

# Комбинированное применение устройств для обмера и шлифования рельсов

Современная измерительная техника для текущего содержания верхнего строения пути помогает локализовать дефекты на рельсах. Измерительные поезда (поезда, в состав которых включены различные вагоны-лаборатории) выполняют периодические измерения с целью определения состояния рельсов на магистральных линиях. Для пригородных и городских линий используют соответствующую измерительную аппаратуру, которая в сочетании со шлифовальными машинами обеспечивает эффективное текущее содержание и ремонт рельсов.

К современным железнодорожным системам предъявляются высокие требования, поскольку их инфраструктуре приходится выдерживать большие нагрузки. Сегодня пассажирским перевозкам требуются все более высокие скорости при усовершенствованных характеристиках плавности хода. В грузовом сообщении нагрузка на ось возросла до 22,5 т при скорости до 120 км/ч, сократились интервалы между поездами. Такие нагрузки передаются всеми статическими и динамическими силами с обода колеса на рельсы. В результате возникают повреждения верхнего строения пути и подвижного состава, вызывающие усиление корпусного и воздушно-го шума.

Причины возникновения износа рельсов самые разнообразные и сводятся к различным факторам влияния. Но основным из них является контакт колеса с рельсом. Данная статическая нагрузка от воздействия колес вызывает самый большой износ рельсов. Качение подвижного состава по рельсам вызывает колебания, которые также приводят к повреждениям

и износу рельсов. Наиболее часто встречающимися дефектами рельсов являются волновой износ, деформация головки рельса, разрушения в результате контактной усталости при качении (усталостные дефекты типа сетки поверхностных трещин, шелушения на поверхности катания и концентрации трещин), которые в худшем случае могут привести к выкрашиванию металла.

Для борьбы с износом рельсов и устранения возникающих на них дефектов используется различная измерительная и шлифовальная техника. Целенаправленная стратегия текущего содержания должна противодействовать образованию дефектов рельсов с помощью профилактических мероприятий и в зависимости от объективных признаков. На магистральных линиях определенные участки пути периодически проверяют измерительными поездами, которые регистрируют различные параметры, позволяющие оценить износ и повреждение рельсов. Эти данные являются основанием для проведения восстановительных работ с использо-

ванием шлифования и фрезерования рельсов.

Измерительные и путевые машины, предназначенные для крупных железнодорожных сетей, нельзя использовать на пригородных и городских линиях по конструктивным и экономическим причинам. Швейцарские компании Autech, Schmid Engineering и Zehnder разрешили эту проблему, разработав соответствующие устройства для измерения и шлифования рельсов, позволяющие собирать и регистрировать данные, объединяемые в единый блок, и устранять повреждения на рельсах в черте города и на пригородных линиях.

## Методика измерений и цепи управления

Подробную информацию о состоянии рельсов можно быстро получить разными способами. Современные методы измерений, которые грубо можно разделить на поперечные и продольные измерения, а также определение положения пути в плане и профиле позволяют не только быстро и точно определить требуемые параметры рельсов, но и сразу же на месте рассчитать важные характеристики их состояния. Такая методика успешно реализуется при условии быстрого поиска нужного решения на базе регулирования процессов измерения и управления их качеством. Надежная облегченная конструкция, простота управления и беспроводная передача данных на персональный компьютер обеспечивают в итоге максимальную производительность в ежедневной эксплуатации.

### Вагон для комплексных измерений

Универсальный измерительный вагон MWRM 2000 используется для сбора и регистрации данных о состоянии рельсов на протяженных участках пути, например

на одной из линий метрополитена. Этот вагон регистрирует следующие параметры:

- продольный профиль (волно-вой износ);
- выбоины;
- ширину колеи;
- поперечный и продольный уклон рельсов;
- поперечный профиль рельса;
- высоту головки рельса;
- глубину желобка трамвайных рельсов.

Одновременно с этим при помощи системы спутниковой навигации GPS определяют географические координаты линии и соотносят их с параметрами, измеренными вагоном. Таким образом, любая точка измерения и измерительный участок позиционируются на цифровой карте железнодорожной сети.

Измерительный вагон на комбинированном ходу имеет небольшие размеры и может перемещаться как по метровой колее, так и по нормальной. Благодаря сменным бандажным колесам и различным видам сцепок для соединения с тягачом измерительный вагон можно использовать на всех линиях рельсового транспорта: городской железной дороги, метрополитена и трамвая.

### *Выборочное измерение поперечного профиля*

Для выполнения на линии выборочных измерений поперечного профиля рельсов используют мобильный измерительный прибор — рельсовый монитор RML 3000. Он предназначен для статического обмера рельсов. Модульная концепция позволяет точно и быстро регистрировать различные параметры, в том числе широкоподошвенных и желобчатых рельсов, а также стрелочных переводов, включая крестовины. Поперечный профиль в сочетании с возвышением рельса, шириной колеи и высотой профиля за

вычетом износа дает полную картину состояния рельса в конкретном месте.

Поперечный профиль считывается лазером и отображается графически. Лазерный датчик перемещается вдоль рельса и считывает, не касаясь его, размеры головки рельса по методу триангуляции. Требование гладкой поверхности катания контролируется точной и оптимизированной для рельсов оптоэлектроникой. С помощью поворотного зеркала одновременно сканируется боковой профиль, дополнительно можно получить данные о наличии заусенцев (дефектов прокатки), высоте головки рельса и ее износе. Возвышение одного рельса над другим рассчитывается непосредственно по ширине колеи и абсолютному уклону, измеренному датчиком инклинометра.

### *Надежность и контроль качества процесса измерений*

Отдельные места измерений можно параметризовать на месте с помощью измерительных устройств или предварительно с помощью персонального компьютера, находясь в офисе или лаборатории. С точки зрения обратной связи и воспроизводимости результатов измерений идентификация их (кто проводил измерения, что измерял, где и когда) играет центральную роль. Если разметка линий сети (километраж) недостаточно точна, в этом случае интересной альтернативой являются GPS или различные дифференциальные DGPS в сочетании с географическими информационными системами (GIS). Как правило, измерительный прибор поддерживает два основных в системе текущего содержания пути процесса: эффективное шлифование и надежное обеспечение качества. При контроле шлифования на первом месте стоит производительность: ее обеспечивает рельсовый монитор, работающий как интеллектуальный

«путевой штангенциркуль». В обеспечении качества в более широком масштабе решающую роль играет эффективность всего текущего содержания. Предварительные измерения регистрируют в основном неудовлетворительное исходное состояние, а последующие точные измерения — улучшенное окончательное состояние пути. В связи с этим в устройстве должны быть записаны оба этих результата на каждую точку измерения. В ходе дальнейшей обработки полученных данных они сортируются на предварительные оценочные и измеренные и служат затем в качестве базы сравнения для определения качества выполненных шлифовальных работ.

### *Цифровой анализ и центрирование профиля*

Цифровые эталонные данные по рельсам, например типа S 49, являются основой для всех оценок. Они растриваны в программе CAD и загружены в измерительное устройство. Измеряемые профили можно центрировать либо вручную с помощью курсора, либо автоматически. Эталонный профиль согласован с измеренным путем математических вычислений таким образом, что они совпадают в двух фиксированных точках (двухточечный метод Z14/Y5 или Z30/Y5). На основании этих двух совмещенных профилей (эталонный и измеренный, т. е. фактический) можно получить различные геометрические параметры. Так, путем вертикальных или нормальных вычетов получают информацию об износе рельса. Графическое сравнение заданного и истинного состояния по всему спектру углов свидетельствует о возможности нахождения дефекта в диапазоне действующих допусков. Большой интерес для текущего содержания вызывают выборочные характеристики, такие, как глубина впадин при волновом износе,

высота головки рельса или величина радиуса перехода к внутренней грани головки рельса. Кроме того, можно также непосредственно измерять ширину шлифовальной фаски и угол шлифования.

**Устройство для продольного измерения пути**

Для непрерывного продольного измерения коротких участков пути, анализа поверхности катания рельса, контроля ширины колеи и уклона служит мобильное устройство RailSurf. Оно принадлежит к портативным ручным измерительным системам, перемещаемым вручную по рельсам. Устройство состоит из двух ползьев и поперечной балки, служащей опорой для сенсорного оборудования и системы управления с клавиатурой и джойстиком. Результаты измерений отображаются на графическом дисплее и сохраняются на компактной флэш-карте памяти.

Контакт с рельсом реализуется с помощью двух шлифованных твердосплавных ползьев длиной по два метра, имитирующих линейку, лежащую на поверхности катания рельсов, и действующих, таким образом, как механический фильтр средних значений. Эти ползья являются главным звеном устройства. Расположенные по центру ползьев датчики вихревых токов сканируют продольный профиль рельса с микрометровым разрешением. Процесс ведется без контакта датчиков с рельсом. Поперечная балка имеет пружинный механизм, который при движении адаптируется к отклонениям от колеи и, следовательно, обеспечивает оптимальное их прохождение. Одновременно дистанционный датчик сканирует отклонения от нормальной ширины колеи. Два инклинометра регистрируют отклонение высоты рельсов в поперечном и продольном направлениях.

Измерение длины пути осуществляется цифровой системой (рис. 1),

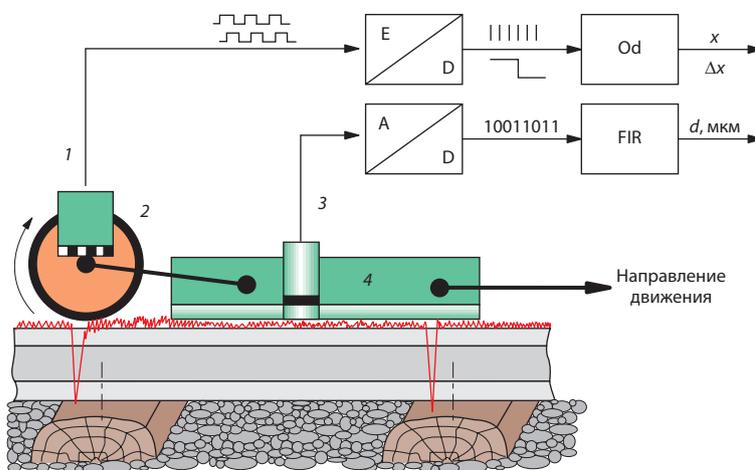


Рис. 1. Схема продольного измерения пути:  
1 — магнитный датчик положения; 2 — измерительное колесо; 3 — вихретоковый датчик; 4 — ползья; E — импульсные электрические сигналы; D — сигналы в цифровом виде; A — аналоговые сигналы; Od — прибор, отображающий измеренную длину  $x$  и ее приращение  $\Delta x$ ; FIR — фильтр;  $d$  — отклонение продольного профиля

состоящей из магнитного датчика положения и измерительного колеса. При движении ползьев по рельсам система измерения независимо от скорости движения излучает равноудаленные импульсы вдоль пройденного пути и выполняет таким образом измерения его длины. Перед последующей обработкой данных помехи исключаются с помощью цифрового фильтра.

**Оценка результатов измерений**

Любая измеряемая величина должна быть однозначно идентифицирована. В устройствах с выборочным измерением это обычно выполняется вручную с привязкой к определенному месту, например координатной точке, номеру опоры, километровым или пикетным столбикам, а также к номерам домов в городских условиях. В устройствах непрерывного измерения обычно используются цифровые системы, определяющие путь с отсчетом в приращениях. Безусловно, самым удобным методом локализации измеряемых величин является абсолютное геопозиционирование с помощью GPS или DGPS в сочетании с цифровым компасом для теневых

участков, возникающих при спутниковом позиционировании.

Аналогично измерению поперечного профиля непрерывно анализируется на наличие дефектов в рельсах и продольный профиль. Например, волновой износ обнаруживается с помощью спектрального анализа в характерном диапазоне длин волн. Способы измерения и конструкция устройства позволяют распознавать рифли (10 – 30 мм), короткие волны (30 – 100 мм) и средние волны (100 – 300 мм). Установить координаты выбоин и рельсовых стыков можно путем сравнения с эталоном. Трещины на рельсах обнаруживаются на основе типичных скачков (разрывов) в непрерывной характеристике сигнала. Параметризуемые и рационально подобранные предельные значения позволяют сократить поток данных до разумного объема. Благодаря этому оцениваются только те дефекты, которые явно влияют на безопасность движения и плавность хода подвижного состава. Результаты измерений с помощью аналитической компьютерной программы Railmap объединяются с другими массивами данных.

Поперечный и продольный профили в сочетании с параметрами положения пути, такими, как ширина колеи и возвышение рельса, дают в итоге цифровое отображение состояния линии, позволяют исследовать механику движения подвижного состава в колее и выполнить анализ износа.

Программа Railmar сжимает до приемлемого объема информацию, получаемую при измерениях, выполненных вручную или с помощью измерительного вагона и отображающую параметры рельсов. Каждая измеряемая величина увязывается с километровыми знаками или географическими координатами и точно локализуется на плане местности, например на цифровой карте города. Интеллектуальные цифровые фильтры обнаруживают дефекты рельсов (волновой и другие виды износа, выбоины, сколы, погрешности положения колеи в плане и профиле) и благодаря выдаче целенаправленной отчетной информации о дефектах обеспечивают эффективное целевое техническое обслуживание. Кроме отдельных характеристик, можно также исследовать различные профили, оценивать их свойства и определять географическое положение. Так, при скачкообразных изменениях уклона большая роль в процессе их анализа отводится измерению профиля рельса и ширины колеи. Кроме того, дополнительные сведения о непропорциональном износе рельсов в кривых можно получить по

их местоположению на цифровой карте города.

Современные компании-операторы инфраструктуры пользуются рабочими платформами на базе географических информационных систем (GIS) и банка данных. Эти системы идентифицируют и целенаправленно контролируют такие элементы инфраструктуры, как останочные пункты, стрелочные переводы и отдельные участки рельсов. Если подобное оборудование предназначено для решения задач более высокого уровня, то Railmar является связующим звеном с «реальными» дополнительными функциями, такими, как систематизация результатов измерения, расчет профиля, корреляция данных и формирование эталонного образца. Благодаря такому регулируемому механизму и периодическому сканированию фактического состояния пути лицо, ответственное за проведение исследований, получает важные сведения о неполадках на сети и может целенаправленно решать проблемы, связанные с их устранением.

### Шлифование рельсов

Анализ результатов измерения служит основой для целенаправленного шлифования рельсов, т. е. для исправления дефектов, выходящих за пределы допусков. Благодаря различным габаритным размерам шлифовальные машины могут быть использованы выборочно, в зависимости от требований, дей-

ствующих на сети. Шлифовальные машины серии АТ 1002К60 с электроприводом для устранения на рельсах волнового износа различной степени, снабжаемые энергией от мобильных электрогенераторов, пригодны для работы на трамвайных путях в сложных городских условиях.

Самоходную шлифовальную систему АТ 3389 можно эксплуатировать на различных рельсовых сетях независимо от внешнего источника питания. Шлифовальная машина приводится в движение дизель-генераторным агрегатом, оборудованным глушителем шума, и гидравлической системой. Шлифовальный блок может быть оборудован двумя цилиндрическими шлифовальными кругами или одним шлифовальным кругом, который способен полностью отшлифовать стрелочный перевод.

Базовой единицей подвижного состава для шлифовальной техники служит автомобиль с гидроприводом на все колеса. Шлифовальная машина на комбинированном ходу также оснащена гидростатическим приводом, который может воздействовать как на автомобильную, так и на рельсовую ходовую часть. Шлифовальный блок образован 12 шлифовальными валками, служащими для ликвидации волнового износа на обычных рельсах, а также для обточки желобчатых и виньоловых рельсов. Кроме того, на машине смонтированы пылесос и аэрозольная система распыления водяного тумана, используемого в качестве противопылевого барьера и для противопожарной защиты деревянных шпал. Шлифовальные валки, а также система подачи и устройства бокового и углового позиционирования работают от гидропривода. Машина может быть использована на линиях нормальной и метровой колеи. Для работ на линиях метрополитена ее дополнительно оборудуют фильтром для улавливания частиц. Не-

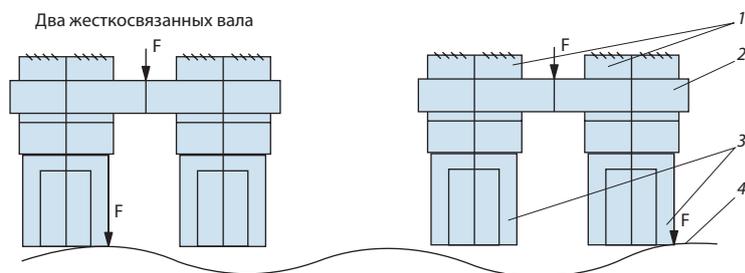


Рис. 2. Сдвоенный блок шлифовальных кругов:

1 — валки шлифовальных кругов; 2 — жесткая связь; 3 — шлифовальные круги

большие внешние габариты машины позволяют также эксплуатировать ее в узком габарите приближения строений.

### Методика шлифования

При шлифовании рифлей головки рельса обрабатывается шестью вращающимися чашечными шлифовальными кругами, расположенными в трех сдвоенных блоках. Угол каждого блока можно регулировать индивидуально. Благодаря этому за один проход можно отшлифовать три разные фаски. В зависимости от глубины рифлей при одинаковом угле шлифования требуется от одного до двух проходов. Благодаря регулировке подачи шлифовальных кругов по вертикали головка рельса обтачивается по методу многогранной шлифовки. Разность углов и число отдельных граней зависят от формы рельса или величины его износа. Каждый блок состоит из двух жестко связанных друг с другом шлифовальных валков, с которыми также могут быть выровнены средние валки (длиной до 300 мм). Благодаря жесткому соединению валков шлифовальный круг не может достичь впадины на рельсе с волнообразным износом (рис. 2) и продолжает шлифование до тех пор, пока поверхность головки рельса не станет ровной. Абразивная пыль засасывается мощным пылесосом с улавливателем искр.

После продолжительной эксплуатации пути изменяется радиус внутренней грани головки рельса и возникают заусенцы. Чтобы исправить эти дефекты, внутреннюю грань обтачивают под углом  $72^\circ$ , а наружную сглаживают до  $45^\circ$  (рис. 3). Чтобы полностью отшлифовать элементы стрелочных пере-

водов, с двух сторон шлифовальной установки вместо блока сдвоенных валков устанавливают по одному модулю, специально сконструированному для этого вида работ. Шлифование стрелок выполняется восемью чашечными и двумя простыми шлифовальными кругами в диапазоне углов от  $45^\circ$  снаружи и до  $72^\circ$  внутри. Управление шлифовальной установкой обеспечивает очень точное позиционирование шлифовальных модулей. Шлифование в области контррельса также полностью выполняется модулем, предназначенным для стрелочных переводов.

В шлифовальной машине на комбинированном шагу процесс шлифования полностью автоматизирован. Предварительно полученные результаты обмера рельсов (поперечный и продольный профили) передаются на измерительные приборы шлифовальной машины. Система управления шлифовальным процессом сравнивает измеряемые ею величины с заданными параметрами профиля и на основе интерактивного потока и спектра дефектов определяет точное позиционирование шлифовального модуля (поперечная координата, угол шлифования), обеспечивающее устранение дефектов. Система управляет процессом шлифования и контролирует поперечный профиль рельса после каждого рабочего прохода, а также автоматически задает необходимое положение, чтобы обеспечить заданный профиль. Водитель-оператор контролирует процесс шлифования на мониторе, в том числе и по графическому изображению, и в случае необходимости может перейти на ручное управление. После завершения шлифования рельсы еще раз обмеряют приборами, полученные результаты передают

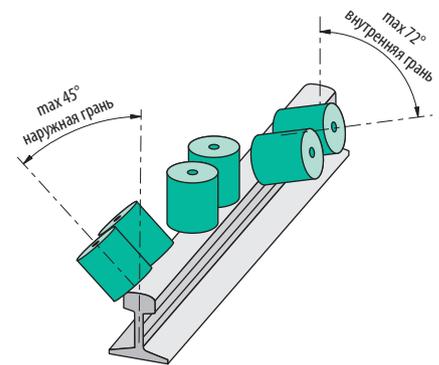


Рис. 3. Зоны шлифования

в запоминающее устройство персонального компьютера и интегрируются в базу данных по текущему содержанию пути. Объединение в сеть предварительных измерений позволяет провести сравнение состояния рельса до и после шлифования. Распечатанный протокол может служить документом, удостоверяющим качество поверхности катания рельсов.

### Вывод

Современная технология текущего содержания верхнего строения пути требует надлежащего функционирования измерительной и шлифовальной техники, процесс работы которой может быть как непрерывным, так и выборочным. Периодическое сканирование рельсов позволяет выполнять целенаправленное техническое обслуживание и устранение повреждений рельсов. Управляемый таким образом процесс улучшает финансовые и эксплуатационные показатели компании-оператора инфраструктуры и способствует повышению надежности и комфортности пассажирских перевозок.

*H.-P. Müller et al. Eisenbahningenieur, 2007, № 6, S. 30 – 36.*