboratory of track testing of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

The author defines rational spheres of the use of ballastless track, its advantages and disadvantages. Analysis of calculations results and of dynamics features has allowed to substantiate the increasing level of requirements concerning construction and maintenance of the geometry of the ballastless track. The author argues in favor of reducing of the stiffness of the track in necessary cases and proposes engineering techniques to

achieve it. He determines criteria limiting the interoperation of force, necessary to design the sections with interface of the sectors with different stiffness. The article describes different approaches to the choice of numerical values of parameters of ballastless track and transitional sectors of variable stiffness. The conclusions allow to impartially assess the outlook for ballastless technology for the network of high speed railways.

Key words: railway, artificial structures, ballastless track, optimal stiffness of the track, limiting criteria, impact of the forces, track for high speed trains, operation safety.

REFERENCES

1. Zamuhovskiy A. V., Kopylenko V. A., Fridkin V. M. On technical and economical practicability of railway platforms instead of high embankments [O *tehniko-ekonomicheskoy tselesoobraznosti primeneniya zheleznodorozhnykh estakad vmesto vysokikh nasypей*]. Transportnoe stroitel'stvo, 2012, No10, pp. 15–16.

2. Instruction on the construction of under ballast protective layers during reconstruction (modernization) of rail track. [Instruktsiya po ustroystvu podballastnykh zaschitnykh sloev pri rekonstruktsii (modernizatsii) zheleznodorozhnogo puti]. JSC Regulation of 12.12.2012 № 2544r.

3. Kamenskii V. B. Trends of improvement of track facilities [Napravleniya sovershenstvovaniya sistemy vedeniya putevogo hoz'yaystva]. Moscow, NIITKD, 2009, 392 p.

4. Instruction on evaluation of the track conditions [Instruktsiya po rasshifrovke lent i otsenke sostoyaniya rel'sovoy kolei po pokazaniyam puteizmeritel'nogo vagona TsNII-2 i meram po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya poezdov]. Russian Ministry of railways regulations, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003.

5. Methods of evaluation of the impact of rolling stock on the track from the safety aspect [Metodika otsenki vozdeystviya podvizhnogo sostava na puti] po usloviyam obespecheniya nadezhnosti / TsPT-52–14] approved 15.06.2000.

6. Report on the research «Technical decisions for reducing of deformations of the under sleepers basement on the railways with circulation of the trains of increased weight and length» [Otchet o NIOKR «Razrabotka tehnikeskikh resheniy po snizheniyu deformatsionnoy podshpal'nogo osnovaniya na marshrutakh obrascheniya poezdov povyshennoy massy i dliny»]. Research leader E. S. Ashpiz. Moscow, MIIT, 2008.

7. Guidebook on the use of polymeric materials (foam plastics, geotextiles, geogrids, drain-pipes) for reinforcement of embankments during track repairs. Approved by Russian ministry of railways on the 19.12.2001 [Rukovodstvo po primeneniyu polimernykh materialov (penoplastov, geotekstiley, georeshetok, polimernykh drenazhnykh trub) dlya usileniya zemlyanogo polotna pri remontah puti].

Координаты автора (contact information): Замуховский А. В. (Zamuhovsky A. V.) – miit_ppx@rambler.ru.
Статья поступила в редакцию / article received 13.03.2013
Принята к публикации / article accepted 29.03.2013