

платируемым парком поездов Talgo в соответствии с графиком движения.

Высокая надежность поезда Talgo Pendular в большой степени основана на простоте системы наклона кузова, для которой не требуются устройства управления, автоматического регулирования и соответствующая электроника. Система характеризуется:

- технической простотой и одновременно высокой эффективностью;

- высокой надежностью, подтвержденной эксплуатацией с 1980 г.;

- отсутствием необходимости в подаче энергии и дополнительных затратах при производстве и техническом обслуживании.

K. Beucker, A. Netzel. Glasers Annalen, 2002, Tagungsband SFT Graz, S. 75, 79 – 81.

Стенд для исследования системы колесо — рельс

Осенью 1999 г. в Исследовательско-технологическом центре (FTZ) железных дорог Германии (DBAG) сдан в эксплуатацию стенд, моделирующий систему колесо — рельс. Он существенно расширил возможности экспериментальных исследований проблем материаловедения, связанных с нагрузками в месте контакта колеса с рельсом. Для получения достоверных результатов необходимо, чтобы задаваемые значения сил, действующих в контакте, соответствовали их значениям, обусловленным эксплуатационными нагрузками. В ходе проводившихся исследований уже получены важные результаты, позволяющие судить о причинах износа и усталостных явлениях в материале колеса и рельса. Эти результаты используются при разработке мероприятий по техническому обслуживанию подвижного состава и верхнего строения пути.

Система колесо — рельс ввиду своей простоты в течение многих лет составляет основу железнодорожного транспорта. Растущие требования к его эффективности неразрывно связаны с инструкциями по безопасности движения, которые должны периодически пересматриваться и обновляться. При этом важное значение имеет надежность конструкции подвижного состава, в значительной мере определяющая уровень безопасности движения.

Для повышения эффективности исследований в области материаловедческих аспектов системы колесо — рельс Исследовательско-технологическим центром DBAG (FTZ) совместно с компаниями Renk (Аугсбург), и IABG (Оттобрунн) разработан и введен в эксплуатацию испытательный стенд, позволяющий моделировать различные режимы работы системы колесо — рельс. Он в значительной степени по-

высил эффективность исследования металлургических аспектов системы и позволил проводить количественный анализ процессов износа и усталости металла в зоне контакта колеса с рельсом. Результаты, полученные в ходе испытаний на стенде, дают возможность устанавливать соответствие между необходимым объемом мероприятий по текущему содержанию компонентов системы колесо — рельс с учетом предельно допустимых эксплуатационных параметров с одной стороны, и современных эксплуатационных требований, с другой.

Нагрузки на колесо и рельс в зоне контакта

Низкое сопротивление качению стали по стали позволяет осуществлять железнодорожные перевозки больших грузов с относительно малым расходом энергии. Возникающие при этом статические и динамические силы взаимодействия между подвижным составом и железнодорожным путем передаются через зону контакта, площадь которой составляет около одного квадратного сантиметра.

В поверхностной части этой зоны возникают контактные напряжения и напряжения сдвига, величина которых может превышать предел текучести металла. Как известно, этим экстремальным нагрузкам противостоит упрочнение металла, сопровождающееся, однако, износом как колеса, так и рельса. Для оценки этих процессов необходимо знание соотношения между усталостной прочностью и износостойкостью металла.

Исследование процессов, протекающих в контакте, показало, что на первом этапе происходит упрочнение зоны контакта в результате наклепа. При дальнейшем увеличении числа циклов нагружения

возможны усталостные явления. В результате накопления напряжений происходит постепенное разрушение металла вплоть до его выкрашивания в некоторых местах. Типичными примерами таких повреждений являются сетка поверхностных трещин на головке рельса и выкрашивание металла на поверхности катания колес.

Хотя разрастание этих поверхностных повреждений может ограничиваться соответствующей износостойкостью материалов, тем не менее условия безопасности движения и плавности хода требуют, чтобы контактирующие элементы системы имели профили высокой точности. На практике выполнение этого требования достигается за счет приработки поверхностей в результате естественного износа, а также с помощью обточки колес в процессе технического обслуживания.

Концепция стенда и конструкция его компонентов

Моделирование движения и концепция испытаний

Известно, что испытания при контактных нагрузках, близких к эксплуатационным, дают результаты, важные для оптимального выбора материалов в трибологической системе колесо — рельс, но которые нельзя получить путем обычных лабораторных испытаний самих материалов. В то же время исследование характеристик материалов в эксплуатационных условиях зачастую связано с высокими расходами, необходимыми для уменьшения риска при проведении работ.

Эту проблему можно решить, используя специально разработанный испытательный стенд, моделирующий систему колесо — рельс, который, с одной стороны, позволяет при значительно более низких

финансовых затратах анализировать свойства новых материалов, а с другой стороны, проводить испытания при определенных воспроизводимых условиях. За счет целенаправленного выбора видов испытаний, результаты которых в дальнейшем используются для получения допуска к эксплуатации компонентов системы колесо — рельс, можно добиться дальнейшего значительного снижения расходов на разработки.

В результате проектно-исследовательских работ был создан моделирующий испытательный стенд (рис. 1), работающий по принципу каткового для испытания колесных пар. Основу нового стенда составляет колесная пара, катящаяся по приводимым в движение роликам с профилем рельса (рельсовому блоку) и имеющая возможность смещения по трем осям. Рельсовый блок представляет собой два диска, соединенных между собой жестким на скручивание полым валом, на которые напрессованы кольца с профилем рельса типа МСЖД 60.

Для того чтобы механические характеристики рельсовых профилей и микроструктуру их материала максимально приблизить к соответствующим параметрам реальных рельсов, профильные кольца изготавливают из рельсовой стали, получаемой методом непрерывного литья. При этом соблюдаются все температурные режимы, применяемые при изготовлении рельсов.

Выбранный план испытаний позволяет исследовать в длительном режиме материал колес и рельсов с наличием повреждений или без них под действием нагрузок, близких к эксплуатационным.

Поскольку соотношение между микроструктурой материала и эксплуатационными нагрузками не нормируется, моделирование контакта колесо — рельс выполнено в масштабе 1:1. При этом можно имитировать любую реальную скорость движения. Относительные перемещения колесной пары и рельсового блока осуществляются с помощью системы гидравлических сервоцилиндров. Таким образом, моделирующий испытательный стенд позволяет без особых дополнительных затрат в стационарных условиях исследовать процессы в реальном контакте колеса и рельса. Процессы износа и усталости можно моделировать на стенде с меньшими силами, чем в реальности, так как площадь контакта между колесом и рельсом сокращается, а контактные напряжения будут на 10 – 15 % больше, чем в случае прямолинейного рельса. Действующие контактные напряжения можно выборочно нормировать до необходимых значений путем выбора соответствующей величины вертикальной силы. На стенде можно также задавать нагрузки, действующие при прохождении кривых, для чего необходимо согласовывать диаметры колес или кольцевого рельса с различными условиями обкатки.



Рис. 1. Общий вид стенда

Применяемая измерительная техника позволяет контролировать и документировать проводимые испытания. Таким образом, имеется возможность анализировать параметры, влияющие на процессы возникновения повреждений, выдвигать и проверять гипотезы, связанные с возникновением повреждений.

Конструкция механической части стенда

Весь стенд смонтирован на раме, имеющей высоту 5,5 м, длину 7 м и ширину 4 м. Он размещается в специальном помещении диагностической службы FTZ. Выполненная из полых балок коробчатого сечения стальная конструкция массой 36 т установлена на фундаменте, масса которого составляет 200 т. Такой массивный фундамент необходим для защиты от вибраций расположенного в этом же здании диагностического оборудования.

Рельсовый блок с опорами (рис. 2), выполненными на подшипниках качения, приводится во вращение двигателем постоянного тока мощностью 500 кВт через редуктор. Циркуляционная смазка и контроль температуры всех важных элементов привода обеспечивают надежную работу установки.

Для испытаний используют оборудованные тормозными дисками реальные колесные пары, которые можно оснащать коническими роликовыми буксами с внешним диаметром 260 мм. Колесная пара устанавливается в адаптер, построенный на базе обычной тележки и оборудованный первичным ресорным подвешиванием с гасителями колебаний. Приводимая во вращение рельсовым блоком колесная пара может быть разогнана до частоты вращения, соответствующей скорости движения поезда 300 км/ч, а кратковременно — до 330 км/ч.

Динамика движения подвижного состава и дефекты положения пути в плане и профиле учитываются при моделировании в процессе испытаний. Для моделирования всех перемещений колесной пары, необходимых для испытания различных материалов, нагрузка на колесную пару и ее адаптер создается шестью гидроцилиндрами, которые перемещают колесную пару в различных направлениях.

Два гидравлических цилиндра ZL и ZR (левый и правый) создают вертикально направленные регулируемые усилия, моделирующие вертикальную силу Q , действующую в точке контакта колесо — рельс. Цилиндр Y, действующий в поперечном направлении, обеспечивает боковую установку колесной пары. Левый и правый цилиндры XL и XR создают разворот адаптера с колесной парой в горизонтальной плоскости относительно вертикальной оси, а цилиндр XM — перемещения относительно поперечной оси адаптера. В процессе испытаний осу-

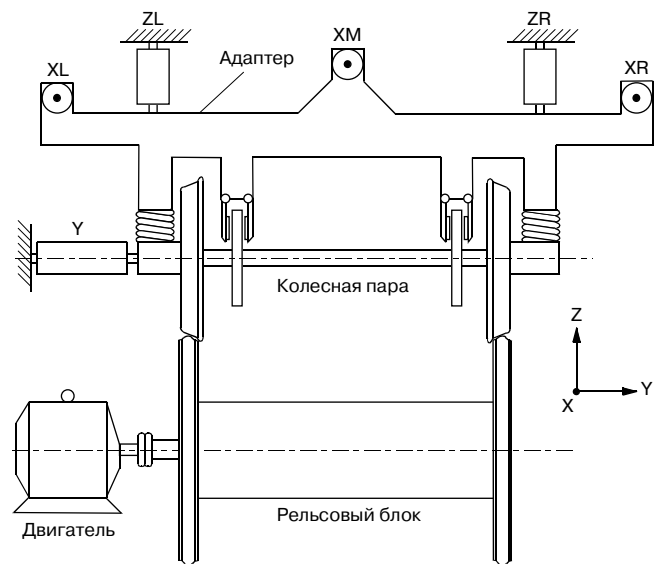


Рис. 2. Кинематическая схема моделирующего испытательного стенда

ществляется динамический контроль и регулирование работы всех цилиндров.

Адаптер колесной пары оборудован тормозной рычажной передачей с пневматическим приводом, с помощью которой можно в процессе испытаний вручную или автоматически управлять дисковым тормозом колесной пары. Механическую часть стенда дополняет гидравлическая система, различные устройства контроля, а также установка с программным управлением для обточки рельсов с целью изменения их профиля.

Основные характеристики стенда

Рельсовый блок

Профиль рельса	МСЖД 60
Диаметр дисков, мм	2100
Ширина колеи, мм	1435, возможна регулировка
Моделируемая скорость движения, км/ч	300 (330)
Привод	двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением
Мощность двигателя привода, кВт	500

Адаптер с колесной парой

Диаметр колес, мм	1250
Диаметр буксовых подшипников адаптера, мм	260
Тормоз	дисковый пневматический

Гидравлическая система

Вертикальные цилиндры:	
максимальное усилие, кН	2 × 170
ход, мм	±100
Горизонтальные цилиндры:	
максимальное усилие, кН	4 × 100
ход, мм	±50
Давление, бар	290
Частота, Гц	до 30

Система обработки данных

Число каналов оценки	64
Частота опроса, кГц	1
Разрешающая способность, байт/бит	4/14

Система управления

Основой системы, управляющей всеми процессами в ходе испытаний, является установка Logidyn D21 компании Alstom Power Conversion. Эта установка состоит из трех промышленных компьютеров и мультипроцессорной системы VME. Один из трех компьютеров используется для обслуживания и ручного управления, второй — для сохранения измеренных данных и вывода их в диалоговом режиме, третий — для подготовки данных, необходимых для управления процессом испытаний.

Мультипроцессорная система в основном контролирует и регулирует работу всех гидравлических цилиндров. В случае превышения заданных максимальных значений, а также при недопустимой разнице между задаваемой и реальной величинами усилия гидравлических цилиндров происходит контролируемое отключение испытательного стенда.

Выходной сигнал	Датчики		Номинальное значение параметра
	Вид	Число	
<i>Основные каналы</i>			
Усилия цилиндров, кН: ZL, ZR XL, XM, XR, Y	Динамометрические	2	± 250
		4	± 100
Перемещения поршней цилиндров, мм: ZL, ZR XL, XM, XR, Y	Индуктивные	2	± 100
		4	± 50
Давление воздуха в тормозной системе, бар	Манометрические	1	10
Температура буксовых подшипников, °С	Термопара NiCrNi	2	200
Силы в пятне контакта, измеряемые на рельсах	Рельсовый блок	6	—
Координаты мест контактна на рельсе		2	—
Силы в пятне контакта, измеряемые на колесе	Колесная пара	6	—
Координаты мест контакта на колесах		2	—
<i>Возможные дополнительные каналы</i>			
Ускорения	Индуктивный	8	100 g
Перемещения, мм/В			Например, 8
Удлинения	Тензометрические полоски	—	—
Температура, °С	Термопара NiCrNi	До 8	200
Напряжение постоянного тока, В	—	До 4	± 10

Система программного управления работой стенда позволяет регулировать нагрузки в автоматическом режиме (например, ночью или в выходные дни). Это очень важно в связи с тем, что некоторые режимы движения, рассчитанные на моделирование определенной скорости, требуют циклического повторения.

Положение поршня (таблица) в цилиндре и величина усилий, создаваемых всеми гидравлическими цилиндрами, — это основные регулируемые параметры, необходимые для контроля и управления работой стенда. Кроме того, могут также устанавливаться датчики для измерения дополнительных параметров. Наряду с датчиками перемещений поршней и динамометрическими, в случае необходимости устанавливают тензометрические, а также термопары, датчики ускорений и угла поворота. Они подключаются к измерительным усилителям со встроенными аналого-цифровыми преобразователями.

Важным элементом моделирующего испытательного стенда является контрольная колесная пара с самостоятельной измерительной системой. С ее помощью в процессе испытаний измеряют силы, действующие в зоне контакта во всех направлениях. При необходимости нужные измерительные данные выводятся в графическом виде. Независимо от формы представления данных имеется возможность цифровой записи 64 различных измеряемых параметров с тактовой частотой 1 мс. Для дальнейших расчетов полученные при измерениях результаты можно представлять в графическом виде или в виде баз данных с помощью программы FAMOS.

Для моделирования контакта колесо — рельс на стенде необходимы кривые изменения в функции времени усилия на обоих вертикальных цилиндрах (ZL, ZR), перемещений поршней в цилиндрах XL, XM, XR и Y, частоты вращения рельсового блока и давления в тормозной системе. Эти параметры характеризуют перемещения колесной пары на рельсовом блоке и формируют спектр нагрузок.

Некоторые из этих величин, в частности создаваемые гидроцилиндрами нагрузки на колесо в вертикальном направлении, были определены путем статических и динамических измерений с помощью контрольных колесных пар в процессе эксплуатации. Однако достаточно полные результаты измерения поперечных перемещений и соответствующих сил отсутствуют. В связи с этим необходимые для испытательного стенда данные получают путем моделирования процессов.

Основой моделирования является математическая модель подвижного состава. Параметры его движения по пути с нормальной и нарушенной геометрией рассчитывают с помощью программы SIMPACK. После расчета кинематики (например, четырехосного вагона), проведенного для опреде-

ленного промежутка времени, перемещения одной из колесных пар преобразуют с помощью программы MATLAB/Simulink в координаты испытательного стенда. При необходимости в базу данных могут быть также включены параметры для управления процессами торможения.

Данные о трассе линии в зависимости от поставленной задачи могут задаваться в виде измеренных параметров положения пути на реальных участках линии, в виде расчетной характеристики участка или в комбинированном виде. При этом возможен выбор порядка чередования прямых и криволинейных участков пути с отклонениями геометрии или без них. Наряду с этим для решения определенных задач в базе данных имеются чисто расчетные параметры перемещения колесной пары независимо от трассы линии. Так, с помощью параметров синусоидального движения можно моделировать процесс качения с очень низким коэффициентом трения.

Типовые испытания

Задача рассматриваемого типового испытания закладывалась в исследовании новой колесной стали. Для этого была взята колесная пара в сборе, диски колес которой были изготовлены из исследуемого материала.

Прежде всего, было необходимо в зависимости от области применения (региональные сообщения) определить нагрузки, которым будет подвергаться колесная пара, т. е. средние и максимальные значения осевых нагрузок, скоростные режимы и другие влияющие на движение колесной пары по рельсам параметры, такие, например, как качество пути. На основе этого рассчитывали параметры движения моделируемого подвижного состава для нужного диапазона скорости. Наиболее нагруженной оказалась передняя ось первой тележки. Для нее были разработаны параметры управления. Чтобы приблизить моделируемое движение к реальному и охватить широкий спектр нагрузок, комбинировали модели движения по участкам с разной скоростью, которые суммировали и сравнивали с результатами длительной (несколько часов) испытательной поездки.

В зависимости от поставленной задачи и этапа испытаний через каждые 5 – 10 тыс. км моделируемого пробега делали перерыв в движении. Во время этого перерыва проводили неразрушающий контроль материала испытываемой колесной пары. Объем необходимых измерений и интервалы между ними были предварительно согласованы с заказчиком. Такие параметры колеса и (или) рельса, как профиль, твердость и радиальное биение, проверяли без демонтажа испытываемого образца. Кроме того, проводили проверку с целью обнаружения трещин



Рис. 3. Изображение зоны контакта колесо — рельс, выведенное на монитор

при помощи магнитного порошка, проводили визуальное исследование зоны контакта по изображению на мониторе (рис. 3) и фотографировали поверхности катания.

Выводы

С разработкой стенда DBAG получили универсальный инструмент, позволяющий в реальном масштабе времени и с учетом реальных сил количественно оценивать факторы, влияющие на изменения в материале и приводящие к его повреждениям. Это, в частности, позволяет наблюдать возникновение и дальнейшее развитие поверхностных повреждений. Полученные на стенде результаты помогают, например, улучшить разработку мероприятий по техническому обслуживанию ходовой части подвижного состава и составлять графики их выполнения в соответствии с возрастающими требованиями к железнодорожному транспорту. Это относится также и к рельсам, например, с точки зрения разработки оптимальной стратегии их шлифования. Одной из важнейших задач является выяснение влияния типа материала и профиля на склонность материала к образованию поверхностных трещин.

Кроме того, с помощью стенда можно оценивать влияние подвижного состава различных типов на путь с точки зрения повреждения рельсов, что имеет особое значение в условиях либерализации доступа к инфраструктуре сторонних компа-

ний. В процессе формирования общеевропейской сети появились тенденции к увеличению осевых нагрузок, вредное воздействие которых на колеса и рельсы требует количественной оценки, особенно в интересах владельцев инфраструктуры. То же относится и к влиянию скорости движения на возникновение повреждений в зоне контакта колеса и рельса. Моделирующий испытательный стенд позволяет систематически анализировать параметры нагрузки на путь и на базе полученных результатов формировать обоснованные тарифы на право пользования сетью.

При испытании новых колесных стале и рельсов, а также колес и колесных пар новой конструкции испытательный стенд позволяет сократить объем дорогостоящих полевых испытаний. Он может также ис-

пользоваться для предварительной оценки уровня шума, возникающего контакта колеса с рельсом.

Новый стенд может, наконец, использоваться при испытаниях и проверке диагностического и испытательного оборудования для колес и рельсов. Это относится как к бортовым системам диагностики подвижного состава, так и к оборудованию для неразрушающего контроля при техническом обслуживании.

Таким образом, моделирующий испытательный стенд способствует повышению эффективности технического обслуживания колес и рельсов, повышает надежность и, следовательно, эксплуатационную готовность подвижного состава и пути.

M. Luke et al. Eisenbahntechnische Rundschau, 2001, № 4, S. 211 – 217.

Продвижение проектов ETCS в Европе

Общеввропейская система управления движением поездов (ETCS) создаст более выгодные условия для усиления конкурентоспособности железных дорог, обеспечив безостановочное пересечение границ между ними. Кроме того, переход в Европе на единую систему управления движением имеет особое значение с точки зрения эксплуатационной совместимости. Внедрение ETCS уровня 1 в ряде стран Европы создает основу для отработки технических условий на систему более высокого уровня 2. Усиливающаяся необходимость реконструкции железных дорог Восточной Европы может способствовать росту числа объемных и капиталоемких заказов на новые системы управления движением, что в свою очередь приведет к снижению их стоимости.

В Европе эксплуатируется более 20 систем сигнализации. МСЖД в мае 2004 г. организовал группу по вопросам перехода на ETCS, которая после анализа текущего положения и заключенных соглашений показала, что эта новая система к 2010 г. может выйти на пятое место по распространению, охватив 16 тыс. км (табл. 1) и по итогам уступая только системам точечной АЛС PZB, Crocodile, KVB и AWS/TPWS, преобладающим в Германии, Франции и Великобритании.

Однако можно отметить начальный прогресс только в применении ETCS уровня 1, которые эффектив-

но дополняют светофорную сигнализацию, добавляя функцию автоматического ограждения поезда (АТР), или заменяют действующие системы точечной АЛС, усиливая эксплуатационную совместимость.

Системы уровня 1 работают в Болгарии и Венгрии, внедряются на магистральных линиях в Австрии. Железные дороги Люксембурга также приступили к переходу на систему этого уровня, многие другие европейские железные дороги планируют переход на ETCS по мере исчерпания срока службы действующих систем АЛС.

Стандартизация оборудования позволяет компаниям-изготовителям предлагать ETCS уровня 1 как экономичный вариант системы локомотивной сигнализации для мирового рынка. Так, Bombardier завершает 4-летнюю программу по монтажу системы уровня 1 на всей сети магистральных линий Тайваня, выполняет контракт на оборудование 760 км линий в Республике Корея. Alcatel претендует на контракты в Индии и Китае.

Экономические преимущества ETCS уровня 2

Для многих железных дорог переход на ETCS уровня 1 коммерчески невыгоден. Предпочтительнее уровень 2, поскольку локомотивная сигнализация и цифровая радиосвязь стандарта GSM-R позволят отказаться от большинства напольных сигналов