

Технические и экономические факторы улучшения состояния пути

Исследования в ходе реализации финансируемого Европейским союзом проекта Innotrack (Innovatie Track System) по совершенствованию конструкции железнодорожного пути, его текущего содержания и ремонта начались в 2006 г. и завершились в январе 2010 г. итоговым совещанием участников — представителей служб пути железных дорог и компаний — поставщиков компонентов путевой структуры и средств механизации путевых работ. Сформулированные по результатам исследований рекомендации, в частности по снижению расходов на текущее содержание и ремонт пути, доведены до персонала соответствующих служб европейских железных дорог.

Общие расходы железных дорог на инфраструктуру весьма высоки. Стоимость текущего содержания, ремонта и замены компонентов путевой структуры со шлифованием рельсов, контролем состояния стрелочных переводов, глухих пересечений и т. п. в сумме составляет 50% общих текущих расходов железных дорог (не считая расходов на организацию движения поездов).

Вследствие этого любые шаги в направлении повышения экономической эффективности и конкурентоспособности железных дорог должны осуществляться с учетом влияния расходов на текущее содержание и ремонт пути на эти показатели.

Проект Innotrack

Именно в целях снижения расходов на инфраструктуру были реализованы широкомасштабные многоаспектные исследования по проекту Innotrack, профинансированные в рамках 6-й исследовательской программы Европейской комиссии.

Одной из основных задач проекта являлись анализ и определение путей сокращения затрат жизненного цикла (Life Cycle Cost, LCC) верхнего строения пути и его важнейших компонентов — рельсов, стрелочных переводов и глухих пересечений. В работах по проекту принимали участие представители 38 организаций, разбитые на несколько рабочих групп, которые проанализировали существующие методы содержания пути, предложили ряд инноваций и по завершении работ выработали рекомендации по снижению LCC за счет экономии денежных средств, расходовемых при строительстве и текущем содержании инфраструктуры.

На каждом из направлений исследования начинались с определения наиболее крупного носителя затрат для каждого компонента инфраструктуры. Статистические данные по отказам, неисправностям и связанным с ними расходам тщательно анализировались на совещаниях экспертов. Их основные причины были изучены и сопостав-

лены на общеевропейском уровне. Это, в частности, позволило сформировать объемную базу данных о различиях в отчетной политике железных дорог разных стран Европы и определить направления ее совершенствования.

Располагая надежными данными о наиболее крупных носителях затрат в путевом хозяйстве, участники проекта Innotrack смогли разработать инновационные решения по содержанию пути и методы их внедрения. Во многих случаях это потребовало глубокого технического анализа и научных исследований на самом современном уровне. При этом необходимо учесть, что в данном случае инновации включают не только «материальные» продукты, но и усовершенствованные технологические процессы, реализуемые, например, за счет внедрения современных методов логистического управления, инспектирования и организации путевых работ, а также новые методологические решения, например усовершенствованную классификацию пути и подвижного состава, скорректированные нормы текущего содержания пути и методики расчета LCC.

В рамках проекта Innotrack перенесены выше вопросы изучались по отдельности и в комплексе.

Анализ и оценка

Изначально было установлено, что любые производные решения обязательно потребуют оценки с точки зрения системной перспективы. Вместе с тем в процессе исследований стало очевидным, что многие из изучаемых проблем в подавляющем большинстве случаев уже подвергались детальному техническому анализу. Это стало возможным благодаря, во-первых, вовлечению в проект Innotrack специалистов по инфраструктуре еще на начальной стадии и, во-вторых, выбранной методике подготовки отчетов по проекту.

Структура проекта Innotrack

| Подпроект | Куратор |
|--|---|
| SP0 Общее управление | МСЖД |
| SP1 Эксплуатационные требования | Оператор инфраструктуры железных дорог Великобритании Network Rail (NR) |
| SP2 Основание пути | Национальное общество железных дорог Франции (SNCF) |
| SP3 Стрелочные переводы и глухие пересечения | Оператор инфраструктуры железных дорог Германии DB Netz |
| SP4 Рельсы и сварка рельсов | Компании Corus и Voestalpine |
| SP5 Логистика текущего содержания и ремонта пути | Компания Alstom |
| SP6 Расчеты LCC и оценка соответствия принципам RAMS | Оператор инфраструктуры железных дорог Германии DB Netz |
| SP7 Доведение результатов исследований до пользователей и обучение персонала | МСЖД |

Общие результаты исследований в рамках проекта отражены в 141 отчете, 15 из которых оформлены в виде инструкций и содержат подробные рекомендации по практическому внедрению инноваций. Все без исключения отчеты подверглись анализу участниками проекта, а 40 из них анализировались специалистами железных дорог — членами рабочей группы по путевому хозяйству МСЖД, которые внесли около 100 замечаний по качеству отчетов.

Последующий анализ результатов исследований выполнили специалисты Европейской ассоциации железнодорожной промышленности (UNIFE). С целью проверки качества исследований они провели около 20 научных экспертиз. Все-

го, по оценке участников проекта Innotrack, на анализ результатов исследований и их независимую экспертную оценку потрачено более 100 тыс. евро. Несколько отчетов по проекту уже представлены на профильных конференциях или опубликованы в научных журналах.

В дополнение к техническому анализу и экспертизе подготовленные рекомендации тщательно изучались с точки зрения сокращения LCC и соответствия принципам повышения надежности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS). Также возникла необходимость рассмотрения таких логистических аспектов реализации рекомендаций, как источники финансирования для различных объектов железнодорожной инфраструктуры, нормативно-правовая база, а также технологии путевых работ и методы доставки материалов к местам их выполнения.

Оценка LCC того или иного материального объекта требует изучения продолжительности срока службы до расчетного отказа с учетом того, что расходы на приобретение и установку в путь некоторых компонентов невелики, но их дальнейшее текущее содержание требует значительных затрат, а отказы создают реальную угрозу для дальнейшей нормальной эксплуатации железных дорог.

В настоящее время на железных дорогах Европы службы, ответственные за работоспособность инфраструктуры, используют несколько различных подходов к расчету и анализу LCC, однако рекомендации по проекту Innotrack подразумевают единую методику, выработанную на основе сопоставления различных решений. Предложенный в рекомендациях подход предусматривает классификацию технических показателей, рассмотрение структуры затрат, сопоставление каждого предложения с «исходной конфигурацией» и расчет потенциальных выгод от сокращения LCC.

Структура проекта Innotrack приведена в таблице.

Основание пути

В качестве практического примера использования результатов исследований по проекту Innotrack можно рассмотреть применение результатов подпроекта SP2, относящегося к основанию пути и методам улучшения характеристик земляного полотна, работы по которому начались с обзора современных технологий упрочнения грунтов.

В частности, рассмотрена эффективность использования свай, изготавливаемых методом нагнетания известково-цементного раствора в заранее пробуренные наклонные скважины (рис. 1). Эта технология предусматривает производство работ «с поля» и практически не оказывает отрицательного влияния на движение поездов. Кроме того, ее удельная стоимость существенно ниже, чем традиционной технологии забивки свай, поскольку у последней от 50 до 60% расходов связано с производством земляных работ, а у первой эти работы сведены почти к минимуму.

Другой из рассмотренных вариантов упрочнения земляного полотна с помощью свай предусматривает их вертикальную забивку по оси



Рис. 1. Подготовка к обустройству наклонной сваи на одной из линий железных дорог Швеции (источник: Innotrack)

пути или с обеих его сторон без снятия верхнего строения пути.

В результате исследований оба варианта упрочнения признаны эффективными и рекомендованы для более широкого внедрения в практику. Детальное описание этих методов приведено в отчете D2.2.5 и в эксплуатационных рекомендациях D2.2.8.

Тщательно изучена также эффективность применения геотекстильных материалов. Для этого были проведены лабораторные испытания и математическое моделирование (отчет 2.2.9), а также натурные испытания по упрочнению с помощью этих материалов переходных зон земляного полотна (отчет D2.2.7). Описание технологии применения геотекстиля обобщено в практических рекомендациях D2.2.6.

Стрелочные переводы и глухие пересечения

Для обеспечения эффективного и надежного перевозочного процесса обязательным условием является соответствующее содержание стрелочных переводов. Этот важнейший компонент верхнего строения пути подвергается высоким нагрузкам, которые могут обусловить отказ или выход перевода из строя. В связи с этим в проекте Innotrack самое серьезное внимание уделено разработкам и исследованиям по совершенствованию стрелочных переводов, а также глухих пересечений. В целях изучения эффективности некоторых предлагаемых усовершенствований в конструкциях стрелочных переводов и глухих пересечений проведено их моделирование. В частности, исследовались оптимизация ширины колеи, профиля рельсов и колес, жесткости оснований переводов и пересечений, а также применение новых материалов.

Для изучения механизма износа отдельных элементов стрелочных переводов и глухих пересечений разработан специальный ме-

тод математического моделирования. Исходными данными для него являются результаты замеров геометрических параметров пути на стрелочных переводах, глухих пересечениях и колес подвижного состава, а суть метода заключается в моделировании многократно повторяющихся проходов подвижного состава с целью получения данных о контактных нагрузках и их влиянии на геометрические параметры пути. Полученная при этом информация дает возможность рассчитать пластические деформации рельсов в переводах и пересечениях, темп их износа и изменения геометрии, что в свою очередь позволяет получить вводные для дальнейшего динамического моделирования.

Как полагают, разработанные методики будут полезными для дальнейшего совершенствования конструкции стрелочных переводов и глухих пересечений и их технической эксплуатации. Результаты исследований по данным вопросам и практические рекомендации приведены в отчетах D3.1.5 и D3.1.6.

Марки рельсовой стали и механическая обработка рельсов

Подпроект SP4 посвящен выбору марок рельсовой стали, сварке и шлифованию рельсов. В нем в первую очередь сделан обзор современных методов текущего содержания рельсов, который показал их существенное различие на железных дорогах разных стран Европы. На основании данных этого обзора и исследований, проведенных в последнее время, специалисты, участвовавшие в проекте Innotrack, разработали две специальные рекомендации.

Первая из них, D4.1.5, касается использования рельсов из стали разных марок. Рекомендуются применение стали современных марок, указанных в недавнем дополнении к документу МСЖД 721, где отра-

жены последние изменения в требованиях, предъявляемых к технико-эксплуатационным характеристикам рельсов, имевшие место со времени выхода первой редакции данного документа.

Выполненные исследования позволили установить, что во многих случаях на кривых большого диаметра уже применяются рельсы из более упрочненной стали, чем это предписывалось первой редакцией документа МСЖД 721. Новая рекомендация включает также предложение по выбору стали наиболее приемлемых марок исходя из изученных механизмов повреждаемости рельсов и ее интенсивности.

Вторая рекомендация, D4.5.5, содержит указания по оптимизации методики шлифования рельсов, включая переход от корректирующего шлифования к периодическому плано-предупредительному. Одним из преимуществ такого перехода является возможность оптимизации логистики этого процесса и повышение эффективности использования высокопроизводительного и дорогостоящего оборудования.

«Правило минимальных действий»

В связи с тем что на железных дорогах безопасность движения поездов остается главным приоритетом, существенная экономия средств может быть достигнута за счет снижения расходов на проведение инспекций и текущего содержания пути без прекращения движения с обязательным обеспечением требуемой надежности и исключением неисправностей. Поэтому в проекте Innotrack самое серьезное внимание уделено концепции, известной как «правило минимальных действий», которая направлена на оптимизацию норм текущего содержания пути с сокращением числа выходов на обслуживаемые участки персонала и техники, не-

обходимых для поддержания путей структуры на должном техническом уровне.

Новые нормы текущего содержания пути и научное обоснование «правила минимальных действий» изложены в рекомендации D4.2.6. Одновременно с описанием последних достижений в совершенствовании текущего содержания и ремонта пути в ней приведены указания по реализации данного правила, включающие предотвращение или минимизацию ряда распространенных явлений, ухудшающих состояние пути.

Смятие головки рельса. На основе математического моделирования и собранных натурных данных о поверхностных дефектах рельсов на железных дорогах Нидерландов сформулированы рекомендации по обнаружению данного дефекта, мерам его предупреждения и конструктивным новшествами, препятствующим возникновению и развитию смятия.

Волнообразный износ рельсов. Результаты исследований по проекту Innotrack позволили разработать научно обоснованную и практически подтвержденную процедуру определения критериев допустимого волнообразного износа рельсов, в которой учтены как возрастание уровня излучаемого при движении поездов шума, так и вероятность возникновения дефектов контактно-усталостного происхождения при качении колес по рельсам в условиях наличия волнообразного износа последних.

Износ рельсов. На базе данных, полученных в ходе испытаний и при математическом моделировании, подготовлены практические рекомендации по управлению износом, учитывающие такие, например, факторы, как климатические условия, выбор материала рельсов и др. Кроме того, разработаны методики ресурсных испытаний, прогнозирования и измерения износа.

Дефекты изолирующих стыков. Разработаны методики определе-

ния допустимой величины просадки изолирующих стыков в реальных условиях эксплуатации, а также инструкция по определению зазоров в стыках и выбору материала изолирующих прокладок и накладок. Кроме того, по результатам математического моделирования предложены усовершенствования конструкций изолирующих стыков.

Ползуны на поверхности катания колес подвижного состава. Разработаны методика определения допустимых ударных нагрузок от колес на рельсы, а также практические рекомендации по предотвращению излома рельсов.

Распространение трещин в головке рельсов. В связи с тем что силы взаимодействия колес с рельсами точно измерить не представляется возможным, на основе результатов математического моделирования предложена вероятностная методика расчета темпа развития трещин в головках и прогнозирования излома рельсов.

Дефектоскопия рельсов

В связи с возрастанием в последние годы числа трещин на рабочих поверхностях рельсов, возникающих и развивающихся вследствие явления контактной усталости при качении, в исследованиях по проекту Innotrack было уделено самое серьезное внимание инновационным методам автоматизированного инспектирования пути для надежного обнаружения и последующего устранения дефектов, ведущих к ухудшению технического состояния рельсов.

Первоначально был составлен обзор оборудования и технологий разных методов неразрушающего контроля, четыре из которых отобраны для соответствующих лабораторных испытаний. К ним относятся следующие виды дефектоскопии: вихретоковая, предусматривающая использование излучателя, приемного устройства и универсального вихретокового решетча-

того датчика; электромагнитная с применением датчиков рассеянного потока; магнитная, основанная на измерении поля переменного тока (ACFM); ультразвуковая с применением фазированных антенных решеток. Кроме того, было проведено обследование рельсов в реальных эксплуатационных условиях по методам магнитному, электромагнитному (с акустическим измерительным преобразователем) и видеоконтрольному (с записью результатов и дистанционным анализом полученных данных). Результаты исследований приведены в двух отчетах: D4.4.2 – лабораторные и статические испытания и D4.4.3 – испытания в эксплуатационных условиях.

В отношении автоматизированного обследования стрелочных переводов и глухих пересечений первоначальными целями исследований являлись обнаружение дефектов и выявление причин их возникновения. Теоретически эта работа может быть продолжена в направлении автоматизации обнаружения дефектов на самой ранней стадии зарождения в целях своевременного принятия мер для исключения их развития, приводящего к нарушению нормального эксплуатационного процесса.

Проведение серии лабораторных испытаний на стрелочных переводах, имеющих электропривод как на переменном, так и на постоянном токе, позволило точно определить параметры, подлежащие контролю. В отчете D3.3.4 приведены несколько методик диагностики и обнаружения дефектов в рельсах стрелочных переводов и глухих пересечений.

Перспективные конструкции пути

В расчете на перспективу в рамках проекта Innotrack были исследованы потенциальные возможности сокращения ЛСС путевой структуры за счет применения двух совершенно различных инновационных ее



Рис. 2. Опытный участок путевой структуры типа VBEST на одной из линий железных дорог Великобритании (источник: Innotrack)



Рис. 3. Обустройство опытного участка путевой структуры компании Cogus на одной из линий железных дорог Великобритании (источник: Innotrack)

конструкций. По этим конструкциям определены условия, при которых их использование сможет принести экономический эффект.

Одной из перспективных конструкций является путь на плитном основании (Embedded Slab Track, VBEST; рис. 2), разработанный компанией Balfour Beatty (Великобритания) несколько лет назад. К настоящему времени такой путь уже уложен на нескольких экспериментальных участках. Новая конструкция предусматривает замену рельсов традиционного профиля на массивные рельсы, имеющие близкое к прямоугольному поперечное сечение и утапливаемые в железобетонное основание через упругие подкладки. При этом рельс имеет непрерывающееся опирание на плиту и не требует применения точечных рельсовых креплений. Результаты исследования путевой структуры VBEST приведены в отчете D2.3.4.

Второй инновационной конструкцией является путь со сдвоенными шпалами компании Cogus (Великобритания), в котором предусмотрено использование жесткой рамы, опирающейся на распределяющую нагрузку платформу (рис. 3). При этой конструкции допускается доставка звеньев верхнего строения пути к месту укладки в сборе. Во время укладки пути верхняя стальная рама может переда-

вать нагрузку непосредственно на земляное полотно независимо от состояния нижней платформы в период затвердевания бетона. Описание конструкции новой путевой структуры компании Cogus и ее достоинства приведены в отчете D2.3.5.

Практическое применение разработок

Принимая во внимание масштабы исследований и разработок, осуществленных за четырехлетний период реализации проекта Innotrack, выше дано представление лишь о нескольких важнейших направлениях выполненной работы. Не нашли отражения, например, разработки по классификации основания пути, результаты испытаний рельсов, совершенствование приводных механизмов и замыкающих устройств стрелочных переводов, создание баз данных по характеристикам конструктивных элементов верхнего строения пути и подвижного состава. Вместе с тем все результаты работ по проекту опубликованы и имеют весьма значительный объем.

Большинство материалов по проекту Innotrack уже сейчас доступно пользователям на интернет-сайте www.innotrack.eu. Краткое описание результатов всего проекта будет опубликовано в ближайшее время в заключительном техническом отчете.

В октябре 2009 г. были проведены два семинара для изучения наиболее перспективных технических решений. Еще один семинар по вопросам материально-технического обеспечения путевых работ и расчетам LCC состоялся в январе 2010 г. В 2010 г. запланировано организовать несколько учебных курсов для персонала служб пути железных дорог.

Участники проекта Innotrack приступили также к проведению рабочих встреч с представителями операторов инфраструктуры с целью содействия и координации внедрения полученных результатов. На этих встречах обсуждаются планы сотрудничества между разработчиками и пользователями и согласовывается перечень инновационных проектов, реализация которых наиболее целесообразна на железных дорогах Европы.

Учитывая положительные отклики на результаты проекта Innotrack, уже сейчас есть уверенность, что использование этих результатов в ближайшие несколько лет принесет железным дорогам европейских стран значительный экономический эффект, что подтверждается выполненными расчетами.

B. Paulsson. Railway Gazette International, 2010, № 1, p. 48–52; материалы по проекту Innotrack (www.innotrack.eu).