

Проблемы взаимодействия в системе колесо — рельс

Взаимодействие колес и рельсов имеет существенное значение для безопасности и эффективности работы железных дорог. Обеспечение оптимального профиля поверхностей контакта колес и рельсов и надлежащее управление этим процессом позволяют существенно сократить затраты на закупку и текущее содержание двух наиболее дорогостоящих компонентов технического оснащения железных дорог.

В опубликованном Центром транспортных технологий (Transportation Technology Center, TTCI) в марте 2009 г. 14-м ежегодном отчете о научно-исследовательских разработках рассмотрены вопросы выполнения программ улучшения характеристик подвижного состава и пути, продления срока службы колес и рельсов за счет управления их взаимодействием, совершенствования профиля рабочих поверхностей и их текущего содержания, повышения эффективности систем управления трением (смазки головок рельсов) и их внедрения в практическую эксплуатацию. Кроме того, приведены методы измерений и расчетные модели для автоматизированного управления и контроля взаимодействия колес и рельсов, а также для оценки динамики подвижного состава.

Важнейшим фактором для системного совершенствования параметров взаимодействия колес и рельсов является повышение эффективности управления этим процессом. Неуправляемое взаимодействие приводит к неудовлетворительному вписыванию экипажей в кривые, вследствие чего возрастают значения поперечных сил, а это,

в свою очередь, обуславливает увеличение расхода топлива на тягу и интенсивный износ рельсов. Кроме того, при неуправляемом взаимодействии колес и рельсов в прямых участках пути вероятно возникновение таких отрицательных явлений, как виляние тележек, их поперечные ускорения и ударные нагрузки, что ведет к образованию трещин, сколов, выкрашиваний и увеличению риска схода подвижного состава с рельсов.

Возможными решениями могут быть меры по снижению износа и минимизации усталостных напряжений в колесах и рельсах; разработка профилей рабочих поверхностей колес и рельсов и их взаимная подгонка, исключающая возникновение значительных напряжений; улучшение управляемости тележек; защита контактирующих по-

верхностей путем эффективного управления трением; снижение ударных нагрузок; внедрение оборудования для точного измерения геометрических параметров рабочих поверхностей колес и рельсов и коэффициента трения между ними. Все это позволит прогнозировать динамические характеристики подвижного состава, износ и контактно-усталостные явления и выработать практические рекомендации по улучшению условий контакта колес с рельсами и по шлифованию рельсов.

Управление трением

В зоне контактного пятна можно, помимо двух основных тел — колеса и рельса, выделить своего рода третье тело — промежуточный слой, состоящий из смеси оксида железа, продуктов износа колес и рельсов и множества других инородных материалов, попавших сюда случайно или закономерно. Давление в зоне контакта колеса с рельсом весьма значительно, и упомянутая смесь материалов, выполняя роль своеобразной прокладки, снижает возникающие напряжения. При этом в реальных условиях практически всегда наблюдается некоторое линейное относительное перемещение колеса относительно рельса, т. е. движение колеса фактически представляет собой сочетание качения и скольжения по поверхности рельса (рис. 1).

Такое явление имеет место, в частности, при движении в кривых, при разгоне и торможении. На состоянии слоя разнородных материалов, находящегося между контакти-

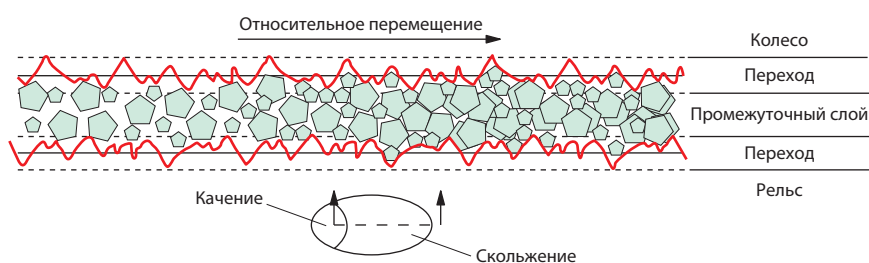


Рис. 1. Схема взаимодействия колеса с рельсом

рующими поверхностями колеса и рельса, влияет перемещение колеса относительно рельса, что ведет к возникновению усилий сдвига. При известном значении действующей силы и относительного перемещения можно рассчитать величину работы и энергии. В контактном пятне имеют место крайне высокие давления, соответствующие усилиям сдвига, и это приводит к значительным затратам энергии. Вследствие этого в зоне контакта существенно повышается температура, действуют значительные сдвигающие силы, происходит интенсивный износ рабочих поверхностей колес и рельсов, увеличивается расход энергии (топлива) на тягу, возникают усталостные явления, растет уровень создаваемого шума и происходят другие негативные процессы. Если расход энергии при этом будет снижен благодаря повышению эффективности взаимодействия колеса с рельсом, соответственно уменьшатся негативные последствия всех сопутствующих явлений.

Компании Kelsan Technologies и Portec Rail Products совместно с железными дорогами и другими партнерами сосредоточили свои разработки на решении указанных проблем.

Одним из важнейших показателей, определяющих непроизводительный расход энергии в зоне контакта, является коэффициент трения. Его величина характеризует соотношение давления в области контакта и относительного перемещения и позволяет определить действующие при этом сдвигающие силы. Снижение коэффициента трения в контактном пятне позволит повысить эффективность взаимодействия колеса с рельсом.

Введение смазки между выкружкой рабочей грани головки рельса и гребнем колеса и тонкопленочных модификаторов трения между поверхностью катания головки рельса и конической поверхностью катания колеса — безопасный и надежный способ снижения расхода энер-

гии в зонах контакта за счет управления величиной коэффициента трения в установленных пределах в каждой из этих зон. Оптимальное значение коэффициента трения в зоне контакта боковой поверхности головки рельса и гребня колеса (менее 0,2) может быть достигнуто за счет применения обычной консистентной смазки. Управление величиной коэффициента трения между поверхностями катания рельса и колеса требует более сложного подхода, поскольку она должна находиться в пределах 0,35–0,4 для исключения негативного влияния на коэффициент сцепления и, соответственно, на процессы разгона и торможения. Для этих целей рекомендуется использовать специальные модификаторы трения типа KELTRACK, выпускаемые компанией Kelsan Technologies.

На железных дорогах с движением тяжеловесных грузовых поездов осуществление программ управления трением позволило получить ряд документально подтвержденных результатов, касающихся снижения поперечных сил, интенсивности расстройств верхнего строения пути, износа рельсов, расхода топлива на тягу и темпа нарастания усталостных явлений, возникающих в процессе качения. На линиях пассажирского рельсового транспорта к положительным результатам использования систем управления трением можно отнести снижение поперечных сил, темпов роста усталостных явлений в рельсовых скреплениях и их износа, уровня шума при взаимо-



Рис. 2. Напольное устройство ML-TOR компании Portec Rail Products

действию гребней колес и рельсов, а также интенсивности волнообразного износа рельсов.

В связи с этим во многих регионах и странах быстро расширяется внедрение систем управления трением. Так, в Северной Америке на железных дорогах первого класса с движением тяжелых грузовых поездов находят применение так называемые системы полного управления трением (Total Friction Management, TFM), совместно предоставляемые Kelsan Technologies и Portec Rail Products и обеспечивающие гибкий и при этом точный контроль трения, эффективный как на рабочих гранях, так и на поверхностях катания рельсов. Первоначально системы TFM внедрялись с помощью напольного рельсосмазочного оборудования, устанавливаемого на перегонах, однако в соответствии с требованиями заказчиков могут быть применены и другие варианты.

Компания Portec Rail Products разработала ряд напольных лубрикаторов семейств PROTECTOR и ML-TOR (рис. 2) для смазывания верхней и боковых поверхностей головки рельсов, оснащенных устройствами дистанционного мониторинга, благодаря чему обеспечивается постоянный контроль состояния смазочного оборудования, режимов его работы, расхода консистентной смазки и модификатора трения. Эффективность использования подобных систем уже подтверждена.

Совершенствование конструктивных элементов грузовых вагонов

Непосредственное влияние на взаимодействие колес и рельсов оказывают геометрические параметры их рабочих поверхностей. Опосредованно, но существенно на этот процесс влияют конструктивные элементы первичного подвешивания тележек грузовых вагонов — буксовые адаптеры и прокладки, которые

обеспечивают пассивное ориентирование осей колесных пар, а также вторичного подвешивания — стальные пружины и фрикционные клинья, которые обеспечивают связность между поперечной и боковыми рамами тележки. Это позволяет контролировать параметры контактного пятна и обеспечивать управляемость тележки за счет поддержания параллельности ее осей. Устанавливаемые между рамой кузова вагона и шкворневой балкой тележки боковые опоры постоянного контакта (Constant contact side bearing, CCSB) также повышают устойчивость экипажей, снижая тем самым износ в системе колесо — рельс.

Важным совершенствованием системы первичного подвешивания, внедренным компанией Amsted Rail, стало использование упругих эластомерных прокладок буксовых адаптеров, которые способствуют поддержанию радиального расположения осей при прохождении кривых. Главной их особенностью является регулируемая упругость, которая позволяет реагировать на влияние и поперечный отклонение, возникающие под действием направляющих сил в соответствии с радиусом круга катания колес как в кривых, так и в прямых. Как пассивный направляющий элемент упругая прокладка должна быть спроектирована таким образом, чтобы снижать сопротивление движению в кривых с минимальным влиянием на устойчивость экипажей при высокой скорости движения. Выбор оптимальной упругости прокладки весьма важен, поскольку при излишне мягкой или жесткой прокладке величина ее сжатия на единицу воздействующей силы может быть такова, что вызовет потерю устойчивости экипажа, проявляющуюся в возникновении виляния, и увеличение интенсивности износа колес и рельсов. При входе экипажа в кривую прокладка деформируется и накапливает энергию, создавая таким образом механизм центрирования, кото-

рый возвращает колесную пару в исходное положение после выхода из кривой. Использование обычных, полностью металлических прокладок может приводить к тому, что колесная пара после выхода из кривой будет сохранять свое расположение под воздействием сил трения, что существенно увеличивает сопротивление движению и интенсивность износа рабочих поверхностей колес и рельсов. Другими важными преимуществами использования упругих прокладок являются обеспечение защиты челюстей боковых рам тележек, улучшение распределения нагрузок, воздействующих на буксы, и сглаживание вертикальных ударных нагрузок.

Для повышения эффективности работы фрикционных клиньев увеличена их ширина, что позволило за счет соответствующего увеличения площади поверхности трения повысить уровень сил, приводящих тележку в оптимальное положение, и продлить срок службы до истечения рабочей поверхности. Кроме того, для геометрического центрирования наклонной поверхности на ней имеется выпуклость, которой она взаимодействует со шкворневой балкой. Клинья обеспечивают устойчивость тележки за счет поглощения энергии горизонтальных и вертикальных перемещений путем фрикционного демпфирования. Восприятие вертикальных усилий осуществляется расположенными под фрикционными клиньями пружинами с изменяемой жесткостью, благодаря чему минимизируется накопленная энергия и устраняется возможность значительных смещений, что способствует поддержанию равномерного распределения нагрузки на колеса.

Стандартизированные Ассоциацией американских железных дорог (AAR) CCSB обеспечивают повышенную стабильность тележек за счет контролируемого угла поворота и фрикционного демпфирования. Использование стальных

пружин позволяет продлить срок их службы и создать предварительное нагружение, не зависящее от окружающей температуры.

Неудовлетворительные геометрические параметры колес могут привести к ухудшению устойчивости экипажа даже при поддержании геометрических параметров головки рельса в приемлемых пределах путем шлифования; к тому же практика шлифования рельсов с целью устранения их дефектов на разных железных дорогах, линиях и участках различна. Колеса могут приспосабливаться к определенным условиям эксплуатации, и их поведение может меняться. Обеспечение оптимального взаимодействия колес и рельсов является комплексной проблемой, особенно в сочетании с увеличением загрузки вагонов, вероятностью несбалансированных нагрузок и ростом скорости движения поездов.

Применение CCSB позволяет предотвратить от интенсивного износа и повреждения такие компоненты вагонов, как колеса, пружины, кузова, тележки и т. д. Кроме того, для совершенствования контроля взаимодействия колес и рельсов разработаны различные напольные устройства, например датчики виляния тележек и другие. Как показали расчеты, комплексное совершенствование взаимодействия в системе колесо — рельс и использование систем контроля и управления этим процессом позволяют прогнозировать необходимость замены изношенных элементов пути и подвижного состава, что обеспечивает девятикратное уменьшение затрат по сравнению с затратами, связанными с заменой вышедших из строя узлов и деталей.

Компания A. Stucki предлагает CCSB семейства Drop-and-go Retro XT с увеличенным ходом подвижного элемента для оснащения ими выпущенных ранее грузовых вагонов. Применение CCSB усовершенствованной конструкции позволяет существенно снизить ударные нагрузки в области контакта колес

и рельсов. Компанией разработаны также новые боковые опоры, в которых упругий элемент работает не на сжатие, а на срез. Эти устройства, как и ранее выпускавшиеся, обеспечивают предварительное нагружение с постоянным контактом, но имеют более продолжительный срок службы компонентов и ход подвижного элемента, равный 15,9 мм, что соответствует требованиям, предъявляемым к CCSB с увеличенным ходом. Применение таких устройств позволяет существенно повысить эффективность работы некоторых компонентов грузовых вагонов, что уже подтверждено.

Боковые опоры компании Miner Enterprises

В конце 1980-х годов с вводом в эксплуатацию сочлененных платформ для перевозки контейнеров в два яруса грузоподъемностью 125 т в некоторых ситуациях стали возникать серьезные проблемы, вплоть до схода подвижного состава с рельсов. В связи с этим была организована рабочая группа по изучению динамики платформ для перевозки контейнеров в два яруса (Double Stack Dynamics Task Force, DSDTF), в которую вошли эксперты железных дорог, компаний — изготовителей вагонов и их отдельных компонентов и других заинтересованных сторон. Основной целью группы стало выявление причин возникновения данной проблемы и поиск путей ее решения. В результате проведенной работы был внесен ряд изменений в конструкцию платформ и их компонентов, а также усовершенствована технология шлифования и лубрикации рельсов. Уже тогда стала очевидной важность тщательного изучения взаимодействия колес и рельсов и необходимость системного подхода к решению всех связанных с ним проблем.

Одним из важнейших результатов работы группы стало создание боковых опор постоянного контакта с увеличенным ходом подвиж-

ного элемента. Компания Miner Enterprises, производящая различные узлы вагонов, стала первым поставщиком таких CCSB, имевших коммерческий успех. В дальнейшем компания заняла определенную нишу на рынке подобных устройств для специальных грузовых вагонов, в частности для сочлененных платформ.

В начале 2001 г. комитет AAR по разработкам подвижного состава (Equipment Engineering Committee, EEC) предложил рабочему комитету AAR по техническому обслуживанию (Technical Services Working Committee, TSWC) сделать оснащение грузовых вагонов CCSB обязательным. Существенной проблемой при использовании таких устройств с обычным ходом подвижного элемента является то, что при улучшении благодаря их применению динамических характеристик грузовых вагонов при высокой скорости движения в прямых такое улучшение в кривых не наблюдается. В связи с этим были проведены испытания в реальных эксплуатационных условиях и моделирование динамики грузовых вагонов различных типов с целью определения оптимальных параметров CCSB, одновременно обеспечивающих как устранение интенсивного виляния, так и улучшение вписывания в кривые. Результаты испытаний и моделирования позволили установить, что CCSB является, безусловно, необходимым элементом вагонов с точки зрения управления вилянием тележек, но применение подобных устройств с увеличенным ходом подвижного элемента позволяет также реализовать приемлемые показатели вписывания экипажей в кривые.

В настоящее время нормами AAR (документ 88) предусматривается обязательное оснащение CCSB с увеличенным ходом подвижного элемента новых грузовых вагонов всех типов, а также эксплуатируемых вагонов раннего выпуска, подпадающих под действие упомянутой нормы.

Железные дороги продолжают совершенствование эксплуатационного процесса с целью повышения провозной способности, используя автоматизированные методы мониторинга грузовых вагонов. Реализуемая AAR программа повышения безопасности с использованием передовых технологий (Advanced Technology Safety Initiative, ATSI) содействует расширению внедрения новых и уже используемых железными дорогами устройств и систем, обеспечивающих контроль состояния и режимов работы грузовых вагонов. К весьма эффективным техническим средствам указанного назначения относятся датчики виляния и датчики динамических показателей тележек. Оба этих устройства отслеживают поведение тележек в прямых и кривых, т. е. параметры, на которые применение CCSB оказывает непосредственное влияние. Для каждого из датчиков расчетными методами определены максимально допустимые значения контролируемых параметров. Превышение пороговых величин свидетельствует о неудовлетворительных рабочих параметрах вагонов.

Используя собранные с применением датчиков данные, получаемые от TTCI, владельцы подвижного состава имеют возможность прогнозировать состояние вагонов в процессе эксплуатации, а не ожидать установленных регламентом сроков технического обслуживания. Анализ таких данных позволяет соответствующим службам принимать превентивные меры по техническому обслуживанию вагонов, при этом неотъемлемой частью такого обслуживания является установка подходящих CCSB с увеличенным ходом подвижного элемента.

Материалы компаний Kelsan Technologies (www.kelsan.com), Portec Rail Products (www.portecrail.com), Amsted Rail (www.amstedrail.com), A. Stucki (www.stucki.com) и Miner Enterprises (www.minerent.com); T. Judge. Railway Age, 2009, № 5, p. 35–36, 38–39.