

# Управление жизненным циклом рельсов

Рост объемов перевозок, повышение осевых нагрузок и скорости движения поездов обуславливают ужесточение технических требований к инфраструктуре современных железных дорог. Результаты завершенной в 2010 г. программы Innotrack, включавшей исследования по совершенствованию железнодорожного пути, его текущему содержанию и ремонту, свидетельствуют, что применение высококачественных рельсовых сталей в сочетании с оптимизацией методики и технологии шлифования рельсов позволяет улучшить экономические показатели их использования и повысить готовность к эксплуатации.

## Ужесточение требований

Насущная потребность в росте производительности железных дорог требует повышения массы, скорости движения поездов и уменьшения межпоездных интервалов. В результате существенно возрастают нагрузки в системе подвижного состава — путь и интенсивность износа отдельных компонентов этой системы, в частности колес и рельсов.

Примерно полвека назад первой реакцией на упомянутые процессы стала тенденция к использованию более износостойкой стали для изготовления колес и рельсов. Широкое применение получила рельсовая сталь марки R260 (S900A), которая отличается большей износостойкостью в сравнении с традиционно использовавшейся в то время сталью марки R200 (S700). В то же время все более широкое использование (особенно на магистральных грузонапряженных линиях) рельсов массой 60 кг/м, заменивших рельсы меньшей массы (49 и 54 кг/м), и совершенствование технологии шлифования рельсов позволили существенно снизить динамические нагрузки в контакте колесо — рельс за счет своевременного

устранения дефектов на поверхности катания рельсов, например волнообразного износа.

В последнее десятилетие заметное повышение скорости движения поездов, а также тяговых и тормозных усилий ведет к прогрессирующему росту числа дефектов в зоне контакта колеса с рельсом, вызванных явлениями усталостного характера при контакте качения (RCF), которые ранее наблюдались только на линиях с экстремально тяжелыми условиями эксплуатации. В настоящее время многие компании инфраструктуры и поставщики подвижного состава вынуждены уделять серьезное внимание этой проблеме.

Механизм ухудшения состояния рельсов, имеющего множество проявлений, включая трещины в головке, выкрашивание и отслоение поверхностного слоя металла, вмятины и т. д., стал важнейшим фактором увеличения расходов на текущее содержание и ремонт пути. Поэтому в число приоритетных вошли задачи обеспечения максимально возможной эксплуатационной готовности пути и снижения расходов его жизненного цикла (LCC). По мере роста осевых



Рис. 1. Развитие технологий шлифования рельсов по мере усложнения условий эксплуатации

нагрузок, интенсивности и скорости движения поездов, мощности тяговых средств появлялись рельсы новых марок и развивались технологии текущего содержания (рис. 1).

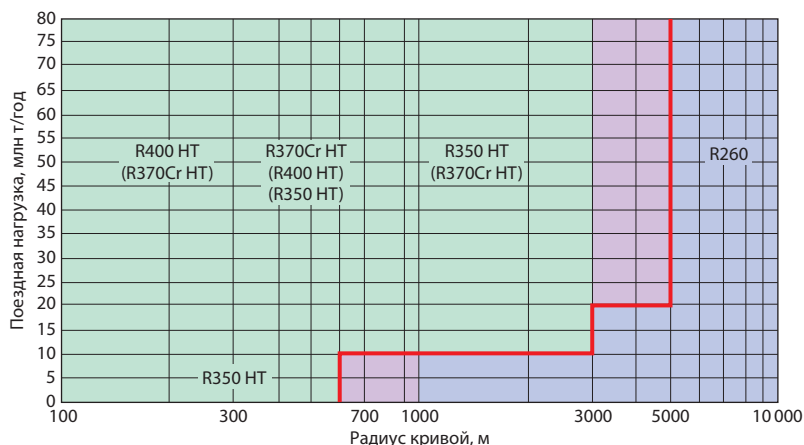


Рис. 2. Выбор марки стали в зависимости от радиуса кривой и поездной нагрузки

Многие исследования и испытания подтвердили преимущества рельсов из высокопрочной стали с точки зрения как комплексного показателя RAMS (надежность, эксплуатационная готовность, ремонтпригодность, безопасность), так и LCC. Интенсивные эксперименты с применением на железных дорогах многих стран мира рельсов из стали марки R350 HT с упрочненной головкой показали их существенно бóльшую сопротивляемость износу и появлению дефектов усталостного характера и срок службы, а также меньшую (по крайней мере в 3 раза) потребность в текущем содержании по сравнению с рельсами из стали марки R260. Выполненные расчеты позволяют судить, что LCC рельсов из стали марки R350 HT могут быть ниже на 50%.

В связи с этим многие железные дороги изменили свои подходы к использованию рельсовой стали. Так, компания инфраструктуры железных дорог Германии DB Netz расширила сферу использования рельсов из стали марки R350 HT и укладывает их в кривых (на интенсивно эксплуатируемых линиях) радиусом до 1500 м, тогда как ранее применение таких рельсов ограничивалось кривыми радиусом до 700 м. В некоторых случаях, когда основной эксплуатационной проблемой являются дефекты

усталостного характера, такие рельсы применяются и в кривых радиусом до 3000 м.

Наиболее существенным подтверждением происходящих в настоящее время технологических изменений в рассматриваемой сфере являются результаты финансируемой ЕС программы исследований по инновационным структурам пути, его текущему содержанию и ремонту (Innovative Track System, Innotrack). В программе принимали участие 35 заинтересованных организаций из разных стран Европы, включая компании инфраструктуры и поставщиков компонентов его верхнего строения. Они в течение 3,5 года изучали возможности снижения LCC и повышения RAMS за счет применения новых компонентов верхнего строения пути, совершенствования технологий его текущего содержания и обеспечивающей эти процессы логистики.

Как и другие исследовательские программы, Innotrack предусматривала проведение всестороннего анализа требований, предъявляемых к пути, и изучение основных причин характерных для настоящего времени высоких расходов на его текущее содержание и ремонт. В итоге были разработаны новые рекомендации по выбору для рельсов оптимальных марок стали в зависимости от радиуса кривой и поездной

нагрузки (рис. 2). Эти рекомендации основаны на результатах более чем 200 испытаний в реальных эксплуатационных условиях, а также на практическом опыте разных железных дорог. Низкий темп старения и износа рельсов с термообработанной головкой из перлитной стали определенных марок стал обоснованием главной рекомендации по использованию таких рельсов на линиях с высокой интенсивностью эксплуатации в кривых радиусом до 5000 м.

### Опыт линий со сложными условиями эксплуатации

В рекомендациях программы Innotrack также учтены результаты последних разработок в области стали для рельсов с термообработанной головкой, а именно марок R370Cr HT (370 LHT) и R400 HT (400 UHC), которые вошли в обновленный европейский стандарт prEN13674–2009. Рельсы из стали таких марок используются, главным образом, на железных дорогах с тяжелыми условиями эксплуатации, где даже под воздействием экстремальных нагрузок они демонстрируют отличные рабочие характеристики в течение нескольких лет.

В Норвегии на линии Ofoten длиной 43 км Нарвик — Риксгрёсен, где обращаются рудовозные поезда с осевой нагрузкой до 30 т, в течение более чем 5 лет эксплуатируются рельсы из стали марки 370 LHT, которые заменили уложенные здесь ранее рельсы из стандартной стали марки S1200 и высокопрочной стали марки R350 LHT. Наблюдения свидетельствуют, что рельсы из стали 370 LHT имеют значительно меньший износ и число обусловленных явлениями дефектов в сравнении с рельсами из стали R350 LHT. Применение новой технологии сварки рельсов из высокопрочной стали и стратегия превентивного текущего содержания обеспечили

существенное продление срока службы и сокращение ЛСС. Аналогичные результаты получены на Восточном побережье Австралии, где на ряде линий обращаются и угольные маршруты с осевой нагрузкой до 25 т, и обычные поезда. Здесь сопоставление поведения рельсов из стали марок 370 ЛНТ и R350 НТ подтвердило результаты, полученные в Норвегии.

На некоторых грузонапряженных железных дорогах США, Бразилии и Австралии, где допустимы осевые нагрузки до 40 т, все шире используют рельсы из заэвтектоидной стали с минимальной твердостью 400 НВ (по Бринеллю), причем в большинстве случаев одновременно внедряются технологии предупредительного шлифования. Исследования поведения рельсов из такой стали в условиях эксплуатации подтвердили их высокие показатели.

В настоящее время железные дороги со смешанным движением сталкиваются с такими же основными проблемами и требованиями, какие характерны для линий с тяжелыми режимами эксплуатации. Им также необходимо максимально повышать эксплуатационную готовность и провозную способность, но при этом максимально снижать эксплуатационные расходы. В связи с этим многие железные дороги будут вынуждены рассматривать целесообразность использования рельсов из высокопрочной стали.

Проведенные в Австрии испытания износоустойчивости рельсов на линии со смешанным движением показали, что после относительно непродолжительной эксплуатации (пропуска около 43 млн т брутто поездной нагрузки) сопротивляемость износу рельсов из стали трех марок существенно различалась. Рельсы из стали марок 400 УНС и 370 ЛНТ продемонстрировали снижение интенсивности износа рабочей грани на 62 и 34% соответственно в сравнении с рельсами из стали марки

R35 0НТ. Основываясь на результатах ранее проводившихся испытаний, можно предположить, что разница в износоустойчивости рельсов будет расти по мере наработки пропущенного тоннажа. Следует отметить, что рельсы из стали марки R260 в данных испытаниях не были задействованы даже в целях сравнения. Более ранние испытания рельсов из такой стали в тех же кривых показали, что их износ происходит в 3 раза быстрее, чем рельсов из стали R35 0НТ.

На рис. 3 сопоставлена сопротивляемость рельсов из стали трех марок возникновению дефектов, обусловленных контактно-усталостными явлениями. Результаты испытаний рельсов из стали марок 370 ЛНТ и 400 УНС показывают, что чем выше марка стали, тем продолжительнее период эксплуатации до появления первых трещин и, что более важно, тем ниже темп ухудшения их технического состояния, обусловленного развитием трещин. Они свидетельствуют также о существенном повышении сопротивляемости рельсов из стали марок 370 ЛНТ и 400 УНС образованию волнообразного износа.

### Оптимизация технологии шлифования рельсов

Любые рельсы не могут обеспечить высокие эксплуатационные показатели без соответствующего текущего содержания. Однако

рельсы из высокопрочной стали допускают применение более гибких и эффективных систем обслуживания и ремонта, поскольку низкий темп износа их рабочей поверхности позволяет сохранять допустимые параметры в течение более продолжительного периода в сравнении с рельсами из менее прочной стали. Это исключает необходимость частого шлифования для восстановления оптимального профиля головки рельса и обеспечения высокой эксплуатационной готовности.

Профиль рабочей поверхности новых рельсов далеко не всегда обеспечивает оптимальные параметры пятна контакта для большинства колес следующего по ним подвижного состава, а высокое сопротивление износу не позволяет профилю вновь уложенных высококачественных рельсов достаточно быстро принимать очертания, соответствующие усредненному изношенному профилю рабочей поверхности колес. В результате на наружных рельсах пологих кривых появляются относительно небольшие по площади пятна контакта с колесами, в которых вследствие этого возникают значительные напряжения. Располагаются эти пятна в области рабочей грани головки рельса, что провоцирует начало образования там трещин.

В связи с этим широкое применение получила технология изменения геометрических параметров рабочей грани рельса за счет

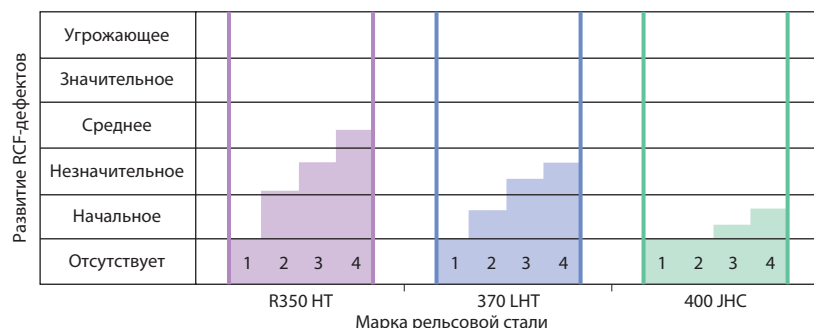


Рис. 3. Сопротивляемость рельсов из стали разных марок возникновению RCF-дефектов в зависимости от пропущенной поездной нагрузки (для четырех значений в диапазоне от 15 млн до 42 млн т брутто)



Рис. 4. Две рельсошлифовальные машины компании Speno с 48 камнями каждая, соединенные для выполнения шлифования за один проход

предварительного шлифования, которое обеспечивает снятие слоя металла определенной толщины с рабочей поверхности для увеличения площади пятна контакта колеса и рельса и соответствующего уменьшения напряжений в контакте. Для получения наилучшего результата новые износостойкие рельсы необходимо прошлифовать непосредственно после укладки для оптимизации условий их контакта с колесами и снижения вероятности появления дефектов до первого планового шлифования, проводимого для восстановления профиля головки рельса.

В рамках программы Innotrack разработаны рекомендации по шлифованию рельсов с целью снижения вероятности возникновения трещин на рабочих гранях. Для многих операторов инфраструктуры европейских железных дорог практика создания устойчивого к образованию трещин рабочего профиля рельсов путем соответствующего шлифования уже стала обычной.

Эффективность планово-предупредительной системы текущего содержания пути в значительной степени определяется превентивным шлифованием новых рельсов для придания им оптимального рабочего профиля или корректирующим шлифованием, которое выполняется через определенное время после начала эксплуатации при зарождении первых вызванных контактно-усталостными явлениями трещин с целью снятия поврежденного поверхностного слоя металла и восстановления, таким образом, заданного рабочего профиля. После этой операции превентивное шлифование рельсов проводится регулярно.

Каждый проход рельсошлифовальной машины (рис. 4) обеспечивает снятие некоторого поверхностного слоя металла с головки рельса с имеющимися в нем микротрещинами, не допуская тем самым их экспоненциального развития. Чем раньше проводится предупредительное шлифование, тем тоньше удаляемый слой металла и тем меньше времени

требуется на само шлифование. В идеальном случае шлифование должно выполняться за один проход машины с минимальными помехами для движения поездов. Таким образом, глубина проникновения дефектов до шлифования определяется толщиной слоя металла, который может быть снят за один проход, что, в свою очередь, зависит от рабочих параметров имеющейся в распоряжении службы пути рельсошлифовальной машины.

С учетом производительности большинства эксплуатируемых в настоящее время машин программа Innotrack рекомендует снимать с рабочей грани слой металла толщиной 0,6 мм, в центральной области поверхности катания — толщиной 0,2 мм. Эти величины являются ориентировочными и требуют уточнения с учетом фактического состояния рельсов, условий эксплуатации участка и производительности используемой рельсошлифовальной техники. Чем выше износостойкость рельсов, тем меньше толщина металла, подлежащего снятию, и тем дольше промежутки времени между процедурами планового шлифования.

В идеальном случае шлифование рельсов целесообразно сопровождать одновременными замерами глубины любых возможных дефектов на головке рельсов. Рельсошлифовальные агрегаты последнего поколения оснащены системами вихревой дефектоскопии и соответствующими регистрирующими устройствами. Основное назначение таких систем — гарантия полного удаления с поверхности головки рельсов дефектного слоя металла с целью максимального продления их срока службы. Помимо решения этой основной задачи, регулярное получение информации о проведенных циклах шлифования рельсов и толщине слоев удаленного металла помогает железнодорожным администрациям и операторам инфраструктуры

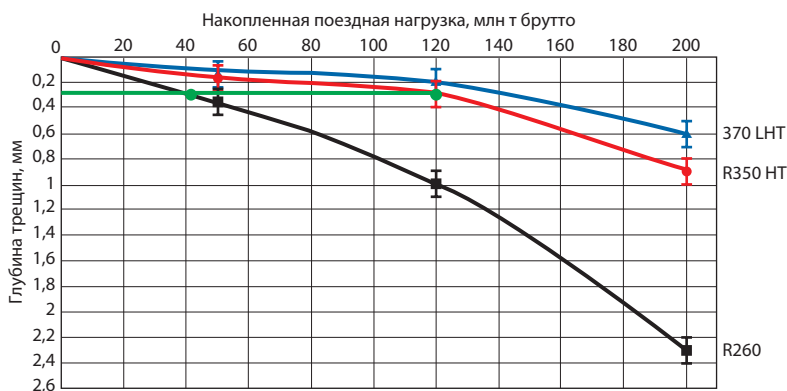


Рис. 5. Первое корректирующее шлифование рельсов из стали марки R260 необходимо после пропуска поездной нагрузки 40 млн т брутто, из стали марки R350 HT — 120 млн т

соответствующим образом выбрать режимы шлифования.

Проводимые железными дорогами на регулярной основе обследования пути теперь часто включают в себя оценку необходимости проведения шлифования (рис. 5). Рельсы из стали марки R350 НТ для получения заданного профиля рабочей поверхности и удаления трещин требуют в 2 раза меньше проходов шлифовальной машины в сравнении с рельсами из стали марки R260; при этом в случае одинаковых интервалов времени между процедурами шлифования толщина удаляемого слоя металла будет существенно меньшей. С рельсов из стали марок 370 ЛНТ и 400 УНС для удаления трещин контактно-усталостного происхождения и восстановления оптимального профиля требуется снимать слой металла еще меньшей толщины.

Следуя рекомендациям программы Innotrack и учитывая результаты других исследований, компания ProRail (оператор инфраструктуры железных дорог Нидерландов) приняла новую стратегию текущего содержания рельсов, которая предусматривает укладку в путь рельсов из стали с перлитной структурой и усовершенствованным профилем рабочей поверхности, обеспечивающим эффективный контакт с колесами, а также плано-предупредительную систему шлифования.

Компания остановила свой выбор на рельсах из стали 370 ЛНТ с профилем типа 54 Е5 АНС, предусматривающим увеличение радиуса выкружки рабочей грани в целях снижения вероятности образования и развития трещин в кривых любого, вплоть до 3000 м, радиуса. Принятая ProRail стратегия текущего содержания включает и превентивное шлифование.

### Моделирование LCC рельсов

Технические требования к элементам инфраструктуры и экономические аспекты не противоречат друг другу и при комплексном подходе обеспечивают устойчивое развитие любой железнодорожной системы. С этой точки зрения операторы инфраструктуры и поставщики компонентов путевой структуры заинтересованы в снижении затрат жизненного цикла.

К настоящему времени проведено множество исследований по количественной оценке экономических аспектов применения рельсов из стали новых марок и различных систем их текущего содержания и ремонта. Для этих исследований Федеральные железные дороги Австрии и отделение технической поддержки компании Voestalpine Schienen совместно с железнодорожным институтом технического университета г. Грац занимались

разработкой динамического программного обеспечения. Результаты анализа LCC применили в расчетах экономической эффективности использования рельсов из стали разных марок и с разными профилями рабочей поверхности в плане капитальных вложений и расходов на текущее содержание и ремонт в течение всего срока службы рельсов. За счет сопоставления LCC рельсов с разными параметрами компании инфраструктуры имеют возможность принимать экономически обоснованные решения по инвестициям и текущим расходам.

Анализ LCC, проведенный в рамках программы Innotrack, подтвердил экономическую эффективность использования рельсов с термоупрочненной головкой на сетях железных дорог европейских стран и позволил спрогнозировать экономию расходов по этой статье на грузонапряженных линиях в размере до 50%. Такая экономия эквивалентна 7% общих расходов на всю путевую структуру. Проведенные расчеты свидетельствуют, что окупаемость изначально более высоких капитальных затрат на рельсы с упрочненной головкой достигается достаточно быстро — в некоторых случаях в течение 2 лет после укладки.

*G. Girsch, W. Schoech. Railway Gazette International, 2010, № 8, p. 45–48; материалы компании Speno (www.speno.ch).*

## НОВОСТИ

### Новый тоннель в горах Швейцарии

На участке Графенорт — Энгельберг линии Люцерн — Энгельберг узкоколейной железной дороги Zentralbahn в Швейцарии в декабре 2010 г. открыт тоннель длиной 4043 м с перепадом высот между порталами 395 м. Ввод в эксплуатацию тоннеля, максимальный уклон в котором равен 105‰, позволил отказаться от кружного пути с уклоном до 246‰ (здесь использовалось зубчатое сцепление), благодаря чему время

следования поездов сократилось на 14 мин. Строительство тоннеля заняло 10 лет и обошлось в 174,5 млн швейц. фр. Ход работ был серьезно нарушен вследствие катастрофического наводнения в 2005 г.

### Бактерии чистят балласт

Британская исследовательская группа Environmental Scientifics и компания Waste Management Total Solutions в феврале 2011 г. завершили испытания по очистке балласта

методом биодеградации. Метод основан на использовании специально культивируемых бактерий, разлагающих нефтесодержащие отходы с выделением углекислого газа и воды. В ходе испытаний путь, загрязненный такими отходами, опрыскивали смесью катализаторов и поглотителей, в результате чего концентрация углеводородов в балласте значительно снижалась. Достоинствами метода являются также уменьшение глубины проникновения загрязнителей в балласт и возможность контроля за их содержанием.