

Исследование мостов и подходов к ним на участках с интенсивным движением

В рамках программы исследований и испытаний пути на линиях с интенсивным движением поездов, финансируемой Ассоциацией американских железных дорог (AAR) и Федеральной железнодорожной администрацией (FRA) США, специалисты Центра транспортных технологий (ТТС) и железнодорожных компаний Norfolk Southern (NS) и Union Pacific (UP) изучали мосты и подходы к ним, чтобы выявить проблемы содержания пути на переходных участках.

В пределах интенсивно эксплуатируемых участков пути на мостах и подходах к ним совместная исследовательская группа рассматривала следующие аспекты:

- жесткость пути в вертикальном и/или горизонтальном направлении, определяющую реакцию пути и характер динамического взаимодействия пути и подвижного состава;
- характеристики опирания шпал и рельсов в поперечном и/или продольном направлении;
- наличие зон со слабыми подстилающими грунтами и загрязненным балластом;
- повышение уровня вертикальных и/или поперечных сил во взаимодействии колес и рельсов в результате ухудшения геометрических параметров пути.

Итоги этих исследований уже используются для разработки рекомендаций по содержанию пути и способам улучшения ситуации.

Мосты и подходы к ним — это места, которые зачастую требуют усиленного внимания, особенно при движении подвижного состава с высокими осевыми нагрузками. Возникающие здесь проблемы включают быстрое ухудшение геометрических параметров пути в плане и профиле, заиливание балласта,

излом рельсов, разрушение рельсовых скреплений и срез подрельсовых подкладок. Причины этих проблем могут быть самыми разными, начиная от того, как были запроектированы и построены основание и верхнее строение пути, и кончая методикой его текущего содержания на конкретной железной дороге.

В 2004 г. на интенсивно эксплуатируемых углевозных железных дорогах с тяжеловесным движением были выбраны для изучения два участка с мостами — один в восточной, другой в западной части США,

чтобы дополнить исследования, выполняемые на полигоне ускоренных ходовых испытаний ТТС в районе Пуэбло (штат Колорадо). На этих участках проведен ряд экспериментов в целях количественной оценки влияния высоких осевых нагрузок на путевую структуру, а также для проверки новых технологий, более совершенных методов проектирования и подходов к содержанию пути, способствующих снижению этого негативного влияния.

Восточный участок

Один из выбранных участков находится недалеко от г. Принстона (штат Западная Виргиния) и принадлежит железной дороге Norfolk Southern. Он характеризуется наличием кривых малого (до 145 м) радиуса и довольно крутых (до 14‰) продольных уклонов. Рельсы здесь



Рис. 1. Один из мостов на участке железной дороги NS вблизи Принстона

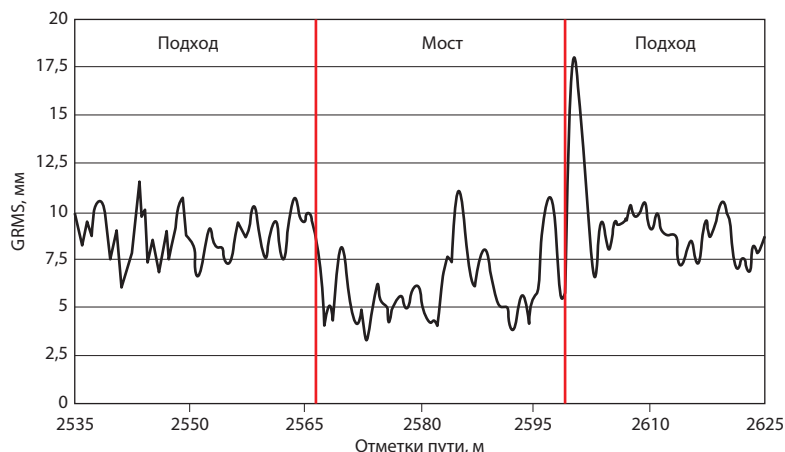


Рис. 2. Поперечная жесткость пути на мосту и подходах к нему

уложены на деревянных шпалах. Скорость движения поездов составляет от 32 до 64 км/ч, объем перевозок достигает 55 млн. т в год. На участке имеются шесть металлических мостов с ездой поверху. Те из них, что расположены в кривых малого радиуса или в S-образных кривых, равно как и подходы к ним, требуют более интенсивного текущего содержания. Кроме того, здесь чаще, чем раз в месяц (т. е. через каждые 5 млн. т поездной нагрузки), необходимо выполнять выправку и рихтовку пути. Один из таких мостов показан на рис. 1.

Исследования, проведенные на этом участке интенсивной эксплуатации пути, включали:

- анализ данных предыдущих обследований геометрических параметров пути, проведенных с помощью путеинспекционного вагона и силами ревизоров NS по пути и мостам;
- определение вертикального модуля пути с помощью путенагрузочного вагона ТТС;
- определение прочности основания пути с помощью имеющегося в комплекте оборудования этого вагона конусного пенетromетра;
- определение устойчивости колеи с помощью путеинспекционного вагона FRA, оснащенного соответствующей измерительной аппаратурой.

Результаты исследований позволили установить следующее.

Различный характер опирания левого и правого рельса. Одним из основных факторов, обуславливающих это явление на переходных участках между мостами и земляным полотном подходов, является наличие скошенных стенок береговых опор (устоев) мостов. Эти стенки устраивают скошенными в тех случаях, когда мосты пересекают водотоки или автомобильные дороги не под прямым углом к продольной оси железнодорожного пути. Как правило, при наличии скошенной стенки непосредственно в месте перехода от моста к земляному полотну находится порядка пяти шпал. При этом возникает различие в условиях опирания левого и правого рельсов, поскольку конец шпалы, лежащий на устое, покоится на значительно более жестком основании, чем конец, лежащий на земляном полотне. Кроме того, концы шпал на стороне с более мягким основанием часто оказываются прямо на грунте без промежуточного слоя балласта. В результате для компенсации просадки рельса на стороне с более слабым основанием зачастую приходится прибегать к регулированию его уровня путем постановки дополнительных подкладок. Еще одну проблему составляют затруднения при подбивке балласта,

поскольку с одной стороны шпалы опираются на устой, а с другой происходит вывал балластного материала из-под рельсошпальной решетки.

Изменение поперечной жесткости пути. Неравенство поперечной жесткости пути в разных местах — это еще одна особенность, присущая участкам с металлическими мостами с ездой поверху, расположенными в кривых, в том числе S-образных. Путь на мосту и путь на подходах имеет разную поперечную жесткость, что обусловлено различием систем скрепления рельсов со шпалами и способов опирания шпал на основание — металл на мосту и балласт на подходе (плюс разница в расстоянии между шпалами). В качестве примера на рис. 2 показаны результаты испытаний по методу GRMS, проведенных на одном из мостов рассматриваемого участка.

Эти результаты свидетельствуют о существенной разнице в величине поперечной жесткости пути на мосту и на подходах к нему, выражающейся в значительно большей жесткости пути на мосту (определяемой по показателю «дельта колеи»: меньшее значение этого показателя свидетельствует о большей жесткости), чем на подходах. Одна из основных причин — применение на мосту упругих рельсовых скреплений, тогда как на подходах используются костыли. Из-за различия в поперечной жесткости путь на мосту можно рассматривать как фиксированную точку кривой, в то время как сопротивляемость пути на подходах смещению в поперечном направлении значительно меньше, что ведет к сдвигу оси пути в местах перехода от моста к подходам.

Проблемы с прочностью основания пути. На подходах к некоторым мостам были выявлены геотехнические проблемы, вызываемые недостаточной прочностью подстилающих грунтов основания пути. В

качестве примера на рис. 3 показаны результаты испытаний, проведенных с помощью конусного пенетromетра на восточном подходе к одному из мостов. Здесь приведена зависимость между глубиной слоя подстилающего грунта и его прочностью. Видно, что прочность слоя балласта и грунта на глубине до 1,8 м весьма велика (это определяется по большей величине сопротивления проникновению острия конуса пенетromетра в грунт), что, по-видимому, связано с периодической балластировкой и подбивкой пути. На подходе к мосту подстилающие грунты основания слабые, о чем свидетельствуют очень малые величины усилия на острие конуса пенетromетра.

Изменение вертикального модуля пути. На мостах и на подходах к ним были также проведены испытания в целях определения вертикального модуля пути. В некоторых местах выявлены существенные различия в значениях модуля на мостах и на подходах. При этом измеренные величины модуля пути на мостах оказались большими, чем на подходах, в особенности там, где подстилающие грунты были слабыми. Так, на одном из подходов измеренный вертикальный модуль пути был меньше 2000 фунтов на квадратный дюйм (примерно 140 кг/см²), что свидетельствует о малой прочности основания пути.

К другим факторам, обуславливающим появление разного рода проблем в местах перехода от металлических мостов с ездой поверху к подходам, относятся тяжелые условия нагружения вследствие высоких поперечных нагрузок от колес подвижного состава на путь в кривых малого радиуса, значительных продольных нагрузок при торможении тяжеловесных поездов на крутых спусках и больших вертикальных динамических воздействий, вызываемых просадкой пути на подходах к мостам.

Западный участок

Другой, еще более интенсивно эксплуатируемый участок принадлежит железной дороге Union Pacific и расположен около г. Огаллала (штат Небраска). Здесь имеют место относительно пологие кривые радиусом 850–1750 м, рельсы уложены на железобетонные шпалы. Скорость движения поездов составляет от 80 до 95 км/ч, объем перевозок достигает 220 млн. т в год.

На этом участке находятся шесть железобетонных мостов с путем на балласте и железобетонных шпалах. Проблемы содержания, относящиеся к мостам и подходам к ним, включают нерегулярность геометрических параметров пути, заиливание балласта, возникновение трещин в железобетонных шпалах и изломы рельсов, вызываемые высокими динамическими нагрузками. В основе этих факторов лежат различная осадка шпал и большая жесткость пути на мосту в сочетании с резким изменением жесткости и демпфирующих характеристик пути в месте перехода с моста на подходы.

Целью исследований, связанных с подходами к мостам на этом участке интенсивной эксплуатации пу-

ти, было получение фактической картины нагружения и долгосрочное прогнозирование работоспособности пути для сравнения существующих конструкций пути с более совершенными конструкциями на железобетонных мостах.

Инструментальное обследование одного из мостов было осуществлено в сентябре 2005 г. Исследуемый малый (длиной 3 м) железобетонный мост с путем на балласте и железобетонных шпалах расположен в прямой. Целью испытаний была количественная оценка картины нагружения и работоспособности пути для ситуаций применения существующих и более прогрессивных конструкций пути.

На рис. 4 показано распределение колесных нагрузок, выявленное по результатам измерений на мосту и на одном из подходов к нему в существующих условиях. Приведенные диаграммы дают общее представление о картине динамического вертикального нагружения пути колесами примерно 8000 поездов, проследовавших по участку.

На рис. 4, а видно, что как на мосту, так и на подходе имеет место значительное число случаев возникновения максимальных колес-

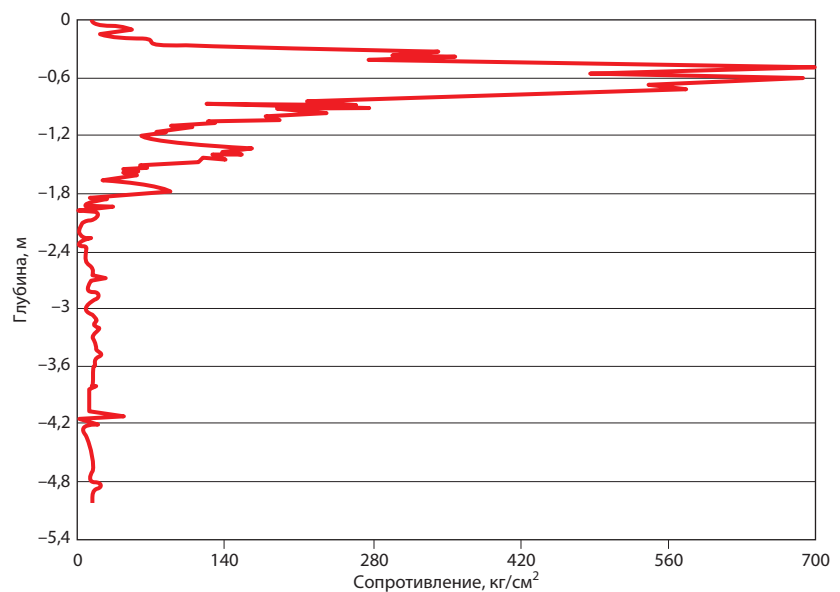


Рис. 3. Зависимость прочности основания пути от глубины

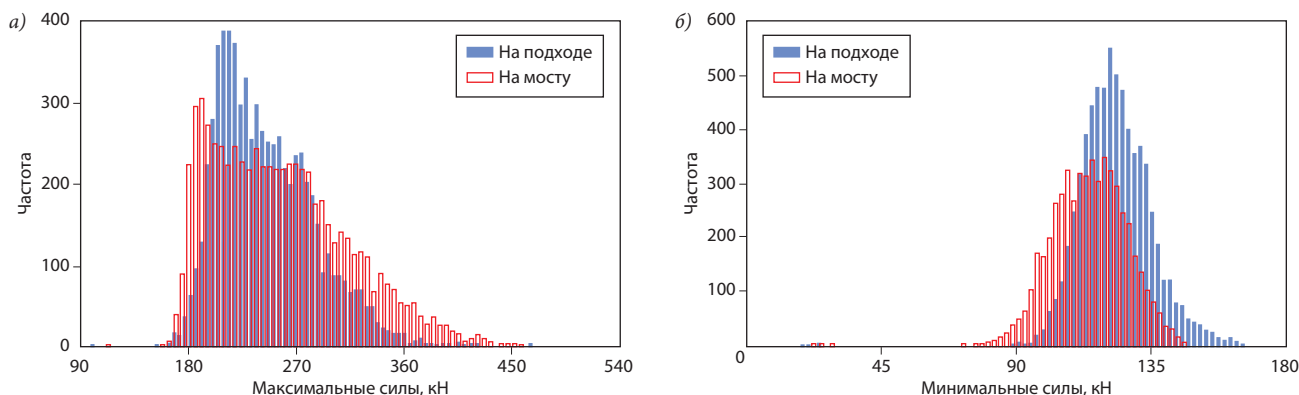


Рис. 4. Динамические нагрузки от колес на путь на мосту и на подходе

ных нагрузок (т. е. не менее чем в 2 раза превышающих максимальную статическую колесную нагрузку, приятую равной 16,3 т) и что частота возникновения таких нагрузок на мосту гораздо больше, чем на подходе, что можно объяснить значительно более высокой жесткостью пути и меньшей поглощаемостью колебаний на мосту по сравнению с подходом.

На рис. 4, б видно, что частота возникновения минимальных колесных нагрузок на мосту оказалась меньше, чем на подходе, что также свидетельствует о более интенсив-

ном силовом взаимодействии подвижного состава и пути на мосту.

Вместе с тем данные рис. 4 свидетельствуют о серьезности существующей ситуации с точки зрения нагружения пути как на мосту, так и на подходе. Подтверждением является тот факт, что через год после начала измерений железобетонные шпалы на мосту стали трескаться, и как на обоих подходах, так и на мосту в результате измельчения частиц балластного материала началось заиливание балластного слоя, что показано на рис. 5.

В тех местах, где происходит заиливание балласта, основание пути ослабляется вследствие попадания в него воды; в результате этого наблюдаются значительные циклические деформации пути при проходе поездов с высокими осевыми нагрузками. В сухом же состоянии основание и верхнее строение пути (особенно пути на железобетонных шпалах) приобретают излишне высокую жесткость, способствующую нарушению геометрических параметров пути и, соответственно, возрастанию динамических колесных нагрузок. В обоих случаях это явление приводит к снижению работоспособности пути. В марте 2007 г., например, в результате воздействия высоких динамических нагрузок и больших циклических деформаций на подходе к мосту разрушился один из рельсов в месте заиливания балласта (рис. 6).

Были также выполнены измерения с целью количественной оценки реакции железобетонных шпал. На рис. 7 представлены в сопоставлении результаты измерения изгибающих напряжений в средней части поверхности двух шпал, находящихся в различных условиях опирания. Здесь приведены статистические величины: максимальная (MAX), минимальная (MIN), средняя (AVG) и соответствующая 98%-ной повторяемости (P98), полученные при проходе 8000 поездов над двумя такими шпалами.

На рис. 7, а, относящемся к шпале, покоящейся на прочном основании, виден относительно малый разброс напряжений изгиба.

На рис. 7, б, относящемся к шпале с опиранием только в средней части, видно, что разброс напряжений изгиба значительно больше. Центральное опирание шпалы, т. е. отсутствие опирания в подрельсовых зонах, рассматривается в качестве основной причины возникновения трещин в железобетонных шпалах.

Перспективы

На восточном участке на двух мостах в кривых на мостовом полотне будет уложен балласт, что, как полагают, уменьшит различие величин поперечной (прежде всего) и вертикальной (в определенной мере) жесткости пути на этих мостах и на подходах к ним. Испол-

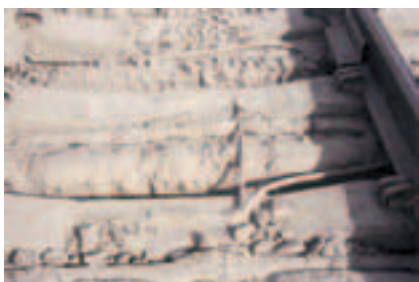


Рис. 5. Заиливание балласта на подходе к мосту



Рис. 6. Излом рельса в месте заиливания балласта

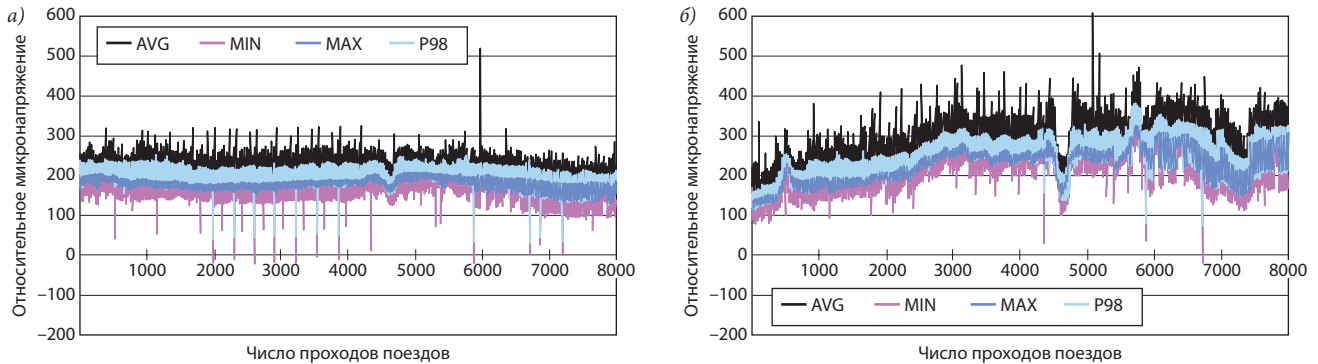


Рис. 7. Напряжения изгиба на поверхности шпал

зование более надежных рельсовых скреплений, соблюдение оптимального расстояния между шпалами и наличие балластного слоя сделают путь более устойчивым в местах перехода. Рассматриваются и другие меры, такие, как укладка на подходах пути на плитном основании или применение промежуточного слоя горячей асфальтобетонной смеси, что сгладит различия в опирании и

в вертикальной жесткости пути. Необходимо также укрепить слабые грунты основания пути на подходах.

Испытания на западном участке будут продолжены. На следующем этапе планируют осуществить замену и подбивку балласта на мостах, а также замену существующих железобетонных шпал на шпалы с резиновыми подкладками. Предусмотрено повторить измерения и провести со-

ответствующий мониторинг с целью определения количественного влияния этих мер на изменение картины нагружения и повышение работоспособности пути за счет улучшения его упругих свойств и поддержания заданных геометрических параметров.

Материалы FRA; D. Li, R. McDaniel, B. GeMenier. Railway Track & Structures, 2007, № 7, p. 18–21.



**Журнал «Железные дороги мира»
и издательство «Интекст»**



ПОИСК И ОБОБЩЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

о зарубежных рынках и инновациях
в области магистрального и промышленного
железнодорожного, а также городского рельсового транспорта

для компаний,
выходящих на внешний рынок,
заинтересованных в инновационных решениях,
ищущих поставщиков комплектующих.

**Обзоры техники для железнодорожного
и городского рельсового транспорта**

Статистическая информация

**Подборки статей и других материалов
по железнодорожной тематике**

**Заинтересованные организации просим обращаться в редакцию журнала «Железные дороги мира»
по телефону (499) 317-55-65 и электронной почте zdm@css-rzd.ru**