

эксперименты проводит и Национальное общество железных дорог Франции.

Первые оценки экспериментальной конфигурации системы позволяют ожидать экономически интересных решений, если точность определения длины поезда и времени выявления обрыва сможет стать привлекательной для компаний-перевозчиков.

Проблему контроля полноставности поезда и определения его длины целесообразно рассматри-

вать в сочетании с известным требованием об отказе от стационарных устройств контроля занятости пути. Подготовка технически эффективного и экономически оправданного решения ZVS происходит в период реализации проекта FFB, в рамках которого эта система будет использоваться.

F. Quante et al. Eisenbahntechnische Rundschau, 2000, № 7/8, S. 534 – 539.

УДК 625.172

Проблемы содержания пути при высоких осевых нагрузках

С момента появления железных дорог масса грузовых вагонов непрерывно увеличивается. Высокие осевые нагрузки обеспечивают повышение производительности, но и вызывают дополнительный износ верхнего строения пути и других объектов инфраструктуры. Шлифование и лубрикация рельсов, улучшение характеристик грузовых вагонов, совершенствование методов текущего содержания пути помогают в решении этих проблем.

В очередном, 9-м ежегодном обзоре экспериментально-исследовательской деятельности Центра транспортных технологий (ТТС) по состоянию на март 2004 г. представлены последние результаты исследований на полигоне ускоренных эксплуатационных испытаний (FAST), относящихся к движению подвижного состава с высокими осевыми нагрузками (HAL).

Реализуемая в ТТС программа исследований HAL преследует следующие основные цели:

- определение влияния осевых нагрузок порядка 35 т на состояние пути и его компонентов;
- оценку работоспособности новых и модернизированных компонентов пути.

Эту программу совместно финансировали Ассоциация американских железных дорог (AAR) и Федеральная железнодорожная администрация США (FRA), а железные дороги и компании-поставщики предоставили материалы и оборудование для испытаний, что расширило базу исследований.

К моменту публикации обзора в рамках программы HAL по путям полигона FAST в общей сложности было пропущено 1,36 млрд. т брутто поездами нагрузки. Испытания дали информацию по проблемным вопросам, касающимся эксплуатационных характеристик усовершенствованных и экс-

периментальных компонентов пути, эффективности применяемой практики текущего содержания пути и оценки преимуществ тележек с модернизированным рессорным подвешиванием.

Рельсы

В ходе оценки эксплуатационных характеристик пути на полигоне FAST определены параметры износа рельсов, изготовленных из наиболее современных первосортных марок стали, под воздействием высоких осевых нагрузок, а также характер возникновения и развития усталостных дефектов, особенно поверхностных.

Предварительные результаты начатых в 2001 г. испытаний таких рельсов (к настоящему времени по ним пропущено около 230 млн. т брутто поездами нагрузки) показали, что состояние поверхности испытываемых рельсов осталось удовлетворительным с некоторыми незначительными различиями у рельсов разных типов. В сварных рельсовых стыках, выполненных методом стыковой электросварки оплавлением, трещины не обнаружены, за исключением четырех стыков рельсов из перлитной стали (механические повреждения в зоне подошвы) и двух из бейнитной.

Сформулирован вывод, что статистически значимые различия в износе проходивших испытания рельсов из перлитной стали отсутствуют. Рельсы из бейнитной стали марки J6 при минимальной лубрикации изнашиваются быстрее, но их износ при нормальной лубрикации примерно такой же, как рельсов из перлитной стали твердостью 365 ед. по Бригеллю. Качество поверхности этих рельсов повсеместно хорошее, а износ уменьшился на 9,1 % по сравнению с рельсами предшествующих поколений.

Средний срок службы по износу рельсов типа RE141 из перлитной стали при пропуске 136 млн. т поездной нагрузки в год определен равным примерно 11 годам.

Исследование эффективности шлифования профиля головки рельса охватывало высококачественные рельсы нескольких типов, уложенные в 2003 г. Часть их эксплуатировали без шлифования, к другой части применяли шлифование по обычной программе, а для остальных порядок и результаты шлифования определяли с использованием компьютерной программы WRTOL, разработанной AAR. Измерения профиля рельсов осуществляли в начале испытаний и после пропуски 27 млн. т брутто поездной нагрузки, результаты оценивали с помощью программы WRTOL. Рельсы, находящиеся в «обычной» зоне, потребовали шлифования после наработки указанного тоннажа, рельсам в зоне WRTOL шлифование не понадобилось. На момент составления обзора у всех рельсов отмечен незначительный износ головки. Имели место небольшие различия в состоянии поверхности, по большей части в обезуглероженном слое.

Испытания на полигоне FAST показали работоспособность и целесообразность применения рельсовых сварных стыков с широкими швами, которые позволяют уменьшить общее число рельсовых стыков, выполняемых в пути методом термитной сварки.

На полигоне FAST изучены также причины дефектов сварных швов, выражающихся в виде вертикального смещения свариваемых поверхностей, и начаты испытания рельсовых стыков, выполненных термитной сваркой с использованием кристаллизаторов улучшенной геометрии, разработанных на базе исследований университета штата Иллинойс.

В программу предстоящих исследований включены испытания методов прорезной и газопрессовой сварки. Интерес к этим методам обоснован тем, что прорезная сварка предусматривает автоматизированное (с использованием сварочных роботов) восстановление профиля головки рельса, при том что шейка и подошва остаются нетронутыми; газопрессовая же сварка менее затратная, а применяемое оборудование более портативное и удобное в обращении в сравнении со стыковой электросваркой оплавлением.

Шпалы, рельсовые крепления и особые места пути

Испытания шпал и рельсовых креплений на FAST имели несколько целей:

- определение эффективности методов продления срока службы шпал, в том числе за счет использования пробок из синтетических материалов;

- определение эксплуатационных качеств композитных (пластмассовых) шпал на стрелочных переводах и в «гладком» пути;

- минимизация воздействия высоких осевых нагрузок на состояние и характеристики шпал, в том числе путем использования специальных вкладышей для сохранения стабильности ширины колеи;

- оценка эксплуатационных характеристик деревянных шпал (в том числе из пиленой древесины и клееных) и рельсовых креплений под воздействием вагонов массой 143 т.

В ходе испытаний проверяли эффективность пробок из синтетических материалов двух типов и деревянных как при сухой, так и при сырой древесине шпал.

Измерения с использованием путенагрузочного вагона в начале испытаний выявили незначительное уменьшение стабильности колеи в случае применения пробок как из синтетических материалов, так и деревянных, но при большом разбросе от шпалы к шпале.

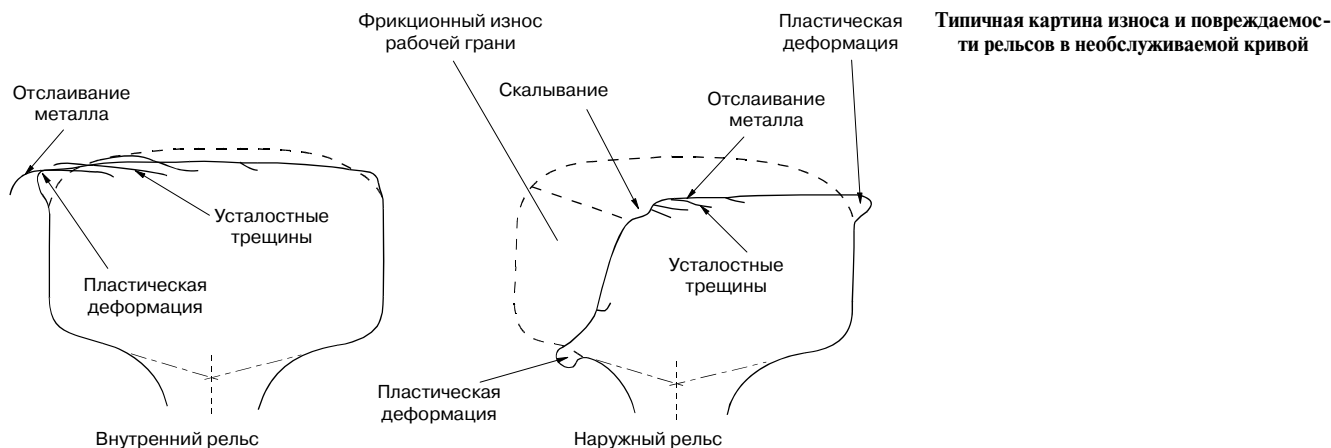
Измерения с использованием легкого нагрузочного устройства показали слабое влияние материалов пробок или степени увлажнения древесины шпал на стабильность колеи. В этом случае также отмечен большой разброс от шпалы к шпале.

Среднее значение усилия извлечения костылей из шпал в случае применения как вновь поставленных пробок из синтетических материалов, так и контрольных деревянных составило от 810 до 1310 кг (в лабораторных условиях эта сила была больше). После пропуски 30 млн. т брутто поездной нагрузки какие-либо дополнительные работы по поправке костыльных креплений не потребовались ни в одной зоне испытаний.

На полигоне FAST оценивали также эффективность применения специальных вкладышей как фактора дополнительной сопротивляемости уширению колеи. Железная дорога BNSF предоставила партию таких вкладышей, которые были установлены в сентябре 2003 г. на экспериментальном участке со 100 шпалами из желтой сосны.

Специалисты TTC в наружной нити кривой экспериментального участка заменили упругие рельсовые крепления костыльными с 355-миллиметровыми подкладками и поставили по одному вкладышу на каждой третьей шпале. Во внутренней нити оставили упругие крепления. На время подготовки обзора измерения с использованием легкого нагрузочного устройства показали, что блоки действительно повышают стабильность ширины колеи при костыльных креплениях, но в меньшей степени, чем стоявшие ранее упругие крепления.

На полигоне FAST проходил испытания обычный стальной мостовой стык, но он был снят после пропуски 45 млн. т брутто поездной нагрузки из-за высоких затрат на текущее содержание. Испытания



стыка улучшенной конструкции на металлическом мосту планировали начать в 2004 г. Кроме того, на полигоне в испытательных целях сооружены два железобетонных моста.

В отношении особых мест пути (стрелочных переводов и глухих пересечений) исследования ТТС показали необходимость в проведении мероприятий по улучшению конструкции указанных компонентов пути и применению материалов более высокого качества. В число этих мероприятий входят:

- уменьшение угла входа стрелочных переводов для снижения максимальных боковых нагрузок;
- повышение качества рельсовой стали и литья;
- увеличение поперечного сечения острижков;
- оптимизация угла входа контррельсов;
- обработка ультразвуком сварных стыков подкладок контррельсов.

Программа новых исследований на полигоне FAST включает измерение продольных сил в рельсах и разработку методов управления ими; расширенные испытания шпал и рельсовых скреплений, включая композитные шпалы двух типов и скрепления двух новых систем для деревянных шпал; создание оснований для стрелочных переводов и глухих пересечений с лучшим восприятием ударных нагрузок; разработку методов оптимизации распределения динамических нагрузок, в большей мере соответствующих условиям регулярной эксплуатации.

Шлифование рельсов и управление трением

Канадский национальный центр технологий наземного транспорта (CCST) также работает над проблемами содержания пути в условиях высоких осевых нагрузок.

CCST уже длительное время пропагандирует сочетание шлифования и управления трением как на поверхности катания головки, так и на рабочей грани рельсов.

Общеизвестны основные функции шлифования:

- снятие металла в объеме, достаточном для предотвращения возникновения поверхностных трещин;
- получение и поддержание заданного профиля поверхности катания рельсов, что улучшает вписывание колесных пар в кривые, способствует снижению поперечных сил, повышает пороговую скорость начала влипания и снижает износ как колес, так и рельсов;
- очистка поверхности катания рельсов от мелких поверхностных дефектов, что повышает эффективность ультразвуковой дефектоскопии.

Однако преимущества профилактического шлифования в полном объеме не могут быть реализованы в отрыве от лубрикации. На рисунке приведена типичная картина износа и повреждаемости рельсов в кривой, не подвергающейся своевременному техническому обслуживанию в полном объеме.

Из-за усталостных повреждений, возникающих преждевременно, зачастую требуется замена рельсов еще до истечения нормального срока их службы по износу. Однако лучшие технологии шлифования сами по себе недостаточны для надлежащего управления взаимодействием колеса и рельса. Лубрикация и шлифование тесно связаны, но сопутствующий синергетический эффект часто недооценивается.

(Дальнейшие рассуждения относятся к типичной довольно крутой кривой радиусом порядка 430 – 580 м на линии с грузонапряженностью около 90 млн. т брутто в год и обращением подвижного состава с осевыми нагрузками в диапазоне 30 – 32 т.)

В условиях интенсивного трения трещины быстро появляются в рабочей выкружке головки и на поверхности катания рельсов даже при оптимизированном их профиле, постоянно поддерживаемом регулярным шлифованием. Эти трещины в условиях сухого климата не распространяются очень глубоко (более 1 – 3 мм), что отчасти объясняет сравнительно длительный срок службы рельсов в таком климате и возможность увеличения интервалов между очередными проходами рельсошлифовальных машин, а иногда даже полного отказа от них.

Однако в условиях более влажной среды вода попадает в трещины через капилляры, и под повторяющейся нагрузкой сжатие этой влаги приводит к распространению трещин на глубину 7 – 15 мм.

Во всех случаях интенсивное трение в паре поверхность гребня колеса — рабочая грань рельса вызывает чрезмерно большой боковой износ и часто является причиной преждевременной замены наружных рельсов кривых. Кроме того, это способствует явлениям усталости и волнообразного износа внутренних рельсов в результате уширения колеи.

В случае применения лубрикации даже без шлифования темп нарастания фрикционного износа рельсов можно уменьшить не менее чем в 200 раз. Так, при смазанном состоянии рельсов требуется не менее 4 лет для удаления такого количества металла, которое снимается всего за неделю в случае сухого трения.

Однако несмотря на то что износ эффективно замедляется лубрикацией, в рельсах в конце концов накапливаются усталостные явления, обычно по рабочей выкружке наружных рельсов кривых, даже в случае их изготовления из стали высокого качества. В случае зарождения трещин и смазка, и влага могут ускорить их развитие, сопровождаемое отслаиванием металла и растрескиванием рабочей выкружки рельсов.

Механизм этого явления следующий. Если загрязнители, например консистентная смазка, просачиваются в трещины, снижение поверхностного трения в трещине позволяет ее берегам скользить друг по другу. Когда поверхности загрязнены, например смазаны, сопротивление усилиям сдвига малое, и развитие трещин сначала происходит в медленном темпе. Вода благодаря ее низкой вязкости и высокому поверхностному натяжению может проникать в трещины под действием капиллярных сил.

Если поверхностная трещина ориентирована в направлении, в котором ее ширина уменьшается под воздействием приближающейся нагрузки, сила контакта качения сначала закрывает вход в трещину, заставляя ее сомкнуться, а затем происходит резкое повышение гидравлического давления в вершине трещины. Таким образом, герметизация трещины способствует возникновению больших сжимающих сил в ее вершине и ведет к быстрому ее распространению.

Можно резюмировать, что в случае применения лубрикации без шлифования износ рельсов будет меньше, а поверхностные усталостные трещины в рабочей грани также будут формироваться медленнее. Однако если трещина все же возникнет, отслаивание и растрескивание металла будут развиваться значительно быстрее.

Одной из наихудших эксплуатационных стратегий является неупорядоченная и недостаточная лубрификация рельсов. В условиях сухого интенсивного

трения быстро возникают мелкие поверхностные трещины и ускоряется износ рабочей грани рельсов. Как уже отмечено, смазка, попадая в эти трещины, уменьшает трение между ее берегами и снижает сопротивление их относительному сдвигу. Трещины в этих условиях распространяются в умеренном темпе до глубины 3 – 7 мм.

На некоторых железных дорогах специально отключают рельсосмазыватели в целях естественного удаления металла, ослабленного явлениями поверхностной усталости, и вновь включают их после того, как рельсы будут «очищены». При том, что такая практика помогает регулировать самые худшие проявления контактной усталости при качении, повторяющиеся циклы интенсивного износа, сопровождаемые быстрым распространением трещин, в конце концов отрицательно влияют на общую долговечность рельсов.

И наоборот, срок службы рельсов может быть существенно увеличен посредством оптимального сочетания шлифования рельсов и управления трением. Если начать отсчет с чистых рельсов, видно, что применением лубрикации можно исключить износ их рабочей грани и снизить трение по рабочей выкружке головки. При смазке зоны, ограниченной рабочей гранью, поверхность катания внутреннего и наружного рельсов кривых остается сухой, что обуславливает существенный рост поперечных сил при вписывании колесных пар в кривую. Эти увеличенные поперечные силы на рабочей выкружке внутреннего рельса (ниже зоны 45 град) могут привести к возникновению поверхностных трещин на рабочей выкружке наружного рельса.

При профилактическом шлифовании рабочей грани рельсов следует снимать не менее 0,4 мм металла в зоне 45 град для компенсации повышенных поперечных сил и снижения темпа искусственного износа, вызываемого лубрикацией рабочей грани.

Путем использования модификаторов трения для регулирования коэффициента трения на поверхности катания наружного и внутреннего рельсов в пределах 0,3 – 0,4 можно снизить момент, противодействующий правильной установке в кривой задней по направлению движения колесной пары, тем самым уменьшая угол набегания тележки. Это снижает отношение поперечных сил к вертикальным на внутреннем рельсе примерно в 2 раза, а кромочную силу на наружном рельсе — примерно на 2/3 ее первоначального значения, что соответственно уменьшает сопротивление движению подвижного состава. В результате силы поперечного крипа будут снижены, а явления заедания и пластической деформации на поверхности катания обоих рельсов сглажены, и это снизит темп трещинообразования.

Кроме того, управление трением на поверхности катания рельсов может снизить до 2 раз от первоначального

чальной величины темп нарастания износа в интервалах между очередными проходами рельсошлифовальных машин. При этом также уменьшается необходимость в активном шлифовании наружного и внутреннего рельсов, что позволяет сократить потери рельсовой стали.

К тому же шлифование постепенно смещает местоположение максимума подповерхностных напряжений в головке рельсов, что на длительное время предохраняет от его фиксации в уязвимых точках подповерхностного слоя, таких, как посторонние включения. За счет минимизации износа, управления трещинообразованием, поддержания низконапряженного профиля и контроля снятия металла шлифование в сочетании с управлением трением способствует увеличению срока службы рельсов.

Поэтому в оптимальной практике управления взаимодействием колеса и рельса необходимы профилактическое шлифование, лубрикация рабочей грани и регулирование трения на поверхности катания головки рельсов.

В сущности, результаты исследований, проведенных в ТТС в 2003 г., показали, что смазывание не менее важно, чем шлифование, и в совокупности указанные методы содержания пути повышают долговечность рельсов — смазка радикально снижает износ внутренней грани, тогда как шлифование предупреждает образование поверхностных трещин, которые могут распространяться в присутствии смазочного материала и воды.

Railway Track & Structures. 2004, № 7, p. 33 – 36.

УДК 625.14

Влияние ширины железобетонных шпал на износ балласта

Компания Pfeiderer Track Systems (Германия) исследовала влияние железобетонных шпал шести типов на балластный слой и основание земляного полотна в зависимости от скорости движения поезда и осевой нагрузки. Основным был вывод, что чем больше площадь опирания шпалы, тем меньше деформация балластного материала.

Одной из функций шпал является передача давления на балластный слой. Однако периодическая поездная нагрузка приводит к постепенному разрушению балласта. При этом чем больше площадь опирания шпал, тем меньше разрушающее воздействие на балласт.

На балласт также воздействуют вибрации от проходящих поездов, которые возрастают при увеличении скорости их движения. Жесткость рельсовых креплений также влияет на усилия, воздействующие на балласт: при ее увеличении возрастает амплитуда вибрации.

Количественную сторону вибрационной нагрузки оценивали при проходе поездов ICE со скоростью 250 км/ч. При этих испытаниях использовали подшпальные подкладки двух видов: более жесткие Zw687a (жесткость рельсового крепления 500 кН/мм) и более мягкие Zw700 (60 кН/мм). Результаты испытаний показали, что интенсивность

вибраций снижается приблизительно на 20 % при использовании более мягких подкладок. Рельсовое крепление компании Vossloh типа Ioarv 300-1, характеризующееся еще большей податливостью (22,5 кН/мм), также снижало вибрации на балластный слой земляного полотна.

Исследовали шпалы шести типов, используемых в Германии на балластном пути (табл. 1). Из-за разных геометрии и характеристик опорной поверхности они по-разному передавали давление на балласт (табл. 2). Все исследованные рельсовые крепления также применяются в Германии.

Шпала типа В70 является классической для балластного пути. Так как она разработана в 1970-х годах, имеется намного больше данных по ее эксплуатационным характеристикам, чем любых других. Шпалы этого типа были уложены на высокоскоростной линии Ганновер — Вюрцбург в конце 1980-х годов.

Шпала типа В01 из-за относительно большей площади опирания обеспечивает распределение нагрузки на балласт эффективнее, чем шпалы меньшего размера. В качестве одного из примеров ее использования можно назвать испытательный участок пути в Бад-Кроцингене.

Шпала типа В75 специально разработана для пути, предназначенного для высокоскоростного движения. Она имеет увеличенную площадь опорной