

Оптимизация профилей колес и рельсов

Учитывая требования компаний, осуществляющих пригородные железнодорожные перевозки, Федеральная администрация железных дорог США (FRA) спонсирует программу разработки усовершенствованных профилей как колес для вагонов поездов пригородного сообщения, так и рельсов.

Профили колес и рельсов, как известно, оказывают существенное влияние на характеристики взаимодействия в паре подвижной состав — путь и по своему значению располагаются на втором месте после такого фактора, как коэффициент трения между колесом и рельсом.

Постановка проблемы

Случаи схода с рельсов поездов в конце 1990-х годов на пригородных железных дорогах северо-востока США при движении с относительно невысокой скоростью вынудили компании, эксплуатирующие пригородные сообщения, обратить гораздо большее внимание на профили колес того подвижного состава, который был причастен к этим аварийным ситуациям. При этом довольно быстро было выяснено, что в указанных случаях важным фактором влияния являлся слишком малый угол гребней колес.

Затем несколько железных дорог приступили к исследованию

профилей колес с более высокими значениями угла их гребней, и было обнаружено, что такая особенность присуща некоторым применяемым вариантам колесных профилей. При выборе профиля для колес из существующих железные дороги обычно уделяют особое внимание насущной проблеме наползания колес на рельсы при движении в кривых, но новым колесам свойственны и другие проблемы, такие, например, как неудовлетворительное ориентирование колесных пар в кривых, высокий темп износа гребней (а также рабочей грани рельсов) и увеличенные поперечные силы во взаимодействии колес и рельсов. В осознании того, что должный уровень безопасности (а также коммерческих результатов эксплуатационной деятельности) в сфере пригородных сообщений не может быть полностью достигнут с использованием такого подхода, служба исследований и разработок Федеральной администрации железных дорог США (FRA), помимо большого числа других направленных работ по обеспечению безопасности и эффективности эксплуатации линий с пассажирским движением, спонсировала программу разработки усовершенствованных профилей колес и рельсов для пригородных железных дорог.

В создании и испытаниях новых профилей колес принимали участие девять железнодорожных компаний из США и одна из Канады, в число которых входила Amtrak (Северо-восточный ко-

ридор), Long Island Rail Road, New Jersey Transit, Metro North (все — регион Нью-Йорк), MBTA (Бостон), SEPTA (Филадельфия), SCRRRA (штат Калифорния, все — США) и GO Transit (Торонто, Канада). В процессе разработок и анализа были измерены и исследованы профили более чем 4400 колес.

Все вовлеченные в данную работу пригородные железные дороги имеют присущие только им характеристики и условия работы. Подобным же образом организация текущего содержания пути, в том числе лубрикации и шлифования рельсов, а также технического обслуживания подвижного состава, в том числе репрофилирования колес, может варьироваться в весьма широких пределах не только от одной системы к другой, но также и внутри любой из них. Поэтому разработка унифицированного профиля колес для разных пригородных систем требует достижения компромисса между их потребностями. Вместе с тем для реализации программы полезным является то, что на всех этих линиях обращается, как правило, подвижной состав традиционной конструкции с рессорным подвешиванием, характеризующимся высокой жесткостью на изгиб и сдвиг, без независимо вращающихся тележек и т. п., а большинство составляют поезда на локомотивной тяге.

Деятельность CSTT

Технологический центр наземного транспорта (CSTT) Национального исследовательского совета Канады (NRCC) разработал колеса, которые по сравнению с эксплуатируемыми в настоящее время колесами имеют то преимущество, что в них применены усредненные профили изношенных колес. Усредненные профили колес для пассажирских вагонов и локомотивов рассчитывались по отдельности, и было установлено, что незначительная разница в их геометрии не

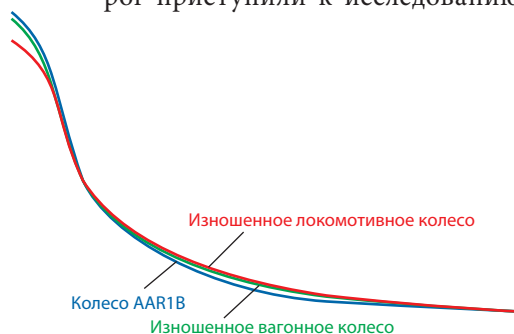


Рис. 1. Профили колес CSTT (для сравнения на рисунке приведен также профиль стандартизированного колеса типа AAR1B с тонким гребнем)

оправдывает применения отдельных профилей, поэтому на конечной стадии проектирования был использован унифицированный профиль, средний из двух рассмотренных (рис. 1).

В предложенных колесах был использован профиль с углом наклона гребня, равным 75 град, как у колеса AAR1B. Но при этом колеса были выполнены с двумя вариантами конусности: 1:40 и 1:20, поэтому получили обозначения (NRCC) COM40 и COM20 соответственно. При сравнении профилей колес (NRCC) COM40 и COM20 и изношенных колес, предоставленных некоторыми компаниями — операторами пригородных перевозок, видно большое различие между ними, но при сравнении профилей колес (NRCC) COM40 и COM20 с профилями колес изношенных (такие профили характерны по меньшей мере для половины вагонного парка) это различие оказалось весьма небольшим.

Профили колес были методически исследованы с использованием анализа конформности для оценки износа и контактных напряжений, анализа эффективной конусности для оценки устойчивости и квазистатического анализа для оценки поперечных сил при движении в кривых. Новые колеса показали улучшенные характеристики по сравнению с типичными для большинства вагонов пригородных поездов неконформными колесами, имеющими двухточечный контакт с рельсом.

Перед внедрением колес новых профилей важно убедиться, что железные дороги нашли понимание того, как такие колеса будут взаимодействовать с рельсами существующих профилей. Профиль изношенного колеса является «охватывающим» по отношению к профилю рельса, по которому оно движется, причем характер взаимодействия колес и рельсов отчасти определяется процентным отношением кривых участков ко всей длине данной линии.

Поскольку некоторые железные дороги регулярно осуществля-

ют шлифование рельсов, а другие — нет и так как не на всех линиях изначально укладываются рельсы одинакового поперечного сечения или шлифуются под одинаковый профиль, а также потому, что на одних пригородных линиях имеется большее число кривых малого радиуса, чем на других, то не является неожиданным тот факт, что профили изношенных колес будут различны. И там, где применяются колеса профилей (NRCC) COM40 и COM20, профили которых почти соответствуют профилям изношенных колес, оснащенные ими вагоны почти не оказывают негативного воздействия на состояние рельсов. Колеса новых профилей не вызывают увеличенного износа рельсов и не показывают повышенной склонности к напозанию на рельс.

В то же время на тех пригородных железных дорогах, где применяются колеса с большей толщиной основания гребня, наблюдаются более высокие контактные напряжения и обусловленная этим большая повреждаемость рельсов.

Так как при проектировании новых колес за основу был взят усредненный профиль колес, применяемых несколькими разными компаниями-операторами, выбранные профили представляют собой компромиссное решение. Они не являются идеальными для всех пригородных железных дорог, но все же оптимальны (с учетом многих факторов влияния) для многих из них. Однако при этом следует иметь в виду, что на некоторых железных дорогах колеса новых профилей могут быть плохо совместимы с рельсами существующих профилей. Вместе с тем следует отметить, что новые колеса обеспечивают удовлетворительную альтернативу колесам с другими стандартизированными профилями, для которых в настоящее время характерны быстрый износ гребня и интенсивное образование и нарастание проката на поверхности катания, что, соответственно, приводит к ухудшению устойчивости движения.

Соответствие профилей рельсов и колес

Для изучения совместимости с колесами профиля (NRCC) COM40 были подобраны рельсы пяти разных профилей. Основной целью выбора того или иного профиля рельсов стал поиск пути изменения характера распределения износа поверхности катания и гребня колес для того, чтобы в течение длительного времени поддерживался их оптимальный профиль и, следовательно, сохранялись благоприятные технико-эксплуатационные характеристики, т.е. медленный износ, сведенные к минимуму явления контактно-усталостного происхождения и хорошие ходовые свойства. Основополагающий принцип проиллюстрирован на рис. 2, на котором показано распределение расчетных значений сил в контакте колесо — рельс, определяющих изнашиваемость колес, для типичной пригородной линии, подтверждающее, что использование рельсов разного профиля в прямых и кривых участках пути обеспечивает положительные изменения в распределении полос контакта на поверхности катания колеса и гребне колеса, а также в величине контактных сил. Видно, что там, где на всей длине линии уложены рельсы одного и того же профиля, на поверхности катания и гребне колеса имеют место неравномерное распределение полос контакта и ярко выраженные пики контактных сил, в то время как если в прямых и кривых уложены рельсы

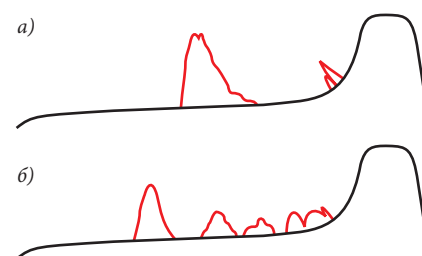


Рис.2. Распределение полос контакта и расчетные значения контактных сил на поверхности катания и гребне колеса: а — при укладке в путь рельсов только одного профиля; б — при укладке в путь рельсов разных профилей

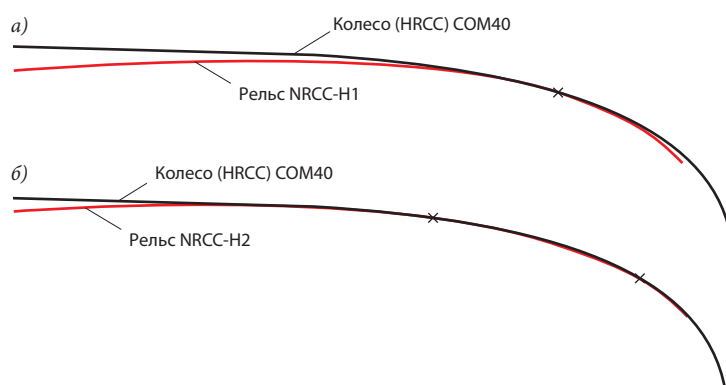


Рис. 3. Характер контакта колес (NRCC) COM40 с рельсами разных профилей:

а — рельсы профиля NRCC-H1; б — рельсы профиля NRCC-H2

разных профилей (одного в прямых и четырех в кривых), то распределение полос контакта более равномерное, а пики сил сглажены.

Результаты изучения явлений в контакте колесо — рельс при укладке в путь рельсов только одного профиля приведены на рис. 3. Видно, что и в этом случае путем выбора оптимального профиля рельсов можно добиться более благоприятного контакта колеса и рельса. Так, если на линии обращается подвижной состав, оснащенный колесами профиля (NRCC) COM40, при укладке в наружной нити кривых рельсов профиля NRCC-H1 обеспечивается одноточечный контакт, а при укладке рельсов профиля NRCC-H2 — двухточечный. При концентрации двухточечного контакта на более узкой полосе в центре поверхности катания колес имеют место более интенсивный износ, возникновение и развитие проката (это относится к рельсам профиля NRCC-H2), а при одноточечном контакте напряжения ниже и направляемость колес лучше (это относится к рельсам профиля NRCC-H1, конформного по отношению к профилю колес).

Рельсы профиля NRCC-H2 характерны для пути, имеющего среднее (между максимальным и минимальным) значение ширины колеи. Они, как правило, изготовлены из сравнительно мягкой стали, их шлифование выполняется относительно редко, в их взаимодей-

ствии с колесами возникают явления контактно-усталостного происхождения. Двухточечный контакт способствует интенсификации износа. Для таких рельсов важна своевременная лубрикация, хотя при этом следует учитывать все эксплуатационные условия.

Рельсы профиля NRCC-H1 в вариантах СРГ (с контактом по рабочей грани), СРС (с контактом в центре поверхности катания) и СРФ (с контактом, сдвинутым в сторону наружной грани) при применении в прямых обуславливают появление на поверхности катания колес ярко выраженных полос контакта, расположенных в разных ее зонах с возможностью их сдвига в пределах 20 мм (рис. 4). Поэтому для разных условий эксплуатации можно подобрать такой профиль рельсов, при котором обеспечивается его длительное сохранение и уменьшается вероятность возникновения и развития проката. Исходя из этих соображений во внутренней нити пути в кривых целесообразно укладывать рельсы вариантов профилей СРС и СРФ, благодаря чему их контакт с колесами сдвигается в сторону менее нагруженной наружной грани.

Анализ совместимости предложенных профилей колес и рельсов показывает возможность управления в весьма высокой степени контактными напряжениями и величиной эффективной конусности. Но при этом следует иметь в виду, что, когда на некоторых пригородных ли-

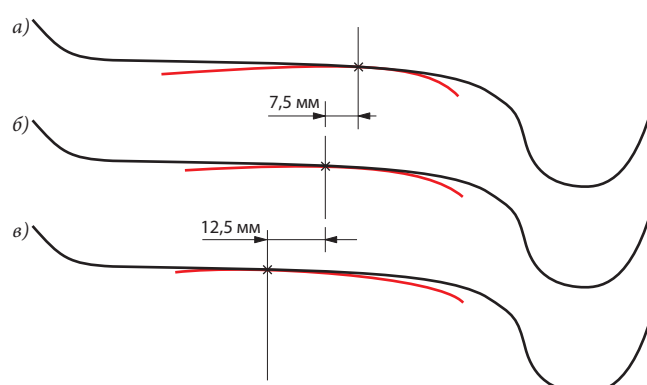


Рис. 4. Взаимодействие рельсов профиля NRCC-H1 в разных вариантах исполнения с колесами (NRCC) COM40:

а — вариант СРГ; б — вариант СРС; в — вариант СРФ

ниях с рельсами указанных профилей обращается подвижной состав с изношенными колесами, эффективная конусность у определенной части колес может быть довольно высокой (особенно у 5% колес с наибольшим износом). К применению рельсов таких профилей без одновременного использования подвижного состава с колесами профиля (NRCC) COM40 следует относиться с осторожностью, в каждом случае учитывая все факторы влияния.

При принятии решения об укладке в путь рельсов того или иного профиля на линиях тех или иных железных дорог необходимо иметь в виду интенсивность износа рельсов, поскольку в ином случае для поддержания оптимизированного профиля рельсов может потребоваться более частое их шлифование.

Хотя применение предложенных профилей колес и рельсов в принципе способствует минимизации снятия металла, только оптимальное их совмещение дает возможность достижения поставленных целей. При этом неперенным условием получения желаемых результатов является постоянное измерение износа. Только тогда, принимая во внимание все факторы влияния, пригородная железнодорожная система сможет определить степень практической эффективности данной меры.