

Бесконтактные измерения величины отжата контактного провода

Для метрологического исследования перемещений контактной подвески при движении поезда институтом железнодорожной техники был разработан оптический метод измерения. Бесконтактное считывание результатов измерений осуществляется автоматически с помощью специально разработанного программного обеспечения. Основным преимуществом нового метода перед традиционными является высокая гибкость применения без использования окон и без снятия напряжения для подключения и отключения приборов. Измерения могут проводиться в любой точке, причем необязательно под фиксатором. Метод применим для испытаний в рамках допуска устройств контактной сети и подвижного состава, а также для измерений в исследовательских целях.

Измерение величины отжата контактного провода под фиксатором необходимо для выполнения испытаний в рамках допуска как устройств контактной сети, так и подвижного состава. Нормативы для измерений содержатся в европейском стандарте EN 50317, где предписывается величина максимального допуска 5 мм.

Традиционные методы основаны на датчике проходимого пути, механически связанном с контактным проводом. Измерительные устройства монтируются на контактной подвеске или же на опоре контактной сети. Они стационарно устанавливаются в определенных точках сети. Известен также метод измерения отжата контактного провода с помощью съемки диодной камерой с точки, расположенной вне зоны пути.

В рамках европейской стандартизации в области совмещения систем при высокоскоростном движении требования к ограничению величины отжата контактного провода отражены в технической спецификации TSI Energie. Выпол-

нение этих требований обеспечивает необходимый уровень качества взаимодействия токоприемника и контактной подвески. Измерение отжата контактного провода необходимо для допуска тягового подвижного состава к эксплуатации на обычных линиях и для контроля состояния токоприемников, а также для создания и расширения европейской системы высокоскоростного движения.

Традиционные измерительные системы имеют ряд недостатков, связанных с тем, что их устройства, как уже упоминалось, монтируются в фиксированных точках на подвеске или опорах контактной сети:

- для установки и снятия оборудования требуются эксплуатационные окна;
- для этих же целей требуется отключение напряжения;
- установка оборудования в фиксированных точках связана с ограничениями при выборе участков для испытаний в рамках допуска подвижного состава к эксплуатации;
- гибкость смены мест измерения существенно ограничена;

- длительность использования участков для испытаний в рамках допуска подвижного состава также ограничена;

- требуются дополнительные затраты времени для приемки самого испытательного участка;

- измерения возможны только в местах нахождения опор.

Метод, разработанный институтом железнодорожной техники IFB, сохраняет все положительные стороны традиционных методов и позволяет устранить указанные недостатки. При разработке учитывались следующие требования:

- точность измерений соответствует требованиям стандарта EN 50317;

- измерительная техника размещается вне зоны пути и контактной подвески;

- калибровка приборов также производится вне указанной зоны;

- учтена возможность измерения скорости проходящих поездов;

- измерения могут проводиться в любое время дня, а также ночью;

- подключение отдельных измерительных компонентов возможно в течение 24 ч.

В связи с этим достигаются следующие цели:

- возможность проведения испытаний без предоставления окон и производства отключений напряжения, что позволяет проводить измерения быстро, безопасно и с высокой точностью. При этом значительно снижаются затраты на выполнение этих работ, упрощаются подготовительные работы;

- гибкость выбора мест измерений на сети, благодаря чему увели-

чивается число выбираемых изготовителем подвижного состава испытательных участков, сокращаются затраты времени на доставку приборов и персонала к месту производства измерений, уменьшаются общие затраты времени, необходимые для процедуры допуска подвижного состава.

Описание бесконтактного метода измерений

Принцип измерений

Идея бесконтактных измерений состоит в том, чтобы оптически фиксировать перемещения контактного провода, вызываемые нажатием ползца токоприемника. Разработанный метод защищен патентом.

При прохождении поезда производится видеосъемка ползца токоприемника, скользящего по контактному проводу. Полученное изображение сохраняется в цифровом виде для последующей обработки на компьютере. На рисунке показан принцип оптического измерения. Исследуемая зона показана на рисунке в увеличенном виде.

Камера фокусируется с большой точностью на зоне измерений, т. е. на месте контакта токоприемника с проводом. Для оценки величины отжатия используются две визирные линии, одна из которых (V_r) соответствует начальному положению контактного провода, а другая (V_a) — положению, занимаемому в результате отжатия провода токоприемником. Угол между этими линиями меньше 1° . Объект съемки, расположенный в реальной плоскости, проецируется на изображение, плоскость которого позиционируется ортогонально визирным линиям. Угол, на который изображение повернуто по отношению к реальной плоскости, соответствует углу, на который при съемке повернута камера относительно горизонтали.

Калибровка

Для того чтобы съемку использовать для измерений, изображения измеряемых объектов следует калибровать. Это может быть выполнено двумя способами — самокалибровкой и внешней калибровкой.

При самокалибровочных измерениях файл изображения содержит в себе калибровочную информацию. Определенные, заранее известные и видимые в натуре размеры переносятся на изображение, благодаря чему с помощью несложного пропорционального сравнения осуществляется калибровка изображения.

При измерениях с внешней калибровкой к получаемому изображению необходима дополнительная информация. Так, должны быть известны число пикселей по вертикали картинки и угол между оригиналом и плоскостью изображения. Последний определяется с помощью пропорционального сравнения с углом, образующимся между направлением съемки и горизонталью. Число пикселей определяют с помощью замены съемочной камеры дальномером. Находясь вне зоны подвески и пути, по известному расстоянию до измеряемого объекта и нормали, проходящей через

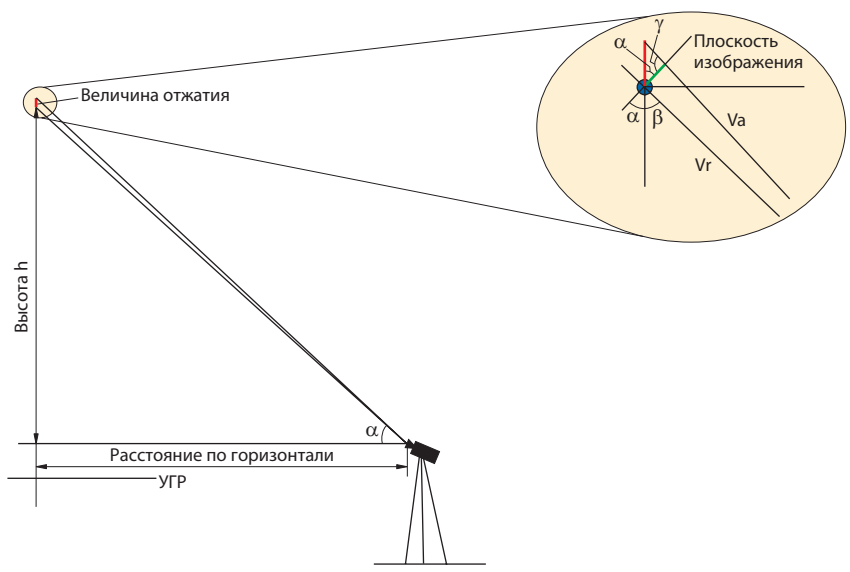
точку исходного положения провода, выполняют калибровку вертикали, заменив дальномер на съемочную камеру. После этого можно рассчитать размер изображения с учетом полученной ранее величины угла между оригиналом и плоскостью изображения.

Свойства системы

Для обеспечения соответствия европейскому стандарту EN 50317 необходимо знать системно обусловленные факторы, влияющие на точность измерения. К этим факторам относятся:

- разрешающая способность и расстояние до объекта измерений;
- величина нормали при калибровке;
- величина и точность измерения угла поворота камеры по отношению к горизонтали.

При оценке изображения на компьютере дополнительную погрешность вносит перевод информации в цифровую форму, с помощью которой невозможно отобразить непрерывные функции. Для оценки точности системы измерения следует исходить из того, что при каждом замере возможна ошибка при определении числа пикселей. При этом



Принцип оптического измерения

ошибка может достигать двух пикселей. Еще половина пикселя добавляется при переводе информации в цифровую форму.

Указанные факторы проявляются в разной степени в зависимости от способа калибровки. При самокалибровочном измерении точность измерения расстояния до объекта и угла поворота камеры не имеет значения. При небольшой величине нормали удаленность камеры от измеряемого объекта ограничивается величиной 10 м. Второе ограничение заключается в требовании высокой точности положения нормали по отношению к направлению перемещения контактного провода.

Измерения с внешней калибровкой имеют более высокую точность, что позволяет использовать большую величину нормали. Влияние точности измерения расстояния от камеры до объекта и угла поворота камеры по отношению к горизонтали здесь невелико. В этом случае измерение с расстояния более 15 м не представляет трудности с соблюдением норматива допуска 5 мм.

Реализация системы

Съемка

Бесконтактное измерение отжата контактного провода токоприемником осуществляется на базе цифровой обработки изображения. Каждое контролируемое перемещение должно сниматься отдельной камерой, связанной с главным компьютером. Главный компьютер управляет началом и окончанием съемки, выполняемой всеми камерами. Цифровые файлы съемки пе-

редаются на этот компьютер, с которого поступают на блок обработки данных. Полученные результаты измерения помещаются в запоминающее устройство.

Обработка результатов

Накопленные в запоминающем устройстве данные поступают на блок обработки компьютера. Здесь оцениваются и верифицируются цифровые параметры, отображающие высоту расположения контактного провода и скорость движения токоприемника. При оценке величины отжата контактного провода открывается отдельное программное окно для каждой точки измерения, которое инициируется калибровочными данными, соответствующими этой точке. Оценка измерений может производиться исследованием всей картины измерения, а также выделением отдельных кадров. Для оценки величины отжата курсором отмечается исходное положение контактного провода. С помощью калибровочных данных и переработанной информации о положении курсора программа определяет величину отжата провода и отображает точность измерения в миллиметрах. В программе для каждого процесса измерения предусмотрена одновременная обработка четырех измеряемых параметров для высоты отжата и скорости перемещения токоприемника. Результат каждого последующего измерения высоты отображается над результатом предыдущего измерения. При этом в рамках каждого процесса измерения отображаются величины отжата для четырех моментов времени.

Применение

Метод бесконтактного измерения величины отжата контактного провода уже неоднократно применялся при испытаниях в рамках допуска к эксплуатации высокоскоростных контактных подвесок и тягового электроподвижного состава. Такие измерения проводились на различных линиях с разным подвижным составом как в Германии, так и в других странах Европы, например в Нидерландах и Бельгии. При этом на некоторых поездах использовались разные токоприемники. Различные варианты испытаний проводились в соответствии с требованиями клиентуры.

Пробные измерения отжата контактного провода были выполнены с трех точек на одном из пролетов (длиной 65 м) высокоскоростной контактной сети. Скорость поезда при испытаниях доходила до 330 км/ч. Измеренные величины со всех трех камер через 10 мин после прохода токоприемника были обработаны и отправлены в центр управления испытаниями. Возможность обработки полученных результатов непосредственно на месте измерения позволяет применять оптический метод измерения при опытных поездках, проводимых в условиях жесткого ограничения времени.

Одновременные измерения отжата проводились также и для двух опор на путях обоих направлений. Здесь длина пролетов составляла 80 м. Для ночных измерений использовались специальные приборы подсветки.

J. Hietzge, A. Stephan. Elektrische Bahnen, 2007, № 4 – 5, S. 276 – 279.