

Эффективность лубликации рельсов

Смазывание рабочих поверхностей головки рельса в последние годы приобрело широкое распространение в эксплуатационной практике железных дорог. Эффективные технологии лубликации рельсов позволяют улучшить взаимодействие и уменьшить износ в системе колесо — рельс, повысить безопасность и сократить расходы на содержание пути и подвижного состава.

В течение почти 100 лет считалось, что для обеспечения оптимального взаимодействия колес с рельсами рабочие поверхности головки рельса должны поддерживаться в чистом и сухом состоянии, что позволяет реализовать необходимое для процессов тяги и торможения сцепление. Однако при этом в кривых наблюдается интенсивный износ этих поверхностей.

В кривой имеющей возвышение наружный рельс подвержен интенсивному износу в зоне сопряжения боковой грани и поверхности катания головки, а расположенный ниже внутренний рельс — значительному уплощению головки и волнообразному износу. В прямых при отсутствии смазки на рельсах приходится прибегать к ограничению максимально допустимой скорости вследствие поперечной динамической неустойчивости подвижного состава, обуславливающей возникновение виляния.

В середине XX в. смазывание начали применять в области рабочей выкружки головки рельса. Это позволило снизить интенсивность износа рабочей грани наружного рельса в кривых, но не решило проблемы уплощения и волнообразного износа головки внутреннего рельса, а также виляния в прямых. Более того, не удалось уменьшить негативное воздействие на путь вследствие значительных по величине поперечных сил, возникающих при взаимодействии ко-

лес с рельсами. Поэтому расходы по замене изношенных рельсов и текущему содержанию пути по-прежнему оставались весьма существенными.

В условиях роста осевых нагрузок и длины грузовых поездов проблемы износа и пластической деформации рельсов усугубляются в еще большей степени. Правильное определение области нанесения и дозирования смазки для рабочих поверхностей головки рельса позволяет оптимизировать взаимодействие колес с рельсами и снизить остроту указанных проблем, не ухудшая при этом показатели сцепления для локомотивов.

Эффективная технология смазывания головки рельса позволяет существенно улучшить взаимодействие рельсов с колесами, повысить безопасность перевозочного процесса, сократить эксплуатационные расходы и, соответственно, обеспечить рентабельность железных дорог.

Исследования и испытания

Концепция смазывания рабочих поверхностей головки рельса была сформулирована в 1987–1988 гг. в лаборатории железнодорожных технологий Иллинойского технологического института (Чикаго, США). В начале 1990-х годов специалисты института разработали компьютерную модель и провели анализ затрат энергии и из-

носа рельсов при движении поезда в прямых и в различных условиях взаимодействия колес с рельсами в области поверхности катания и рабочей грани головки рельса. Полученные в результате исследований данные были обнародованы в 1995 г. на Объединенной конференции по исследованиям в области железнодорожного транспорта Американского общества инженеров-механиков (American Society of Mechanical Engineers, ASME) и Института инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical & Electronic Engineers, IEEE).

Исследования показали, в частности, что в прямых при смазывании рабочих поверхностей головки рельса за счет уменьшения величины коэффициента трения с 0,5 (при сухой поверхности) до 0,3 возможно существенное снижение расхода энергии на тягу и износа элементов подвижного состава и пути. В кривых потенциальный эффект может быть еще более значительным.

В связи с этим потребовалось создание специальных смазочных материалов или модификаторов трения, применение которых позволило бы снизить величину коэффициента трения примерно до 0,3 и было безопасно для окружающей среды. В 1990 г. к разработке такого смазочного материала подключилось исследовательское подразделение компании Техасо, и в 1993 г. железная дорога Norfolk Southern (NS) впервые провела испытания технологии смазывания рабочих поверхностей головки рельса в реальных эксплуатационных условиях. Уже в течение первого года были получены результаты, подтвердившие правильность предложенной концепции, однако потребовалось еще несколько лет для разработки и совершенствования смазочного оборудования и систем управления процессом.

В 1996–1997 гг. министерство энергетики США совместно с Фе-

деральной железнодорожной администрацией (FRA) организовали проведение в Центре транспортных технологий (ТТС) испытаний технологии смазывания рабочих поверхностей головки рельса с тщательным контролем параметров. Результаты полностью подтвердили данные, полученные ранее железной дорогой NS, и позволили сделать вывод, что применение этой технологии позволяет существенно снизить расход дизельного топлива на тягу поездов и величины поперечных сил, возникающих при взаимодействии колес с рельсами в кривых. В начале 1998 г. министерство энергетики и FRA организовали испытания на горном участке Корбин (штат Кентукки) — Картервилл (штат Джорджия) железной дороги CSX Transportation (CSXT). Полученные результаты свидетельствовали, что средний расход топлива на тягу поездов за оборотный рейс снизился на 7,83% при сохранении приемлемых показателей управляемости, контроля скорости движения поездов и тормозных характеристик.

В 1997 г. ТТС провел испытания трех различных систем, предназначенных для реализации предложенной технологии лубрикации рельсов, по итогам которых был сделан вывод об их пригодности для постоянного использования и отсутствии каких-либо негативных последствий их применения. Во время испытаний на кольцевом маршруте экономия топлива за счет снижения сопротивления движению в кривых составила около 13%. Поперечные силы, воздействующие на рельсы в кривых, удалось снизить на 5–45% в зависимости от радиуса кривой и типа вагона, ухудшение тормозных характеристик не наблюдалось, уровень шума при движении поезда существенно снизился.

В дальнейшем испытания технологии смазывания рабочих поверхностей головки рельса были проведены еще на нескольких железных

дорогах, в частности Union Pacific (UP) и Canadian National (CN). Испытания проводились с использованием рельсосмазывателей, установленных на подвижном составе. Данная технология может быть в равной степени эффективно реализована с использованием как бортового, так и напольного оборудования, поскольку способствует улучшению характеристик взаимодействия в системе колесо — рельс независимо от источника смазки.

В настоящее время оборудование для смазывания рабочих поверхностей головки рельса выпускают несколько компаний. Технология получила признание как эффективный метод лубрикации. Подтверждением этому является ее использование более чем на 70% сортировочных станций железных дорог Северной Америки, что позволило улучшить параметры взаимодействия пути и подвижного состава, экономические и экологические показатели. Учитывая высокую эффективность технологии, многие железные дороги внедрили ее и на перегонах магистральных линий.

Оптимизация процесса

Существует несколько факторов, играющих роль в оптимизации смазывания зоны контакта колеса с рельсом. Важнейшими из них являются геометрические параметры колесных пар и рельсов, а также профили поверхностей катания и гребней колес. По существу колесная пара представляет собой два имеющих коническую поверхность колеса с гребнями, закрепленных на практически жесткой оси. В США колеса грузовых вагонов имеют конусность поверхности катания 1:20. Гребни колес спроектированы таким образом, чтобы снизить вероятность набегания гребня на головку рельса при возникновении значительных по величине поперечных сил и ограничить интенсивность износа гребней и боковых граней го-

ловков рельсов. В свою очередь, поперечный профиль головки рельса представляет собой комбинацию сопряженных дуг различных радиусов и спроектирован таким образом, чтобы удовлетворять требованиям по ограничению напряжений в зонах контакта с колесами, уменьшению вероятности набегания гребней колес на головку рельса и реализации устойчивых динамических показателей подвижного состава.

К указанным факторам относятся также трение и линейное перемещение (проскальзывание) колес относительно рельсов в процессе качения. Для качения колес по рельсам необходимо определенное трение (сцепление). Трение необходимо оптимизировать по величине и направлению; оно должно быть достаточным для обеспечения эффективного торможения, но не чрезмерным, чтобы не вызывать непроизводительных потерь энергии, значительных боковых усилий, приводящих к повреждению пути, и интенсивного износа пути и подвижного состава. Величина коэффициента трения зависит от состояния контактирующих поверхностей колес и рельсов, геометрических параметров пути и профиля колес.

Практически всегда при контакте качения имеет место микропроскальзывание, величина которого зависит от геометрических параметров контактирующих поверхностей, приложенного к колесу вращающего момента (например, при торможении) и упругости применяемой стали.

Существуют три вида проскальзывания и, соответственно, три вида связанного с ними трения: продольное (в направлении качения колес), поперечное (перпендикулярное оси пути) и проскальзывание вращения (боксование или юз). Продольное трение для колес вагонов необходимо при торможении, а для колес локомотивов — при тяге и торможении. Фактически этот вид трения является наиболее важным из упомянутых. Очень неболь-

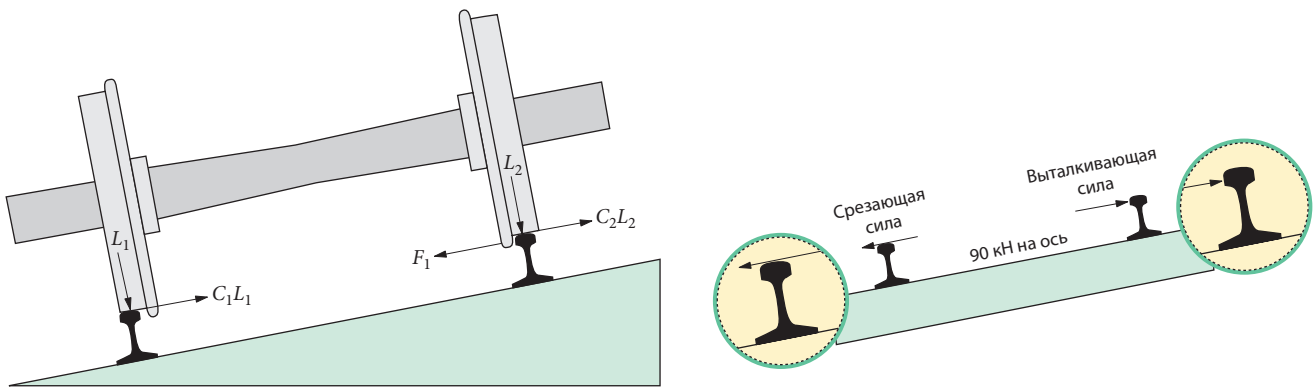


Рис. 1. Силы во взаимодействии колесной пары и рельсов в кривой:

C_1, C_2 — коэффициенты трения на поверхности катания; C_1L_1, C_2L_2 — поперечные силы, вызванные проскальзыванием; $F_1 = C_1L_1 + C_2L_2$ — сила во взаимодействии гребня и головки рельса; C_1 — коэффициент трения во взаимодействии гребня и головки рельса; $C_1F_1 = C_1(C_1L_1 + C_2L_2)$ — сила трения во взаимодействии гребня и головки рельса

шое по величине поперечное трение необходимо при прохождении кривых. Значительное по величине поперечное трение приводит к повреждениям пути и является причиной интенсивного износа рельсов и повышенного расхода энергии. Проскальзывание и трение вращения, как правило, имеют небольшую величину и не вызывают существенных негативных последствий.

Фактическая величина трения зависит от степени проскальзывания и состояния поверхностей контактирующих элементов — наличия или отсутствия смазки, шероховатости и т. д. В настоящее время геометрические параметры рабочих поверхностей колес и рельсов приближены к оптимальным. Единственным фактором, способным влиять на состояние контакта колес с рельсами, является наличие или отсутствие смазки. Использование должным образом спроектированного оборудования для смазывания головки рельса позволяет существенно повысить экономичность эксплуатационного процесса.

На рис. 1 представлены силы, воздействующие на колесную пару в кривой. Поперечное проскальзывание, неизбежно возникающее в кривой из-за наличия угла набегания гребня колеса на рельс, приводит к действию поперечных сил C_1L_1 и C_2L_2 . Величины этих сил воз-

растают при увеличении массы вагона и уменьшении радиуса кривой.

Проведенные на железной дороге NS испытания показали, что величина поперечных сил, воздействующих на рельсы в кривых при прохождении одной колесной пары, достигает 90 кН и более. Эти силы действуют на оба рельса в направлении от оси пути. При этом на наружный рельс воздействует гребень колеса (сила направлена наружу кривой), а на внутренний — коническая поверхность катания (сила направлена внутрь кривой). Возникающий вследствие этого износ головок внутреннего и наружного рельсов показан на рис. 2. Уплотнение верхней поверхности головки внутреннего рельса из-за интенсивного взаимодействия с колесами со временем приводит к его волнообразному износу и необходимости шлифования для восстановления оптимальной формы головки в плане и профиле.

Нанесение смазки на поверхность катания головки внутреннего рельса обеспечивает существенное (с 90 до

45 кН) снижение поперечных сил и, следовательно, повреждаемости пути и расхода топлива на тягу.

Воздействие значительных по величине поперечных сил при движении поезда приводит также к динамическому увеличению ширины колеи, в некоторых случаях — до недопустимых величин, превышающих установленное FRA предельное значение, равное 1467 мм, что может вызвать сход подвижного состава с рельсов. При этом в статическом состоянии ширина колеи может оставаться в допустимых пределах.

Применение традиционных способов смазывания рабочих поверхностей головок рельсов не позволяет существенно снизить величины воздействующих на рельсы поперечных сил и вызываемые ими отрицательные последствия. На рис. 3 показаны типичные результаты воздействия колес на наружный рельс кривой. Обычно отмечается ослабление забивки костылей, а в отдельных случаях — их частичный или полный срез. Кроме того, подрельсовые подкладки при этом врезаются в тело шпалы.

В связи с достаточно большим числом случаев излома костылей на железной дороге NS было проведено тщательное изучение этой проблемы. В частности, были измерены напряжения, возникающие в костылях. Исследования показали,

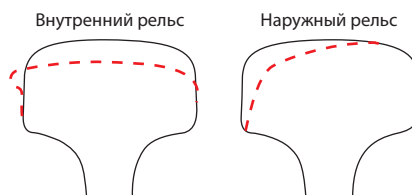


Рис. 2. Износ внутреннего и наружного рельса в кривой

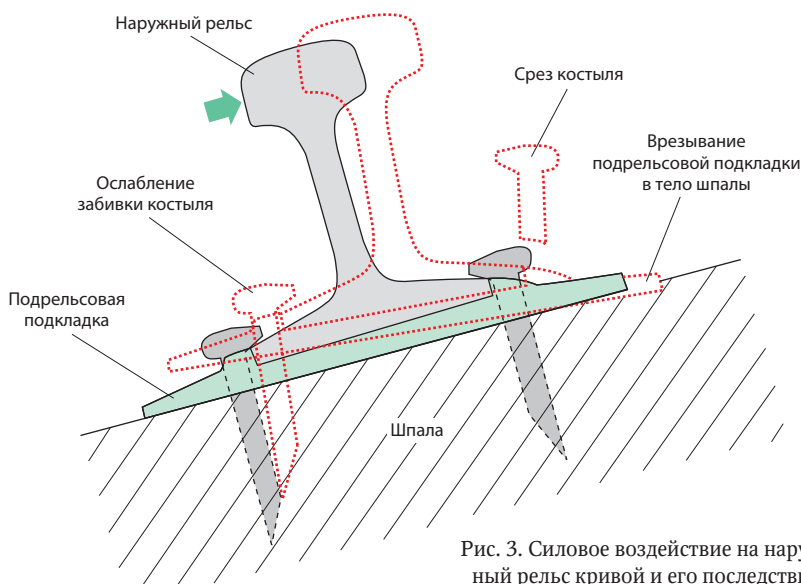


Рис. 3. Силовое воздействие на наружный рельс кривой и его последствия

что смазывание рабочей грани головки рельса позволяет существенно снизить указанные напряжения.

Рассмотренные повреждения, вызванные воздействием на рельсы значительных по величине поперечных сил, могут быть существенно меньше при смазывании поверхности катания головки рельса; еще больший эффект может быть достигнут при одновременном смазывании рабочей грани.

Необходимым условием высокой эффективности лубрикации рельсов является применение специальных смазочных материалов или модификаторов трения и тщательно отработанной методики их нанесения. Смазочный материал должен снижать коэффициент трения для колес грузовых вагонов на поверхности катания головки рельса до величины, равной примерно 0,3, при нанесении тонким слоем (пленочное покрытие). При увеличении толщины слоя коэффициент трения станет еще меньше. Изменение коэффициента трения за счет толщины слоя смазки должно быть плавным и контролируемым с обязательным учетом времени года и фактической погоды, поскольку в Северной Америке возможны сезонные колебания температуры от -35 до $+75$ (на солнце) °С.

Для поверхности катания и рабочей грани головки рельса нужно разное количество смазочного материала. Во избежание непроизводительных потерь и загрязнения пути смазочный материал нужно наносить только там, где это необходимо. Важно исключить попадание смазки на колеса локомотивов и контролировать подачу материала в зависимости от направления движения, что особенно важно для протяженных уклонов и мест входа в кривые. В идеальном варианте смазывание поверхности катания и рабочей грани головки рельса должно выполняться одним лубрикатом, расположенным в середине кривой, что позволяет достичь максимальной протяженности участка, охватываемого эффектом смазывания.

Технология CurvGlide

Компания Tranergy (г. Бенсенвилл, штат Иллинойс, США) разработала интеллектуальную систему лубрикации рельсов CurvGlide, обеспечивающую автоматическую подачу смазочного материала с помощью напольных устройств одновременно на верхние и боковые рабочие поверхности головки обоих рельсов при прохождении поез-

дом кривой. Система приводится в действие по получении от датчика сигнала о приближении поезда. Смазочный материал посредством двусторонних форсунок подается на рельсы в обоих направлениях и распространяется колесами поезда на расстояние до 1,6 км от места его подачи. Компьютерное управление системой CurvGlide обеспечивает начало подачи смазки только после прохождения локомотива, с тем чтобы она попадала лишь под колеса вагонов. Электропитание системы возможно от источника переменного или постоянного тока, в том числе от солнечных батарей.

За счет использования CurvGlide расходы на смазочный материал могут быть снижены на 75%, при этом удельные затраты этого материала составят менее 1 цента на один грузовой вагон. Одна комплексная установка обеспечивает лубрикацию рельсов на трех параллельных путях. Система сохраняет работоспособность при низких температурах окружающего воздуха (до -40 °С) и не требует применения защитных матов на путях благодаря тщательно дозированному нанесению смазочного материала. Установка элементов оборудования CurvGlide не требует сверления рельсов, а его производительность можно регулировать с учетом направления движения.

Применение современных технологий лубрикации рельсов позволяет достичь одновременно нескольких целей и обеспечивает повышение эффективности работы по обслуживанию и ремонту пути. Соответствующее оборудование вполне доступно для внедрения на магистральных линиях. При этом дальнейшее использование оборудования для лубрикации только боковых граней головок рельсов становится нецелесообразным.

S. Kumar. *Railway Track & Structures*, 2009, № 5, p. 35–38; материалы компании Tranergy (www.tranergy.com).