

Улучшение контакта между токоприемником и контактным проводом

На линиях пригородного сообщения и трамвайной сети высота расположения контактного провода не является неизменной величиной, поскольку при трассировке ее устанавливают в соответствии с местными условиями. При большом снижении контактного провода и использовании недостаточно приспособленных для работы в этих условиях токоприемников может происходить нарушение контакта, возникать электрическая дуга, усиленно изнашиваться контактный провод. Измерения, выполняемые на токоприемниках и контактном проводе, позволяют выяснить причину плохого токосъема и определить пути устранения этих причин.

Высота расположения контактного провода должна устанавливаться в соответствии с условиями на конкретной железнодорожной или трамвайной линии, при этом она значительно уменьшается в зоне мостов. В то же время на других участках положение контактного провода по высоте также может меняться. Так, на линиях местного сообщения обычно имеются участки с большим снижением контактного провода. Во избежание нарушений в тяговом электроснабжении необходимо следить за тем, чтобы положение контактного провода соответствовало характеристикам токоприемников.

Качество контакта между контактным проводом и ползцом токоприемника имеет большое значение для оценки процесса токосъема. Плохой механический контакт может приводить к образованию электрической дуги, при этом сильно изнашивается контактный провод. Но даже в том случае, когда электрическая дуга не возникает, недостаточное усилие нажатия обуславливает неравномерное прилегание угольных вставок к проводу, плотность тока в местах имеющегося

локального контакта увеличивается настолько, что материал контактного провода может плавиться от нагрева и попадать на крышу вагона или на расположенную рядом вторую угольную вставку токоприемника (рис. 1). Кроме того, ухудшившееся прилегание угольных вставок токоприемника к проводу приводит к образованию желобка на графите и омеднению прилегающих к нему зон.

Измерение переходного сопротивления контакта в режиме движения связано в настоящее время с неоправданно высокими дополнительными затратами. В связи с этим компания Deutzer Technische Kohle (ДТК) проводит измерения силы нажатия в контакте. На базе полученных результатов с помощью расчетов определяют переходное

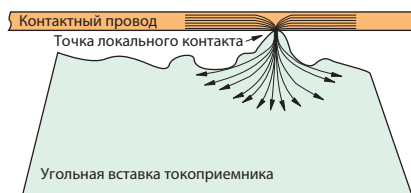


Рис. 1. Увеличение плотности тока в точках локального контакта

сопротивление и нагрев поверхности контакта.

Так как по характеристикам токоприемника можно лишь условно определить его износоустойчивость, силу нажатия, действующую между угольной вставкой токоприемника и контактным проводом, определяют при различных значениях скорости изменения рабочей высоты токоприемника. По результатам измерений можно определять показатели износоустойчивости токоприемников на любом участке пути, а также выявлять причины нарушений взаимодействия в скользящем контакте. Если известны причины нарушений, то могут предприниматься соответствующие меры для их устранения. Из-за инерции токоприемника его полз не может достаточно быстро следовать за резкими изменениями высоты контактного провода при его подъеме. В результате сила прижатия к контактному проводу уменьшается. При этом пружина поджимает полз вверх, который резко поднимается и вновь входит в соприкосновение с контактным проводом. Движение полза вверх прекращается, но, поскольку подъем контактного провода продолжается, снова происходит нарушение контакта.

Таким образом, сила прижатия постоянно колеблется между достаточным значением и слишком малым.

Такие же колебания силы прижатия возникают и при снижении контактного провода, так как контактные накладки и пружины полза образуют со всем механизмом токоприемника и его главной пружиной сложную колебательную систему.

Измерение силы прижатия производится при проверке токоприемников, при оценке плавности хода контактных накладок по контактному проводу, а также при измерении напряжения на токоприемниках. По результатам измерений

можно определить, какие мероприятия необходимы для улучшения токосъема.

Контакт токоприемник — провод

В процессе эксплуатации под воздействием трения изнашиваются и контактный провод, и угольные вставки токоприемников. Особенно сильный износ возникает при отсутствии достаточного механического контакта. В результате возникновения электрической дуги происходит оплавление контактного провода и выгорание графита угольной вставки. Зачастую температура на поверхности угольной вставки не настолько велика, чтобы кислород полностью вступил в реакцию. Часть его проникает в поры угольной вставки и окисляет ее изнутри. Образующийся при этом газ CO_2 выделяется из угольной вставки, а его место занимает поступающий кислород, который снова вступает в реакцию с углеродом. Структура угольной контактной вставки ослабляется, на ее поверхности образуются поперечные бороздки.

Скорость реакции окисления угольной вставки, протекающей при температуре до $450\text{ }^\circ\text{C}$, определяется процессами выхода молекул CO и CO_2 из ее пор и поступления кислорода к месту реакции. Этот процесс происходит по всей толщине угольной вставки. Однако разрушение материала может происходить и при отсутствии электрической дуги из-за упоминавшегося

ранее локального увеличения плотности тока при недостаточной силе прижатия.

Целью исследований, проводившихся компанией ДТК на контактном проводе и токоприемниках, является выяснение причин ухудшения качества контакта и определение мер для его улучшения. Результаты исследований могут также использоваться для выбора такой конструкции токоприемника, которая наилучшим образом подходила бы для конкретной сети.

Процесс измерений

Общие сведения

При исследовании токоприемников определяли, как изменяется сила прижатия полоза к контактному проводу при различной скорости изменения рабочей высоты токоприемника по отношению к контактному проводу в процессе эксплуатации.

В ходе исследований, выполнявшихся на контактном проводе, определяли высоту его расположения и зигзаг, процесс соударения между контактным проводом и ползцом токоприемника, плавность скольжения угольных вставок по контактному проводу. Кроме того, в ходе исследований измеряли напряжение на токоприемнике и ток, протекающий по угольной вставке токоприемника, фиксировали его направление.

На одном из этапов исследований система ДТК устанавливалась

на находящийся в регулярной эксплуатации подвижной состав, который обращался на линии в обычном для нее диапазоне скорости. При измерении напряжений определяли его падение и потенциалы на всех участках тракта — от токоприемника до рельсов. Для каждой точки измерений одновременно записывали линейные координаты. Это позволило зафиксировать расположение каждой точки измерения на цифровой карте.

В соответствии со стандартом EN 50119 темп изменения высоты расположения контактного провода должен быть как можно меньшим и не выходить за пределы, указанные в таблице.

Согласно этим данным расчетная скорость изменения наклона (градиент) при скорости движения 30 и 60 км/ч должна составлять 0,12 м/с, а при 10 и 100 км/ч — всего лишь 0,06 м/с. Уже при градиенте 0,12 м/с отмечается заметное уменьшение силы прижатия. При измерениях, выполнявшихся на контактном проводе, зачастую наблюдались более высокие значения градиента подъема или снижения провода (от 0,3 до 0,4 м/с).

Для обеспечения достаточного качества электрического контакта между контактным проводом и угольной вставкой токоприемника необходимо, чтобы токоприемник следовал наклонам и изменениям наклона контактного провода. Следует отметить, что многие токоприемники в силу своей инерции и большой массы полоза не могут соответствовать этим требованиям.

При сравнении токоприемников были обнаружены большие различия их износостойкости. Эти различия связаны, прежде всего, с массой полоза, его конструкцией (рамной или в виде отдельных подпружиненных контактных накладок), а также с типом эксплуатации токоприемника (движение коленом вперед или назад). Неко-

Допустимые значения величины снижения контактного провода (наклон и градиент наклона), соответствующие стандарту EN 50119

Скорость движения, км/ч	Максимальный наклон, %	Градиент наклона, м/с
10	60	0,06
30	40	0,12
60	20	
100	6	0,06

торые токоприемники имели недостаточное усилие подпружинивания полоза и повышенное трение в подшипниках.

В эксплуатации токоприемники ведут себя по-разному. Эти различия проявляются в износе угольной вставки и контактного провода. При больших снижениях контактного провода, например под мостами, износ контактного провода заметно возрастает. В таких местах контактный провод приходится менять чаще. В то же время даже там, где подвеска расположена высоко, могут наблюдаться наклоны провода с таким градиентом, который не укладывается в требования стандартов. В связи с этим пробег угольных вставок токоприемника может колебаться от 3500 до 200 000 км.

Сила прижатия при изменении высоты расположения контактного провода

В процессе подготовки испытаний компания DTK оснастила токоприемник устройствами для измерения силы прижатия в контакте, снятия характеристики и определения собственной частоты колебаний токоприемника (рис. 2). Силу прижатия измеряли при моделировавшихся изменениях высоты контактного провода и при определенной рабочей высоте токоприемника. Изменения высоты производили по программе с помощью линейной исполнительной системы на базе серводвигателя.

В этой системе один конец троса закреплен, а другой связан с датчиком усилий, который установлен на участке контактного провода, прилегающем к контактной накладке токоприемника. Линейная система перемещает полз токоприемника вверх и вниз. При этих перемещениях датчик усилий определяет силу прижатия контактной накладке токоприемника к контактному проводу. Скорость опускания и подъе-



Рис. 2. Токоприемник на измерительном стенде компании DTK

ма полоза токоприемника изменяется от 0,02 до 0,3 м/с. Общая рабочая высота токоприемника при этом изменяется ступенчато, с шагом 0,1 или 0,2 м. После каждой ступени перемещение прерывается на 5 с.

Кривые изменения силы прижатия, измеренной при скорости подъема или опускания 0,24 м/с, показаны на рис. 3. Рабочая высота токоприемника в этом примере составляет 2,1 м. Рис. 3 показывает,

что при скорости подъема или опускания 0,24 м/с токоприемник не успевает следовать за изменением высоты расположения контактного провода. Сила прижатия временно снижается до нуля, в результате чего механический контакт теряется. При этом появляются уже рассмотренные ранее нарушения в процессе токосъема. Такие же результаты были получены и при исследованиях, проводившихся на контактной сети.

Результаты выполненных исследований позволяют определить, насколько можно уменьшить скорость подъема или опускания токоприемника, чтобы сохранялся достаточный контакт между контактной накладкой токоприемника и контактным проводом. В качестве дополнительных возможностей для обеспечения надежного контакта могут также использоваться уменьшение массы полоза токоприемника и ограничение величины снижения контактного провода.

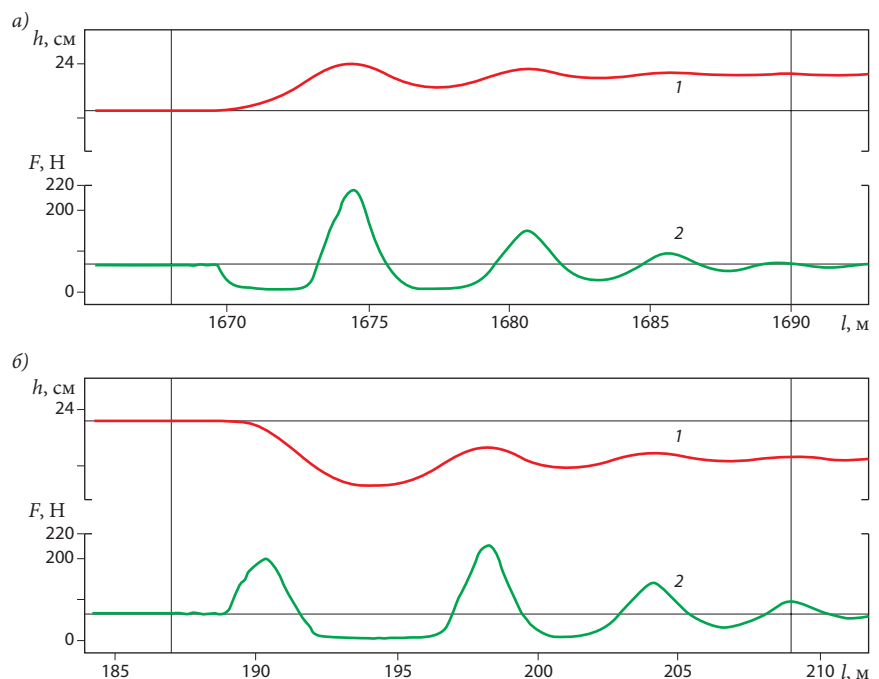


Рис. 3. Кривые изменения силы прижатия, измеренные при скорости подъема или опускания 0,24 м/с:

а — кривая изменения высоты подъема; б — кривая изменения величины опускания; h — высота; F — сила прижатия

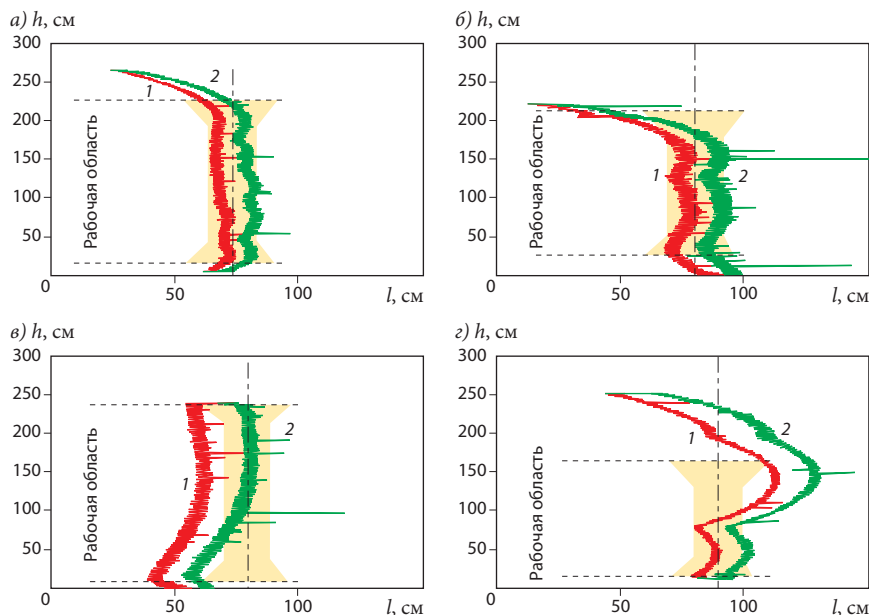


Рис. 4. Характеристики токоприемников разных типов:

а — трамвайный токоприемник с легким полозом; б — то же, с тяжелым полозом; в — токоприемник для вагонов трамвая приморских линий; з — токоприемник для подвижного состава, обращающегося в тоннелях; 1 — опускание; 2 — подъем

Характеристики токоприемников

Для различных условий эксплуатации требуются различные по массе отдельно подпружиненные или смонтированные в общей раме полоза контактные накладки. Масса полоза может быть равной 11–20 кг. Кроме того, может также в значительной степени варьироваться масса верхней рамы токоприемника в зависимости от его типа.

При большой массе полоза характеристика токоприемника, перемещающегося вверх, может отличаться от его характеристики, снятой при перемещении вниз, в большей степени, чем у токоприемников с более легким полозом.

При снятии характеристики токоприемник перемещается со скоростью 0,003 м/с из самого низкого положения в самое высокое, а затем снова в самое низкое.

В стандарте EN 50206-1 даны предельные отклонения статической силы прижатия. Для токоприемников с пружинным приво-

дом эта сила может иметь отклонения от заданного значения не более ± 7 Н, а для токоприемников без пружин — ± 10 Н. В областях максимальных и минимальных значений рабочей высоты токоприемника, занимающих по 20% рабочего диапазона, эти отклонения на токоприемниках без пружин могут составлять ± 15 Н, а на токоприемниках с пружинами — ± 10 Н.

На рис. 4 представлены характеристики токоприемников разных типов. Заданная величина силы прижатия изображена средней линией А. Отклонения силы в контакте от заданной величины во всем рабочем диапазоне не должны выходить за пределы допуска ± 10 Н. Эти области отмечены желтым цветом.

У токоприемника с характеристикой, изображенной на рис. 4, а, сила прижатия во всем рабочем диапазоне находится в области заданных значений. Характеристика на рис. 4, б показывает, что в высшей точке рабочего диапазона сила прижатия контактной наклад-

к контактному проводу уже составляет всего лишь 41,5 Н.

На рис. 4, в показана характеристика трамвайного токоприемника с полозом, специально разработанным для эксплуатации на линиях, проходящих на морском побережье. Сила прижатия при снижении контактного провода (кривая 1) постоянно ниже заданного значения. В случае подъема сила прижатия при значениях рабочей высоты до 0,7 м также ниже заданных значений (кривая 2). Максимальное отклонение достигает 38 Н. Сила прижатия при этом составляет всего лишь 42 Н. Ее средние значения при перемещениях вверх и вниз различаются на 20 Н. Такой токоприемник в эксплуатации не может достаточно быстро следовать даже за относительно небольшими изменениями высоты, так как масса его полоза слишком велика. Последствия возникающих при этом нарушений — выгорание графита угольной вставки с образованием на ней поперечного желобка.

Токоприемник с характеристикой, показанной на рис. 4, з, используется преимущественно на линиях с тоннелями. На некоторых участках таких линий вне тоннелей высота расположения контактного провода повышается, и рабочая высота токоприемника может достигать 1,7 м. На тоннельных участках с рабочей высотой токоприемника до 0,7 м сила прижатия полоза к проводу находится в заданном диапазоне. На открытых участках она возрастает до 127 Н.

Сила прижатия в контакте при подъеме и снижении контактного провода

Для исследования изменений силы прижатия, измеряемой на угольной вставке в функции высоты расположения контактного провода, последняя изменялась ступенями по 0,1 или 0,2 м. Градиент высоты при этом также изменялся ступен-

чато от 0,02 до 0,3 м/с. Испытания проводились на токоприемниках трех различных типов при изменении их рабочей высоты от 1,65 до 1,85 м с темпом 0,14 м/с. Два испытывавшихся легких токоприемника имели полозы массой 11,9 кг, а два тяжелых — 11,9 и 16,1 кг.

Токоприемники должны были компенсировать изменение высоты со скоростью 0,14 м/с. Несмотря на то что характеристики токоприемников существенно не различаются, силы прижатия у них значительно разнятся. Токоприемники стремятся поддерживать контакт с проводом, при подъеме которого сила прижатия сначала уменьшается. Затем токоприемник ускоряется главной пружиной, в результате чего полоз толчкообразно снова прижимается к контактному проводу. В результате соударения сила прижатия возрастает, а движение токоприемника вверх прекращается.

При снижении контактного провода сила прижатия сначала увеличивается, пружины полоза сжимаются. Освобождение этих пружин вызывает перемещение полоза вниз, в результате чего происходит ухудшение контакта. После этого полоз токоприемника снова касается контактного провода, и при этом пружины полоза снова начинают сжиматься.

Частота изменения сил прижатия в определенном диапазоне высот и при определенной скорости подъема или опускания зависит от инерционности токоприемника. Более легкие полозы соударяются с контактным проводом чаще, чем тяжелые, но с меньшей силой. Нарушение контакта у токоприемников с тяжелым полозом в результате большей инерционности длится дольше, чем у токоприемников с легким полозом. С помощью программного обеспечения DTK можно было определять, как долго сила прижатия оставалась меньше заданного значения. Затем на основе полученных данных сравнивали то-

коприемники между собой. При более легком полозе длительность нарушения контакта при рабочей высоте 1,6 м и скорости изменения высоты 0,2 м/с составляет 0,5 с, а при тяжелом — 0,94 с.

Эмпирическим путем были выведены показатели, характеризующие эксплуатационные свойства токоприемников. Для этого при перемещениях вверх и вниз со скоростью 0,2 м/с определяли время, в течение которого сила прижатия составляет менее 30 Н. Это исследование проводилось при трех различных значениях рабочей высоты:

- при нормальной рабочей высоте токоприемника;

- при высоте, меньшей на 0,2 м;
- при рабочей высоте, большей на 0,5 м.

Сила прижатия при подъемах и снижениях провода, измерявшаяся в процессе движения

В эксплуатации токоприемник должен компенсировать изменения высоты расположения контактного провода. На рис. 5 показано изменение высоты расположения контактного провода по длине участка протяженностью 3434 м. Высота колеблется между 5,2 и 5,6 м. Характер изменения высоты также иллю-

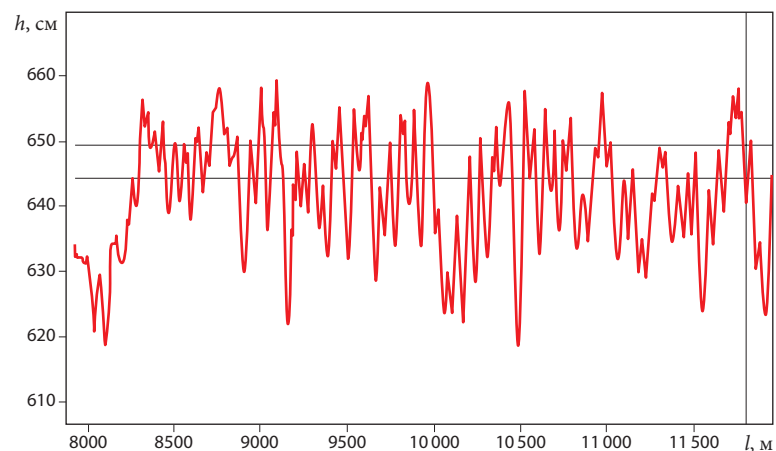


Рис. 5. Высота расположения контактного провода h на участке длиной 3434 м

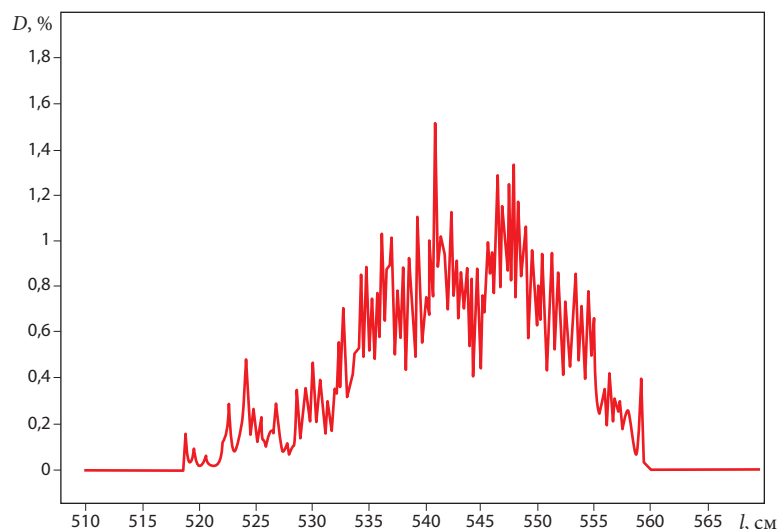


Рис. 6. Плотность распределения значений высоты расположения контактного провода D на участке длиной 3434 м

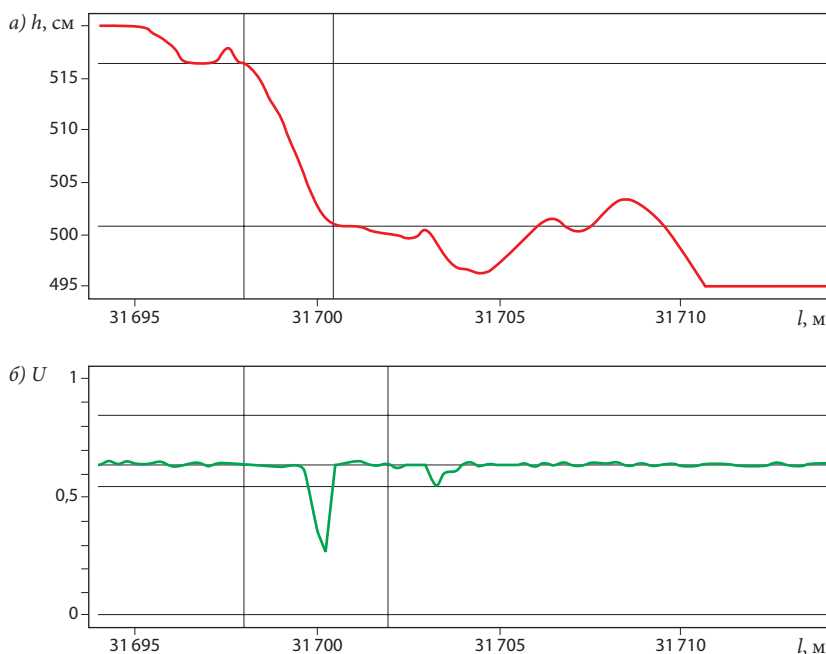


Рис. 7. Изменение высоты расположения контактного провода h и напряжения U на токоприемнике в функции пути l

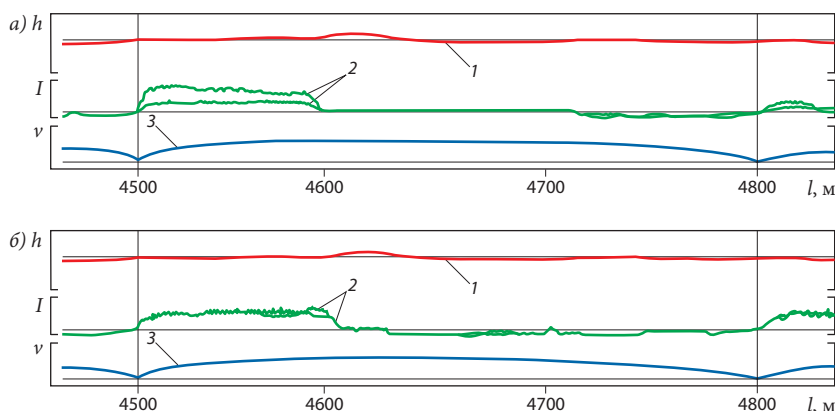


Рис. 8. Распределение тока между угольными вставками: a — легкий полоз; b — тяжелый полоз; 1 — высота расположения провода; 2 — ток, протекающий через две угольные вставки; 3 — скорость движения

стрируется плотностью распределения ее значений (рис. 6).

Анализ полученной кривой показал, что средняя высота расположения контактного провода составляет 5,42 м, а ее среднеквадратическое отклонение — 0,084 м. На основе распределения и среднеквадратического отклонения можно определить качество подвески по высоте расположения контактного провода.

С помощью программного обеспечения компании DTK можно про-

верить, насколько часто при подъеме или снижении контактного провода превышаются заданные значения наклона или его градиента.

На участке, отображенном на рис. 4, наклон 16‰ превышаетя 142 раза: 80 раз на подъеме и 62 раза на снижении. Во всем диапазоне скорости движения подвижного состава градиент изменения наклона, равный 0,12 м/с, превышался 523 раза. Максимальный градиент изменения наклона провода на участке по рис. 4 составляет 0,409 м/с.

Другой участок, на котором компания DTK проводила измерения, имел длину 3,73 м, на которой снижение провода составляло 0,076 м. Подвижной состав двигался со скоростью 56 км/ч и проходил этот участок за 242 мс. Наклон провода составлял 20,3‰ и должен был компенсироваться токоприемником с темпом 0,314 м/с.

Исследования показали, что электрический контакт при такой рабочей высоте токоприемника и таком снижении контактного провода нарушается. Скорость изменения высоты контактного провода больше, чем скорость подъема токоприемника, обладающего определенной инерцией. В результате полз теряет контакт с проводом.

Если одновременно с измерением высоты расположения контактного провода измерять также напряжение на нем и величину протекающего тока, то нарушение контакта можно фиксировать по исчезновению напряжения на токоприемнике.

На рис. 7 представлены кривые, отображающие изменение высоты расположения контактного провода (а) и напряжения на токоприемнике (б) с потерей контакта для конкретного участка пути.

На участке длиной 2,5 м, ограниченном на рис. 7, а вертикальными линиями, контактный провод снижается с 5,17 до 5,01 м. Токоприемник должен компенсировать уклон 43‰ за время 517 мс. При этом происходит отжатие токоприемника вниз со скоростью 0,3 м/с. Из-за инерции токоприемника угольные вставки отходят от наклонного контактного провода. При этом величина протекающего через контакт тока уменьшается, а на кривой изменения напряжения образуется провал. Эта картина фиксируется как нарушение контакта.

С помощью измерительной системы компании DTK можно определить необходимые усло-

вия, которые обеспечат достаточную величину силы нажатия полоза токоприемника на контактный провод. Можно, например, уменьшить снижение или подъем контактного провода, изменить предписываемую скорость движения подвижного состава. Кроме того, можно изменить характеристики токоприемника — уменьшить массу полоза токоприемника или привести ее в соответствие с силой поджатия пружин угольных вставок.

На рис. 8 представлены результаты испытаний на реальном участке пути двух: с легким и тяжелым ползком. При этом велась видео- и фотосъемка, отображающая взаимодействие токоприемника с контактной сетью. Это позволило для любой точки участка воспроизвести видеофрагмент или фотографию. Фотографии также давали привязку результатов измерений к соответствующему токоприемнику.

На рис. 8 кроме высоты контактного провода отображена также величина тока, снимаемого или возвращаемого при рекуперации в сеть через первую и вторую угольные вставки, а также приведена кривая изменения скорости движения подвижного состава. Все приводимые здесь кривые только отражают ха-

рактер изменения исследуемых величин, но не дают количественной оценки, хотя исследователи получили все необходимые данные в полном объеме. К путевым меткам привязаны имевшие место комментарии, которые могут быть воспроизведены при активировании соответствующей метки компьютерной мышью.

На рис. 8, а показаны результаты измерений, выполненных на токоприемнике облегченной конструкции с отдельно подпружиненными угольными вставками и массой полоза 11,9 кг. На рис. 8, б даны кривые для токоприемника с массой полоза 16,1 кг.

При трогании с места и разгоне поезд идет под контактной сетью с относительно постоянной высотой расположения контактного провода. На токоприемнике с отдельно подпружиненными угольными вставками ток при трогании протекает преимущественно через одну из них. На токоприемниках с ползком рамной конструкции ток в обеих угольных вставках примерно одинаков.

Исследования показали, что на участке разгона в токоприемнике с двумя отдельно подпружиненными угольными вставками через переднюю проходит 1,122 А·ч, а че-

рез заднюю — 0,399 А·ч, т. е. через переднюю вставку протекает в 2,8 раза больший ток, чем через заднюю. У тяжелых токоприемников с рамным ползком это соотношение равно 0,99, т. е. по обеим угольным вставкам протекает практически одинаковый ток. На участках с небольшим наклоном контактного провода распределение тока между угольными вставками у тяжелых токоприемников также лучше.

Если же рассматривать участки с большими изменениями высоты контактного провода, то можно увидеть, что токоприемник с тяжелым ползком должен преодолевать более высокую силу инерции. При этом полз постоянно поднимается и опускается. Рабочая высота токоприемника должна быстро меняться, чтобы постоянно сохранялась достаточная сила прижатия в контакте. Из-за значительно большей массы полоза тяжелый токоприемник не может достаточно быстро компенсировать изменение высоты, в результате чего возникают продолжительные нарушения контакта, приводящие к повышенному износу угольных вставок и контактного провода.

M. Deutzer. Elektrische Bahnen, 2009, № 3, S. 128–134; www.deutzer.de.

Редакция журнала

«Железные дороги мира»

приглашает на внештатную работу переводчиков с английского, немецкого и французского языков, имеющих опыт работы на железнодорожном транспорте и проживающих в Москве или Московской области.

Обращаться по телефону (499) 317-55-65 или по электронной почте zdm@css-rzd.ru.