

тизации и целенаправленного использования персонала в сфере услуг.

Практика показывает, что системы, направленные на более эффективное выполнение услуг для пассажиров, становятся все сложнее, в то время как пользоваться ими пассажиру становится все проще.

Ясно также, что при планировании, эксплуатации и текущем обслуживании такой системы, как

станция метро, должен учитываться весь комплекс сложной техники связи, управления и регулирования, чтобы станция могла выполнять также функции центра по оказанию услуг пассажирам.

*H.-H. Dubenkropp, A. Nuszkiwicz. Glasers Annalen, 2000, № 8, S. 455 – 465.*

## Путеизмерительный вагон EM 250

*Качественный контроль состояния пути на всей сети железных дорог невозможен без точного измерения его геометрических параметров. В путевом хозяйстве Федеральных железных дорог Австрии (ÖBB) для этого используется путеизмерительный вагон типа EM 250.*

Вагон EM 250 оснащен интегральной инерционной системой бесконтактных измерений типа Arplanix POS/TG и, помимо контрольно-измерительной аппаратуры, имеет компьютеризированную систему обработки и регистрации данных с помощью соответствующего технического и программного обеспечения, включая навигационную систему с GPS-поддержкой. Он обеспечивает высокую точность и повторяемость результатов измерений и регистрации геометрических параметров пути при движении со скоростью до 250 км/ч. Измерения охватывают положение пути в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также профиль рельсов.

На железных дорогах Австрии в рамках реинвестиционных программ ежегодно укладывают около 200 км нового пути, выполняют подбивку примерно 1800 км пути на балласте и заменяют порядка 450 км рельсов. В силу значительности привлекаемых для данных работ финансовых ресурсов, а также по соображениям безопасности эффективная и объективная оценка состояния пути является обязательной. Периодичность проведения такой оценки может составлять от одного до четырех раз в год в зависимости от максимальной скорости движения на соответствующих участках.

Путеизмерительный вагон EM 250 (рис. 1) является одним из наиболее передовых технических средств в системе инспектирования и текущего содержания пути.

### Оснащение вагона

Путеизмерительный вагон EM 250 выполнен на базе стандартного четырехосного пассажирского вагона категории RIC на тележках типа Minden-Deutz 524, оснащенных дисковыми тормозами с тремя дисками на каждой оси. На одной из тележек комплект оборудования электромагнитного рельсового тормоза заменен специальной измерительной рамой (рис. 2), на которой смонтированы аппаратура лазерной системы измерения ширины колеи, лазерно-телевизионной системы измерения и видеосъемки профиля



Рис. 1. Путеизмерительный вагон EM 250

рельсов по всему поперечному сечению, а также гиродатчики и акселерометры инерционной измерительной системы IMU. Поскольку вагон рассчитан на движение с максимальной скоростью 250 км/ч, он герметизирован и оснащен системой кондиционирования воздуха.

Оборудование вагона может получать питание как от поездной электрической магистрали с напряжением, соответствующим одной из четырех принятых в Европе систем электроснабжения, так и от дизель-генератора, установленного в вагоне. Во время стоянок питание может также осуществляться от контактной сети (15 кВ, 16 2/3 Гц однофазного переменного тока) или от стационарных розеток (380 В трехфазного переменного тока). Гарантировано бесперебойное аварийное питание измерительных систем в течение 1 ч (потребляемая мощность более 6 кВт).

В вагоне имеется операционное помещение, в котором расположены панели управления и периферийное оборудование, а также три 19-дюймовых (50-сантиметровых) стеллажа для компьютеров, необходимых для обработки результатов измерений. Здесь достаточно места для размещения двух автоматизированных рабочих мест сотрудников, выполняющих измерения.

Находящаяся рядом так называемая презентационная комната (рис. 3) оснащена аппаратурой для вывода наиболее важных результатов измерений на экраны с разрешающей способностью 1024×768 пикселей с целью ознакомления с ними персонала, занимающегося текущим содержанием пути, во время измерительных поездок. Кроме того, в вагоне имеются офисное отделение, мастерская, купе с тремя спальными местами и санитарно-технический узел.



Рис. 2. Измерительная тележка

### Бортовая компьютерная сеть

Измерительная система вагона EM 250 состоит из компьютерной сети, функционирующей в операционных средах Windows NT и UNIX и объединенной межсетевым протоколом TCP/IP со скоростью обмена данными 100 Мбит, а также периферийного оборудования, рассчитанного на 24 пользователя. Основой системы является главный компьютер EM1, который в реальном времени по специализированным каналам собирает информацию от подсистем, определяет источник ее поступления, хранит данные и передает их на другие рабочие места для визуализации.

Алфавитно-цифровую информацию, необходимую для функционирования вагона EM 250 (например, о заданном и фактически пройденном расстоянии), EM1 выводит на дисплей в операционном помещении. Все команды на распечатку информации проходят через вторичную сеть и сервер печати для поддержания нагрузки в сети сбора данных на возможно более низком уровне.

Результаты измерений отслеживаются и контролируются компьютером EM2, в функции которого входит параметризация заданий, согласование заданного и фактически определенного расстояния (синхронизация по местоположению) и непрерывный мониторинг параметров, что необходимо для поддержания высокого качественного уровня измерений.

Используется также стационарная вспомогательная база данных по инфраструктуре, работающая в автоматическом режиме (вмешательство оператора требуется только в экстренных случаях) и содержащая необходимую для синхронизации информацию о всех линиях и узлах, формирующих сеть ÖBB, расстоянии между определенными пунктами, максимальной допустимой скорости движения поездов и местоположении постов системы GPS. Текущая линейная база генерируется из общей базы данных по инфраструктуре для каждого конкретного цикла измерений и передается на вагон EM 250 по телекоммуникационной сети.

На автоматизированном рабочем месте EM2 анализируются результаты измерения геометрических параметров пути и износа рельсов, которые выводятся на дисплей в презентационной комнате и здесь же одновременно распечатываются на четырех лазерных принтерах в формате А3. Эти данные позволяют

лицам, несущим ответственность за текущее содержание пути и принимающим участие в измерительных поездках, немедленно знакомиться с документами и принимать в случае необходимости неотложные меры.

На автоматизированном рабочем месте EM-DB измеренные параметры с привязкой к обследуемому участку пути проверяются на точность определения местоположения; в случае необходимости вносятся необходимые коррективы. После проверки данные без вмешательства пользователя вводятся в базу данных по инфраструктуре по мере установления связи между вагоном EM 250 и внутренней сетью связи Intranet Федеральных железных дорог Австрии.

Такая связь между бортовой сетью вагона и сетью ÖBB устанавливается бортовым устройством маршрутизации через быстродействующую беспроводную локальную коммуникационную сеть (LAN) при проходе определенных точек, распределенных по территории Австрии. Таким образом результаты измерения параметров пути могут быть переданы в базу данных по инфраструктуре вечером того же дня. Кроме того, зарегистрированные специалисты компьютерных центров ÖBB, ответственные за выполнение программ текущего содержания пути, в свою очередь через локальную сеть имеют доступ к бортовым автоматизированным рабочим местам путеизмерительного вагона для внесения изменений в эти программы.

Имеется также система видеонаблюдения с камерами, установленными по обоим концам вагона. Она получает информацию от бортового компьютера EM1 о точном местоположении обзереваемого участка пути в данный момент. Генерируемую системой дополнительную визуальную информацию, содержащую картину ситуации на пути, можно в случае надобности использовать, например, для оценки состояния растительности или выявления недостаточной видимости в зонах переездов.

### Измерительные системы

Главный компьютер EM1 интегрирует в единую систему следующие подчиненные системы.

#### Система оптического измерения ширины колеи

Система OGMS корпорации Plasser American построена на принципе лазерной триангуляции. В ней применены два лазера, два зеркала и две видеокамеры. При работе системы обеспечивается снятие показаний по рабочим граням двух рельсов на высоте 14 мм ниже УГР.



Рис. 3. Презентационная комната

#### Инерционная система измерения геометрических параметров

Инерционная система TGMS компании ENSCO используется для измерения положения пути в профиле и плане, возвышения наружного рельса и радиуса кривых. Большая часть акселерометров и гиродатчиков этой системы установлена в кузове вагона. Поэтому между кузовом вагона и осью колесной пары предусмотрены компенсационные датчики для учета переменных факторов.

Эта измерительная система была установлена на вагоне в 1993 г. в качестве резервирующей, но впоследствии оставлена на борту в целях обеспечения большей полноты измерений и как источник дополнительных данных для проверки достоверности их результатов.

#### Инерционная измерительная система POS/TG

В этой современной измерительной системе корпорации Arplanix (рис. 4) применена наиболее передовая технология, заимствованная из морских и авиа-

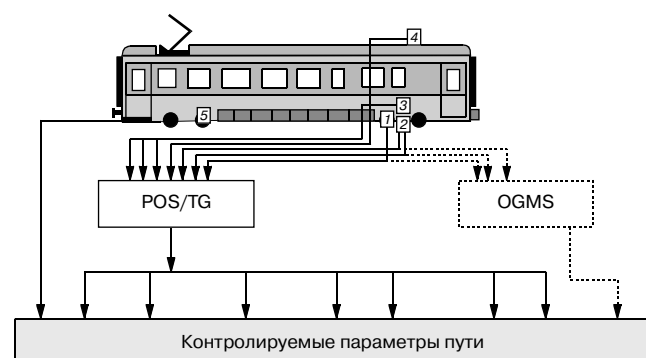


Рис. 4. Компонентная схема системы POS/TG:

1 — декодер; 2 — датчики системы OGMS; 3 — датчики системы IMU; 4 — антенна системы GPS; 5 — датчики волнообразного износа рельсов

ционных навигационных систем, но адаптированная для измерения геометрических параметров пути. Для этого существующая система измерения ширины колеи OGMS была объединена с инерционной системой измерения IMU, снабженной легкими гиродатчиками и смонтированной непосредственно на измерительной раме. Переходные и вращательные ускорения подвергаются двойному интегрированию для расчета местоположения измерительного вагона на пути.

Следует отметить, что присущие системе отклонения создают погрешность по смещению, которая со временем возрастает в квадратичной прогрессии. Кроме того, на фиксированную систему координат воздействует центробежное ускорение при движении в кривых, что приводит к неточным измерениям возвышения наружного рельса.

По этой причине в системе POS/TG информация системы IMU объединяется с информацией дифференцированной глобальной спутниковой системы позиционирования GPS для повышения точности измерения геометрии пути и определения географического местоположения. Этим обеспечиваются надежность и высокая точность решения навигационных задач в сочетании с непрерывной обработкой результатов измерения геометрии пути при движении со скоростью от 5 до 300 км/ч и одновременным определением местоположения измерительного вагона в координатах WGS-84 (широта, долгота и высота), а также скорости и ориентации (даже в отсутствие сигнала от спутника). Полученные координаты можно использовать для инспектирования отдельных объектов железнодорожной инфраструктуры или всей сети линий.

Таким образом, данная система включает:

- инерционную систему измерений IMU со встроенными силиконовыми акселерометрами и оптико-

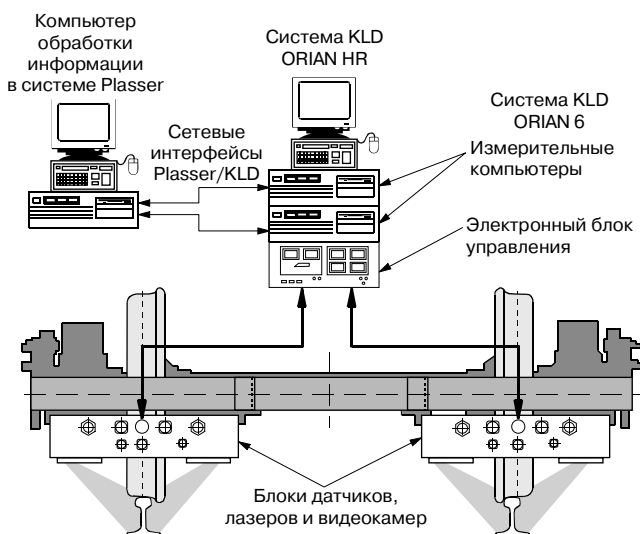


Рис. 5. Архитектура системы ORIAN 6 + HR

волоконными гиродатчиками, смонтированными непосредственно на измерительной раме;

- приемное устройство Trimble 4000 системы GPS, интегрированное в измерительный компьютер и снабженное системой Everest Option во избежание каких-либо помеховых влияний от многоканального распространения сигнала. Для обеспечения точности в системе используются передаваемые по RTCM-протоколу корректировочные сигналы службы OMNISTAR, принимаемые устройством AGPS 132.

Фильтры Калмана, интегрированные в программное обеспечение измерительных компьютеров, используются для фильтрации необработанных сигналов на трех длинах волн низкочастотного диапазона в реальном времени. Это, в свою очередь, позволяет строить кривые продольного профиля и положения пути в плане на регистрирующей бумажной ленте.

#### Оптическая система контроля состояния рельсов

Измерительно-аналитическая система ORIAN 6 + HR корпорации KLD Labs (рис. 5) была установлена на вагоне EM 250 в апреле 2003 г. В систему интегрированы функции анализа профиля и конусности в реальном времени.

Система ORIAN 6 + HR выполнена на базе четырех лазеров класса 3b, работающих в диапазоне невидимой части спектра. Эти лазеры в течение менее чем 100 мкс сканируют растровое поле лазерных точек на внутренней и наружной сторонах каждого рельса.

Две камеры измерительной подсистемы ORIAN 6 направлены на каждый рельс, обеспечивая его отображение от головки до подошвы с разрешением  $1024 \times 768$  пикселей. Растровое поле лазерных точек представлено в виде изображения в разных оттенках серого цвета с линиями разной толщины в зависимости от светоотражающей способности поверхности разных участков рельса. Программное обеспечение измерительной системы обрабатывает результаты сканирования по длине этих линий с шагом 0,3 мм при максимальной яркости. Это дает два изображения на рельс, которые в реальном времени преобразуются в уравновешенную картину поперечного сечения рельса от основания через шейку до поверхности катания.

На сети ÖBB измерение профиля рельсов производится через каждые 2,5 м с максимальной частотой 25 Гц. При благоприятных условиях в подсистеме ORIAN 6 обеспечивается стандартное отклонение величиной 0,05 мм при повторяющихся измерениях. Готовые изображения можно использовать для определения и визуализации параметров износа рельсов, таких, как вертикальный и боковой износ головки,

комбинированный износ, а также подуклонки и дефекты прокатного происхождения на поверхности катания.

Две камеры измерительной подсистемы ORIAN HR используются для анализа технического состояния рельсов. Они направлены на головку каждого рельса в зоне контакта колеса — рельс и обеспечивают в этих зонах изображение примерно из 500 точек с интервалом 0,15 мм.

На сети ÖBB зоны контакта колеса — рельс сканируются через каждые 5 м с максимальной частотой 11 Гц. При благоприятных условиях в подсистеме ORIAN HR обеспечивается стандартное отклонение величиной 0,036 мм при повторяющихся измерениях. Результаты измерений можно использовать для расчета эквивалентной конусности.

Окна блоков лазеров и видеокамер вагона EM 250 во время работы защищены от воздействия дождя, пыли или снега обдувающим потоком сжатого воздуха, а в транспортном режиме — заслонками с электромеханическим приводом.

#### *Аналоговые технологии*

Аналоговые измерительные сигналы в последнее время теряют свою значимость и постепенно заменяются цифровыми с передачей результатов измерений на центральный сервер. Однако в некоторых случаях аналоговые технологии могут быть весьма полезными, например при определении и регистрации среднеквадратических значений вертикальных ускорений букс подвижного состава при оценке состояния пути с точки зрения волнообразного износа рельсов или при отслеживании технического состояния рельсовых стыков. Соответствующие параметры по-прежнему измеряют с использованием аналоговых технологий, затем результаты измерений преобразуют в цифровой вид и визуализируют в виде диаграмм, отображающих геометрию пути на картах записи геометрии пути.

### **Измеряемые параметры и их анализ**

#### *Параметры геометрии пути*

Как правило, специалисты путевого хозяйства для описания геометрии пути пользуются не менее чем пятью параметрами. В их число входят:

- ширина колеи;
- продольный профиль;
- положение пути в плане;
- возвышение наружного рельса кривых;
- перекос.

Различные измерения, выполняемые обычно в ходе работ по текущему содержанию пути, не дают

такого точного описания обнаруженных отклонений геометрических параметров, как инерционная система путеизмерительного вагона EM 250, обеспечивающая построение пространственных кривых, которые точно воспроизводят конфигурацию отклонений положения пути от идеального. Эти кривые получаются путем двойного интегрирования переходных и вращательных ускорений. При анализе с помощью экспресс-преобразований Фурье видно, что кривые состоят из многих волн различной длины и соответствующей амплитуды. В зависимости от длины волны и частоты возбуждения геометрическое отклонение регистрируется и рассматривается как источник излучения шума или нарушения плавности хода.

Однако при измерениях геометрических параметров пути система не охватывает все длины волн, относящихся к продольному профилю и положению пути в плане. Волны длиной, превышающей определенную пороговую величину, зачастую имеют линейную форму, аналогичную форме нарушений геометрии пути, и поэтому не должны приниматься в расчет. В соответствии с характеристиками многих второстепенных линий и малыми радиусами кривых, встречающихся на сети ÖBB, в качестве пороговой принята длина волны, равная 30 м, но система может быть также конфигурирована под большую пороговую длину волны, например 150 м, как это требуется при текущем содержании линий с движением поездов с высокой скоростью.

Наименьшая длина волны, охватываемая при измерениях геометрии пути и ограниченная равным 25 см интервалом дискретизации, составляет 1,5 м. Таким образом, измерительные сигналы, относящиеся к продольному профилю и положению пути в плане, подлежат низкочастотной фильтрации на длину волны 30 м, имеют интервал дискретизации 25 см и воспроизводятся в соответствии с конфигурацией пути волнами длиной от 1,5 до 30 м. Для этого в пределах указанного частотного диапазона используется передаточная функция, близкая к единице. Параметр, важный с точки зрения предотвращения схода подвижного состава с рельсов, а именно перекос пути, определяется измерением разницы в возвышении наружного рельса кривых на расстоянии 5 и 16 м.

#### *Параметры профиля поперечного сечения рельсов*

Профиль поперечного сечения рельсов измеряется и регистрируется системой ORIAN 6 + HR через каждые 2,5 м путем бесконтактного поочередного сканирования до 500 точек профиля рельсового пути. Поскольку система сканирует рельс по всему профилю, включая шейку и подошву, измеренный фактический профиль рельса можно в реальном вре-

мени анализировать в сопоставлении со ссылочным профилем при благоприятных оптических условиях в 85 % случаев. Такой анализ возможен для большинства применяемых на сети ÖBB типов рельсов, таких, как UIC 60, UIC 54E, S 49, Ха, а также нового VA 71b.

В дополнение к расчету ширины колеи в соответствии с инструкцией DV B52 для левого и правого рельсов оцениваются следующие параметры:

- вертикальный износ поверхности катания, измеряемый по оси симметрии ссылочного профиля;
- боковой износ, измеряемый под углом 45 град в ссылочном профиле;
- комбинированный износ (параметр, отражающий уменьшение прочности рельса вследствие вертикального и бокового износа);
- дефекты прокатного происхождения на внутренних гранях рельсов;
- подуклонка.

С использованием разработанной соответствующим подразделением ÖBB подпрограммы QUICON можно в реальном времени рассчитывать эквивалентную конусность измеряемой пары рельсов в сопоставлении с любым из применяемых профилей колес для случаев поперечного смещения колесной пары с амплитудой  $\pm 1, 2, 3, 4$  и  $5$  мм.

Основываясь на большом объеме материала, полученного в ходе цифрового моделирования, система использует особо быстродействующие алгоритмы для определения точек контакта между виртуальным колесом и измеряемым рельсом. Эти алгоритмы в сочетании с высокой вычислительной мощностью современного главного процессора позволяют выполнять очень сложные расчеты эквивалентной конусности менее чем за  $0,1$  с, т. е. практически в реальном времени (одновременно с выполнением измерений).

#### Анализ и обобщение результатов измерений

Для того чтобы в условиях большого объема данных, полученных в ходе измерений геометрических параметров пути, упростить определение мест, которые требуют проведения работ по текущему содержанию или ремонту, необработанная информация группируется в массивы, обычно с шагом  $500$  м, с выделением показателей качества геометрии и наличия так называемых исключительных мест. Эта обобщенная информация образует хорошую основу для изучения темпа нарастания искажений геометрии пути.

#### Показатели качества геометрии пути

*Показатели для путеремонтного поезда (MDZ).* Эти показатели, используемые для планирования работы шпалоподбивочных машин, получаются из

среднеарифметического значения величин векторов вертикального и горизонтального ускорений (отнесенных к квадрату угловой частоты) центра масс подрессоренного экипажа, движущегося с максимально допустимой скоростью по пути с отклонениями от проектной геометрии, т. е. по пути с геометрическими дефектами. Показатели MDZ включают разные значения так называемой текущей максимальной скорости, и при этом определено, в частности, что для одной и той же геометрии пути чем выше скорость движения, тем хуже показатели качества.

В отличие от используемых администрациями многих других железных дорог подходов, когда оцениваются два канала информации в отдельности, оценка одновременно имеющих место отклонений в профиле и плане дает более низкие показатели качества.

*Показатели для щебнеочистительной машины (RM).* Эти показатели, используемые для планирования работы щебнеочистительных машин, получают аналогично показателям MDZ, но лишь по величинам векторов вертикальных ускорений.

*Показатели для планировщика балласта (SP).* Эти показатели можно использовать в качестве индикаторов ослабления рельсовых креплений. Они получаются из среднеарифметического значения зарегистрированных параметров пути на участках длиной  $500$  м, включающих величины вектора изменения горизонтального положения центра масс подрессоренного экипажа, движущегося по расстроенному прямому пути с отклонениями в половину дефекта ширины колеи. При расчете показателей SP также учитывается текущая максимальная скорость.

#### Исключительные места

Подобно показателям качества, в системе определяются также места в пределах  $500$ -метровых участков, где измеренные параметры пути выходят за пределы допустимых пороговых величин. Эти места называются исключительными и определяются в инструкции ÖBB № 250 как имеющие:

- перекося длиной более  $5$  м для предельных значений  $1:200, 1:250$  и  $1:300$ ;
- ширину колеи для предельных значений  $-5, 35$  и  $40$  мм;
- первую производную от перекося длиной более  $16$  м для предельного значения  $11$  мм.

#### Точность измерений

В ноябре 2000 г. было выполнено около  $20$  измерительных поездок по обычной линии севернее Вены для оценки точности повторения и воспроизводимости параметров, измеряемых с помощью систе-

мы POS/TG, в соответствии со стандартами ENV 13005 и DIN 1391-1. Во время этих поездок систематически изменялись скорость измерений и ориентация вагона. Полученная информация анализировалась путем прямого ввода в двоичные файлы геометрических данных.

Важной предпосылкой анализа являлась синхронизация исследуемых каналов информации по местоположению. Поскольку неточность по месту даже в 2 м делает результаты измерений бесполезными, синхронизация только с использованием системы GPS, как это имело место в ходе измерительных поездок, недостаточно. По этой причине результаты одной из измерительных поездок были условно выбраны в качестве канала ссылочной информации, в то время как информация по другим каналам на 50-метровых отрезках пути была смещена, с тем чтобы ковариантность двух массивов данных приблизилась к единице. Затем было определено среднеарифметическое значение величин этих оптимально синхронизированных параметров при частоте дискретизации 25 см. Соответствие среднеарифметическому значению означает лучшую оценку фактически измеренной величины, а любые отклонения измеренных в ходе отдельных поездок величин от среднего значения характеризуют погрешность точности повторения.

Эти погрешности с использованием простых статистических методов были сведены в гистограммы. Результирующие кумулятивные кривые частотного распределения позволяют судить, какова вероятность исключения повторных систематических погрешностей.

Анализ показал, что среднеквадратические отклонения величин параметров, измеренных с использованием вагона EM 250 в ходе серии поездок, составили: для ширины колеи — 0,43 мм, для продольного профиля — 0,29 мм, для положения пути в плане — 0,20 мм и для подуклонки рельсов — 0,51 мм.

### **Доступ к данным и их распределение**

Подход Федеральных железных дорог Австрии к вопросам доступа к данным и их распределения существенно отличается от подхода, практикуемого администрациями большинства железных дорог других стран. Ниже это рассмотрено в обобщенном виде, поскольку подробности не входят в цели данной публикации.

По завершении измерений вся информация передается в базу данных Oracle 9.2 по инфраструктуре ÖBB. В эту базу вводятся не только обобщенные данные, такие, как показатели качества и наличие

исключительных мест, но и почти все геометрические параметры пути, измеренные через каждые 0,25 м, а также параметры профиля рельсов, измеренные системой ORIAN 6 + HR через каждые 2,5 и 5 м.

После проверки параметров они становятся доступны любому зарегистрированному пользователю по сети ведомственной связи Intranet железных дорог Австрии и через географическую информационную систему. Специализированное программное обеспечение для пользователей, разработанное совместно с компаниями Messrs. Point, iQSoft и Oracle Österreich, делает возможным доступ к информации в определенных форматах, используемых в сети Intranet, через соответствующие приложения Web-браузера.

### **Отчет ÖBB 250**

Отчет включает табличное и графическое представление показателей качества геометрии пути и исключительных мест. Доступ ко всем результатам измерений стал возможен с 1997 г. через графический интерфейс пользователя. На экран могут быть выведены результаты любой измерительной поездки, сведения о состоянии пути по итогам последней инспекции, а также о его изменениях, отмеченных на одном и том же участке. Никакого дополнительного программного обеспечения не требуется, необходим только браузер Microsoft Internet Explorer.

### **Перегрузка файлов данных**

Необработанная информация по результатам измерений, выполненных через каждые 25 см, может быть получена зарегистрированными пользователями сразу после ввода в базу данных результатов измерительной поездки. На экран могут быть выведены все параметры геометрии пути и профиля рельсов, когда-либо введенные в систему.

### **Профиль рельсов**

Доступ к информации о результатах измерения профиля рельсов обеспечивается через расширение SVG Viewer в Microsoft Internet Explorer. Все результаты анализа для каждого измеренного профиля рельсов можно отобразить в графическом виде и вывести на экран. Развитие износа рельсов во времени в конкретном месте пути может быть визуализировано через запрос координат GPS для данного места.

### **Пакет статистических данных**

Этот пакет используется для отображения частотного распределения в масштабах страны всех изме-

ренных через каждые 0,25 м геометрических параметров пути, результатов анализа измерений профиля рельсов, а также показателей качества геометрии пути и исключительных мест.

### Эволюция геометрии пути

Соответствующие отчеты содержат информацию об изменениях во времени показателей качества геометрии пути и исключительных мест в масштабах всей страны.

### Оценка работ по текущему содержанию пути

Соответствующие отчеты содержат информацию об оценке работ по текущему содержанию пути, выполненной путем сопоставления результатов измерений с результатами работ по текущему содержанию пути, таких, как подбивка балласта, шлифовка рельсов и т. п. Необработанную информацию можно использовать также при проведении научно-исследовательских работ и в качестве основы для моделирования.

*W. Hanreich. Glasers Annalen, 2005, special edition, p. 17 – 26.*

## Эффективность и экологические аспекты уплотнения грунта акрилатными гелями

*Уплотнение грунта вблизи различных объектов с помощью гелей уже более 20 лет практикуется при строительстве подземных сооружений. На железных дорогах Германии (DBAG) с 1983 г. успешно применяются инъекционные технологии введения в грунт гидроструктурированных смол. При этом, однако, остается открытым вопрос о длительной надежности введенного материала и его экологической безопасности. Инъекционные технологии были, в частности, использованы при восстановлении железнодорожного моста в районе г. Неккаргерах и плотины водохранилища у Нойштадта.*

Инъекционная технология в настоящее время стала привычным элементом строительного процесса при сооружении инженерных объектов. Это технически и экономически оптимальный способ уплотнения, обеспечивающий надежную эксплуатацию объектов. Применяемые для инъекций материалы и технологии постоянно совершенствуются, а доверие к ним растет по мере увеличения числа успешно реализованных проектов.

Наряду с известными инъекционными материалами все чаще используют гидрогели, называемые еще гидроструктурированными смолами. Все гели, вступая в химические реакции, образуют желатиноподобные продукты. Вследствие крупноцеистого химического сшивания и наличия водоактивных боковых цепей продукт реакции сохраняет мягкоупругую гидроструктуру (отсюда второе название —

гидроструктурированные смолы). В качестве промежуточных элементов полимерной цепи действует поглощаемая вода, поэтому продукты называются еще и гидрогелями.

Новейшие гидрогели имеют следующие свойства:

- **реакционная способность** — материал представляет собой двухкомпонентную композицию, которая отверждается в течение небольшого промежутка времени, поддающегося регулированию. Благодаря этому реакция отверждения в основном не зависит от внешних условий;
- **упругость** — продукт реакции представляет собой мягко-упругое твердое тело, деформирующееся в большом диапазоне; дефекты сшивания компенсируются набуханием;
- **адгезия** — гидрогели имеют хорошее сцепление почти со всеми поверхностями; влажность и загрязнение, не образующие пленки, как правило, не создают проблем;
- **поведение при контакте с водой** — быстро сшивающийся продукт реакции не реагирует на воду. Некоторые гидрогели, обладающие определенной реакционной способностью, могут отверждаться под водой, при этом не происходит их разбавления или образования пены, достигается водонепроницаемость, присущая бетону;
- **изотропное расширение (увеличение объема)** — после отверждения гидрогель заполняет объем, в который его вводили. При последующем поступлении воды гидрофильный продукт набухает до насыщения. Образующая боковые цепи свободная вода де-