

# Измерение геометрии пути с учетом характеристик подвижного состава

**Центр транспортных технологий (ТТС) и железнодорожная компания Burlington Northern Santa Fe (BNSF) в целях совершенствования системы контроля состояния пути сотрудничают в разработке технологии измерения геометрических параметров пути с учетом условий эксплуатации по новой методике, получившей название PBTG. Эта работа ведется при поддержке Ассоциации американских железных дорог (AAR). В перспективе PBTG может стать альтернативой действующим стандартным методикам инспектирования и содержания пути.**

Пока что методика PBTG используется в качестве новой дополнительной технологии в обычных вагонах-путьеизмерителях (рисунк). Она соотносит измеренные геометрические параметры пути и значения скорости движения подвижного состава с фактическими его ходовыми характеристиками в реальном времени. С помощью данной методики можно не только выявлять участки пути, на которых могут иметь место неудовлетвори-

тельные условия для движения поездов, из-за чего возможен даже сход с рельсов, но и выработать рекомендации по устранению обнаруженных дефектов.

Разработка новой методики включает натурные обследования реальных участков пути для демонстрации ее преимуществ, а также подтверждение и оценку полученных с ее помощью результатов. Кроме того, эта методика использовалась в ходе расследова-

ний причин имевших место сходов с рельсов и изучения аспектов, касающихся взаимозависимости ходовых характеристик подвижного состава и параметров пути.

## Дополнительная технология

Главной задачей инспектирования пути по методике PBTG является определение тех первоочередных работ по его текущему содержанию и ремонту, которые должны быть выполнены для снижения вероятности сходов с рельсов. Кроме того, такие первоочередные работы с учетом характеристик подвижного состава позволят снизить динамическое взаимодействие подвижного состава и пути и, соответственно, напряженное состояние элементов пути. Рассматриваемая технология реализуется на вагоне-путьеизмерителе как своего рода «черный ящик» со следующими функциями:

- совместная работа с традиционными техническими средствами вагона-путьеизмерителя по получению и обработке данных о геометрии пути, с тем чтобы их можно было использовать как вводные в методике PBTG. Следует отметить, что методика PBTG учитывает все параметры, характеризующие состояние геометрии пути (радиус кривых, положение рельсовых нитей в плане и профиле, ширину колеи и т. п.);
- анализ в реальном времени ходовых характеристик подвижного состава (величины и соотношения поперечных сил и вертикальных нагрузок во взаимодействии



Один из вагонов-путьеизмерителей железнодорожной компании BNSF

подвижного состава и пути, а также отдельного колеса с рельсом) на основе результатов измерения геометрических параметров пути и скорости движения поезда;

- идентификация участков пути, на которых могут иметь место реакции подвижного состава, превышающие установленный уровень (дефекты категории PBTG);
- выработка рекомендаций по текущему содержанию пути на таких участках (с дефектами PBTG).

В отчете о результатах инспектирования указывают места выявленных дефектов PBTG, расчетные реакции подвижного состава, по величине выходящие за установленные пределы, тип подвижного состава и скорость движения. На основе одного такого отчета персонал службы текущего содержания пути может иметь достаточный объем информации о фактическом состоянии пути и принять решение относительно необходимости путевых работ. Вместе с тем система инспектирования по методике PBTG включает выработку предварительных рекомендаций по исправлению геометрии пути с дефектами PBTG.

Для участка с выявленными дефектами PBTG состояние пути в этих рекомендациях классифицируется по нескольким эксплуатационным параметрам: положению рельсовых нитей в профиле и плане, а также относительно друг друга и ширине колеи. Каждый параметр рассчитывается исходя из максимального отклонения, числа повторяющихся отклонений и с учетом местоположения участка (в круговой, переходной кривой или в прямой). Вводятся также весовые показатели, связанные с каждым эксплуатационным параметром и отражающие значимость влияния каждого из них на ходовые характеристики подвижного состава. Затем предлагаются операции по текущему содержанию пути, основанные на ранжировании результатов по указанным эксплуатационным параметрам.

Сердцевиной этой технологии является группа так называемых нейронных сетей (NN), настраиваемая по результатам измерений фактических геометрических параметров пути и испытаний подвижного состава. В этих сетях состояние пути в пространственном (трехмерном) измерении и скорость движения подвижного состава соотносятся с его ходовыми характеристиками на данном участке пути.

При установлении нелинейных зависимостей между входными и выходными данными принимаются во внимание и другие, не представляемые в количественной форме вторичные параметры пути на основе их фактических статистических распределений в базе данных. Например, когда в базе данных по взаимодействию пути и подвижного состава, используемой при разработке сети NN для прогнозирования ходовых характеристик подвижного состава в зависимости от геометрии пути, учитывается влияние таких параметров и факторов, как лубрикация рельсов, их профиль и модуль пути, модель NN основывается на наиболее вероятных распределениях этих неколичественных параметров и факторов, а при измерении геометрических параметров пути принимают во внимание их влияние в процессе реального инспектирования.

### Дефекты PBTG

При измерениях по методике PBTG дефект PBTG определяется как такое состояние пути по геометрическим параметрам в пределах конкретного участка пути, которое может вызвать ухудшение ходовых характеристик подвижного состава. В отличие от дефектов пути по геометрическим параметрам, определяемых стандартами безопасности Федеральной железнодорожной администрации США (FRA) и стандартами по текущему содержанию пути конкретных железных дорог,

которые обычно привязываются к определенным точкам пути, дефекты PBTG относятся к определенным участкам пути. В их число могут входить комбинированные или множественные отклонения геометрических параметров в пределах данного участка с учетом влияния местных особенностей, таких, например, как наличие круговой или переходной кривой, на ходовые характеристики подвижного состава.

Неудовлетворительные ходовые характеристики подвижного состава из-за дефектов PBTG определяются по следующим двум критериям, связанным с риском схода с рельсов:

- для одиночного колеса отношение поперечной силы к вертикальной нагрузке ( $L/V$ ) во взаимодействии с рельсом превышает 1,0;
- фактическая вертикальная нагрузка от колеса меньше 10 % статической колесной нагрузки.

Критериальное соотношение  $L/V$  оценивает вероятность схода вследствие напользания колеса на рельс, а критерий вертикальной разгрузки — схода вследствие прекращения опирания колеса на рельс. В соответствии с действующими стандартами и руководящей документацией AAR величины, отличающиеся от указанных выше в худшую сторону и соответствующие неудовлетворительным параметрам взаимодействия подвижного состава и пути, рассматриваются как признак более высокого риска, а отличающиеся в лучшую сторону — как свидетельство хороших ходовых характеристик подвижного состава при движении по данному участку.

Дефекты PBTG являются вероятностными, поскольку определенный участок пути может оказаться неблагоприятным в отношении ходовых характеристик подвижного состава по критериям повышенного риска схода с рельсов только при определенных условиях взаимодействия подвижного состава и пути. В отличие от выявляемых при обычном инспектировании ге-

ометрических дефектов пути, которые могут быть зафиксированы неоднократно как имеющие постоянную величину, реакция подвижного состава на одни и те же геометрические параметры пути не будет одинаковой, если изменились другие условия. Даже у одного и того же вагона при движении с той же скоростью на том же участке пути реакция будет иной, если, например, изменятся условия контакта колеса и рельса.

Так, дождь или снег могут снизить трение в системе колесо — рельс и, соответственно, уменьшить поперечные силы воздействия колеса на рельс при движении в кривой. Именно поэтому инспектирование пути по методике PBTG преследует цель прогнозировать наиболее вероятные изменения ходовых характеристик подвижного состава на основе статистических распределений других неколичественных параметров.

## Реализация

Первый комплект оборудования для инспектирования пути по методике PBTG был установлен на одном из вагонов-путеизмерителей BNSF в сентябре 2004 г. Его использовали для обследования участка длиной около 256 км одной из линий этой железной дороги. Анализ первых результатов применения методики PBTG показал следующее.

На данном участке было выявлено 18 мест с дефектами PBTG, в том числе в 13 местах обнаружены отклонения в величине соотношения  $L/V$ , в трех местах — отклонения в величине вертикальной нагрузки от колес и в двух — и те, и другие отклонения.

Для этих 18 мест установлено, что в 15 местах имелись отклонения в плане пути и ширине колеи, в девяти местах — в продольном и поперечном положении рельсовых нитей, в шести перекрывающих друг друга местах фактически име-

лись все виды геометрических дефектов как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

Некоторые из упомянутых дефектов были осмотрены и проверены обычными способами. Общие признаки для случаев превышения вертикальной нагрузки оказались характерными для таких специфических мест, как переезды и подходы к ним, стыковой путь с укороченными рельсами, стрелочные переводы, места грязевых выплесков и неудовлетворительного водоотвода, а также места со случайными перекосами и неровностями на поверхности катания. Общие признаки для случаев недопустимых величин соотношения  $L/V$  оказались присущими таким местам, как кривые малого радиуса, стрелочные переводы с криволинейными острьями или расположенные в кривых, места с наддернутыми костылями и с эпизодическими явными дефектами в плане и по ширине колеи.

Дефекты PBTG были сопоставлены с дефектами, выявленными по обычной методике FRA. На рассматриваемой линии выявлено 48 дефектов FRA, однако большинство их не является дефектами PBTG. С другой стороны, только около половины дефектов PBTG были идентифицированы как дефекты FRA по геометрии пути.

Технологию PBTG использовали также для изучения сходов подвижного состава с рельсов, происшедших в прошлом из-за неудовлетворительного состояния пути. Например, на конкретном участке в течение 3 мес имели место два схода, оба при движении порожних цистерн со скоростью порядка 60 км/ч. Измерения геометрических параметров пути обычными методами выявили отклонения во взаимном положении рельсовых нитей в профиле и плане, а также в ширине колеи, но все они не выходили за пределы, установленные действующими нормативами. Анализ же по методике PBTG, основанный на результатах оперативных измерений геометрических пара-

метров пути сразу после второго схода, но выполненный с учетом скорости движения поездов, смог отразить возможную связь сходов с геометрией пути. Так, было выявлено, что такая ходовая характеристика подвижного состава, как соотношение  $L/V$  для единичного колеса, выходит за допустимый предел (1,0) при скорости 58 км/ч и более, что свидетельствует о небезопасном движении порожних цистерн с данной скоростью по данному участку.

Другой пример связан со сходом с рельсов порожней цистерны при движении со скоростью 56 км/ч. Как и в ранее рассмотренном случае, измерения геометрических параметров пути в месте схода указали на наличие отклонений в поперечном профиле и продольном плане пути, а также в ширине колеи, и все они, однако, не нарушали действующие нормативы. Анализ же по методике PBTG выявил недопустимую величину соотношения  $L/V$  для одиночного колеса в диапазоне скорости 50 – 63 км/ч (в этом случае меньшая скорость на деле соответствует большему значению соотношения  $L/V$ ). В подготовленном по методике PBTG отчете указано также на уширение колеи с максимальной величиной отклонения 25,4 мм и перекося с такой же максимальной величиной отклонения как на основные факторы неудовлетворительной реакции подвижного состава, несмотря на то что в продольном плане и профиле тоже были определенные отклонения.

## Достоверность

Было выполнено также сопоставление результатов расследования многих случаев неудовлетворительной реакции подвижного состава, выявленных как с использованием методики PBTG, так и на основе измерений с помощью инструментальной (оснащенной соответствующими датчиками) ко-

лесной пары. Оказалось, что в целом по методике РВТГ выявляется около 80 % дефектов, обнаруживаемых с помощью инструментальной колесной пары. Этот показатель рассматривается как вполне удовлетворительный и доказывает, что данная методика с достаточной степенью точности прогнозирует наиболее вероятные ходовые характеристики подвижного состава с учетом геометрии пути и скорости движения.

Однако есть и другие факторы, которые могут влиять на реакцию подвижного состава. В упомянутой ранее системе инспектирования по методике РВТГ влияние всех этих факторов косвенно учитывается при статистической обработке. Другими словами, влияние геометрии пути и скорости движения рассматривается как непосредственная вводная информация в количественной форме, а влияние других, второстепенных факторов — как информация в не количественной форме, вводимая в виде наиболее вероятных распределений. Следует также отметить, что по методике РВТГ на основе множественного моделирования скорости выявлено намного больше отклонений, чем при измерениях с использованием инструментальной колесной пары, когда отклонения выявляются только на одной скорости.

BNSF привлекла третью сторону для проведения независимой проверки результатов применения методики РВТГ с использованием результатов измерений с помощью инструментальной колесной пары. В ходе этих оценочных исследований, проведенных на линии длиной около 385 км с регулярным движением поездов, с помощью инструментальной колесной пары были изучены ходовые характеристики порожних цистерн. Одновременно с помощью вагона-путеизмерителя BNSF собирали данные о геометрии

технических параметров пути. Эти данные вместе с принятыми в моделировании значениями скорости (32, 48, 64 и 79 км/ч) использовались затем в методике РВТГ в качестве вводных для получения итоговых ходовых характеристик подвижного состава (максимальное отношение  $L/V$ , минимальная вертикальная нагрузка от колеса  $V$  и максимальная поперечная сила  $L$ ). Для сопоставления были отображены результаты анализа по методике РВТГ в скоростном диапазоне, близком к диапазону измерений с помощью инструментальной колесной пары, хотя разность между значениями скорости при моделировании по методике РВТГ и фактической скорости при измерениях с помощью инструментальной колесной пары могла достигать порядка 8 км/ч.

В целом результаты анализа по методике РВТГ хорошо согласуются с результатами измерений с помощью инструментальной колесной пары, отражая близость общих концепций. Рассмотрение величин соотношения  $L/V$  и вертикальной нагрузки от колеса  $V$ , полученных по двум указанным методикам, показало, что имеют место некоторые различия, которые, однако, могут быть обусловлены такими факторами, как указанная разность значений скорости на участке между пикетами 175-й и 172-й миль. Кроме того, неколичественные параметры пути, не относящиеся к его геометрии, также могут влиять на результаты, полученные с помощью инструментальной колесной пары. В то время как по методике РВТГ можно получить наиболее вероятные реакции подвижного состава для заданного диапазона факторов, характеризующих состояние пути (таких, как смазка рельсов, модуль жесткости, профиль рельсов и т. п.), результаты использования инструментальной колесной пары соответствуют только тому

конкретному состоянию пути, в условиях которого измеряется реакция подвижного состава.

## Заключение

Инспектирование пути и оптимальная система его текущего содержания и ремонта призваны повысить уровень безопасности движения поездов и улучшить динамическое взаимодействие подвижного состава и пути (например, снизить напряженное состояние последнего). Однако современные методы контроля состояния пути и практика его текущего содержания не всегда соотносятся с ходовыми характеристиками подвижного состава. Точнее, современные методы измерения не всегда выявляют некоторые особенности геометрии пути, которые могут вызвать нежелательные реакции подвижного состава, а с другой стороны, многие обнаруживаемые обычными методами дефектные места пути необязательно вызывают ухудшение ходовых характеристик подвижного состава.

Разработка и начальное внедрение новой методики РВТГ являются результатом совместных усилий ТТС и BNSF. Несмотря на необходимость дальнейших улучшений, уже первый опыт продемонстрировал несомненные ее преимущества в отношении прогнозирования сходов подвижного состава с рельсов, вызываемых отклонениями в геометрических параметрах пути. В планах на ближайшее будущее предусмотрено продолжение работ по совершенствованию этой технологии, в частности по повышению уровня дружелюбности к пользователю, в целях реализации всех ее потенциальных возможностей.

*D. Li. Railway Track & Structures, 2005, № 9, p. 19 - 23.*