

Измерительный поезд IRIS 320

На современных железных дорогах, где есть линии как с тяжеловесным грузовым, так и с интенсивным пассажирским движением, в том числе высокоскоростным, необходимы технические средства, позволяющие регулярно и с высокой точностью измерять параметры инфраструктуры, чтобы оценивать ее состояние и своевременно принимать меры по устранению выявленных дефектов и отклонений для обеспечения безопасности движения поездов. Обладают такими средствами и железные дороги Франции.

Эволюция практики измерений

На сети Национального общества железных дорог Франции (SNCF) контроль качества пути при помощи путеизмерительных вагонов начали осуществлять с 1930 г. Целями были изучение параметров качения и вписывания в кривые «высокоскоростных» вагонов (в то время к таким вагонам относились имеющие конструкционную скорость 120 км/ч) и на этой основе принятие мер для сокраще-

ния числа сходов подвижного состава с рельсов. Инженер А. Мозен (A. Mauzin), работая на железной дороге PO (впоследствии он занимал должность главного инженера SNCF), в 1931 г. разработал свой первый опытный образец путеизмерительного вагона. Этот вагон имел полностью механические датчики, а запись результатов измерений велась с помощью графических самописцев.

Пять вагонов такого типа, в честь их создателя получивших название Mauzin (рис. 1), до се-

го времени применяются для измерения геометрических параметров пути во Франции и даже иногда выезжают за границу. Снятие параметров осуществляется механическим путем, мало изменившимся с 1950-х годов. Начиная с 1970 г. появились электрические датчики, которые позволили специалистам служб путевого хозяйства обрабатывать полученную информацию. К сигналам об основных параметрах рельсовой колеи добавились дополнительные сигналы о плане и профиле пути. Путем сложения и фильтрации результатов измерений стало возможным определять дефекты большой длины, которые влияют на безопасность и комфорт, особенно на высокоскоростных линиях. Другим вкладом была разработка «синтетической системы обработки», которая позволила, с одной стороны, автоматически определять категоричность качества пути (эти оценки мало зависят от условий контроля благодаря расчетам средних величин и типовых отклонений) и, с другой стороны, автоматически выявлять превышение пороговых величин по десятку параметров.

В 1981 г. после начала регулярного движения электропоездов семейства TGV (на первых этапах — со скоростью до 260 км/ч) для оценки динамической составляющей взаимодействия пути и подвижного состава на высокоскоростных линиях стали раз в две недели проводить акселерометрический контроль. Портативная автономная измерительная схема, состоящая из двух ускоренимеров вертикального и горизонтального направления, устанавливалась внутри кузова измерительного вагона. Такая практика была приемлемой до тех пор, пока отдельные линии не соединились в единую разветвленную сеть высокоскоростных сообщений. В этих условиях результаты измерений стали недостаточно представительными, так как изме-



Рис. 1. Путеизмерительный вагон Mauzin

ряемые параметры варьировались в зависимости от типа поезда и места выполнения измерений. Это привело к созданию в 1989 г. измерительного вагона *Mélusine* (рис. 2), который был рассчитан на функционирование при движении с высокой скоростью, благодаря чему его можно было включать в составы поездов TGV между моторным и первым прицепным вагоном. Первоначальное измерительное оборудование было дополнено ускорениемерами для измерения боковых ускорений тележек. Кроме того, система навигации позволяет точно определять местоположение дефектов. Проводимый затем перевод данных в цифровой формат с последующим полностью автоматическим определением превышения пороговых величин повышает качество информации, получаемой с помощью этого измерительного вагона.

Новый измерительный поезд

Принятие руководством SNCF проекта измерений на высокой скорости (*Mesure à Grande Vitesse, MGVS*) положило начало созданию нового измерительного поезда IRIS 320 (рис. 3, 4 и 5), использование которого позволило бы сократить расходы, упростить организацию и снять ограничения по выполнению измерений. Действительная ценность проекта достигается за счет концентрации всех необходимых измерений в одном месте, автономности и реверсивности поезда, что повышает общую эффективность его использования из-за быстрой доставки на нужную линию и участок, и, наконец, благодаря возможности осуществлять измерения при движении с высокой скоростью. Последний фактор является самым важным при исследовании динамического взаимодействия пути с высокоскоростным подвижным составом и весьма благоприятен с эксплуатационной точ-



Рис. 2. Путеизмерительный вагон *Mélusine* в составе высокоскоростного поезда TGV

ки зрения, так как измерения можно проводить в интервалах между рейсами регулярных поездов, не создавая помех ни их движению, ни организации работ по техническому обслуживанию и ремонту инфраструктуры. Поезд способен проверять состояние до 200 тыс. км инфраструктуры (путь, контактная сеть, системы сигнализации) обыч-

ных и высокоскоростных линий в год при движении со скоростью до 320 км/ч.

Интеграция многочисленных и наиболее эффективных измерительных систем на одном поезде позволяет с большей полнотой оценить состояние всех компонентов инфраструктуры, проанализировать характер выявленных дефек-



Рис. 3. Измерительный поезд IRIS 320

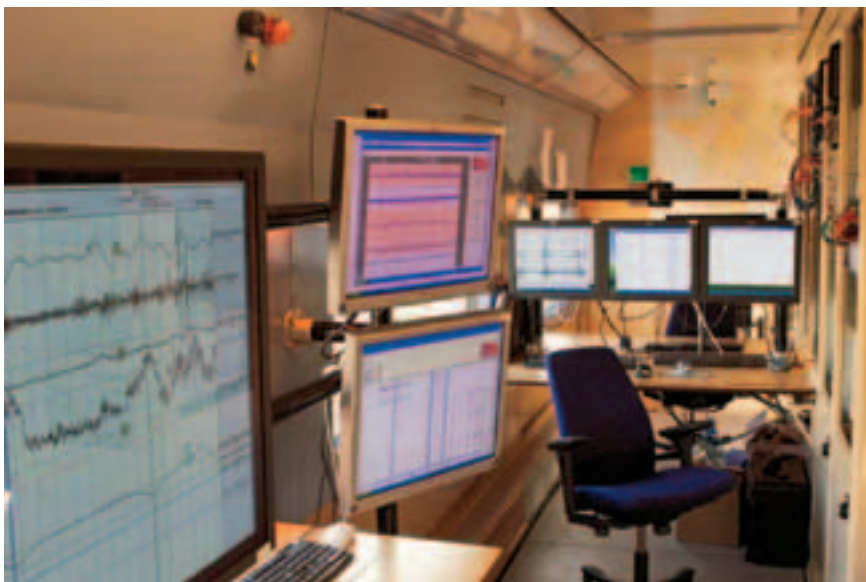


Рис. 4. Путьевая лаборатория поезда IRIS 320

тов и отклонений и лучше понять их причины.

Поезд IRIS 320, созданный на базе трехсистемного высокоскоростного электропоезда TGV Réseau 4530 длиной 200 м и введенный в эксплуатацию в июне 2006 г., стал сердцевинной глобальной процессу развития прогностической системы содержания инфраструктуры.



Рис. 5. Модули электронной аппаратуры поезда IRIS 320

На завершающем этапе этого развития можно будет предсказывать первоочередные места и виды ремонта исходя из роста частоты возвращения поезда на эти места и при помощи системного анализа (природа дефектов, методы корректировки), в котором используется синергетический эффект совокупности всей информации.

Поезд сформирован из двух концевых моторных вагонов и восьми промежуточных сочлененных секций. Секция R1 по функциям и набору оборудования идентична измерительному вагону *Mélusine*, в секциях R2 и R3 размещены лаборатории, оснащенные аппаратурой для измерений с регистрацией и обработкой их результатов, в секциях R4 и R5 расположены столовая с баром и конференц-зал; секции R6, R7 и R8, предназначенные для проживания персонала (семи специалистов и двух проводников), имеют 10 отдельных купе и оснащены всей необходимой бытовой техникой, санитарно-техническим оборудованием и утварью. Аппаратура поезда включает 150 датчиков и 20 видеокamer. Основными поставщиками аппаратуры были компании MER MEC и IMAGEMAP.

Путь

Первым объектом инфраструктуры, который измеряется с помощью измерительного поезда, является, естественно, путь. Первоначальной потребностью было обеспечение безопасности движения, плавности хода и, следовательно, комфорта для пассажиров. Новой целью стало сокращение числа и объема тяжелых видов технического обслуживания и ремонта за счет оценки и контроля их эффективности. Такой качественный скачок является амбициозной задачей в связи с тем, что балластный путь очень трудно как моделировать, так и измерять. Пространственное расположение и величины параметров, которые необходимо контролировать, варьируются от нескольких миллиметров до сотен метров, и каждый параметр находится в развитии в диапазоне от «хорошего» до «неудовлетворительного», причем эта оценка зависит от вида подвижного состава и скорости его движения.

Следовательно, под оптимизацией содержания пути следует понимать правильный выбор приоритетных объектов для вмешательства и совершенствование планирования и организации путевых работ, а также достижение сложного компромисса между теоретическим идеалом и реальными расходами на содержание. В будущем необходимо улучшить понимание и интерпретацию комплекса данных. Эта миссия возложена на экспертов отдела исследования пути технического департамента SNCF.

Дополнительные системы

В настоящее время качество пути оценивается прежде всего исходя из его геометрии под нагрузкой, которая дает представление о статическом состоянии путевой структуры при помощи более чем десятка таких базовых параметров, как положение в плане и профиле, ши-

рина колеи, радиусы кривых и т. п. После превышения определенной скорости движения прибавляется дополнительная составляющая взаимодействия пути и подвижного состава, которая учитывает динамическое поведение поезда на пути за счет измерения ускорений на тележках и кузове. Эти динамические измерения производятся на высокоскоростных линиях каждые две недели.

Среди новшеств, примененных на измерительном поезде IRIS 320, наибольший интерес представляют следующие:

- возможность измерения подуклонки рельсов. Эта опция позволяет контролировать соотношение (или фазовое смещение) между радиусом кривой и подуклонкой. Фазовое смещение между этими двумя величинами вызывает боковые колебания кузова, что отрицательно сказывается на динамических характеристиках подвижного состава, поэтому его следует устранять. Среди других достоинств следует отметить выбор вида ремонта (абсолютная или относительная выправка по уровню), расчет перекосов при любой базе и возможность моделирования динамического поведения вагона с известной колесной базой;

- оценка дефектов большой и очень большой длины для определения наиболее эффективной организации путевых работ на линиях со скоростью движения поездов более 160 км/ч;

- измерение вертикальных ускорений в дополнение к поперечным. Знание соотношения величин этой пары ускорений обеспечивает лучший анализ природы дефекта;

- оснащение ускорениемерами трех секций поезда, что, помимо резервирования источников информации, позволяет оценивать уровень комфорта как на обычных, так и на высокоскоростных линиях.

Объединение этих систем дает возможность разнообразить и уточнить критерии технического

обслуживания и ремонта. В настоящее время операции технического обслуживания и ремонта четко регламентированы. Эта регламентация в определенной степени эффективна, чтобы гарантировать безопасность движения, но она очень жесткая и не позволяет оптимизировать время проведения и объем тех или иных операций в зависимости от имеющихся условий. Например, устранение даже относительно небольшого нарушения геометрических параметров, обнаруженное при динамических измерениях, должно стать приоритетным, если величина соответствующего ему ускорения и, следовательно, силового воздействия подвижного состава на путь велика и может впоследствии привести к быстрой деградации пути.

Несмотря на выигрыш в полосе пропускания (и, следовательно, в точности измерений), измерительные системы «геометрия» и «взаимодействие» малочувствительны к коротким дефектам, длина которых меньше 2–3 м. С учетом того, что эти точечные дефекты с течением времени переходят в длинные, которые трудно исправлять, оборудование поезда IRIS 320 было дополнено следующими тремя измерительными системами: «ускорения на буксах колесных пар», «шум качения» и «дефекты на поверхности катания рельсов».

Объединение указанных методик позволяет определять природу и критичность таких коротких дефектов, как точечные перекосы, изгибы рельсов, дефекты в сварных швах и т. п., и, следовательно, своевременно приступить к осуществлению необходимого вмешательства. Так, объектом специфических исследований является анализ высокочастотных (порядка 5 кГц) колебаний букс колесных пар. Одновременное визуальное наблюдение дефектов на поверхности катания рельсов при помощи телекамер позволяет оценить активность, а сле-

довательно, и потенциальную опасность таких сверхточечных дефектов, как углубления (созданные раздавливанием частиц балласта, пробуксовки и т. п.) или отслаивания в местах концентрации напряжений (в слое дополнительного металла, нанесенного при электродуговой наплавке для корректировки износа рельсов). Изучение шума при качении повышает правильность анализа и расширяет поле исследований. Интенсивные экстренные торможения зачастую вызывают механические повреждения средней тяжести, и частотный анализ позволяет идентифицировать такие явления, как короткий волнообразный износ или шероховатость рельсов.

Эта возможность осуществлять исправление таких коротких дефектов имеет место только тогда, когда каждый параметр становится объектом точно определенного во времени (корректировка времени вмешательства) и в пространстве (местоположение в поезде по направлению движения, скорость и т. п.) исследования, а также благодаря тому, что аппаратура и программное обеспечение поезда IRIS 320, распределенные по всем его системам, обеспечивают высокий уровень локализации и синхронизации и объединяют комплект информации в одну базу данных с пространственным разрешением, измеряемым в миллиметрах.

Принципы измерения геометрических параметров

Основным ограничением при высокоскоростных измерениях являлось присутствие на борту старых поездов измерительных устройств, находящихся в непосредственном контакте с наземным оборудованием. Примерами таких устройств могут служить выдвижные вспомогательные тележки с измерительными роликами для «прощупывания» рельсов. В новом по-

езде во всех системах было решено использовать современные методы бесконтактных измерений, основанные на применении осветительных лазеров и приемных видеокамер, жестко укрепленных под кузовами вагонов. Лазер испускает тонкий световой пучок, который высвечивает профиль рельса, а камера запечатлевает освещенный участок. Такой метод измерений позволяет точно рассчитать вертикальное и горизонтальное местоположение исследуемого объекта, а также величину отклонения головки рельса относительно точки отсчета. В то же время это эффективное решение обуславливает серьезные проблемы при измерениях на низкой скорости, т. е. на той, на которой лазеры необходимо гасить из-за риска повреждения окуляров видеокамер.

После того как зафиксирована позиция каждой рельсовой нити, остается выбрать метод измерения: со стрелой или инерционный.

Наиболее классическим является метод измерения с использованием симметричной стрелы, но его принципиальным неудобством является невозможность обеспечения одинаковой чувствительности ко всем дефектам. Определенные дефекты в зависимости от соответствующей им длины волны или маскируются, или усиливаются, иначе говоря, такой метод является одновременно и «близоруким», и «дальнозорким». С его помощью можно точно описать явление только в узком диапазоне длины волны.

При измерении по методу симметричной стрелы центральный датчик смещается. Чем больше асимметрия, т. е. отношение длин плеч измерения (l/L), тем более стабильной является реакция системы и лучше корректируется ее «близорукость», однако при этом необходимо увеличивать точность измерения амплитуд отраженных сигналов. На практике отношение l/L не должно превышать 5.

Точность измерений зависит, естественно, от чувствительности датчиков, однако немаловажным фактором является жесткость опорной конструкции для отсчета в различных плоскостях измерений. Рамы вагонов Mauzip могут считаться недеформируемыми, но этого нельзя сказать о кузовах поездов TGV, которые являются сравнительно гибкими. Следовательно, необходимо измерить их деформации (вертикальные, поперечные и кручения) для синхронной корректировки данных по стреле. В поезде IRIS 320 применяется сложная система типа симметричной стрелы с тремя секциями, снабженная устройством для измерения деформаций и соответствующей корректировки данных в реальном времени. Достоинством системы является то, что точность измерений не зависит от скорости движения (однако с учетом скорости, критической по безопасности лазера).

В поезде IRIS 320 используется другая концепция на основе метода инерционной централи, основанного на применении ускоренимеров и гироскопов, способных описывать свою траекторию в пространстве. Доступ к компонентам высокоточных приборов, которые ранее были только в распоряжении военных, открыл путь к более простым для интеграции технологиям. Теоретически они намного более эффективны с точки зрения точности и расширения поля восприятия, что выражается в более чистом видении коротких дефектов, в то время как видение длинных (и очень длинных) дефектов и так полностью отвечало требованиям для высокоскоростного движения, а также соответствующим европейским нормам.

Инерционная централь и два блока лазер/камера, которые контролируют обе нити пути, жестко смонтированы на тележке. Знание траектории пути и угла, а также относительного расположения двух

рельсов позволяет пересчитать все прежние геометрические параметры, к которым добавляются подуклонки и перекосы по отношению к любой точке отсчета.

Инерционный метод измерения менее сложен для внедрения и использования, имеет меньшее число необходимых составляющих компонентов, и для него требуется разместить оборудование только в одной секции поезда. Между тем у него есть и недостаток: хотя его характеристики превосходны для измерений при движении с достаточно высокой скоростью, при малой и средней скорости движения помехи при измерениях низкочастотными ускоренимерами ограничивают оценку длинных и очень длинных дефектов. Что касается чувствительности к точечным дефектам, то ограничивающим фактором является быстрое действие камер. Они были специально разработаны для поезда IRIS 320 и имеют максимальную скорость съемки 400 кадров/с, что позволяет при скорости до 360 км/ч выполнять измерения через каждые 25 см пути.

Перспективы

В поезде IRIS 320 предусмотрены и другие функции, относящиеся к окружающей верхнее строение пути среде (габаритам, профилю балластной призмы и т. п.) или к внешним факторам, оказывающим влияние на процесс измерений: температуре рельсов, присутствию влаги в зоне контакта колес и рельсов (это изменяет коэффициент сцепления и, следовательно, динамическое поведение вагона) и т. п.

Первой из этих дополнительных функций стало определение наличия существенной разницы давления (dP). Говоря проще, это измерение разницы давления между боковыми стенками вагона, позволяющее лучше интерпретировать поперечные ускорения кузова, которые в данном случае появляются

не из-за дефектов пути, но отражают влияние воздушной волны при скрещивании со встречным поездом или при входе в тоннель на высокой скорости.

С 2007 г. поезд IRIS 320 получил возможность визуально распознавать определенные виды путевой структуры: уравнильные приборы на мостах, стрелочные переводы и их конструктивные элементы (сердечники и т. п.). Синхронизация между информацией о характерных точках пути и локализацией результатов измерений обеспечивает более точное определение их относительного местоположения, чем по базе данных. Между прочим, поезд не рассчитан ни на измерение зазоров в стыках (так как он будет обращаться только на бесстыковом пути), ни на обнаружение металлургических дефектов в рельсах. Второй случай для пути современных высокоскоростных линий не очень актуален, а поиск технических средств для этих измерений представляет проблему. Для применения метода ультразвуковой дефектоскопии необходимо, чтобы излучатель-приемник находился в непосредственной близости от рельса, а связность между ними реализуется через тонкую водяную пленку. Это ограничивает скорость измерения 80 км/ч. В среднесрочной перспективе предусмотрено использовать другой метод (не отвечающий в полной мере действующим требованиям, но теоретически применимый при движении с высокой скоростью), который находится в завершающей стадии лабораторных испытаний и основан на применении излучений в диапазоне значительно более высоких частот.

Системы сигнализации

Методика инспектирования оборудования систем сигнализации на борту поезда отличается от принятой для пути. На физическом уровне системы измерений зависят от

типа принятой на данной линии системы сигнализации. Сигналы последних в основном можно сопоставлять с сигналами в нормальном режиме работы. Они не только мало изменяются по времени в обычных ситуациях, но и дефекты в них определены более четко, и для подтверждения их наличия или отсутствия требуется получить один из двух ответов — «хорошо» или «плохо». С другой стороны, прохождения информации также специфическое: зарегистрированные на твердом носителе данные, перед тем как поступить в оперативную технико-эксплуатационную службу, используются экспертами на уровне региона.

Другое отличие заключается в слабой периодичности контроля объектов систем сигнализации. Исключения представляют линии, оснащенные системами с передачей данных путь/машина, такими, как TVM 300 и TVM 430, и в таком случае многие объекты могут быть проверены только «с земли». Таким образом, цели измерений «сигнализация» весьма специфические.

Функцией поезда IRIS 320 является инспектирование всего комплекса оборудования систем сигнализации, которое участвует в диалоге между поездом и землей, с проверкой выдачи цифровых сигналов. Чтобы не загружать линейный персонал по техническому обслуживанию и ремонту излишней работой в условиях интенсификации движения поездов, ему следует передавать информацию только об обнаруженных отказах и неисправностях. Анализ будет полным только после интеграции всей информации из базы данных, дающей сведения о местоположении и характеристиках оборудования и пороговых величинах; все это отражается в графическом виде с сопоставлением результатов, полученных в ходе инспекционной поездки, с величинами, соответствующими нормальному режиму работы и инди-

видуальными для каждого объекта. Следует отметить, что комплекс данных из «наземных» информационных постов остается доступным для рассмотрения сторонними экспертами.

Объекты измерений подразделяются на два больших вида: представительные непрерывные системы сигнализации, результаты измерений которых выдаются в графической форме, и точечные системы, при инспектировании которых отражается состояние отдельных объектов.

Точечные системы

Наблюдения за системами сигнализации точечного типа не так сложны, как, например, за рельсовыми цепями. Обычное обращение поездов обеспечивает определенный уровень самоконтроля. Сведения, которыми поезд IRIS 320 снабжает персонал ремонтно-эксплуатационных служб, служат в качестве дополнительной информации о состоянии аппаратуры, используемой для более точной его оценки при профилактических работах в целях предупреждения отказов.

Для контроля скорости движения поездов по путевым приемопередатчикам (KVB) поезд IRIS 320 показывает, в частности, относительное местоположение, мощность эмиссии земля/поезд и когерентность ответного сигнала приемопередатчика. Целью является идентификация функционирования приемопередатчиков на пределе соответствия и уточнение природы наблюдаемых погрешностей.

Помимо тех, которые предназначены для контроля KVB в эксплуатации, на борту поезда имеются две другие новые системы. Они обеспечивают контроль и расшифровку сигналов в контурах фазовых скачков и точечных излучателях информации (EPI).

Довольно курьезным является то, что основная трудность, кото-

рую осталось преодолеть, касается давно устаревшей системы локомотивной сигнализации Crocodile. Если измерение напряжений не вызывает особых трудностей, то для измерения высоты по соображениям вибропрочности нельзя ни использовать классические щеточные блоки переменной высоты, как на эксплуатируемом подвижном составе, ни разместить оборудование под рамой моторной тележки, которая имеет неподходящие для этого характеристики рессорного подвешивания.

Наконец, было выбрано решение разместить оборудование на промежуточной тележке между промежуточными секциями поезда. Для удовлетворения требований по точности было необходимо откорректировать прогиб буксовой ступени рессорного подвешивания, т. е. установить дополнительную поперечную балочку для выполнения измерений по методу стрелы (высота верхней точки «крокодила» по отношению к уровню рельсов двух нитей).

Непрерывные системы

В значительной степени благодаря осуществлению более полных, точных и частых непрерывных измерений при инспекционных поездах IRIS 320 была довольно быстро достигнута оптимизация технического состояния и содержания устройств сигнализации, а также сокращено число опозданий поездов в регулярной эксплуатации.

Непрерывному измерению подвергаются, главным образом, рель-

совые цепи типа универсальный модуль (UM), которые применяются в системах сигнализации TVM 300 и TVM 430 на высокоскоростных линиях. Здесь объединены две вспомогательные системы.

Первая система реализует непосредственные измерения тока короткого замыкания (I_{cc}) на частотах 1700, 2000, 2300 и 2600 Гц. Это соответствует характеристикам тока, циркулирующего в рельсовых цепях системы сигнализации перед передней колесной парой.

Целью этих измерений является проверка того, что локальная частотная плотность не превышает заданное пороговое значение и что отсутствуют чрезмерные помехи в результате индуктивной наводки от других путевых цепей впереди и позади поезда, а также от соседнего пути. К этому целесообразно добавить сравнение результатов текущих и предыдущих измерений. Основное преимущество поезда IRIS 320 по сравнению с существующими измерительными вагонами Helene или IES состоит в том, что ток I_{cc} определяется одновременно в голове и хвосте поезда, что позволило наконец контролировать промежуточную эмиссию в рельсовых цепях и идентифицировать такие неполадки в их функционировании, как утечки в электроизолирующих стыках.

Вторая система параллельно контролирует активность поперечного импеданса (Z_r), в качестве которого могут выступать компенсационные конденсаторы или конструктивные элементы изолирующих стыков. Использование данных двух

новых видов (I_{cc} и Z_r) в сочетании с высокой частотой обращения поезда быстро уменьшило число инцидентов и, соответственно, сократило число и длительность задержек поездов, обусловленных отказами рельсовых цепей.

Поезд IRIS может также измерять обратный тяговый ток частотой 50 Гц в каждой рельсовой нити в голове и хвосте состава. В результате появилась возможность определения чрезмерной неуравновешенности электронных потоков, которые вызывают такие ухудшения в работе оборудования, как появление эквипотенциальных связей, т. е. изменений состояния, способных вызвать нарушение правильного функционирования и повреждение компонентов системы сигнализации. Уже реализуемые иногда в случаях необъяснимых местных неполадок, эти измерения должны стать на поезде IRIS 320 регулярными, чтобы сделать очередной шаг на пути к профилактическому техническому обслуживанию и ремонту.

Наконец, чтобы распространить инспектирование объектов систем сигнализации на все линии, на измерительном поезде IRIS 320 предусмотрено установить дополнительное оборудование, отсутствующее на первых этапах его эксплуатации. Оно предназначено для измерения импульсных рельсовых цепей повышенного напряжения (ITE) и рельсовых цепей преездной сигнализации.

J.-M. Descusses. Le Rail, 2006, № 132, р. 34–38; материалы SNCF.