

Система колесо — рельс с точки зрения путевого хозяйства

Система колесо — рельс обеспечивает непрерывное взаимодействие подвижного состава с верхним строением пути. Железные дороги Германии (DBAG) достигли значительных успехов в повышении ее эффективности. За последние 20 лет скорость пассажирских поездов стала выше, улучшились плавность хода и общая комфортность поездок. Качество и эффективность данной системы в значительной степени определяет инфраструктура. Необходимо, чтобы совершенствование подвижного состава осуществлялось с учетом сложившихся условий инфраструктуры. Важным вспомогательным средством оптимизации сопряжения между подвижным составом и верхним строением пути являются диагностические системы.

Требования к системе колесо — рельс

Для пассажирских поездов со скоростью до 300 км/ч и грузовых с осевыми нагрузками до 22,5 т (в перспективе до 25 т) требуется, чтобы верхнее строение пути отвечало высоким требованиям в отношении:

- безопасности, надежности и эксплуатационной готовности;
- устойчивости движения и плавности хода;
- долговечности и качества текущего содержания.

При этом важно, чтобы путь не имел дефектов, отвечал соответствующим правилам технической эксплуатации, имел высокое качество в отношении геометрии и динамических свойств, в том числе профиля

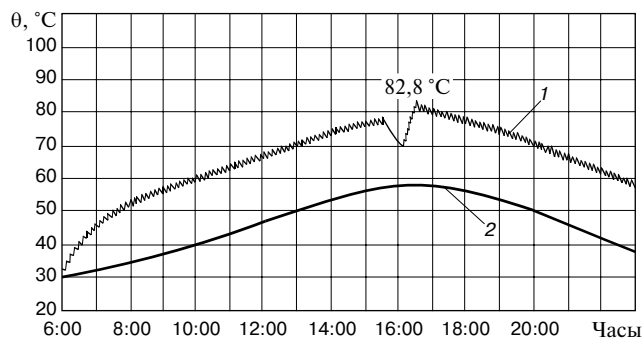


Рис. 1. Кривые изменения температуры рельсов в функции времени: θ — температура рельсов; 1 — суммарная температура рельсов под действием солнечного излучения и работы вихретокового тормоза; 2 — температура рельсов под действием солнца и температуры воздуха

рельсов, гарантирующего хороший контакт с колесом, устойчивое и безопасное движение экипажа.

Разработки в области подвижного состава разнообразны и не всегда оптимально согласуются с верхним строением пути с точки зрения оптимизации системы.

Применение подвижного состава с наклоняемыми кузовами обеспечивает повышение скорости поездов без инвестиций в дорогостоящую реконструкцию линий. При этом в ряде случаев повышение скорости в кривых может достигать 40 км/ч. Однако и в данной ситуации повышение скорости требует соответствующего повышения качества пути, связанного с дополнительными затратами.

Разработка и применение линейного вихретокового тормоза также влияют на систему колесо — рельс. Несмотря на выгоды от применения тормоза, не имеющего изнашивающихся элементов и не вызывающего износа рельсов, очевидны и его недостатки, поскольку он влияет на работу устройств СЦБ, которые в связи с этим требуют доработки. Кроме того, при использовании вихретокового тормоза в качестве служебного нужно принимать во внимание дополнительный нагрев рельсов, что при некоторых конструкциях верхнего строения пути влияет на стабильность его положения.

Температура рельсов повышается пропорционально увеличению частоты движения поездов, а в жаркие летние дни на участках торможения — экспоненциально. На рис. 1 показан экстремальный случай в эксплуатации, когда повышение температуры вследствие использования вихретокового тормоза наложило на нагрев от солнечного излучения. Этому предшествовал сбой в движении поездов, для ликвидации которого пришлось уменьшить интервал попутного следования с 7,5 до 3,5 мин. В результате этого к моменту времени 16 ч 30 мин температура рельсов повысилась до 82,8 °C. В бесстыковом пути это может привести к отрицательному воздействию на стабильность положения пути.

Чтобы исключить возникновение подобных ситуаций, особенно на пути с щебеночным балластом, предлагают устанавливать на определенных участках датчики температуры, которые при достижении допустимого предела должны вызывать отключение вихретокового тормоза поездов и снижать их скорость движения. Следует отметить, что для пути на жестком основании такой проблемы не существует.

Таким образом, качество и эффективность системы колесо — рельс в решающей степени зависят от зон сопряжения между подвижным составом и инфраструктурой. К ним относятся:

- контакт колесо — рельс;
- взаимодействие токоприемника с контактной сетью;
- электромагнитная совместимость систем управления и обеспечения безопасности движения.

Контакт колесо — рельс

Верхнее строение пути как несущий элемент

Верхнее строение пути предназначено для восприятия вертикальных и горизонтальных, статических и динамических сил, возбуждаемых подвижным составом, и дальнейшей передачи их через нижнее строение пути на грунт (рис. 2). Взаимодействие колеса с рельсом и сложная геометрия области их контакта (площадь контакта составляет 1 см² и менее) являются решающими факторами для поведения подвижного состава при движении, плавности хода, интенсивности износа и безопасности движения.

Для надежного направления подвижного состава в колее и оптимизации плавности хода, а также для обеспечения приемлемого уровня износа колесо и рельс должны иметь согласованную форму профиля.

Согласно действующим инструкциям колесные пары должны обладать такими свойствами, чтобы в определенных случаях обеспечивалось прохождение кривых радиусом 150 м. Так называемый изношенный профиль колес считается оптимальным.

Для обеспечения комфортности поездки подвижной состав должен иметь плавный ход и согласованное с его конструкцией рессорное подвешивание кузова. Упругость верхнего строения пути, эквивалентная конусность колес и разбег колесной пары в колее также должны учитываться при оценке эффективности системы колесо — рельс. На базе новых исследований и в рамках планов в области общеевропейской мобильности разработаны соответствующие предписания для высокоскоростного движения.

Инструментарий для оптимизации верхнего строения пути

Чтобы целенаправленно улучшать верхнее строение пути и подвижной состав, необходим анализ откатов с привязкой их к конкретным нагрузкам. Линии со смешанными перевозками характеризуются широким диапазоном скорости движения поездов, осевых нагрузок, конфигураций поездов и тягового

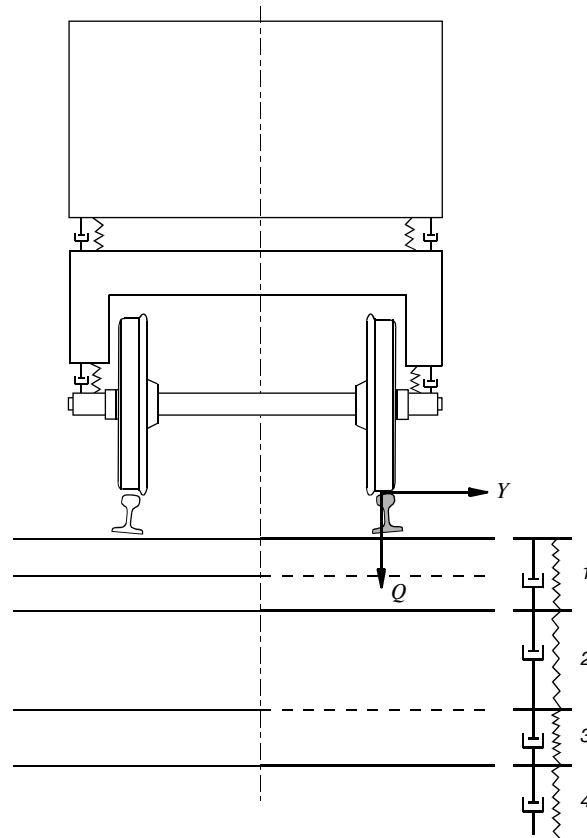


Рис. 2. Схема взаимодействия подвижного состава и пути:
 Y, Q — соответственно поперечная и вертикальная силы в контакте колесо — рельс; 1 — верхнее строение пути; 2 — нижнее строение пути (гидравлически связанный несущий слой, защитный слой); 3 — земляное полотно или инженерное сооружение; 4 — грунт основания

подвижного состава. В связи с этим система колесо — рельс чаще всего оптимизируется итеративно. Системная оптимизация при этом, как правило, проводится во взаимодействии расчетов на математических моделях, лабораторных исследований, эксплуатационных испытаний и измерений.

ДВАГ стремятся к тому, чтобы верхнее строение пути на магистральных линиях с высокой грузонапряженностью контролировалось в непрерывном режиме с помощью диагностических систем. К дефектам, которые ведут к повышенному уровню напряжений в пути, прежде всего относятся ползуны, чрезмерный прокат бандажей и гребни с острым накатом.

С помощью системы контроля эти дефекты можно обнаруживать, а поврежденные детали подвижного состава направлять в ремонт. Это позволит снизить затраты на содержание как верхнего строения пути, так и подвижного состава и окажет положительное влияние на эффективность системы колесо — рельс.

В настоящее время на сети ДВАГ для обнаружения ползунов и некруглостей колес используется несколько устройств. С их помощью по величине сил, измеряемых в контакте колесо — рельс за время

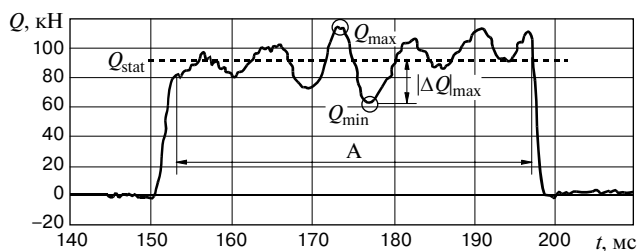


Рис. 3. Изменение вертикальной силы в функции времени: Q — вертикальная сила; t — время; Q_{stat} — среднее значение вертикальной силы; A — область определения

прохождения отрезка пути в несколько шпал, ориентировочно определяют параметры для оптимизации контакта между колесом и рельсом (рис. 3). На сети DBAG действуют около 20 таких устройств. С их помощью можно выявлять подвижной состав, создающий повышенные напряжения в пути.

Совершенствование верхнего строения пути

Совершенствовать верхнее строение пути следует путем улучшения отдельных компонентов, например, применять оптимизированные рельсовые скрепления с изменяемой упругостью. В ходе оздоровления пути необходимо использовать качественный щебеночный балласт и железобетонные шпалы современных конструкций.

Для линий с высокой грузонапряженностью могут рассматриваться опробованные в эксплуатации конструкции пути на жестком основании или на щебеночном балласте и железобетонных шпалах увеличенной ширины. При этом должны выполняться требования в отношении задаваемых значений упругости верхнего строения пути.

С целью снижения эксплуатационных затрат инфраструктурное подразделение холдинга DBAG (DB Netz) ведет последовательную работу по стандартизации компонентов верхнего строения пути. В 2002 г. введен новый стандарт на стрелочные переводы. В сотрудничестве с Федеральным бюро железных дорог Германии (EVA) DB Netz активизировало работы по стандартизации рельсов.

Зона токоприемника

На электрифицированных линиях особенно высокие требования предъявляются к взаимодействию токоприемника с контактной подвеской. Чтобы обеспечить наилучший токосъем и по возможности снизить число отказов, предлагаются различные системы, к числу которых относится устройство для автоматического опускания токоприемника (AS) в аварийных ситуациях. Графитовые вставки в полозе

токоприемника поджимаются сжатым воздухом, подаваемым через узкий канал. В случае разрушения одной из них давление падает, вызывая срабатывание устройства AS, которое, в свою очередь, дает команду на опускание всех токоприемников поезда.

Компания DB Systemtechnik, входящая в состав холдинга DBAG, в рамках научно-исследовательского проекта Sichere und ökologische Bahn («Надежные и экологичные железные дороги») разработала и другие системы, позволяющие предупредить возникновение ряда неисправностей и повреждений:

- система обнаружения препятствий на пути движения токоприемника предназначена для выявления предметов, которые могут висеть на элементах контактной подвески в габарите токоприемника, и заблаговременного опускания токоприемников (с помощью устройства AS) для прохождения опасного места;

- устройство для обнаружения дефектных мест в контактной подвеске, использующее датчик силы, расположенный на токоприемнике. Он аналогичен датчику, устанавливаемому на измерительных вагонах, контролирующих параметры контактных подвесок. Благодаря такому датчику жесткие точки обнаруживаются при нормальной эксплуатации. Целью внедрения этого устройства является минимизация числа измерительных поездов при обслуживании контактной сети;

- система обнаружения растительности контролирует ее распространение в габарит приближения вдоль трассы. Это позволяет своевременно проводить опиливание веток деревьев или обрезку кустарников. В системе используются инфракрасные фильтры, позволяющие ей отличать растительность от элементов инфраструктуры (опор контактной сети, мачт сигналов и т. п.);

- схема измерения угла между основным фиксатором и дополнительным позволяет избежать поломок токоприемника, который в случае недостаточной величины этого угла в динамике может зацепить трубу основного фиксатора. Принцип действия схемы такой же, как и в системе контроля растительности;

- стационарное устройство измерения отжатия контактного провода измеряет величину его подъема токоприемником под фиксатором. По величине отжатия определяют правильность регулировки токоприемника. В настоящее время на линии Мюнхен — Аугсбург находится в опытной эксплуатации такая опытная система, которая работает совместно с устройством DafuR, служащим для выявления некруглостей колес. Считывание и передача данных выполняются автоматически с использованием мобильной связи GSM-R. В течение 8 мес использования этой установки число находящихся в эксплуатации неправильно отрегулированных токоприемников уменьшилось с 0,5 до 0,05 %.

Электромагнитная совместимость системы управления и обеспечения безопасности движения

Установленные в зоне верхнего строения пути многочисленные напольные устройства систем безопасности и управления движением должны отвечать требованиям в отношении электромагнитной совместимости, которые необходимо учитывать также при разработке тягового подвижного состава.

Для того чтобы избежать чрезмерных дополнительных инвестиций в верхнее строение пути, следует обеспечить на новом подвижном составе соблюдение установленных предельных значений ряда параметров, связанных с электромагнитной совместимостью. В противном случае разработанный подвижной состав может быть допущен к эксплуатации на сети DBAG лишь с ограничениями или не допущен вообще.

DBAG всегда стремились выполнять все требования, направленные на обеспечение электромагнитной совместимости. Это иллюстрируют следующие примеры:

- поезда городских железных дорог серии ET 420, оборудованные системой электрического отопления вагонов и использующие тяговый привод с фазовым регулированием, были приняты в эксплуатацию лишь после выполнения мероприятий по доработке ряда систем;
- в системе непрерывной локомотивной сигнализации LZB, разработанной для скорости выше 160 км/ч, электромагнитное влияние на линейные шлейфы системы со стороны стальной арматуры пути на жестком основании потребовало принятия специальных технических мер;
- перед вводом в эксплуатацию поездов ICE3 с линейным вихретоковым тормозом на ряде линий были переоборудованы устройства СЦБ. Возникающие при торможении сильные электромагнитные поля влияли на напольные коммутирующие устройства, которые подавали команду на включение переездных устройств и счетчиков осей поезда в системе контроля занятости пути. В результате безопасная эксплуатация была обеспечена установкой в этих системах специально разработанных компонентов и фильтров;
- развивающаяся европейская система управления и обеспечения безопасности движения поездов базируется на радиосвязи. Сейчас в ряде европейских стран проходит опробование системы ETCS, которая облегчает международное сообщение и должна интегрировать более 20 различных систем управления и обеспечения безопасности движения. В зависимости от технологической стратегии и требований к пропускной способности оператор инфраструктуры при

оборудовании линий может выбирать один из трех уровней ETCS. В Германии сейчас испытывается уровень 2. Первые опытные поездки со скоростью 200 км/ч прошли успешно. Главный компонент системы ETCS, расположенный в пути — европейский приемопередатчик Eurobalise, который служит не только для приема и передачи информации, но и в качестве опорной точки для определения местонахождения поезда. Его электромагнитная совместимость также должна быть обеспечена и подтверждена в ходе испытаний.

Потенциал оптимизации верхнего строения пути

Оценивая трудоемкость технического обслуживания элементов системы колесо — рельс и учитывая опыт текущего содержания пути, можно определить потенциал оптимизации подвижного состава в отношении его воздействия на путь, в том числе с точки зрения величины возникающих вертикальных сил.

Поведение экипажа при движении в колее

Поведение железнодорожного подвижного состава в колее в решающей степени определяется горизонтальными силами. Применительно к верхнему строению пути потенциал улучшения достаточно высок:

- за счет радиальной установки колесных пар в кривых с помощью перекрестных тяг в дизель-поездах серий VT 611 и VT 612 снижены возникающие в кривых квазистатические силы набегания. Колесные пары с принудительной установкой, дающей такой же эффект, до настоящего времени еще не могут быть реализованы;
- применение колесных пар с колесами, вращающимися на оси, позволит значительно снизить интенсивность проскальзываний колес в кривых малого радиуса. Эти проскальзывания возникают преимущественно на внутреннем рельсе пути в кривых радиусом менее 700 м и вызывают деформации головки рельса. Последние ведут к увеличению угла набегания колеса на наружный рельс кривой, что повышает боковой износ головки рельса и гребня бандажа. Одновременно повышается уровень шумоизлучения и вибраций. Устранение этих дефектов на поверхностях катания рельса и колеса требует значительных затрат;
- повышенная стабильность ходовой части и уменьшение неподдрессированных масс могли бы положительно повлиять на поперечную динамику в стрелочных

переводах и переходных кривых. Конкретно это может быть достигнуто в тяговом подвижном составе за счет отказа от опорно-осевой подвески тяговых двигателей, а в грузовых вагонах со скоростью движения до 160 км/ч — за счет введения вторичного поперечного подрессоривания;

- для того чтобы уменьшить квазистатические поперечные силы при движении подвижного состава в кривых малого радиуса, нужно при низкой скорости отключать гасители колебаний виляния или универсальные гасители, активизируя их лишь при высокой скорости. Причиной появления этого утверждения является повышенный износ рельсов в кривых малого радиуса и острых стрелочных переводах, по которым в регулярной эксплуатации проходит подвижной состав, оборудованный такими гасителями. Последние предназначены для того, чтобы повысить предел скорости, при котором стабильный ход подвижного состава переходит в нестабильный. Таким образом, гасители, эффективные в диапазоне высокой скорости, при прохождении поездом кривых малого радиуса (особенно коротких переходных кривых или стрелочных переводов) ведут к увеличению поперечных динамических сил и повышенному износу пути и подвижного состава.

Вертикальные перемещения

Вертикальные колебания подвижного состава оказывают значительное влияние на процессы, происходящие в контакте колесо — рельс, и на поведение подвижного состава в колее при высокой скорости.

На базе использования двухэтажных вагонов проведены исследования напряжений в рельсах. Их результаты показали, что квазистатические силы в контакте колеса с рельсом могут быть снижены за счет более низкого расположения общего центра тяжести. Поскольку величина вертикальной силы в контакте определяется коэффициентом наклона, в грузовых вагонах должно быть улучшено поперечное рессорное подвешивание.

Динамические силы в контакте определяются в основном величиной неподрессоренных масс. Их снижение возможно за счет уменьшения массы тележек вследствие применения более легких материалов и улучшенного рессорного подвешивания колесных пар в раме тележки. В грузовых вагонах следует ожидать положительного эффекта от увеличения расстояния между шкворнями (в двухосных — от расстояния между колесными парами).

H. Huesmann, A. Beck. Glasers Annalen, 2003, № 11/12, S. 524 — 530.

Пути измерительные системы на железных дорогах Северной Америки

Достижения в области управления базами данных положительно влияют на современные технологии содержания и ремонта пути. Компьютеризация качественно изменила положение в отрасли. Современные модели и программное обеспечение дают возможность планировать сроки и объемы замены рельсов в рамках программ, рассчитанных на срок до 5 лет. Разнообразные технологические новшества помогают решать задачи поддержания в допустимых пределах геометрических параметров пути (ширины колеи, положения в плане и профиле, в том числе в кривых) — основные в комплексе задач современных систем ремонта и содержания пути.

Несмотря на то что железные дороги в прошедшие годы по-прежнему придерживались политики жесткого ограничения бюджетов капитальных вло-

жений, они приступили к поиску возможностей финансирования испытаний новых технологических решений в области содержания пути.

Десятилетие назад только появлялись продукты на базе использования системы глобального позиционирования (GPS), беспроводной связи, персональных компьютеров, которые к тому же не отличались быстродействием и широкими возможностями. Поэтому возможности применения на железных дорогах беспроводных интернет-технологий и GPS достаточно велики. Так, компания ENSCO снабжает системой GPS всю выпускаемую технику.

В настоящее время, когда проблема надежного поддержания пути в надлежащем состоянии уже не стоит особенно остро, более актуальным становится вопрос о качественном уровне обработки и использования накопленных достаточно обширных данных по состоянию инфраструктуры. Все больше желез-