

# Качественный анализ геометрии пути для оптимизации путевых работ

**Технический университет Граца (Австрия) совместно с Федеральными железными дорогами Австрии (ÖBB) разработал новый метод оценки качества пути с точки зрения геометрических параметров, предназначенный для лучшего понимания поведения пути в эксплуатации. Благодаря полноте и разнообразию информации о пути, имеющейся в соответствующей базе данных ÖBB, стало возможным интегрировать ряд дополнительных факторов влияния в анализ результатов измерений.**

Данная работа выполнена в рамках принятой на сети ÖBB стратегической программы Track Strategy, которая имеет целью создание в высокой степени автоматизированной, технически и экономически оптимизированной и основанной на принципе «по фактическому состоянию» системе текущего содержания и ремонта пути.

Цели и ход исследований качества геометрии пути, выполняемых в соответствии с программой Track Strategy, вкратце сводятся к следующему:

- программа предусматривает техническую и экономическую оптимизацию работ по текущему содержанию и ремонту пути, которая в конечном счете позволит существенно автоматизировать путевые работы в зависимости от состояния пути, что требует отображения технических и экономических взаимозависимостей в математической форме;
- соответственно, одним из главных аспектов является прогнозируемость состояния пути и его качественных изменений под воздействием эксплуатационных нагрузок;
- для определения функциональных зависимостей нарастания расстройств пути при разных сочетаниях геометрии пути и параметров движения поездов используется прогностическая модель. Полученные зависимости позволят определить оптимальные в экономиче-

ском аспекте пределы вмешательства;

- по итоговой базе данных предполагается провести углубленное исследование параметров.

Состояние работ в рамках упомянутого проекта на момент подготовки статьи представлено ниже.

## Использование прогностической модели

Полученная с помощью вагона-путеизмерителя типа EM250 информация накапливается в базе данных Федеральных железных дорог Австрии. По сети Интранет ÖBB обеспечивается доступ не только к итоговым оценкам геометрических параметров пути, но и к первичной информации по каждой инспекционной поездке.

С конца 1970-х годов для описания геометрии пути используется аналитическая система ADA II. Для дискретных участков длиной 500 м определяются различные количественные оценки качества геометрии пути исходя из динамики подвижного состава (по так называемым показателям MDZ), а также состояния балласта и земляного полотна. Для каждого такого участка в табличной форме накапливались данные об изменении геометрии пути с течением времени.

Однако итоговые средние величины не дают информации о нару-

шениях геометрии пути в отдельных точках. Обращение к первичным данным обеспечивает более точные оценки, так как позволяет анализировать результаты измерений с интервалом сканирования 25 см. В итоге в Техническом университете Граца совместно с ÖBB была разработана новая система детальной оценки для лучшего описания и, в конечном счете, понимания геометрии пути. Благодаря многообразию информации о пути в используемых на ÖBB системах управления базами данных в анализ результатов измерений стало возможным вводить различные дополнительные факторы влияния.

Получаемые оценки не только предназначены для описания геометрии пути в исследовательских целях, но и полезны местным линейным работникам, занятым текущим содержанием пути. Поэтому специальное внимание уделено практическим аспектам, а представление оценок предусмотрено таким образом, чтобы они были возможно проще понимаемы после распечатки на бумаге в формате А3.

## Непрерывная оценка геометрических параметров пути

В принципе описание геометрии пути включает две задачи:

- локализация мест, где превышены пороговые значения и, следовательно, существует угроза безопасности движения поездов;
- описание состояния геометрии пути с помощью средних величин для дискретных участков пути определенной протяженности. Оценки качества геометрии пути и

скорости ее изменения на определенных участках формируют требования к его обслуживанию.

Принятый метод расчета среднего качества геометрии пути относится к отдельным участкам. Это позволяет фиксировать изменения геометрии пути во времени в табличной форме. Система может выдавать больше информации, только если анализируемые участки укорожены; при этом предполагается повышенная точность позиционирования измерительной системы (при участке длиной 100 м ошибка позиционирования не должна превышать 10 м во избежание искажения результатов).

Другая возможность описания качества геометрии пути состоит в расчете скользящей средней величины качества. В отличие от расчета по дискретным участкам расчет скользящей средней позволяет получить непрерывную характеристику качества, кривую которой можно вычертить на графопостроителе.

*Непрерывное описание качества на основе модифицированного стандартного отклонения*

Текущий сигнал о продольном профиле (рисунок, вверху) представляет основу скользящего среднеквадратического отклонения на анализируемом участке длиной 100 м. На этом же рисунке внизу показано, что местные искажения уровня сигнала о продольном профиле существенно влияют на среднеквадратическое отклонение.

Это можно весьма просто выразить математически: среднеквадратическое отклонение (в данном случае по вертикали) пропорционально квадрату величин в отдельных точках измерений, т. е.  $s \sim v_i^2$ ;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - v_m)^2}{n - 1}};$$

При  $v_m \approx 0$   $\sigma \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n - 1}};$

$$\sigma \sim v_i^2.$$

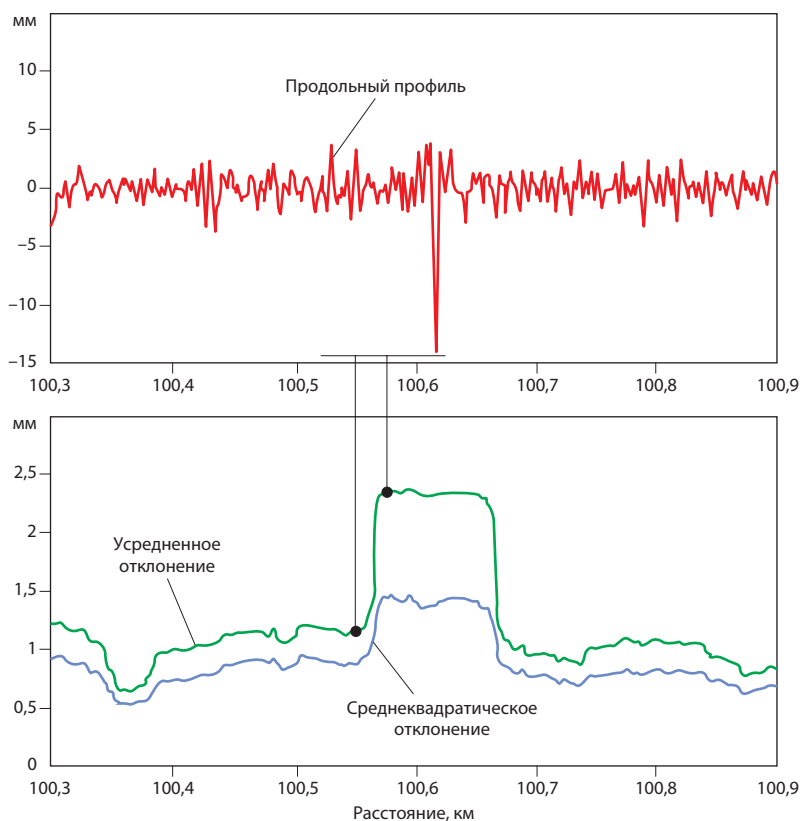
Среднеквадратическое отклонение представляет собой усредненную количественную оценку качества для определенного рассматриваемого участка, поэтому всегда нежелательно иметь преувеличенное влияние точечных нарушений геометрии пути. Другим качественным показателем является среднее отклонение геометрии. Отклонение от нуля рассчитывается по абсолютному уровню сигнала о продольном профиле. Эта величина, в данном случае обозначаемая как  $m$ , пропорциональна сигналу на входе:  $m \sim v_i$ . Если кривую характеристики качества продольного профиля отобразить на втором графике (см. рисунок), переменное влияние точечных нарушений геометрии пути становится очевидным. Поскольку в международной практике распространено описание геометрии пути на основе среднеквадратического отклонения, нецелесообразно вводить новый показатель качества с новыми единицами измерения.

Регрессионный анализ позволяет определить среднюю сходимость среднеквадратического отклонения и усредненного отклонения геометрии пути:

$$\sigma \approx 1,35m = \sigma_{mod}$$

Величину  $1,35m$  называют модифицированным среднеквадратическим отклонением. Хотя с математической точки зрения это модифицированное среднеквадратическое отклонение никоим образом не относится к параметру статистического рассеяния среднеквадратического отклонения, в нем сочетаются два упомянутых выше преимущества, относящиеся к порядку величин традиционно используемых показателей качества по среднеквадратическому отклонению и пониженному влиянию усредненного отклонения геометрии пути.

Для оптимизации текущего содержания и ремонта пути разработана система оценки качества геометрии пути, в которой объедине-



Влияние местных нарушений геометрии пути на скользящее среднеквадратическое отклонение

на различная информация из базы данных ÖBB и результаты измерений, выполненных с использованием вагона-путеизмерителя типа EM250, что и составляет ядро оценочной системы.

В качестве примера можно рассмотреть три комплекта выполненных по результатам измерений диаграмм в формате A3 на отдельных листах, содержащих разного рода информацию о конкретном участке пути длиной 5 км.

### *Перекосы, волнообразный износ и продольный профиль*

Лист 1 содержит четыре диаграммы, отражающие перекосы, глубину волн износа, продольный профиль и модифицированное среднеквадратическое отклонение.

Перекосы как ключевой фактор безопасности движения поездов отображаются на диаграмме для участков длиной 3 и 16 м, включая пороговые (с точки зрения необходимости принятия срочных мер) и предельные величины. Для лучшей локализации местоположения отдельных избыточных величин отображается также поперечный профиль кривых. На железных дорогах Австрии пороговые величины перекоса все еще обсуждаются в связи с включением предельных величин, приведенных в требованиях по технико-эксплуатационной совместимости (TSI), в правила текущего содержания и ремонта пути.

Глубина волн износа, измеренная в ходе конкретной инспекционной поездки (источник данных — путеизмерительный вагон типа Speno SM775; в качестве результата измерений принимается большее из полученных значений по каждой из двух рельсовых нитей), отображается на второй диаграмме. Есть планы дополнить эту диаграмму действующими предельными значениями для обеспечения наглядности требований по текущему содержанию и ремонту пути.

На третьей диаграмме отображается продольный профиль по левой и правой рельсовым нитям.

Кроме того, отдельной линией указывается допустимая скорость движения поездов для соответствующего участка (на основе приказа о максимальной скорости), а еще одной — максимально допустимая погрешность в соответствии с TSI на определенную дату. Максимально допустимая погрешность уменьшается по мере увеличения максимальной допустимой скорости. Чтобы облегчить локализацию местоположения геометрических неровностей пути, на диаграмме разными цветами отображаются такие особые места пути, как станции (с указанием их наименований), искусственные сооружения, переезды, стрелочные переводы и участки в тоннелях. Эти сведения можно получить из базы данных ÖBB.

Четвертая диаграмма отображает информацию о скользящем модифицированном среднеквадратическом отклонении по результатам нескольких последовательных инспекционных поездок, служащем в качестве критерия качества. Это позволяет легко отслеживать ухудшение или улучшение состояния пути после выполнения путевых работ.

Если после последнего цикла путевых работ проведено не менее трех инспекционных поездок (точность прогноза при двух поездках не обеспечивается), можно провести регрессионный анализ с использованием более точных оценочных величин линейного и экспоненциального ухудшения состояния пути для расчета качества геометрии пути в определенных точках на ближайшую перспективу. Прогнозные кривые по соображениям удобочитаемости изображаются на отдельном рисунке. Это позволяет определить конкретные функции снижения качества пути для разных линий и условий эксплуатации. Такой анализ требует очень высокой точности позиционирования мест измерений, поскольку каждая погрешность в определении их местоположения очень сильно влияет на результаты прогнозирования. Путеизмери-

тельный вагон ÖBB EM250, работая синхронно с системой спутниковой навигации GPS, удовлетворяет высоким требованиям к точности.

На диаграммах отображаются также пороговые сроки начала определенных путевых работ, например подбивки, которые в свою очередь зависят от максимальной допустимой скорости движения поездов (на главных путях, где скорость движения поездов выше, потребность в путевых работах наступает раньше, чем на боковых путях) и от срока службы пути (в начале эксплуатации путь, чтобы дольше поддерживать качество на должном уровне, требует более ранних работ по текущему содержанию и ремонту, чем в последующее время). Отмечается также наличие защитных слоев в земляном полотне.

### *Ширина колеи, эквивалентная конусность, подуклонка рельсов и положение оси пути в поперечной плоскости*

На листе 2 имеются пять диаграмм, характеризующих изменение состояния пути на том же участке, что и на листе 1.

Первая диаграмма отображает изменение ширины колеи по результатам конкретной инспекционной поездки. На ней же нанесены предельные значения данного геометрического параметра, принятые на ÖBB, а также информация о кривых участках пути.

Вторая диаграмма отображает текущую эквивалентную конусность для поперечного смещения колесной пары  $\pm 3$  мм по данным измерения профиля рельсов путеизмерительным вагоном EM250. Эта информация может быть использована, например, для демонстрации влияния сужения колеи на характер движения подвижного состава.

Важным фактором стабильности геометрии пути является поведение упругих рельсовых подкладок. На третьей диаграмме отображается фактическая подуклонка

рельсов (также по данным путеизмерительного вагона ЕМ250). Это характеризует состояние рельсовых подкладок и, соответственно, необходимость их замены.

Четвертая диаграмма, отображающая положение оси пути в поперечной плоскости, по характеру аналогична диаграмме продольного профиля пути на листе 1 и также включает предельные допуски, указания на наличие и местоположение особых мест пути и т. п. Эти качественные показатели играют в системе текущего содержания и ремонта пути второстепенную роль.

На пятой диаграмме отображается информация о скользящем модифицированном среднеквадратическом отклонении по положению оси пути в поперечной плоскости.

#### *Работа путевых машин и состояние пути*

Важная дополнительная информация, касающаяся геометрии пути, содержится на четырех диаграммах листа 3.

На первой диаграмме отображается график работы тяжелых путевых машин по оздоровлению земляного полотна, очистке балласта, шлифованию рельсов, подбивке шпал по годам (в ретроспективе, с 1998 г. по настоящее время и на перспективу до 2010 г.).

Вторая диаграмма отображает геометрические параметры кривых на рассматриваемом участке пути.

Третья диаграмма представляет полные данные о верхнем строении пути (тип рельсов, шпал и т. п.) и источники информации.

На четвертой диаграмме отображаются сведения о замене рельсов и шпал по годам и источники информации.

#### **База данных о геометрии пути и дополнительные источники информации**

Анализ данных о состоянии пути позволяет прогнозировать его изменения во времени в зависимости от условий эксплуатации, а также определять специфические функции ухудшения состояния пути.

Следующим логическим шагом является создание новой базы данных. В ней накапливается вся указанная выше информация по 100-метровым участкам. Прикладная программа позволяет отслеживать изменения геометрических параметров пути во времени, получать надежные статистические данные и исследовать взаимосвязь разных факторов влияния. Можно, например, определять, как влияет способ укладки пути на ста-

бильность его геометрии, радиус кривых и срок службы шпал — на темпы развития нарушений геометрии пути, характеристики путевых машин и технология путевых работ (например, внедрение так называемой интегрированной системы текущего содержания и ремонта пути) — на улучшение качества пути.

Для оценки геометрических параметров пути служат также следующие дополнительные источники информации: цифровая видеозапись, выполняемая во время инспекционных поездок и обеспечивающая хорошие условия для первоначального изучения рассматриваемого участка; доступная по сети Интранет ÖBB база данных о плане и профиле пути по результатам измерений, выполняемых путеизмерительным вагоном типа ЕМ-SAT; результаты нагрузочных испытаний пути, выполняемых после каждого цикла работы тяжелых путевых машин (они полезны при анализе несущей способности пути с точки зрения возможной его осадки в зависимости от технологии путевых работ); отчеты экспертов-геологов с точным описанием состояния основания пути (хотя и с неполным охватом всех линий сети ÖBB).

*F. Auer. ZEVrail Glasers Annalen, Special Edition: Strategy of Track Maintenance, 2005, p. 38–45.*

## НОВЫЕ КНИГИ

**Поплавский А. А.** Создание эффективной управляющей системы для оперативного руководства перевозочным процессом на железнодорожном транспорте. — М.: Интекст, 2007. — 184 с.

На сети Российских железных дорог протяженностью 85,5 тыс. км необходимо организовать единое управление перевозочным процессом, поскольку сбой в одном месте может оказывать негативное влияние на работу целых направлений и полигонов сети.

В последние годы создаются центры управления перевозками, где концентрируется диспетчерский аппарат, выполняющий функции оперативного управления перевозочным процессом. При этом существенно возрастает роль информационно-вычислительных комплексов. Необходимо связать воедино многие тысячи АРМ, информационные базы данных, центры управления и вычислительные центры, сети связи. Требуется организовать единое и эффективное функ-

ционирование этой сложной управляющей структуры, чтобы наилучшим образом использовать дорогостоящие технические средства железных дорог.

В исследовании на основе использования новых возможностей информационных технологий решена крупная народнохозяйственная и научно-практическая проблема обоснования методологических принципов построения и проектирования, а также разработки и внедрения конкретных решений по основному вопросу работы автоматизированных диспетчерских центров ОАО «РЖД», являющихся главным звеном управляющей части системы оперативной организации перевозочного процесса на сетевом и дорожном горизонтах управления.

За дополнительной информацией обращайтесь по телефону (499) 317-55-65. Приобрести книгу можно в издательстве «ТрансИнфо» ([www.transinfo.ru](http://www.transinfo.ru), тел.: (495) 262-86-24; 262-71-28).