



Рис. 10. Машина на гусенично-рельсовом ходу типа RBE-1

Новыми продуктами Geismag являются малогабаритные машины на комбинированном ходу для одиночной замены и подбивки шпал. Такие машины в едином комплексе с другими, также на комбинированном ходу, используют компании Network Rail и Ameu на линиях в Девоне и Корнуолле, компания First Engineering рассматривает вопрос об их применении на линиях в Шотландии.

Компания Philmog Rail освоила выпуск машин для укладки металлических шпал. По утверждению специалистов компании, применение таких машин позволяет на 80 % снизить расходы на оплату труда персонала и на 40 % повысить производительность. Рабочие органы машины смонтированы на тележке, которую перемещает по пути экскаватор на комбинированном ходу.

Кроме того, Philmog совместно с компаниями Jarvis Rail и DBT разработала машину на гусенично-рельсовом ходу типа RBE-1 (рис. 10) для удаления балласта, которая за один проход снимает балласт с пути и отгружает его в прицепные вагоны. Машина

оснащена стругом, погрузочной рампой и конвейером, ее работой управляет один оператор.

Компания A. P. Webb Plant Hire внедрила новую машину для перевозки, выгрузки и укладки секций кабельных лотков, применение которой позволяет избежать травматизма операторов при работе вручную. Машина перевозит до шести секций лотков и выполняет их укладку с темпом до трех секций в минуту, используя для этого поворотную роликовую выгрузочную рампу, оконечность которой может быть подведена непосредственно к месту укладки. Машина используется в комплекте с экскаватором, также на комбинированном ходу, который как служит в качестве тягового средства для передвижения машины, так и выполняет работы по подготовке траншеи для укладки лотков.

Еще одним новшеством A. P. Webb является машина с гидравлическим приводом для манипулирования рельсами при их подготовке к укладке или при снятии с пути. Машина изготавливается в соответствии с пожеланиями заказчика, ее применение устраняет необходимость в других технических средствах.

Компания Rail Domain совместно с Quattro Plant в числе прочих путевых машин эксплуатирует машины типа KGM-2 для подрезки балласта. Эти машины на комбинированном гусенично-рельсовом ходу можно использовать как на перегонах, так и в тоннелях, в том числе в тоннелях метрополитена, причем в последнем случае нет необходимости в демонтаже контактного рельса. Их применение особенно эффективно при малой продолжительности окон, так как для подготовки машины к работе требуется всего 12 мин.

K. Cordner. *Modern Railways*, 2003, № 663, p. 42 – 48.

## Электронная съемка пути

*Традиционные системы обследования пути используются с привязкой к фиксированным точкам. Новые методы позволяют сократить затраты, обычно достаточно высокие, на эту операцию. Использование путеизмерительного вагона EM-SAT вместе с глобальной системой спутниковой навигации (GPS) дает возможность отказаться от традиционных систем обследования пути или дополнить их.*

### Электронная съемка пути и стрелочных переводов с использованием EM-SAT

Система съемки пути с использованием вагона EM-SAT доказала свою надежность на практике с 1990 г. В настоящее время Федеральные железные дороги Австрии (ÖBB) для съемки пути эксплуатируют три таких вагона. Их применение обеспечивает сокращение затрат более чем на 80 % по сравнению с использовавшимся в прошлом оптическим методом

в сочетании с ручными операциями, а по сравнению со съемкой вручную система позволяет экономить около 3 евро на каждом метре обследуемого пути.

Автоматизированный компьютеризованный метод съемки и вагон EM-SAT (рис. 1) применяются для измерения длинноволновых неровностей пути в профиле и плане и расчета на этой основе точных заданий для подбивочных машин.

Система EM-SAT используется для:

- планирования и разметки участков подбивки и выправки пути;
- съемки перед подбивочными работами;
- съемки с целью устранения отдельных неровностей при использовании машины для точечной подбивки;
- измерений (в плане и профиле) на реконструируемых участках до или после подбивочно-выправочных проходов;
- выявления длинноволновых неровностей в ходе приемки вновь уложенного пути.

Вагон EM-SAT обеспечивает непрерывное измерение, в частности, длинноволновых неровностей геометрии пути в плане и продольном профиле. Полученные фактические величины фиксируются в аналоговом виде в увязке с заданной геометрией для последующего использования, например, в подбивочной машине. Длинноволновыми называются геометрические дефекты с длиной волны до 250 м. Сравнение отклонений выполняется с привязкой ко всем фиксированным маркерам (реперным точкам, рис. 2), находящимся в пределах данного участка.

Преимущества измерений с помощью системы EM-SAT по сравнению с выполняемыми вручную следующие:

- высокая точность (погрешность менее 1 мм) и скорость;
- возможность съемки и выявления длинноволновых геометрических неровностей на удлиненной хорде;
- распознавание и, по возможности, исключение изменений по геометрии и высоте положения существующих маркеров;
- высокая степень достоверности данных от начала измерений до передачи в подбивочную машину благодаря непрерывности процесса;
- безопасность персонала.

С 1993 по 1995 г. Технический университет Граца и департамент исследований и испытаний компании Plasser & Theurer изучали в рамках совместного ис-



Рис. 1. Путьеизмерительный вагон EM-SAT

следовательского проекта возможность использования системы спутниковой навигации GPS при съемке пути. Целью было сравнение точности измерений с использованием GPS и по методу лазерных хорд. К сожалению, полученный результат был отрицательным.

При использовании системы GPS геометрическая точность в поперечном направлении составляет максимум  $\pm 6$  мм, а точность по высоте в 1,5 – 2 раза хуже. Прямое использование GPS по точности не может заменить измерения по методу лазерных хорд,



Рис. 2. Устройство для измерения в реперных точках

поскольку точность управляющих величин для выправки пути в случае использования путевых машин находится в диапазоне 1 мм. Погрешности измерений с помощью GPS зависят от ионосферной и тропосферной рефракции, фазового шума, числа и расположения искусственных спутников, конфигурации приемников, а также от эффекта многолучевого распространения волн.

Ионосферная рефракция может быть компенсирована использованием двухчастотных приемников. Влияние тропосферы можно снизить расчетами по соответствующей модели. Фазовый шум зависит от качества приемников выбранных спутников. На число задействованных наблюдаемых спутников влияют топографические особенности местности, но положение можно улучшить за счет использования многосистемных приемников с синхронизацией приема сигналов со спутников систем Navstar (США) и ГЛОНАСС (Россия). Конфигурация сети приемников и спутников зависит от времени (орбиты спутников) и от топографии местоположения приемников. На эти показатели можно влиять, если только планировать измерения в определенные часы суток.

Наибольшее влияние на уровень погрешностей оказывает эффект многолучевого распространения волн. При возникновении этого эффекта принимается не только фазовый позиционный сигнал, но и отраженный от крыш, подвижного состава и т. п. Отраженные сигналы накладываются на исходный сигнал, что ведет к ошибочным измерениям. Этот эффект можно ослабить использованием специальных антенн и кинематических измерений, но полностью, к сожалению, исключить это явление невозможно. Обычно специальные (дроссельные круговые) антенны могут только исключить отражения от земной поверхности, т. е. сигналы с малым углом возвышения (углом места).

С использованием вагона EM-SAT становятся реальными механизированные измерения на длинных



Рис. 3. Антенна системы GPS на вагоне EM-SAT

хордах. Абсолютная погрешность измерений EM-SAT менее 1 мм. Для определения положения хорды и, следовательно, действительного и расчетного геометрического положения пути в системе координат необходимы фиксированные маркеры. Недостатком метода фиксированных маркеров является «непостоянство» последних, сложность и трудоемкость измерений и обслуживания. Это обстоятельство тормозило разработку механизированных систем.

Система GPS обеспечивает замену метода фиксированных маркеров. Реальная точность измерений  $\pm 6$  мм в плане и  $\pm(9 - 12)$  мм по высоте достаточна для этих целей.

В настоящее время калибровка фиксированных маркеров с использованием методов измерения интервалов обходится в 100 евро на каждое измерение. Такое положение явно подчеркивает возможности сокращения затрат при комбинированном использовании EM-SAT и GPS.

Для обеспечения высокой точности измерений с помощью GPS необходимо выполнение следующих требований:

- прием сигналов одновременно по меньшей мере от четырех спутников;
- относительность GPS-измерений (с одним фиксированным приемником опорного сигнала и вторым мобильным);
- обустройство фиксированных опорных станций GPS на расстоянии от 4 до 8 км одна от другой с калиброванными базисными точками на стационарных и иных зданиях либо строительство опорной сети GPS. Железные дороги Германии (DBAG) уже создали на магистральных линиях опорную сеть с базисным расстоянием 4 км;
- базисное расстояние от 4 до 8 км.

Однако некоторые проблемы GPS все еще остаются нерешенными. Это нечеткий прием сигналов от спутников (влияние топографии, зданий, мостов, тоннелей и т. п.) и многолучевой прием.

### Современный уровень реализации

Один вагон EM-SAT с измерительным устройством системы GPS проходил испытания на ÖBB, второй работал в Германии. Мобильная антенна системы GPS (рис. 3) смонтирована на крыше вагона. Предстоит разработать специальный компенсационный калькулятор, чтобы регистрировать точное геометрическое положение антенны относительно пути. На крыше вагона размещен приемник GPS последнего поколения (с одновременным приемом сигналов от спутников Navstar и ГЛОНАСС), связанный с компьютером для передачи данных. Используется программное обеспечение GNBAHN для кинематических измерений пути, разработанное фирмой Geo++.

Вагон оснащен бесконтактным устройством для измерения расстояний, которое отслеживает дистанцию между ним и вспомогательной тележкой. Когда вагон опасно приближается к вспомогательной тележке, в кабину машиниста EM-SAT передается акустический сигнал. Если машинист не реагирует на это предупреждение, автоматически включаются тормоза. Базисный приемник GPS устанавливается по крайней мере у одной замаркированной реперной точки (например, на расстоянии 4 км) и снабжается ноутбуком для регистрации данных. Обе системы (стационарный и подвижный приемники) связаны между собой радиоканалом или связью GSM-R.

Во время движения вагона поступающие от приемника GPS данные накапливаются в компьютере. Система работает в реальном масштабе времени и в оперативном диалоговом режиме. В конце измеряемого участка собранные данные используются для расчета абсолютных координат геометрии пути и корректирующих величин.

#### *Комбинированная система EM-SAT — GPS*

Одновременное измерение фактического положения пути по методу лазерных хорд и с использованием системы GPS дает возможность накапливать данные об этих хордах (полученные в местных системах координат) в системе абсолютных координат WGS84 и тем самым переводить точные относительные данные лазерных опорных хорд в абсолютные координаты.

В сущности, любая измеренная с помощью GPS координата может быть использована как фиксированная точка. Практически сравниваются кривые, полученные по методу лазерной хорды и с помощью GPS, и вычисляется наилучшая сходимости обеих кривых, критерием которой является минимум квадратического взаимного отклонения кривых. Эта операция эквивалентна вращению и смещению местной системы координат лазерной опорной хорды, обеспечивающим переход в абсолютную систему координат ETRF89.

Без существенных дополнительных работ и больших затрат времени достигаются следующие преимущества:

- повторяемость периодов измерений позволяет сформулировать выводы в отношении работоспособности и точности измерений с помощью GPS. Это дает возможность отобразить точность таких измерений и определить, где можно обойтись без традиционных реперных точек. Сравнение данных, полученных по методу высокоточных лазерных опорных хорд и GPS, позволяет выявить качество приема сигналов GPS (многочастотность и др.);

- на неразмеченном пути его координаты получают с очень высокой точностью в средней части хорды и с точностью порядка 1 см на ее концах. Это обеспечивает объективную основу для трассировки или выправки линии. Комбинированная система EM-SAT — GPS отличается значительно бóльшим потенциалом по сравнению с методами геодезических измерений;

- поскольку расчетное положение пути задается его координатами в системе ETRF89, комплексная система позволяет измерять отклонения пути от заданного положения в любой момент времени. Любая точка пути, для которой имеются данные измерений с помощью GPS, может использоваться как реперная. Отпадает необходимость в фиксированных реперных точках, их можно выбирать произвольно.

#### **Измерения профиля балластной призмы**

Достаточно мощная и правильной формы балластная призма гарантирует устойчивость бесстыкового пути и длительную неизменность его геометрических параметров. Для обеспечения безопасной работы пути и удовлетворительного выполнения балластным слоем его функций необходимо уделять внимание заполнению путевой решетки уплотненным балластным материалом до верхней постели шпал или почти до этого уровня и наличию балластных плеч шириной 40 – 50 см. Поэтому измерения фактического профиля балластной призмы важны и необходимы для приемки путевых работ и планирования текущего содержания пути.

Профиль балластной призмы является важным параметром для расчета подъёмки пути. Бесконтактная лазерная измерительная система позволяет непрерывно фиксировать фактические параметры профиля балластной призмы.

Три вагона EM-SAT, работающие на ÖBB, оснащены дополнительно системой измерения поперечного профиля балласта. Ведется дальнейшая разработка программного обеспечения.

В измерительную систему входит лазерный сканер, который находится на высоте приблизительно 3 – 4 м над уровнем пути. Лазерный сканер измеряет расстояние до балластного слоя с угловой разрешающей способностью 0,25 град в диапазоне 100 град. По этим данным рассчитывается фактический профиль балластной призмы и отображается на цветном мониторе (рис. 4) с наложением расчетного профиля.

Кроме этого изображения, в виде столбчатой гистограммы в другом окне непрерывно отображается избыток балласта (зеленым цветом) или его недостаток (красным). Столбики над основной линией ха-

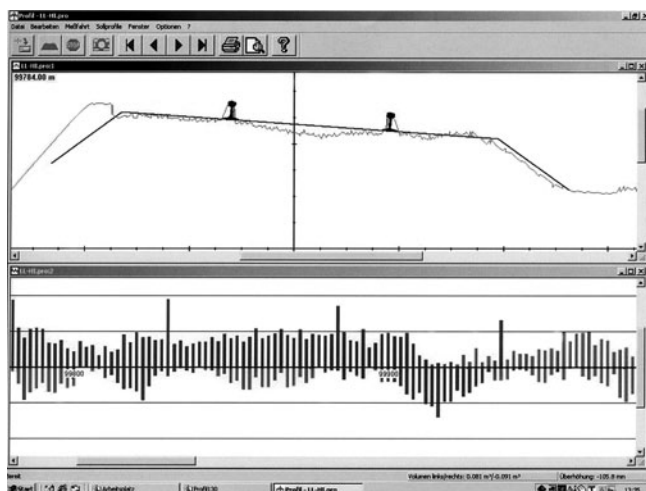


Рис. 4. Отображение на компьютерном мониторе результатов измерений поперечного профиля балластной призмы и их обработки



Рис. 5. Антенна георадара вагона EM-SAT

рактируют объем балласта слева от оси пути, а ниже этой линии — справа.

Профиль балласта измеряется и регистрируется с шагом 2 м. Затем рассчитывается и отображается излишек или недостаток балласта по разности между расчетным и измеренным профилями. Профили и разности объемов могут быть впоследствии вычислены в персональном компьютере в камеральных условиях по соответствующей программе. Эти данные можно перенести на другой компьютер на дискете

или ZIP-диске. На дискете помещается информация по 2,5 км пути, на ZIP-диске — 1000 км. Далее можно рассчитать величину подъёмки по данным измерений системы EM-SAT и потребность в балласте.

При расчете объема дополнительного балласта величина подъёмки определяется в зависимости от ширины проектного профиля балластной призмы. Столбчатая диаграмма отображает общую величину по измерениям профиля и потребность в балласте, которая обусловлена предстоящими подъёмками. Специально для ÖBB разработан алгоритм расчета необходимого количества балласта для левой и правой стороны балластной призмы на участке. Это позволяет машинисту обычного балластировочного поезда экономно распределять материал.

### Измерения георадаром

В связи с необходимостью лечения земляного полотна все в большей степени применяются методы исследования состояния грунтов с использованием георадара. Это, однако, не исключает обязательный забор проб (например, с помощью грунтового зонда UUM) с последующими исследованиями геотехнического состояния железнодорожного пути.

Комплекс EM-SAT, выполняющий измерения при движении со скоростью от 7 до 15 км/ч, хорошо приспособлен для совмещения с георадарной измерительной системой, что уже подтверждено на практике (рис. 5).

Исследования с помощью георадара выявляют:

- степень загрязнения балласта или его смешивания с грунтом основной площадки;
- балластные мешки;
- степень увлажнения грунта основания для оценки состояния водоотвода;
- качество проведенных работ по лечению земляного полотна со сравнением состояния до и после их выполнения.

*B. Lichtberger. Glasers Annalen. Special Edition: Strategy of Track Maintenance. 2005, p. 27 – 32.*