

Стенды для испытания подвижного состава на скручивание

Мониторинг состояния железнодорожного подвижного состава может осуществляться в виде диагностики на самом подвижном составе или же с помощью стационарных установок и испытательных стендов. Если для современных электротехнических и электронных устройств подвижного состава система диагностики обычно является одним из их компонентов, для механической части подобные решения являются еще редкостью. Контроль качества ходовой части и проверка надежности подвижного состава против схода с рельсов при перекосах пути могут проводиться с помощью статических испытаний на скручивание путем измерения соотношения dQ/Q на специальном испытательном стенде. В Гонконге железнодорожная компания Kowloon-Canton Railway Corporation (KCRC) приняла в эксплуатацию разработанный швейцарской фирмой PROPOSE современный автоматизированный стенд, который может использоваться для испытания на скручивание всех типов подвижного состава, эксплуатируемого компанией.

Существует два основных метода для определения состояния подвижного состава:

- с помощью системы диагностики, т. е. контрольного оборудования, установленного на подвижном составе, которое регистрирует и сохраняет собранные данные и (или) напрямую информирует машиниста;
- путем проведения контроля при помощи стационарно установленных измерительных систем или испытательных стендов с регистрацией параметров проходящего подвижного состава и сохранением данных и (или) с непосредственной передачей информации на диспетчерский пост.

Испытательные стенды, являющиеся стационарными установками, состоят из исполнительных органов (актуаторов), датчиков и систем управления и позволяют измерять определенные параметры подвижного состава или его систем.

Большие возможности диагностики уже давно получили призна-

ние и широко используются на стационарных установках. Однако в области железнодорожного транспорта использование этих возможностей связано с определенными трудностями:

- датчики для определения состояния механических узлов подвижного состава представляют одну из главных проблем и требуют доработки;
- распознавание «нормального» и «отклоняющегося от нормального» состояния является сложной задачей, так как признаки этих состояний зачастую граничат между собой или даже из-за воздействия пути и условий эксплуатации частично накладываются друг на друга;
- средняя наработка на отказ (МВТФ) контролирующей системы должна быть примерно в десять раз больше, чем этот же показатель контролируемой системы, чтобы вероятность ложных предупреждений о неисправностях подерживалась на достаточно низком уровне. К сожалению, такие системы слишком дороги;

- высокие затраты, требующиеся для организации диагностики, обусловлены тем, что диагностическое оборудование, включая соответствующие датчики, должно устанавливаться на каждой единице подвижного состава.

В связи с этим для мониторинга состояния механической части подвижного состава в основном применяются стационарные установки и испытательные стенды. Это имеет следующие положительные стороны:

- «нормальное» и «отклоняющееся от нормального» состояния различаются достаточно просто, так как воздействие на результат со стороны пути и условий эксплуатации исключается;
- число стационарных установок для контроля подвижного состава на порядок меньше, чем количество необходимых для этой цели бортовых диагностических систем;
- на стационарных установках можно проводить такие проверки, которые не могут быть выполнены в условиях обычной эксплуатации подвижного состава (например, проверка свободного хода ресорного подвешивания);
- стационарные установки могут быть оптимизированы с точки зрения повышения их показателя МВТФ. Они имеют более широкий спектр диагностики и обеспечивают повышенную экономическую эффективность.

В связи с этим современная тенденция в области мониторинга механической части подвижного состава заключается в разумном сочетании систем контроля, монтируемых в путь, и автоматизированных испытательных стендов.

Проверка эксплуатационной надежности

Безопасность движения на железнодорожном транспорте может быть обеспечена только при соблюдении следующих условий:

- оптимальная организация эксплуатационного процесса;

- высокое качество инфраструктуры;
- качественный подвижной состав.

Проверка качества подвижного состава в отношении его ходовых характеристик производится в процессе изготовления с помощью соответствующих мероприятий по обеспечению качества продукции. Результаты проверок фиксируются в документации по обеспечению качества, а при необходимости также в базе данных на подвижной состав у изготовителя или на ремонтном предприятии.

Подвижной состав допускается к эксплуатации только в том случае, если он проходит все необходимые испытания и проверки.

Некоторые виды контроля могут проводиться различными спо-

собами на разных стадиях процесса изготовления:

- проверка геометрии различных деталей и узлов с помощью смонтированных на технологическом оборудовании автоматизированных систем контроля;
- контроль геометрии и состояния деталей и узлов на измерительных установках;
- определение технических параметров узлов (жесткости, амортизирующей способности и т. д.);
- испытания тележек на специальном стенде (геометрия, жесткость, легкость хода).

С помощью соответствующей серии испытаний проверяется правильность комплектования подвижного состава соответствующими деталями и узлами. Большое значение для обнаружения ошибок при монтаже и предотвращения неправильного комбинирования допусков имеют испытания основных систем и всей единицы подвижного состава, в частности электровагона.

В соответствии со стандартом EN 14363:2005 имеется два способа для проверки устойчивости подвижного состава против схода с рельсов:

- испытание в кривой опытного участка пути с заданной величиной перекаса рельсов;
- проверка на испытательном стенде и на опытном криволинейном участке без перекаса рельсов.

При последней серии испытаний производят:

- измерение минимальной нагрузки от колеса на рельс $Q_{a \min}$ на испытательном стенде;
- измерение направляющей силы Y_a в кривой на опытном участке;
- расчет отношения Y_a/Q_a .

Можно также использовать третий способ проверки, который, однако, может применяться только для традиционного подвижного состава с двухосными тележками и углом наклона гребня бандажа от 68° до 70° ;

- измерение минимальной нагрузки от колеса на рельс $Q_{a \min}$ на испытательном стенде;

- определение разворачивающего момента и средней нагрузки от колеса на рельс в кривой малого радиуса.

При первых двух способах проверки необходимо выполнять прямые измерения усилий, действующих между колесом и рельсом, в то время как при третьем способе этого не требуется. В связи с этим измерение отношения dQ/Q на пути с определенной величиной перекасов является быстрым и дешевым способом проверки пригодности подвижного состава к эксплуатации. На рис. 1 показана примерная схема и последовательность проведения стендовых испытаний на скручивание кузова и тележки.

Измерение усилий в контакте колесо — рельс

Усилия, действующие в точке контакта колесо — рельс, и изменение этих усилий являются важным критерием для оценки безопасности движения (в частности, безопасности в отношении схода с рельсов). В связи с этим измерение действующих усилий предписывается стандартами. Определение равномерности распределения нагрузки от колес на рельсы может при этом проводиться на специально подготовленном измерительном участке пути. Для этого применяют различные системы взвешивания (стационарные и мобильные). Используется также измерение нагрузок от колес на рельсы, проводимое на пути, имеющем заданный перекас. Кроме того, возможно проведение измерений на скручивание с имитацией перекаса рельсов при помощи вспомогательных подкладок под колеса. Перекас пути может быть смоделирован также на специальных испытательных стендах.

Традиционно измерение равномерности распределения нагрузки от колес на рельсы является рутинным испытанием, так как оно проводится на каждой изготовленной единице подвижного состава. При

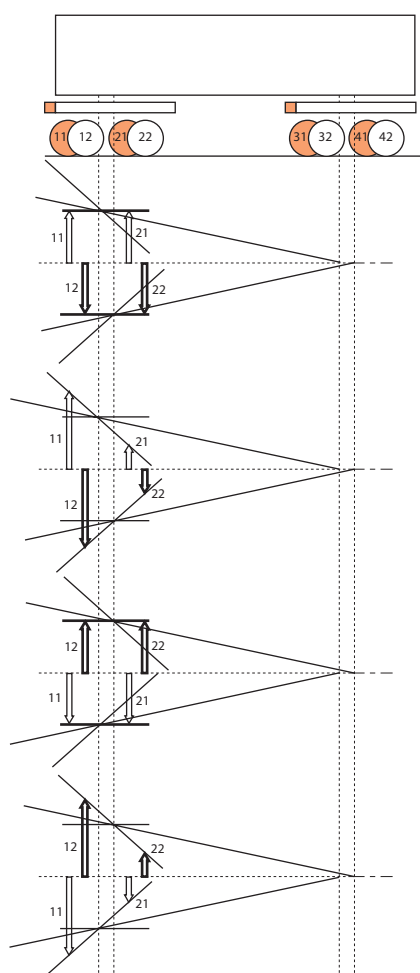


Рис. 1. Пример комбинированного испытания на скручивание с перекасом кузова вагона и тележек

Технические данные стендов для испытаний подвижного состава на скручивание

Параметр	Тип стенда		Примечание
	WWF	SWWS	
<i>Общие характеристики</i>			
Ширина колеи, мм	1435		–
База тележки, мм	2500	2300 – 4100	–
Расстояние между шкворнями тележек, мм	15 600	16 100 – 19 200	–
Максимально допустимая нагрузка на ось, кН	250		Для проезда подвижного состава при неработающем стенде
Высота УГР над уровнем пола, мм	0		В зоне смотровой канавы
Общая ширина стенда, мм	2798	2181	По базовым плитам
<i>Подъемное устройство</i>			
Число подъемных приводов	8		–
Максимальная нагрузка на колесо, кН	85	200 (в зависимости от положения)	Для подъемного привода
Максимальная высота подъема, мм	75	90 (в зависимости от типа подвижного состава)	–
Возможность выбора точек измерения	Независимый выбор контакта с рельсом любого из восьми колес		–
Точность при установке высоты подъема, мм	±0,5		–
Точность измерения линейных параметров, мм	±0,1	±0,2	–
<i>Система измерения сил в контакте</i>			
Максимально допустимая нагрузка на колесо, кН	100	200 (в зависимости от положения)	Для измерений
Способ измерения вертикальной силы	Тензометрические датчики (схема моста)	Измерительные ячейки	–
Точность измерения силы, %	±1		Для амплитудного значения
Максимальная ошибка измерений, кН	8		–
Протокол измерений	В электронном виде и на распечатке		–

этом усилия, действующие в точке соприкосновения колеса с рельсом, измеряются на прямом горизонтальном участке пути. Описание метода измерений дано в документе ИЕС 61133. Однако приведенные в этом документе допуски основаны на требованиях к тяговому приводу, а не к безопасности в отношении схода с рельсов. В связи с этим измерение сил в контакте колесо — рельс здесь следует рассматривать как одно из типовых испытаний подвижного состава.

Как при изготовлении подвижного состава, так и при ремонте возможны ошибки монтажа или дефекты отдельных компонентов, ко-

торые не могут быть обнаружены путем измерения усилий в контакте колесо — рельс. Если бы удалось автоматизировать процесс стендовых испытаний на скручивание и за счет этого снизить их стоимость, то такой стенд можно было бы использовать для испытаний любого подвижного состава.

Испытательные стенды WWF и SWWS (см. таблицу) швейцарской компании PROSE позволяют эффективно проводить следующие виды испытаний с довольно высокой степенью автоматизации:

- определение усилий в контакте колесо — рельс на прямолинейном горизонтальном участке пути;

- измерение сил к контакте на опытном участке пути с заданным перекосом рельсов;
- расчет значения dQ/Q и определение угла боковой качки.

Автоматизированный стенд для испытаний подвижного состава на скручивание

Процесс проведения испытаний на скручивание с обработкой результатов, описание которого содержится в разделах А8 и А9 стандарта EN 14363, может быть в значительной мере автоматизирован. Благодаря этому испытания данно-

го вида могут также выполняться в качестве рутинных для подвижного состава после проведения работ по техническому обслуживанию. Свои преимущества имеет также регулярная проверка в процессе эксплуатации в рамках технического обслуживания, проводимого по техническому состоянию. С помощью такой проверки как изготовители, так и эксплуатационники могут добиться, чтобы каждая единица подвижного состава, введенная в эксплуатацию, соответствовала критериям безопасности в отношении разгрузки колес. Вопрос зависимости между разгрузкой колес и безопасностью в отношении схода подвижного состава с рельсов рассматривался БЭИ МСЖД (ORE B55). Результаты рассмотрения изложены в отчете ORE B55, RP8.

Поставленный в 1996 г. компании Mass Transit Railway Corporation (MTRC) в Гонконге стенд для испытаний подвижного состава на скручивание типа WWF был разработан и изготовлен швейцарской компанией PROSE. На нем выполняются испытания стандартных вагонов метрополитена в автоматическом режи-

ме. Испытываемые вагоны должны быть одинаковыми по базе тележек и расстоянию между шкворнями. В 2006 г. компания PROSE получила заказ на разработку и строительство испытательного стенда типа SWWS от транспортной компании Kowloon Canton Railway Corporation (KCRC) в Гонконге. Этот стенд уже позволяет проводить испытания на скручивание вагонов, в том числе и двухэтажных, всех пригородных поездов, эксплуатируемых компанией KCRC. На стенде можно проводить испытания этих вагонов в полном объеме без их последовательного перемещения.

Все остальные вагоны (двух-, четырех- и шестиосные), а также локомотивы компании KCRC могут испытываться на стенде потележечно, для чего вагон (или локомотив) должен перемещаться. Эти стенды полностью позволяют проводить измерение отношения dQ/Q в соответствии со стандартом EN 14363:2005, включая построение кривой гистерезиса для тележек (например, при использовании рессор из эластомера или при исследовании трения любого вида).

Концепция испытательных стендов компании PROSE

Разработку испытательных стендов для подвижного состава компании PROSE вела с учетом следующих условий:

- установка на пути для текущего обслуживания подвижного состава (ремонтном пути) с центральной и боковой смотровыми канавками глубиной не менее 800 мм. При этом должна обеспечиваться возможность свободного использования пути без каких бы то ни было ограничений в периоды, когда стенд не работает;
- минимальные помехи для перемещений персонала в боковой смотровой канаве и полное их отсутствие в центральной канаве;
- возможность применения для подвижного состава различных типов и серий;
- отсутствие ограничений в отношении осевых нагрузок, а также скорости прохождения поездов, которая, однако, не должна превышать установленной для данного депо;
- обеспечение высоты подъема, позволяющей производить измерения на подвижном составе с максимально допустимым перекосом;
- возможность определения коэффициента наклона наряду с испытаниями на скручивание;
- применяемый вид привода должен обеспечивать фиксацию положения поднятого вагона в случае непредвиденного отключения электроснабжения;
- наличие аварийного подъемного устройства, позволяющего опустить поднятый вагон при отключении электроснабжения.

Испытательный стенд SWWS был изготовлен для компании KCRC с соблюдением всех указанных требований.

Наиболее удобной для решения поставленной задачи оказалась конструкция на базе рычажного механизма с винтовым приводом. Ходовые винты с трапециевидальной резьбой приводятся во вращение

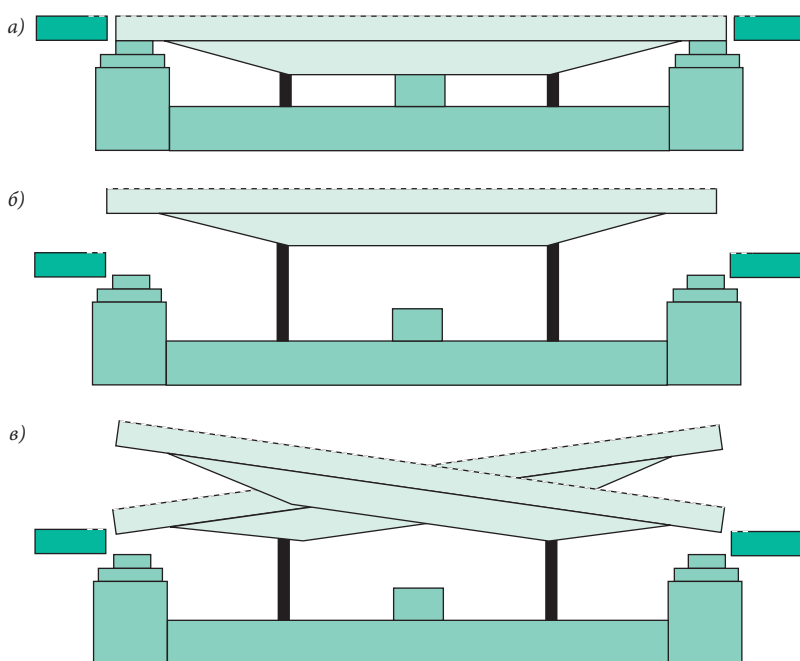


Рис. 2. Перемещения подъемных балок

электродвигателями. Так как передаточное число винтовых пар достаточно велико, здесь для управления подъемом и опусканием не используется регулирование двигателя — достаточно управления с помощью контакторов.

На рис. 2 показана схема перемещений балок, предназначенных для подъема двух колес тележки. На рис. 2, а показано исходное состояние станда. В этом положении подвижной состав может свободно проезжать по пути со скоростью до 10 км/ч. На рис. 2, б балки подняты, причем высота подъема всех четырех балок одинакова. Такое положение используется, если необходимо провести испытание с расположением всех восьми колес четырехосного вагона на одном уровне. Это условие может быть выполнено независимо от нивелировки рельсового пути. Положение балок при испытании на скручивание в соответствии с программой показано на рис. 2, в. Из рис. 2 также видно, что наряду с испытаниями на скручивание можно путем параллельного подъема балок с одной стороны вагона легко определять его коэффициент наклона.

Измерение усилий в контакте колесо — рельс производится с помощью измерительных ячеек. Рельсы уложены на опоры, которые через измерительные ячейки опираются на подъемные балки. Используемый здесь способ измерения является альтернативой тензометрическим методам.

Поскольку продольный диапазон, в котором измерение усилий в контакте колесо — рельс может производиться с достаточной точностью при помощи тензометрических датчиков, составляет приблизительно 50 мм, применение этого метода измерения возможно только в том случае, если подвижной состав можно всегда одинаково расположить на станде по отношению к подъемным балкам. Иными словами, на таком станде можно испытывать только такой подвижной состав, у которо-

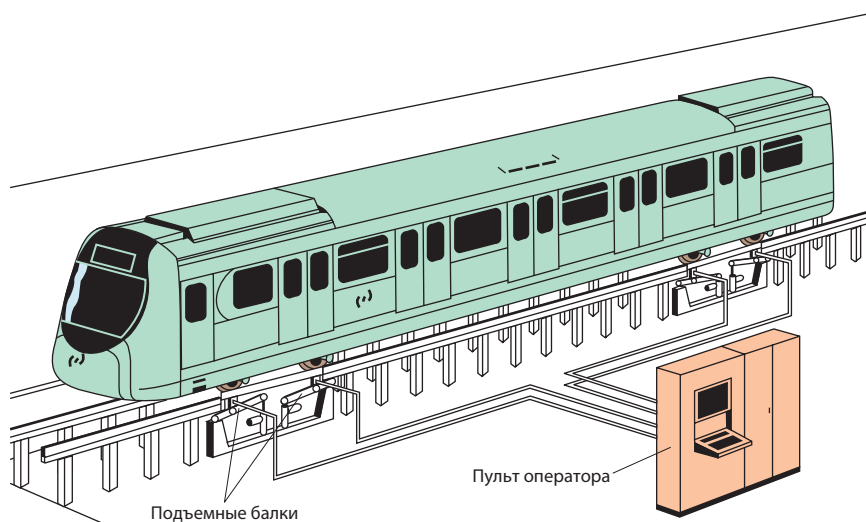


Рис. 3. Одновременное испытание обеих тележек вагона моторвагонного поезда

го одни и те же расстояния между шкворнями, а тележки имеют одинаковые базы.

Уровень расположения точек контакта с рельсами всех колес измеряется с помощью линейных потенциометров.

Все компоненты привода, сенсорной техники и системы управления являются стандартными изделиями, имеющимися на рынке.

Разработка испытательного станда была связана с выполнением конструкторами ряда серьезных условий:

- установка должна быть очень компактной, чтобы не создавать помех на ремонтном пути;
- подъемные балки должны обладать высокой жесткостью, чтобы при неработающем станде обеспечивался свободный пропуск по его рельсам даже самого тяжелого подвижного состава со скоростью до 10 км/ч;
- конструкция установки должна обеспечивать необходимую точность при измерении координат точек касания колес с рельсами и величины нагрузки от колес на рельсы. Прогиб подъемных балок компенсируется с помощью программного обеспечения, что стало возможным только благодаря точному предварительному расчету прогиба балок в зависимости от величины и положения нагрузки.

Расчет прочности и жесткости всей установки производили с помощью метода конечных элементов. Надежность станда SWWS проверяли нагрузочными испытаниями, проводившимися под контролем соответствующего ведомства.

Процесс испытания

Для испытаний подвижного состава, кроме персонала, необходимого для перемещения испытываемой единицы, необходим также оператор станда. Обычно испытания проводятся в автоматическом режиме в соответствии с заданным меню, которое выбирает оператор. Возможен также и ручной режим, при котором оператор сам выбирает и выполняет необходимые операции. При автоматическом режиме оператор руководствуется командами меню на протяжении всего процесса испытания. Все выполняемые операции и полученные результаты отображаются на экране монитора, что дает возможность оператору в любой момент вмешаться в процесс испытания.

На станде можно производить три вида испытаний:

- полные, выполняемые также и в автоматическом режиме;
- последовательные (потележечные), когда испытываются тележки одна за другой;

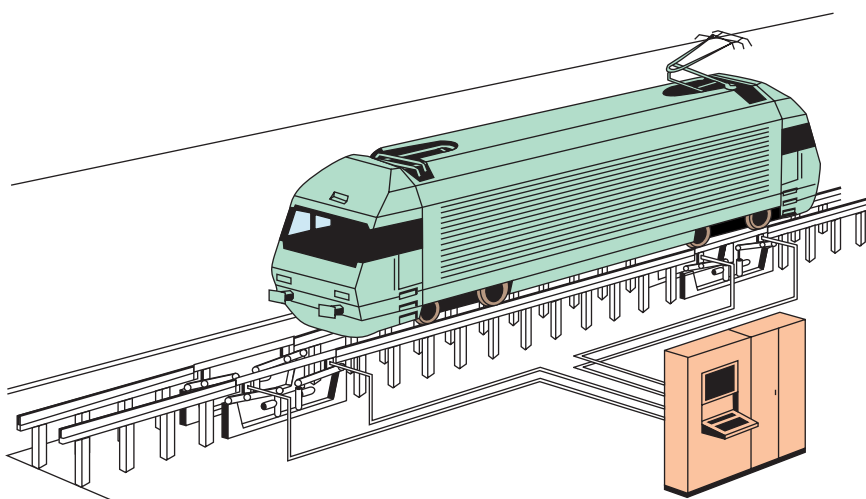


Рис. 4. Последовательное испытание тележек электровоза

• специальные (подвижной состав с трехосными тележками, двухосный подвижной состав и др.).

Испытательный стенд компании KCRC в Гонконге предназначен для распространенных типов подвижного состава и позволяет производить полные испытания, когда одновременно испытываются обе тележки вагона (рис. 3). Подвижной состав с более коротким расстоянием между шкворнями тележек испытывают по последовательной схеме (рис. 4).

Результаты измерений сохраняются в памяти и могут использоваться для последующих расчетов. Для некоторых параметров, например dQ/Q , могут вводиться предельно допустимые значения, которые, с одной стороны, служат для соответ-

ствующего контроля при проведении испытания, а с другой стороны, будучи распечатанными в протоколе измерений, делают картину изменения величин более наглядной.

Результаты испытаний и опыт эксплуатации стенда

Результаты испытаний документируются в виде протокола испытаний, который сохраняется в памяти персонального компьютера и выводится в виде распечатки. Имеется также возможность вывода результатов в графическом виде (например, графики гистерезиса, рис. 5).

Эксплуатация компанией KCRC автоматической системы SWWS для статического измерения на-

грузки от колес на рельсы и более ранней системы типа WWF компании MTRC в Гонконге дала очень хорошие результаты: появилась возможность надежной проверки технического состояния подвижного состава с документальным оформлением результатов.

Полную проверку подвижного состава с автоматическим документальным оформлением результатов могут выполнить в течение 45 мин два человека (один для перемещения подвижного состава, второй — для управления работой стенда и обеспечения безопасности). Измеренные значения нагрузок в точке контакта колесо — рельс имеют точность 1% и выше. Положение по вертикали может устанавливаться с точностью до 0,2 мм.

Испытательные стенды зарекомендовали себя как важное средство окончательной проверки подвижного состава, контролирующее и подтверждающее высокую надежность и безопасность подвижного состава, допускаемого к эксплуатации на интенсивно нагруженных линиях железнодорожной сети Гонконга.

Перспективы использования

Исходя из современного уровня развития техники, можно предположить, что наряду с контролем качества в процессе изготовления

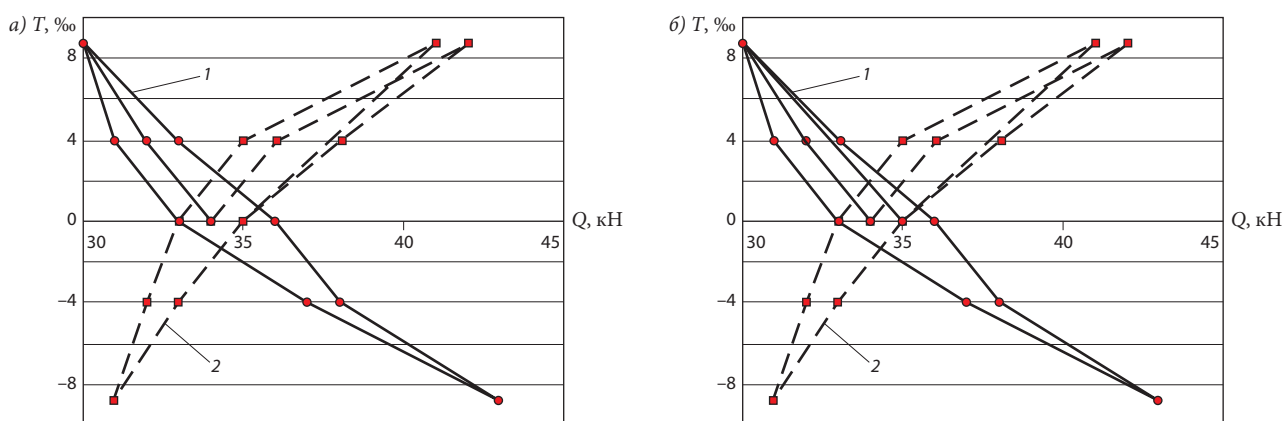


Рис. 5. Графическое отображение результатов испытаний:

а — первая тележка, первая ось; б — вторая тележка, первая ось; 1 — левое колесо; 2 — правое колесо

и статическими испытаниями все большее значение будут приобретать следующие направления в области диагностики ходовой части подвижного состава:

- контроль будет осуществляться главным образом с помощью измерительных устройств, смонтированных в пути, причем эти системы будут разрабатываться для мониторинга при высокой скорости движения. Целью этих мероприятий является постоянный контроль за всем подвижным составом в стратегически важных точках железнодорожной сети;
- центром тяжести мониторинга должна стать диагностика технического состояния ходовой части;
- значительная часть контрольных мероприятий должна проводиться в виде испытаний подвижного состава в процессе технического обслуживания;

- с технической точки зрения потребность в бортовых диагностических системах существует, однако в связи с низкой экономической эффективностью (соотношением между затратами и полезным эффектом) их следует использовать только на моторвагонных поездах в скоростном сообщении, и то лишь в ограниченном объеме. С дальнейшим совершенствованием путевых измерительных систем привлекательность бортовой диагностики будет утрачиваться еще в большей степени;

- бортовые датчики системы предотвращения схода с рельсов следует использовать только в особых случаях (например, в вагонах для перевозки опасных грузов).

Большой проблемой в любой диагностической системе являются ложные срабатывания аварийной сигнализации, которые могут

вызываться как недостаточной надежностью контролирующей системы по сравнению с высокой надежностью контролируемых устройств, так и слишком незначительными различиями между сигналами удовлетворительного и неудовлетворительного состояния. Возможности совершенствования систем в этом отношении невелики.

В настоящее время техника автоматической регистрации неисправностей продвинулась уже довольно далеко. Объединение в будущем отдельных систем в единую сеть с автоматическим определением потребности в ремонте или техническом обслуживании конкретных единиц подвижного состава еще больше повысит эффективность контроля.

B. Huber. Glasers Annalen, 2006, № 5, S. 208–217.



**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**