

Снижение износа пути при активном управлении колесной парой

Динамика движения высокоскоростного подвижного состава, оптимальная с точки зрения вписывания в кривые, дает значительные преимущества и приносит выгоду как владельцам подвижного состава, так и компаниям — операторам инфраструктуры сети.

Взаимодействие между колесом и рельсом для традиционных ходовых механизмов железнодорожного подвижного состава с пассивным направлением колесных пар в колее не может быть оптимальным для движения в кривых всех радиусов, поскольку каждый раз неизбежно возникает компромисс между устойчивостью движения на прямолинейных участках и возможностью колесных пар вписываться в кривые.

В высокоскоростном сообщении предел устойчивости движения должен быть сдвинут как можно дальше в область высокой скорости. Это достигается относительно жестким взаимодействием между колесными парами и рамой тележки. При движении в кривых жесткое направление колесных пар в колее приводит к усилению набегающих колес на рельс, что ведет к повышенному износу обоих элементов пары качения.

При эксплуатации подвижного состава на участках с большим числом кривых, в том числе малого радиуса, предпочтение отдается сравнительно мягкому направляющему взаимодействию между колесными парами и рамой тележки, чем обеспечивается автоматическое вписывание колесных пар в кривые с минимальным радиусом. Однако при движении по прямолинейному участку пути такая конструкция

имеет низкую предельную скорость устойчивого движения. Кроме того, динамика движения подвижного состава в кривой всегда обуславливает качение ведущей колесной пары по меньшему радиусу, а следующей за ней колесной пары — по большему, что, несмотря на их свободную установку, приводит к износу колес и рельсов. Для исправления ситуации в прошлом были реализованы конструктивные решения с механическим соединением колесных пар (например, крестообразная анкерная связь, лемнискатные поводки), которые, однако, полностью не дают нужного эффекта.

Поиски путей снижения затрат во всех отраслях экономики коснулись также и транспорта. На железных дорогах ведутся усиленные поиски возможностей сокращения излишних расходов. Одной из главных причин таких затрат являются износ и связанные с ним расходы на техническое обслуживание. При этом увеличиваются простои подвижного состава, затрачивается время на ремонт пути, в том числе и с закрытием перегонов для движения поездов. Возрастает также и расход энергии, поскольку она дополнительно затрачивается на ремонт пути и подвижного состава.

Проблема износа при взаимодействии колеса и рельса затрагивает двух участников транспортного процесса на железной дороге:

владельцев подвижного состава (износ колес и затраты энергии) и операторов инфраструктуры (износ и повреждение рельсов). Улучшение ситуации за счет реализации снижающих износ мероприятий на подвижном составе идет на пользу и железнодорожной сети. Следовательно, необходима такая современная схема взимания платы за пользование инфраструктурой, которая стимулировала бы владельцев подвижного состава к реализации указанных мероприятий.

Поиск решения проблемы: активное управление колесной парой

Чтобы согласовать упоминавшиеся ранее противоречивые требования к схеме направления колесных пар, касающиеся устойчивости при движении по прямолинейным участкам и оптимального вписывания в крутые кривые, необходимо искать новые решения, которые должны значительно превосходить по своим возможностям систему пассивного направления колесных пар. Такое решение может дать мехатроника, способствующая уменьшению жесткости связи механической части до минимума, необходимого для передачи сил, с одновременным согласованием системы с изменяемыми граничными условиями. Такая задача может быть решена на базе регулируемых электронных систем.

Как современные средства микроэлектроники позволили сделать качественный скачок в различных областях науки и техники, так и мехатроника способна решить целый ряд проблем в железнодорожной отрасли. Если системы наклона кузова в кривых и активные, а также полуактивные системы рессорного подвешивания, повышающие плавность хода, уже давно относятся к современному уровню развития техники, то в отношении направления колесных пар до сих пор

работы проводились хотя и с инновационными, но пассивными компонентами. Однако только полностью активное регулирование установки колесной пары в тележке при достаточно высокой динамике способно принципиально улучшить динамику движения колесной пары в кривой и на прямолинейном участке пути. Компанией Bombardier данная цель была достигнута благодаря созданию системы активной радиальной установки и стабилизации движения колесных пар в кривых (ARS) в концепции мехатронной тележки Flexx Tronic.

Основным принципом системы ARS является мягкое первичное поддрессоривание, обеспечивающее установку колесных пар в кривой без больших противоположно направленных сил, а также наличие в каждой колесной паре дополнительного быстродействующего активного направляющего устройства. Для этого каждая колесная пара с одного конца жестко фиксируется в продольном направлении, в то время как на противоположную буксу воздействует продольно расположенный поводок электромеханического исполнительного устройства (активатора).

Этот поводок преобразует крутящий момент, подаваемый от активатора через понижающий редуктор, в продольное усилие, передает его на соответствующую буксу и поворачивает колесную пару относительно вертикальной оси. При этом активатор связан с системой регулирования, работающей в реальном масштабе времени и учитывающей неравномерности качения регулируемой колесной пары, обусловленные отклонениями в положении пути.

Суть активного регулирования состоит в разделении процесса на два частотных диапазона с разными характеристиками. Если в низкочастотном диапазоне, который соответствует движению по переходной кривой при входе или

выходе из круговой кривой, система способствует радиальной установке колесной пары (т. е. вписыванию в переходную и круговую кривую пути), то в высокочастотном диапазоне любое отклонение положения пути компенсируется встречным движением колесной пары. Тем самым ее качение стабилизируется. Здесь речь идет не только об обычных, так называемых гармонических колебаниях тележки, которые могут привести к неустойчивости движения и поэтому в традиционных ходовых механизмах гасятся. В данном случае при движении в кривой оба метода регулирования дополняют друг друга, т. е. динамика вписывания в кривую избавляется от погрешностей, обусловленных дефектами положения пути.

Каждая колесная пара регулируется независимо от другой, находящейся в той же тележке. В целях обеспечения безопасности и безотказности в работе все электронные компоненты имеют резервное исполнение, а каждый компьютер системы регулирования, присоединенный к «своей» тележке, дублируется вторым, находящимся в горячем резерве. Таким образом, отдельная неисправность какого-либо компонента вплоть до его выхода из строя не вызывает снижения эффективности всей системы. С помощью интегрированной функциональной системы самодиагностики неисправность обнаруживается еще до выхода элемента из строя, и сообщение передается на центральный пост управления. После

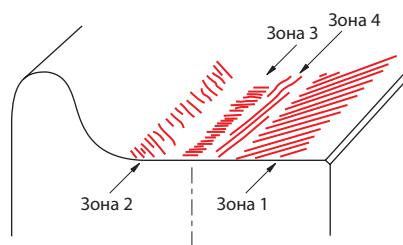


Рис. 1. Распределение зон усталостных дефектов на поверхности катания колеса

завершения поездки неисправный модуль можно заменить подготовленным исправным. При этом обеспечивается способность выбранной архитектуры электронного оборудования к самоконфигурации и самоадаптации. Так, после замены датчика система автоматически определяет и учитывает его характеристику, благодаря чему отпадает необходимость в его настройке и регулировании.

Преимущества системы активной радиальной установки ARS

Активная стабилизация движения колесных пар позволяет отказаться от гасителей колебаний виляния и фрикционных элементов между тележкой и кузовом. Последние при использовании традиционных тележек гасят колебания, обуславливающие извилистое движение.

Что касается других показателей подвижного состава, оборудованного системой ARS, то в качестве важного преимущества можно назвать значительное уменьшение уровня шума и вибраций. Кроме того, отсутствие фрикционных элементов позволяет отказаться от соответствующих крепежных конструкций на тележке и кузове, благодаря чему общая масса уменьшается. Не менее важным является снижение требований к степени шумоизоляции пассажирских салонов.

С точки зрения взаимодействия в системе подвижной состав — путь активное управление колесными парами при движении в кривой приводит к значительному уменьшению проскальзываний колес по рельсам. Благодаря этому снижаются усталостные повреждения поверхностей катания колеса и рельса (рис. 1), особенно в зонах 1 и 2, а также уменьшается износ по сравнению с традиционными тележками. Наряду с этим практически исключается возникновение шума

(скрежета при вписывании подвижного состава в кривую).

При жесткой установке колесных пар традиционных ходовых механизмов в кривой возникает достаточно большая разница квазистатических сил, действующих на путь от ведущей и следующей за ней колесных пар в поперечном направлении. Система ARS способствует выравниванию этих сил (рис. 2).

В процессе выравнивания поперечных сил происходит также уменьшение их пиковых значений. Если выбирается вариант исполнения с дополнительным соединением регуляторов обеих колесных пар тележки, то гибкость программного обеспечения позволяет выполнять установку осей таким образом, что степень активного выравнивания поперечных сил позволяет увеличить допустимую скорость прохождения кривых некоторыми современными поездами, составленными из вагонов с наклоняемыми кузовами. При этом поперечные силы, стремящиеся сдвинуть путь, будут значительно ниже допустимой максимальной величины, т. е. нагрузка на путь будет меньше.

Уменьшение числа и величины проскальзываний между колесом и рельсом, вызывающих износ, способствует уменьшению сопротивления качению (рис. 3), которое снижает расход энергии.

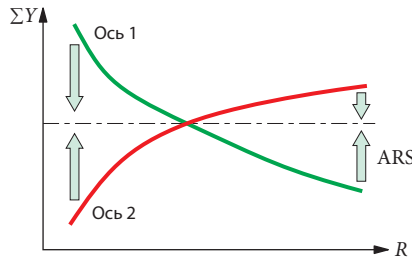


Рис. 2. Выравнивание системой ARS поперечных сил, действующих на путь: ΣY – сумма поперечных сил; R – радиус кривизны

Приведенные кривые сняты в функции радиуса кривизны для различных величин продольной жесткости пути при двух значениях подуклонки рельсов.

В результате уменьшения контактной усталости при качении и вызываемого ею износа поверхности катания увеличивается срок службы колес и уменьшаются расходы на их техническое обслуживание. В результате этого уменьшаются эксплуатационные расходы компаний – владельцев подвижного состава и затраты на содержание пути компаний – операторов инфраструктуры. Введение схемы расчетов за пользование инфраструктурой в зависимости от нагрузки на путь создало бы мотивацию для компаний-перевозчиков приобретать инновационный подвижной состав, уменьшающий износ пути.

Создание мехатронной тележки Flexx Tronic с системой ARS

Первым шагом при создании системы ARS, не связанной с каким-то определенным типом ходовой части, были стендовые испытания. Так, в 2003 г. опытный ходовой механизм на базе тележки, допущенной к эксплуатации со скоростью 160 км/ч, прошел испытания на катковом испытательном стенде железных дорог Германии (DB) в Мюнхене. При использовании системы активной стабилизации ему удалось развить скорость 400 км/ч. В 2004 г. в испытательном центре Вегберг-Вильденрат компании Siemens последовали испытания с регулированием направления колесных пар в кривых и обеспечением устойчивости движения на прямолинейных участках на базе дизельпоезда DB серии VT 612.

Эксплуатационные испытания системы Flexx Tronic с ARS состоялись в рамках шведского проекта Gröna Taget («Зеленый поезд»), целью которого является повышение привлекательности железнодорожного транспорта в Скандинавских странах (рис. 4). Для этого в 2006 г. ходовые механизмы серийного поезда Regina компании Bombardier Transportation, рассчитанного на скорость движения 200 км/ч,

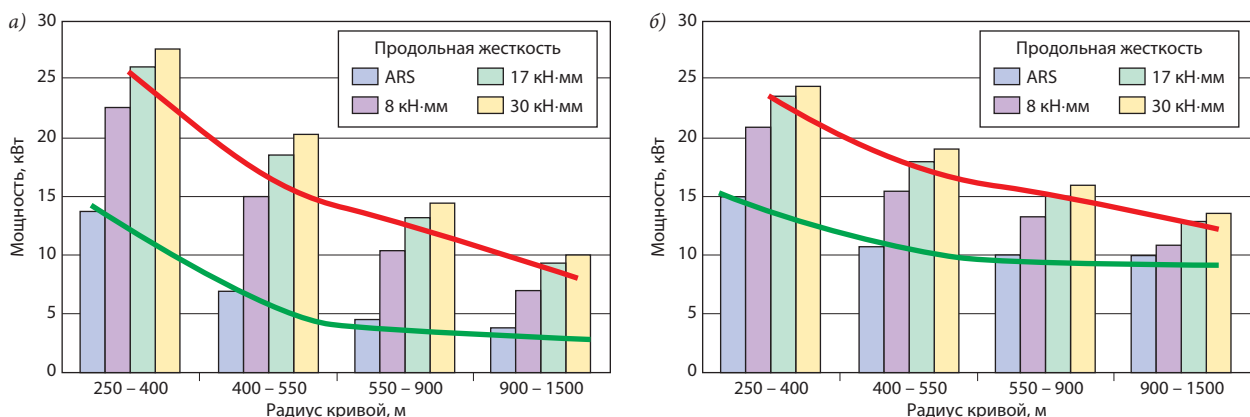


Рис. 3. Снижение сопротивления качению с помощью системы ARS на опытной тележке поезда Regina: а – подуклонка рельсов 1:40; б – подуклонка 1:20

КОЛЕСНЫЕ ПАРЫ



Рис. 4. Испытательная поездка поезда Gröna Taget Regina



Рис. 5. В салоне поезда Gröna Taget во время испытаний

были модифицированы для более высокой скорости. Тележка одного вагона, выполненная по технологии Flexx Tronic, была оборудована системой ARS.

После испытаний в зимних условиях опытный поезд Regina 250 в ходе первых эксплуатационных испытаний мехатронного ходового механизма с системой активной стабилизации установил в июле 2007 г. новый шведский рекорд

скорости на рельсах (282 км/ч) и успешно завершил программу допуска к эксплуатации в соответствии с нормами МСЖД для пассажирского сообщения со скоростью движения до 200 км/ч (рис. 5). В сентябре 2008 г. рекорд был обновлен — поезд Regina развил скорость 303 км/ч.

В ходе более длительных эксплуатационных испытаний в условиях перевозки пассажиров осенью 2008 г. надежность системы ARS

была подтверждена в ежедневной эксплуатации. Таким образом, мехатронный ходовой механизм компании Bombardier Transportation с его системой активной радиальной установки в кривых и стабилизации движения колесных пар достиг серийного уровня.

По материалам компании Bombardier Transportation (www.bombardier.com) и проекта Gröna Taget (www.gronataget.se).

НОВОСТИ

Вновь проблемы с колесными парами поездов S-Bahn Берлина

В ходе профилактического ультразвукового контроля в осях двух колесных пар электропоездов серии 480 городской железной дороги Берлина (S-Bahn), выпущенных в 1986 и 1987 гг., были обнаружены серьезные дефекты в виде трещин. С большой степенью вероятности установлено, что колесные пары этих годов выпуска на S-Bahn Берлина имеют 16 из 140 вагонов. Указанные вагоны были изъяты из эксплуатации и подвергнуты дополнительным ультразвуковым исследованиям. По предписанию Федерального бюро железных дорог Германии (EBA) поезда подлежали более тщательной проверке. Оси ко-

лесных пар всех поездов серии 480 проверяли ультразвуковым методом не только вручную, но и с помощью полуавтоматической установки. Колесные пары, в которых возникли дефекты, были изготовлены в Берлине бывшим предприятием BVG. После 1987 г. это предприятие стало выпускать колесные пары с другими характеристиками осей, обеспечивающими более благоприятное распределение нагрузок. Однако проблема состоит в том, что предприятие BVG использовало один и тот же способ нумерации для колесных пар обоих типов. В связи с этим существуют опасения, что колесные пары старого выпуска имеются и в других поездах серии 480, однако их идентифицировать практически невозможно.

Bombardier открыла центр компетенции по колесным парам

Компания Bombardier открыла в Драйс-Тифенбахе близ Зигена (Германия, федеральная земля Северный Рейн-Вестфалия) новый центр компетенции по колесным парам в дополнение к уже существующему в Зигене центру по тележкам. Здесь организованы исследовательские и проектно-конструкторские работы указанного профиля, а также созданы соответствующие производственные мощности. К строительству цеха приступили в июне 2010 г., выпуск продукции начат 1 апреля 2011 г. В течение первого года планируют изготовить 1700 колесных пар, в 2013 г. объем производства должен увеличиться до 10 тыс. изделий.