

# Измерение жесткости земляного полотна

**Повышение скорости движения поездов на действующих линиях может вызвать ухудшение состояния земляного полотна, особенно в условиях неустойчивых грунтов. Решить эту проблему можно, контролируя жесткость полотна с использованием дефлектометра с падающим грузом.**

## Факторы влияния на состояние земляного полотна

Оптимальная жесткость земляного полотна является важным условием поддержания геометрических параметров пути в установленных нормативными документами пределах на железнодорожных линиях, по которым осуществляются междугородные пассажирские перевозки, будь то специально построенные высокоскоростные линии, рассчитанные на скорость 250 км/ч и выше, или линии, на которых после модернизации допускается движение со скоростью до 200 км/ч.

На действующих линиях, где земляное полотно находится в удовлетворительном состоянии, модернизация может заключаться, главным образом, в замене балласта и отдельных компонентов верхнего строения пути, а также в обновлении системы сигнализации. Однако при ослабленном земляном полотне возможно быстрое ухудшение геометрических параметров пути, в связи с чем возникает необходимость частого проведения ремонтных работ.

Для вновь сооружаемых линий проектной документацией предусматривается жесткость земляного полотна, оптимальная с точки зрения выполнения им функции опоры для балластной призмы. Однако в XIX в., когда строились многие нынешние важнейшие магистрали,

этому фактору не всегда придавалось должное значение. Качество основания пути было весьма различным и зависело от большого числа факторов: квалификации проектировщиков, местных геологических условий, доступности материалов требуемого качества и т. д.

В связи с этим для обеспечения соответствия геометрических параметров пути требованиям, определяемым условиями эксплуатации, многие магистральные линии требуют достаточно трудоемкого текущего содержания. В случаях если модернизация действующих линий обусловлена планируемым повышением скорости движения поездов или частоты их следования, весьма полезным может стать тщательное измерение жесткости земляного полотна.

Существует два аспекта оценки жесткости земляного полотна. Деградация основания пути наиболее распространенного типа имеет место при значительных нагрузках, передаваемых через балластную призму и повышающихся при ее недостаточной высоте. Вероятность возникновения дефектов в основании пути особенно велика там, где присутствуют глинистые грунты, верхние слои которых подвергаются воздействию атмосферных явлений, или на насыпях, где плотность поверхностных слоев грунта может оказаться недостаточной.

Второй причиной недостаточной жесткости земляного полотна может стать присутствие

неустойчивых грунтов под балластной призмой. В этом случае скорость движения поездов должна быть ограничена вследствие динамического взаимодействия различных элементов пути и возникновения процессов, получивших название ударной волны или эффекта критической скорости. Как правило, требования к качеству пути в таких условиях выше, поскольку при наличии неустойчивых грунтов имеет место проблема передачи и восприятия нагрузок. При низких скоростях эта проблема может не ощущаться, однако с возрастанием скорости процессы динамического взаимодействия приводят к значительным смещениям грунтов, и жесткость земляного полотна снижается.

## Методы измерения жесткости земляного полотна

В большинстве случаев жесткость земляного полотна достаточна для движения поездов со скоростью до 100 км/ч. При более высоких скоростях требования к жесткости возрастают. Определенное представление о состоянии земляного полотна может быть получено путем анализа изменения параметров пути в процессе эксплуатации и рассмотрения результатов проведенных мероприятий по его текущему содержанию. Однако иногда затруднительно различить недостаточную жесткость земляного полотна и неудовлетворительное состояние балластной призмы. В таких случаях целесообразно проведение специальных измерений.

Известно несколько методов таких измерений, в том числе измерение параметров пути при проследовании по нему поезда, испытания с помощью нагрузочной плиты, вибрационные испытания и непосредственные исследования проб грунта. Компанией Scott Wilson (Великобритания) в течение более чем 15 лет для решения данной задачи

используется метод дефлектометра с падающим грузом. Специалистами компании создана установка на железнодорожном ходу, при помощи которой с высокой степенью точности можно определять как жесткость земляного полотна, так и максимальную допустимую скорость движения поездов (рис. 1).

Принцип работы установки основан на моделировании режима нагружения пути при движении поезда и измерении деформации земляного полотна. Груз сбрасывается на нагрузочную балку, установленную на шпале, которая на время проведения измерений отсоединяется от рельсов. Происходящий при этом удар создает эффект нагрузки, возникающей при прохождении поезда. На обследуемую шпалу и на поверхность балластной призмы на расстоянии 0,3, 1 и 1,9 м от шпалы вдоль пути устанавливаются девять сейсмоприемников. Их выходные сигналы подвергаются двойному интегрированию, что позволяет получить величины линейных перемещений шпалы и балласта. Процедура замеров занимает менее 2 мин, результат готов практически сразу же. Замеры обычно проводятся с интервалами 10 м, что позволяет обследовать участок пути длиной 2 км в течение 8-часового окна.

**Пример использования метода**

Метод оценки жесткости полотна с использованием дефлектометра с падающим грузом нашел широкое применение в Великобритании на линиях, где имеют место проблемы с техническим состоянием пути, и там, где планируется повышение скорости движения поездов. В результате обследований определяются участки с недостаточной жесткостью земляного полотна, а также выявляются ее причины, например рыхлость грунта или недостаточная толщина балластного слоя. Кроме

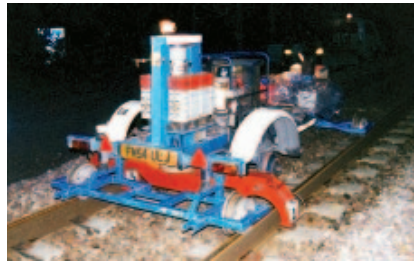


Рис. 1. Установка для измерения жесткости полотна с использованием дефлектометра с падающим грузом

того, при этом можно определить динамические характеристики грунта, на основании которых устанавливается максимальная допустимая скорость. Данная методика использовалась также во Франции и Германии для измерения жесткости земляного полотна на новых высокоскоростных линиях.

На первом этапе обследования обычно определяются максимальные деформации, зарегистрированные каждым сейсмоприемником во всех обследованных точках. Эти данные, соотнесенные с точками проведения замеров, позволяют воспроизвести наглядный профиль жесткости земляного полотна на всем обследованном участке. На рис. 2 представлены результаты выполненных в Великобритании на нескольких линиях измерений, которые свидетельствуют о том, что в зависимости от назначения и технического состояния линий этот

показатель может колебаться в довольно широких пределах. Данные, характеризующие жесткость собственно земляного полотна, представляют собой средние значения деформации на расстоянии 1 м от нагружаемой шпалы. Хотя эти данные не являются непосредственно измеренными, опыт показывает, что они позволяют получить реальное представление о состоянии полотна.

Рассматриваемая методика использовалась, в частности, на одном из участков магистрали Западного побережья в Великобритании, где после повышения допустимой скорости движения до 200 км/ч состояние пути стало быстро ухудшаться, в связи с чем пришлось ограничить скорость до 120 км/ч. Для выяснения причин было организовано инженерно-геологическое обследование, предусматривавшее сверление шурфов и исследование с помощью конического пенетromетра. В результате было установлено, что на некоторой глубине под слоем балласта имеется горизонт мягкого грунта с органическими включениями, однако определить степень его влияния на состояние пути не удалось. Проведенное с применением дефлектометра с падающим грузом последующее обследование, пример результатов которого приведен на

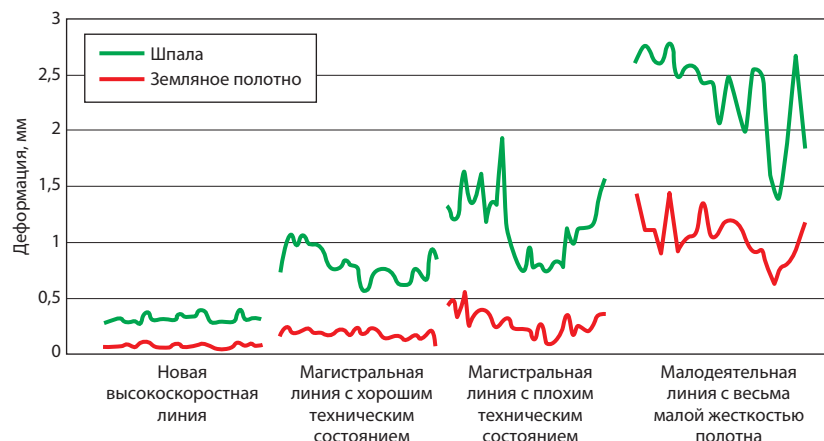


Рис. 2. Примеры результатов измерения жесткости земляного полотна на нескольких линиях в Великобритании

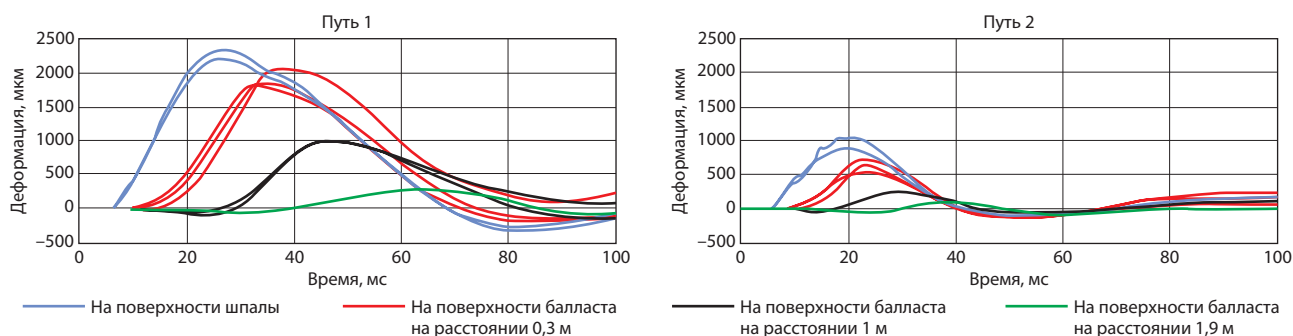


Рис. 3. Результаты обследования полотна на путях обоих направлений одного из участков магистрали Западного побережья в Великобритании

рис. 3, позволило вполне точно выявить участки с приемлемыми и неудовлетворительными показателями жесткости полотна. Для одного из путей отмечена весьма недостаточная жесткость, значительные деформации и существенная разница во времени между моментом максимального проседания от удара груза по нагружаемой шпале и его фиксацией установленными на балласте сейсмоприемниками в обследуемой точке участка. Для пути противоположного направления величины деформации земляного полотна и разницы во времени заметно меньше.

В результате проведенного обследования было установлено, что проблемным является участок путей обоих направлений протяженностью 70 м, при этом состояние одного из путей значительно хуже. После проведения работ по укреплению земляного полотна и перед снятием ограничения скорости движения поездов были вновь проведены измерения его жесткости, чтобы оценить эффективность принятых мер. Это позволило исключить риск дальнейшего ухудшения состояния пути после возобновления на этом участке движения поездов со скоростью 200 км/ч.

### Определение допустимой скорости движения

Опыт применения описанного метода в различных условиях свидетельствует, что получаемые результаты могут быть использованы для определения максимальной допустимой по соображениям безопасности скорости движения на любых линиях.

Так, данный метод использовался в Ирландии, где на различных участках сети, эксплуатируемой компанией-оператором *Ianród Éireann*, потребовалась оценка максимальной допустимой скорости движения. Для проведения этой работы была привлечена компания *Scott Wilson*, выполнившая оценку возможности повышения скорости до 160 км/ч на отдельных участках пути общей протяженностью 80 км, где в земляном полотне имелись торфяные включения. Компания предприняла тщательное обследование участков, включавшее предварительный анализ состояния пути и определение его параметров с помощью радиолокации и дефлектометра с падающим грузом. Это позволило разработать рекомендации по установлению оптимальной скорости движения и проведению

работ по повышению устойчивости верхнего строения пути и земляного полотна, которые позволят обеспечить эффективную эксплуатацию при рекомендованной скорости движения и при ее дальнейшем возможном увеличении.

Таким образом, данный метод может быть признан эффективным, универсальным и надежным способом оценки характеристик земляного полотна и обусловленных ими ограничений. В связи с тем что во многих странах имеется тенденция к созданию междугородных железнодорожных пассажирских коридоров путем как строительства специальных высокоскоростных линий, так и модернизации действующих, предварительная оценка характеристик верхнего строения пути и земляного полотна становится необходимой на стадии разработки проектов. Это позволяет исключить в дальнейшем введение ограничений скорости движения поездов из-за того, что недостаточная жесткость земляного полотна не была учтена при проектировании.

*P. Sharpe. Railway Gazette International, 2010, № 9, p. 190, 192, 194; материалы компании Scott Wilson (www.urs-scottwilson.com).*