

Выбор конструкции пути для высокоскоростного движения



А. В. Савин,
к.т.н., зам. генерального
директора –
начальник ИЦ ЖТ АО
«Научно-исследовательский
институт железнодорожного
транспорта»

Дискуссии о том, что лучше для высокоскоростного движения – путь на балласте или без балласта, – идут давно, но однозначного ответа пока не получено. С одной стороны, наибольшая протяженность высокоскоростных линий эксплуатируется на безбалластном пути. С другой – рекорд скорости в 574 км/ч поставлен во Франции на типовой балластной конструкции пути. Проанализируем достоинства и недостатки каждой конструкции.

Со времен первых железных дорог используется классическая конструкция пути: рельсы, шпалы и песчаное или щебеночное основание. Такая схема предельно проста и универсальна. Многие десятки лет она считалась единственно возможной. С повышением скоростей движения и с ужесточением требований к качеству пути появились новые конструкции – путь без балласта с опиранием рельсов на сплошное монолитное основание.

В настоящее время известно более 20 таких конструкций, эксплуатирующихся в разных странах мира, однако по-прежнему остается открытым вопрос, что лучше – путь на балласте или безбалластный. И если отдать предпочтение безбалластному пути, то какую его конструкцию выбрать?

С одной стороны, основными достоинствами классического пути на балласте являются низкие капитальные затраты на строительство, простота ремонта и обновления, большой срок службы и высокое шумопоглощение. Для восстановления положения пути в плане и профиле используются высокопроизводительные путевые машины.

С другой стороны, основание из щебеночного балласта с пустотами, распределенными между его частицами размером от 20 до 60 мм, представляет собой слабое место, так как при сжатии под воздействием подвижного состава возможно разрушение, истирание и смещение частиц щебня. При высоких скоростях движения вылетающие от аэродинамического воздействия частицы щебня представляют опасность для подвагонного оборудования и колес.

Путь на балласте накладывает ограничения по устойчивости бесстыкового пути против температурного вы-

броса, особенно в кривых. Требуется дополнительные меры по повышению сопротивления шпал поперечному сдвигу.

В тоннелях и на мостах балластное основание работает в особо тяжелых условиях, так как его частицы лежат на твердом бетонном основании. Кроме повышенных сжимающих сил на балласт действуют вибрации, усиливающиеся с увеличением скорости движения. В связи с этим из-за неизбежного изменения положения пути необходимо регулярно устранять одиночные неисправности и периодически проводить мероприятия по обслуживанию и ремонту пути, которые, несмотря на постоянное совершенствование путевых машин, связаны с дополнительными затратами и снижением эксплуатационной готовности пути.

Отдельную проблему представляет собой растительность на пути. Удаление травы требует дополнительных затрат. Гербициды для удаления растительности оказывают негативное влияние на экологию.

Теперь рассмотрим достоинства и недостатки безбалластного пути. Основное его достоинство заключается в низких затратах на текущее содержание (на 30-40 % меньше, чем при балластном пути), малая строительная высота, позволяющая сооружать тоннели меньшей высоты, высокая надежность и отсутствие растительности. Срок службы безбалластного пути составляет 50–60 лет, по отдельным конструкциям прогнозируется срок службы 80 лет.

Рассмотрим другие преимущества безбалластного пути:

- уменьшенная ширина трассы позволяет приближать путь к автомагистралям и лучше вписывать ее в ландшафт;

- общие геометрические размеры поперечного сечения пути могут быть уменьшены, поскольку для размещения более высокого и, соответственно, более широкого балластного слоя, необходимого в случае увеличения возвышения наружного рельса, требуется и большая ширина основной площадки;

- статические и динамические нагрузки на верхние слои земляного полотна существенно меньше благодаря лучшему распределению силовых воздействий;

- создается большое сопротивление поперечным силам. Конструкция имеет высокую собственную массу, обеспечивая тем самым хорошую устойчивость даже под действием интенсивных сжимающих сил при повышении температуры рельсовых плетей;

- отсутствуют вылетающие частицы балласта, что исключает нанесение повреждений подвижному составу и элементам инфраструктуры;

- отсутствует растительность в пути на плитном основании, следовательно, исключается необходимость борьбы с ней;

- устойчивое положение пути снижает динамические силы, действующие на ходовую часть подвижного состава;

- удобство укладки в тоннелях, на мостах и эстакадах, так как не требуется дополнительной подготовки несущих слоев;

- при необходимости достигается свободное передвижение автомобилей экстренных служб, например в тоннелях;

- эксплуатация пути возможна более продолжительный период в силу меньших затрат времени на текущее содержание.

В то же время безбалластный путь имеет и недостатки. Перечислим основные из них:

- высокая стоимость строительства;
- низкая скорость строительства;
- повышенный уровень шума;
- невозможность коррекции после строительства;

- высокие требования к соблюдению технологии строительства и к выбору строительных материалов;

- высокие требования к устройству и технологии содержания переходных участков с балластной конструкцией на безбалластную;

- невозможность применения в сейсмоопасных районах и на участках с низкой несущей способностью основа-

Сравнительный анализ конструкций пути

Свойство конструкции	Балластный путь	Безбалластный путь
Удобство применения на ИССО (тоннели, мосты, эстакады)	-	+
Низкие капитальные затраты на строительство	+	-
Низкие затраты на текущее содержание	-	+
Возможность регулировки геометрических параметров рельсовой колеи	+	-
Восстановление пути после сходов и катастроф	+	-
Гашение шума и вибрации	+	-
Устойчивость бесстыкового пути	-	+
Путь на «слабых» грунтах	+	-
Унификация для различных условий эксплуатации	+	-

ния (на глинистых грунтах, болотах);

- низкая ремонтпригодность в случае схода подвижного состава, природных или техногенных катастроф;

- потребность в специализированной технике для подготовки бетона и его укладки.

Сравнительный анализ конструкций пути представлен в *таблице*. Из нее видно, что безбалластный путь имеет преимущество в части удобства монтажа и эксплуатации на мостах, эстакадах и в тоннелях, а также предпочтителен из-за низких затрат на текущее содержание. Балластный путь имеет низкие затраты на строительство и более универсален для разных условий эксплуатации и в части восстановления после сходов подвижного состава и катастроф. Кроме того, такой путь обладает лучшими параметрами по гашению шума и вибрации.

Особо следует отметить преимущество безбалластных конструкций по устойчивости бесстыкового пути к температурному выбросу. Это имеет осо-

бое значение на участках применения вихрековых тормозов, приводящих к дополнительному нагреву рельсовых плетей.

Наиболее популярными безбалластными системами во всем мире являются Bögl, Shinkansen, Rheda, LVT. Еще одним важным фактором, влияющим на выбор наиболее подходящий конструкции, является опыт, накопленный на протяжении многих лет строительства и эксплуатации.

Перенос зарубежного опыта в российские условия будет некорректен, но для анализа общих тенденций, несомненно, полезен. По мнению многих исследователей, применение безбалластного пути выгодно только в том случае, если стоимость его строительства не будет превышать 30 % от стоимости строительства балластного пути в тех же условиях. Опыт железных дорог Германии показывает, что стоимость строительства безбалластного пути Rheda выше стоимости строительства обычного пути на 20–40 %.

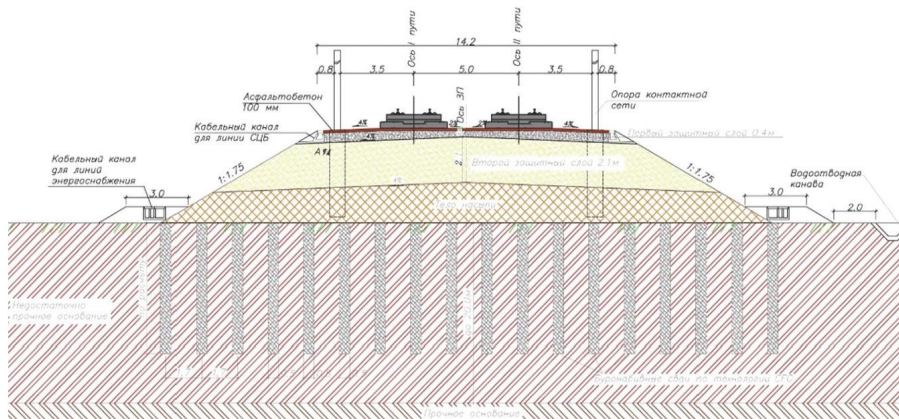


Рис. 1. NPV балластного и безбалластного пути

Это превышение компенсируется сокращением затрат на эксплуатацию безбалластного пути по сравнению с балластным в течение примерно 20 лет.

Чистая приведенная стоимость NP (разность между дисконтированными, т. е. приведенными к настоящему моменту, ожидаемыми поступлениями от проекта и дисконтированными затратами на осуществление проекта, включая величину первоначальных инвестиций) двух конструкций представлена на рис. 1.

Стоимость сооружения одного метра безбалластного пути в европейских странах колеблется от 500 до 1100 евро/м. Выбор такой конструкции всегда является сложной технико-экономической задачей из-за длительного срока окупаемости. Безбалластный путь имеет безусловное преимущество в тоннелях и на эстакадах, так как не требует специальной подготовки несущего слоя.

Стоимость строительства безбалластной системы Shinkansen на 24 % больше, чем балластной. Трудозатраты на обслуживание, как ожидается, будут на 30 % ниже, чем требуется для балластных конструкций. При этом разница в затратах на строительство будет компенсирована экономией на текущем содержании через 12 лет.

Затраты на строительство в 2006 г. безбалластных систем Rheda и Züblin были 950 евро/м и 800 евро/м, соответственно, при этом традиционный балластный путь стоил 510 евро/м. Расходы на строительство безбалластных систем во Франции почти в два раза выше, чем балластных. Эксплуатационные расходы на содержание безбалластных систем в Германии и Японии оказались,

соответственно, на 30 и 20 % ниже, чем балластных.

Дисконтированная стоимость жизненного цикла для балластного и безбалластного пути представлена на рис. 2. Диаграмма еще раз подтверждает, что превышение стоимости строительства компенсируется сокращением эксплуатационных затрат.

Необходимо отметить, что безбалластный путь применяется не только на высокоскоростных железнодорожных линиях, но и на путях со смешанным движением. Причем чем больше доля грузового движения, тем быстрее достигается эффект от сокращения затрат на текущее содержание.

В ФРГ более 20 лет назад компании, специализирующиеся на путевом строительстве, пытались убедить железные дороги широко использовать при строительстве новых линий безбалластный путь. Но ситуация изменилась только тогда, когда в рамках реформы была достигнута договоренность, что строительство и реконструкция линий будут финансироваться из федерального бюджета, а их текущее содержание обеспечит холдинг железных дорог Германии (DB AG). В этой ситуации руководство DB AG пришло к логическому выводу о необходимости строить путь, требующий минимальных средств на текущее содержание.

При выборе конструкции пути для высокоскоростного движения в России следует принять во внимание дополнительные риски. Для безбалластного пути это, прежде всего, качество материалов и точное соблюдение технологии строительства. Малейшие отклонения от рецептуры бетонных смесей или времени и температуры их застывания приводят к сокращению продолжительности жиз-

ненного цикла и увеличению затрат на текущее содержание.

К рискам следует отнести и сооружение безбалластного пути на слабых несущих основаниях. Мировой опыт эксплуатации такого пути – это в основном эстакады, мосты и тоннели в достаточно мягком климате.

Еще одним фактором риска является температурный режим эксплуатации безбалластного пути. Все демпфирующие свойства пути обеспечиваются полимерными слоями и прокладками. Свойства полимеров существенно меняются при изменении температуры, что необходимо учесть при проектировании.

Безбалластный путь также более требователен к качеству поверхности катания, поэтому шлифовать рельсы и колеса потребуются чаще.

Традиционный балластный путь имеет низкие затраты на строительство и более универсален для разных условий эксплуатации и в части восстановления после чрезвычайных ситуаций, кроме того, он имеет лучшие параметры по гашению шума и вибрации. Однако такой путь требует существенных затрат на текущее содержание.

Строительство безбалластного пути дороже на 30–40 %, чем балластного. Безбалластный путь имеет преимущество при эксплуатации на мостах, эстакадах и в тоннелях, а также предпочтителен из-за низких затрат на текущее содержание, которые на 20–30 % ниже, чем у балластного. Особо следует отметить преимущество безбалластных конструкций по устойчивости бесстыкового пути к температурному выбросу.

Превышение затрат на строительство безбалластного пути компенсируется снижением затрат на его текущее содержание примерно через 20 лет. При этом ориентировочный срок службы балластного пути составляет 40 лет, безбалластного – 60 лет.

Существенные риски состоят в том, что безбалластный путь более требователен к соблюдению технологии строительства в части состава бетонных смесей и подготовки основания. Кроме того, при проектировании необходимо учесть подвижность слабых оснований и изменение демпфирующих свойств полимерных материалов при колебании температуры. Указанные риски могут увеличить срок окупаемости дополнительных затрат на строительство безбалластного пути с 20 до 30–35 лет.

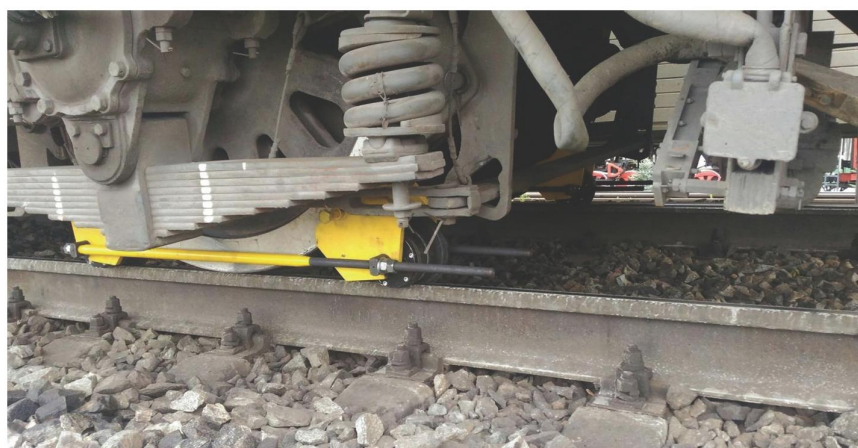


Рис. 2. Дисконтированная стоимость жизненного цикла

В декабре 2016 г. на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» (г. Щербинка) завершены сравнительные испытания четырех типов безбалластных конструкций верхнего строения железнодорожного пути: LVT (РЖДстрой, Россия), FFB (MaxBögl, Германия), NBT (Alstom, Франция), EBS (Tines, Польша). Испытания проведены в соответствии с программой и методикой, утвержденными ОАО «РЖД».

Пропущенный тоннаж ресурсной полигонной проверки по экспериментальному участку составил 600 млн т брутто. Для безбалластного пути высокоскоростного движения это очень хороший показатель: можно считать, что все опытные безбалластные конструкции выдержали испытания и соответствуют требованиям безопасности движения.

Данные испытания стали одним из основных этапов исследования возможности применения такой конструкции для условий Российских железных дорог. Следующим этапом должны быть испытания на опытном полигоне, которым станет первая очередь высокоскоростной линии «Москва – Казань».

Литература:

1. Dr.-Ing. Edgar Darr Dipl.-Ing. (FH) Werner Fiebig. Feste Fahrbahn. Konstruktion und Bauarten für Eisenbahn und Straßenbahn. 2006.
2. Айзенман Й., Лейкауф Г. Безбалластный путь для рельсовых путей // Бетонный календарь: альманах. Спец. вып. 2000.
3. Nigel O., Franz Q. Innovative Track Systems Criteria for their Selection // Project funded by the Eur. Community, Directorate General Energy and Transp. Under the "Competitive and Sustainable Growth" Progr. ProMain. TÜV Intertraffic, Cologne. Oct. 2001.
4. Lichtberger B. Track compendium. First ed. Eurail Press, 2005.
5. Bezin Y., Farrington D., Penny C. et al. The dynamic response of slab track constructions and their benefit with respect to conventional ballasted track. Manchester, UK: Taylor & Francis, 2010.
6. Giannakos K. Requirements of tomorrow's rail transport infrastructure // Vossloh AG 2nd traffic & transp. conf., OSE. Sep. 2004.
7. Schilder R., Diederich D. Installation Quality of Slab Track – A Decisive Factor for Maintenance. RTR Special. Austria, 2007.
8. Bilow D. N., Randich P. E., Randich S. E., Randich G. M. Slab track for the next

- 100 years. Portland Cement Association. Skokie, IL.
9. Zoeteman A., Esveld C. Evaluating track structures: Life Cycle Cost Analysis as a Structured Approach. Delft Univ. of Technology // World Congress on Railway Res. Tokyo, 1999.
10. Савин А. В. Опыт укладки и эксплуатации безбалластного пути LVT // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 5.
11. Ермаков В. М., Загитов Э. Д. Опытный полигон на линии Санкт-Петербург – Москва // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 5.
12. Егорова Т. Н. Безбалластная конструкция верхнего строения пути в тоннелях по технологии LVT // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог: конф. МГУПС (МИИТ). М., 2012.
13. Третьяков В. В., Белоцветова О. Ю., Петропавловская И. Б., Громова Т. И., Третьяков И. В. Безбалластная конструкция RHEDA. использование безбалластных конструкций на железных дорогах России // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог: конф. МГУПС (МИИТ). М., 2011.

АО «ВНИИЖТ» (АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта»)

разработка и модернизация подвижного состава, систем его эксплуатации и ремонта	разработка конструкции пути, устройств энергетике и энергоснабжения и систем их эксплуатации и ремонта	транспортное материаловедение, сварка	организация пассажирских перевозок и системы обслуживания пассажиров
организация высокоскоростного пассажирского движения	организация тяжеловесного движения	исследование взаимодействия пути и подвижного состава	экономика железнодорожного транспорта
сертификационные испытания, метрология и стандартизация на железнодорожном транспорте			

АО «ВНИИЖТ» - многофункциональный центр научно-исследовательских и проектно-конструкторских разработок в области железнодорожного транспорта с уникальным полигоном для проведения всего комплекса приёмочных и сертификационных испытаний.

АО «ВНИИЖТ» - головной координационный центр научно-технической политики на пространстве 1520.

129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, 10
 тел. +7-495-687-65-55 email: press@vniizht.ru
 факс: +7-499-262-00-70 сайт: www.vniizht.ru

ВНИИЖТ/ VNIIZHT

- Железнодорожные исследования.
- Инновационные решения.
- Испытания техники.

ОСНОВАН В 1918 г.

- Уникальные компетенции и опыт выполнения научных исследований.
- Крупнейший научный центр железнодорожной отрасли в области научно-исследовательских и проектно-конструкторских разработок

- 350 объектов испытаний в год
- Отраслевой испытательный центр
- Подготовка аспирантов с 1944 г.
- Международные партнеры более чем в 30 странах