

Новые технологии оценки состояния земляного полотна и балластного слоя

На состоявшейся в 2003 г. технической конференции Американской инженерной ассоциации по текущему содержанию и ремонту железнодорожного пути (AREMA) в Чикаго были представлены два доклада, в которых освещались вопросы использования службами пути георадаров и датчиков проводимости грунтов для получения информации о самых сложных явлениях, происходящих в балласте и земляном полотне.

Георадарные технологии

Большинство характеристик, относящихся к работоспособности, надежности и темпу износа элементов путевой структуры, можно связать с состоянием подрельсового основания. Традиционные методы измерения геометрических параметров верхнего строения пути и рельсовая дефектоскопия дают

представление о состоянии подрельсового основания и имеющихся отклонениях от норм, но их недостаточно для выявления причин тех или иных явлений. Поэтому железные дороги начинают использовать георадарные технологии в качестве метода «просвечивания» слоев путевой структуры под верхним строением.

Георадар (GPR) используется для оценки состояния находящихся под рельсошпальной решеткой балластного, подбалластного слоев и земляного полотна. Это устройство направляет радиолокационные импульсы в подрельсовое основание и измеряет обратные сигналы, которые отражаются от границ между слоями грунта с различными электромагнитными свойствами, основным из которых является диэлектрическая проницаемость, зависящая от плотности, влажности и материала.

Для использования на железных дорогах георадарное оборудование монтируют на транспортном средстве с комбинированной ходовой частью (рисунок).



Мобильная георадарная установка

Определенный зазор между излучателями и поверхностью катания рельсов позволяет непрерывно вести измерения при движении с обычной скоростью. Конфигурация антенны и технология съемки оптимизированы с целью учета влияния лежащих в пути рельсов и шпал. Антенны-излучатели расположены над обоими концами шпал, а также над осью пути, что позволяет отслеживать изменения характеристик основания пути в поперечном направлении. Испытания, финансируемые железнодорожной компанией Burlington Northern and Santa Fe, Федеральной железнодорожной администрацией (FRA) и возглавляемые корпорацией Geo-Recovery Systems, продемонстрировали способность GPR выявлять различия между слоями грунта, а также обнаруживать зоны переувлажнения и загрязнения балласта. Эффективность метода была доказа-

на при исследовании извлеченных из-под шпал образцов грунта в проблемных зонах, выявленных георадарными измерениями.

Отмечено удовлетворительное качество георадарных изображений, полученных с помощью радиолокационного оборудования, и выработанных на их основе с применением соответствующего программного обеспечения рекомендаций по устранению слабых мест подрельсового основания.

Георадарные технологии являются полезным дополнением традиционно используемых для полевых исследований основания пути методов, таких, как проходка поперечных траншей, испытания коническим пенетрометром, бурение опытных скважин и т. п., с помощью которых оцениваются характеристики путевой структуры, например жесткость, и определяются тенденции их изменений, поскольку применение GPR дает непрерывную картину подрельсового основания и позволяет быстро выявлять потенциально опасные зоны для последующего детального изучения и принятия корректирующих мер.

GPR легко распознает изменения свойств (в частности, влажности) материалов основания пути. Вода обладает наибольшей диэлектрической проницаемостью среди компонентов путевой структуры, поэтому в зонах с ее наличием диэлектрическая проницаемость основания повышается, давая более четкое отражение сигнала по сравнению с зонами меньшего увлажнения. Кроме того, по характеру георадарных изображений можно отличать слои балласта сравнительно крупных фракций от слоев земляного полотна с более мелкими частицами. Аналогично этому есть явное различие между отражениями сигнала от слоев грунта в земляном полотне (в верхних слоях грунт обычно имеет более крупнозернистую структуру). В случае загрязнения балласта его нормальная слоистость прерывается включениями мелкозернистых материалов. Изучая картину георадарных изображений, можно определить степень загрязнения балластного слоя.

Некоторые заключения

Георадарные изображения дают полную и непрерывную картину профиля основной площадки земляного полотна, а по результатам обработки изображений можно оценить состояние несущей части земляного полотна.

В числе определяемых параметров и явлений можно указать:

- толщину слоя балласта под шпалой;
- влажность и плотность различных слоев балласта;
- накопление воды вследствие неудовлетворительного дренажа;
- размягчение балластного слоя в результате переувлажнения;

- неоднородность и деформации подстилающих слоев и изменения состояния основания пути в поперечном направлении и по глубине (с помощью нескольких параллельно работающих устройств GPR);

- степень загрязнения балласта.

Одновременная регистрация состояния пути в трех точках (по концам шпал и по оси пути) имеет существенные достоинства, значительно сокращая время занятия пути, и обеспечивает точную корреляцию съемки по месту.

Мультисенсорные системы

Были рассмотрены также перспективы применения мультисенсорных мобильных систем мониторинга состояния верхнего строения пути и подрельсового основания. Оборудование таких систем монтируется на подвижной платформе и предназначено для выявления в реальном масштабе времени отклонений верхнего строения и основания пути от заданных параметров. Георадары и датчики удельной электропроводности грунта дают изображения путевой структуры в поперечном разрезе и данные по ее увлажнению.

До последнего времени отсутствие технологий, способных отслеживать и точно отображать состояние верхнего строения и основания пути, не давало возможности полностью понять особенности работы путевой структуры и найти способы улучшения ее конструкции. В связи с этим насущной стала потребность в мобильных мультисенсорных технических средствах, которые могли бы выполнять съемку пути и накапливать точные данные о тенденциях изменения его геометрии и общего состояния. Своевременное обеспечение лиц, ответственных за принятие решений, полноценными данными повышает вероятность того, что необходимые по характеру и объемам работы по текущему содержанию и ремонту пути, включая подъемку, подбивку и выправку, будут проведены своевременно и тем самым будет устранена необходимость в более дорогих реконструктивных работах.

Целью исследований были определение оптимальной конфигурации системы и подбор датчиков для мониторинга состояния пути в горизонтальной и вертикальной плоскости и получения значимых данных в реальном масштабе времени, на основе которых можно было бы рассчитать программу текущего содержания и ремонта пути. Полученная информация накапливалась в базе данных GIS.

В ходе исследований результаты сейсмических, гравитационных и геофизических изысканий были сопоставлены с результатами георадарной съемки и информацией о проводимости грунта на шести участках реальной линии, находящихся на насыпях в долинах двух крупных рек на территории штата Западная Виргиния, и подкреплены результатами выборочного бурения. Каждый участок имел длину

360 м. Данные по положению пути, на основании которых принимаются решения о проведении выправочных работ, получены с помощью высокоточной системы глобального позиционирования (HADGPS). Эта работа была частью долгосрочного исследования смещений земляного полотна и пути неразрушающими методами, поскольку на опытных участках такие смещения наблюдались уже давно.

В качестве первого шага долгосрочных исследований для каждого участка методами гравитационным, сейсмическим и по удельному сопротивлению грунта установлены основные геофизические данные (эти работы выполнила привлеченная компания Gecoh). Гравитационные данные были необходимы для определения глубины залегания скального основания и отслеживания изменений массовой плотности грунта вследствие нарушений компактности и смещений. Поскольку сейсмические технологии в принципе близки к георадарным, характеристики подповерхностных слоев, полученные с помощью каждого метода, оказались сопоставимыми.

Обсуждение результатов

Поскольку увлажненные глины, составляющие основу грунта земляного полотна на опытных участках, ослабляют электромагнитные волны, поверхность раздела балласта и основания пути легко различима. В то же время балластный, подбалластный слои и верхний слой основной площадки различаются нечетко. Указанные слои в этом случае характеризуются наличием примесей гранита и известняка (в старом балласте), золы уноса, шлака и естественных грунтов. Верхний слой состоит из ослабленного балласта, преимущественно гранитно-щебеночного, следующий по составу является переходным от балласта к смеси балласта, частиц золы и некоторого количества глины, а третий слой представляет собой смесь старой золы и глины, лежащую на естественном глинистом грунте.

С использованием данных профилирования по методу удельных сопротивлений выявлены изменения величин проводимости между слоями путевой структуры на разной глубине. Так, наименьшая проводимость имеет место в верхнем слое, который состоит преимущественно из незагрязненного балласта. Таким образом различают характерный гранитный балласт с большим числом пор и естественные грунты с преобладанием глины, смешанные со старым балластом и, возможно, со шлаком.

Прибор типа EM-31, измеряющий среднюю проводимость грунта на глубину 6 м, показал общую (обратную) зависимость удельного сопротивления на четырех из шести опытных участках. На остальных участках этот прибор оказался не в состоянии четко различить балластный и увлажненный подбалласт-

ный слои. Поэтому предстоит провести дальнейшие исследования удельного сопротивления и проводимости с использованием других датчиков в контролируемых условиях с целью выявления наиболее подходящего для определения уровня увлажнения путевой структуры с акцентом на верхний слой балласта.

Понижение или смещение балластного слоя, вероятно, является результатом периодических пополнений балласта чистым материалом для поддержания должного уровня пути с последующей его осадкой. В процессе текущего содержания путь также может быть смещен в поперечном направлении. Земляное полотно железных (впрочем, и автомобильных) дорог, проложенных в долинах рек, зачастую подвержено сдвигам грунта из-за изменения уровня вод, в том числе подземных.

Гравитационные и сейсмические съемки необходимо проводить периодически в рамках долгосрочных исследований природы и поведения подрельсового основания, связанного со значительными смещениями грунта.

Изменение плотности материала является фактором как смещений основания пути, так и дефектов земляного полотна, которые влияют на скорость сейсмических и гравитационных волн.

Результаты исследований с применением сейсмических, гравитационных методов и георадарных технологий имеют много общего и в сочетании с данными по характерной для конкретной местности проводимости грунта и результатами сверхнизкочастотных измерений дают надежную основу для оценки характеристик верхнего строения и основания пути.

На одном из участков для укрепления грунта земляного полотна использовали шпальные клетки на болтах, подпорные железобетонные стенки и сваи из вертикально забитых рельсов. Зона наибольших смещений здесь имела место между отметками 137-го и 293-го метра.

Данные, полученные с помощью мультисенсорных систем, обеспечивают хорошее понимание характера и поведения верхнего строения, основания пути и несущего грунта. Совместное изучение информации, собранной в реальном масштабе времени от множества датчиков, включая георадары, данных по проводимости грунтов и от системы HADGPS (весь этот инструментарий размещен на мобильном транспортном средстве) может стать ценным средством для управления текущим содержанием и ремонтом пути. Предстоит разработать эффективное программное обеспечение и вычислительные средства для комплектования базы данных мультисенсорных систем, их интегрирования и интерпретации в реальном масштабе времени.