РЕФЕРАТ

Тема: Разработка и исследования авторегулируемого токоприемника

Алматы, 2008

Повышение скорости электроподвижного состава существенным образом влияет на качество токосъема при сохранении неизменными взаимодействующих устройств-токоприемника и контактной сети. Объясняется это тем, что главные составляющие контактного нажатия (нажатие в контакте полоз токоприемника — контактный провод) - динамическая и аэродинамическая — пропорциональны квадрату скорости движения э. п. с.

Токосъем при высоких скоростях движения и неоптимальных параметрах взаимодействующих устройств характеризуется большими и резко изменяющимися в процессе движения значениями контактного нажатия. Это уменьшает срок службы контактного провода из-за появления местных износов и усиления помех приему радио и телевизионных сигналов в зоне электрифицированной железной дороги.

Повысить качество токосъема, т. е. стабилизировать и понизить контактное нажатие до оптимального уровня, можно улучшением параметров и конструктивного выполнения как контактной сети, так и токоприемника или обоих устройств вместе. Решается это различными способами.

Высокоскоростное движение электроподвижного состава в нашей стране будет внедряться на линиях, контактная сеть которых была спроектирована, исходя из максимальной скорости движения 160, а иногда и 120 км/ч. В этих условиях для надежного токосъема, а также во избежание дорогой, трудоемкой и требующей большого количества "окон" в движении поездов модернизации контактной сети наиболее целесообразны разработка и применение токоприемника, который позволяет обойтись без переустройства контактной сети. Такое наиболее экономичное решение для надежного токосъема при скоростях движения поезда до 200 км/ч на линии Москва — Ленинград, на ряде участков которой несколько десятилетий назад смонтирована полукомпенсированная рессорная контактная подвеска, было положено в основу разработок ВНИИЖТа.

Первым этапом этой работы было определение основных технических требований к токоприемнику, т. е. определение допустимого значения приведенной массы, диапазона статического нажатия, характера изменения аэродинамической подъемной силы, количества рядов контактных элементов на полозе и.т. д.

Допустимое значение приведенной массы устанавливали экспериментально, серией поездок с токоприемниками разной приведенной массы (в диапазоне от 24,5 до 43 кг) по участкам контактной подвески с разными стрелами провеса контактного привода и с различными натяжениями проводов. Запись длительностей нарушений контакта между полозом и проводом и отжатий контактного провода проходящими токоприемниками позволила определить, что на участках постоянного тока, оборудованных полукомпенсированной рессорной контактной подвеской, при скоростях движения 200 км/ч применение на электропоездах токоприемников со средней приведенной массой свыше 26 км недопустимо.

Оптимальное значение статического нажатия определяли исходя из условий минимального изнашивания контактных элементов полоза, чему, очевидно, соответствует минимальное изнашивание контактного провода. Длительные линейные испытания показали, что минимальное изнашивание контактных элементов полоза происходит при статических 'нажатиях в зоне 90 Н. Было принято, что рабочее статическое нажатие должно находиться в диапазоне 80—110 Н (в ФРГ, например, для токоприемников высокоскоростного э. п. с. постоянного тока статическое нажатие принято равным 90—120 Н).

С ростом скорости движения и увеличеньем инерционных сил контактное нажатие в моменты появления отрицательных динамических составляющих может оказаться равным нулю, т. е. контакт между полозом токоприемника и проводом нарушается. Для предупреждения таких явлений целесообразно увеличение аэродинамической подъемной силы токоприемника.

Оптимальная характеристика аэродинамической подъемной силы должна быть такой, чтобы эффективно влиять на сокращение длительности отзывов полозов от провода и не вызывать увеличения изнашивания элементов скользящего контакта и появления таких отжатий контактного провода, при которых возможны аварийные ситуации. На значение аэродинамической подъемной силы существенным образом влияет место расположения токоприемника на электроподвижном составе (удаление от лобовой стенки локомотива), а также скорость и направление ветра.

Расчетным путем с использованием результатов испытаний в аэродинамической трубе и на линии ряда токоприемников было установлено, что аэродинамическая подъемная сила токоприемника в горизонтальном встречном потоке воздуха, имеющем скорость 55,6 м/с, должна равняться 70—80 Н.

На электропоезде ЭР200 токоприемник не будет снимать ток свыше 800 А. Проведенные ранее автором линейные тепловые испытания различных полозов на экспериментальном кольце ВНИИЖТа, где обеспечивалось высокое постоянство нагрузки, позволили установить [1], что в данном случае на токоприемнике достаточно применение одного полоза с тремя рядами пластин (медных, металлокерамических или угольных); при этом превышение температуры пластин (вставок) над температурой окружающего воздуха не окажется больше регламентированного ГОСТ 12058—72. "Токоприемники электроподвижного состава магистральных железных дорог".

Такими были основные технические требования к токоприемнику электропоезда ЭР200.

Наибольшую трудность при разработке нового токоприемника представляло обеспечение малой приведенной массы, так как диапазон высот подвешивания контактного провода на электрифицированных дорогах постоянного тока колеблется от 5550 до 6800 мм.

Конструктивное решение задачи было найдено созданием токоприемника в виде двух подвижных систем, расположенных одна над другой. В токоприемнике использован принцип авторегулирования: при наличии пневматических элементов верхняя подвижная - система управляет нижней.

Однако нижняя система приходит в движение только при значительных перемещениях верхней (т. е. при больших изменениях высоты подвешивания контактного провода). При малых перемещениях верхней системы, когда высота подвеса контактного провода изменяется не более чем на ±300 мм относительно его положения, соответствующего среднему положению верхней системы, нижняя система остается неподвижной.

Конструктивно верхняя подвижная система выполнена в виде двух пятизвенников, нижняя — в виде двух параллелограммов. Каждая система имеет свой привод. В отличие от обычного для токоприемников привода, примененного в верхней системе, в привод нижней системы включен золотник 15 шток которого механически связан посредством тяг с одним из главных валов 18 верхней системы. Нахождение поршня в средней части золотника обеспечивает перекрытие воздухопровода поэтому при малом перемещении полоза, а следовательно, и поршня нижняя система не изменяет своего положения.

При большом подъеме рам верхней системы поршень золотника, перемещаясь вправо, открывает доступ сжатому воздуху в пневматический цилиндр 13, и рамы нижней подвижной системы также поднимаются. Подъем нижних рам продолжается до тех пор, пока поршень золотника, перемещаясь влево (из-за подъема этих рам при неизменной теперь высоте полоза), не перекроет канал воздухопровода 16. В случае большого опускания рам верхней системы поршень золотника начинает смешаться влево и тем самым в определенный момент обеспечит связь пневматического цилиндра 73 через золотник с атмосферой; в результате подвижные рамы нижней системы опускаются (до тех пор, пока поршень золотника, перемещаясь вправо вследствие распускания рам верхней системы, не перекроет канал воздухопровода 16).

Приведенная масса авторегулируемого токоприемника равна сумме приведенной массы верхней подвижной системы и массы полоза. Это очевидно, когда нижняя система неподвижна, а для переходного режима, когда нижняя система изменяет свою высоту (например, при проходе токоприемником искусственного сооружения с низким расположением контактного провода), это надо доказать.

Специальными теоретическими [2], а затем и экспериментальными исследованиями [3] было доказано, что и в переходном режиме можно исключить влияние массы нижней подвижной системы на динамику контакта, если обеспечить определенную скорость перемещения этой системы.

Для этого исходя из массы рам нижней подвижной системы, объема цилиндра ее пневмопривода и максимальной скорости движения э. п. с. достаточно рассчитать площадь окна золотника. При оптимальном сечении окна на значение приведенной массы авторегулируемого токоприемника в переходных режимах, так же как и при неизменном положении нижней системы, не влияет значение массы нижней системы.

Стержни рам верхней подвижной системы авторегулируемого токоприемника в 2 раза короче стержней рам серийных токоприемников. Поэтому и приведенная масса этой системы примерно в 2 раза меньше приведенной массы рам токоприемников П-1, П-3, Т-5, составляя 9,5 кг. Приведенная масса всего авторегулируемого токоприемника Сп-6М, оборудованного полозом с четырьмя рядами медных пластин (такое количество рядов принято для увеличения пробега полоза до предельного износа пластин), равна 24,5 кг, а это меньше массы, определенной техническими требованиями.

Здесь следует отметить, что несколько позднее двухступенчатые ("двухэтажные") токоприемники были разработаны и во Франции (фирмой Фэвлей). Однако в отличие от токоприемника, разработанного во ВНИИЖТе, в токоприемнике фирмы Фэвлей авторегулирование не применимо и стабилизация положения нижней системы осуществляется только достаточно мощным демпфером. При таком выполнении приведенная масса складывается не только из массы полоза и приведенной массы верхней системы, но и части приведенной массы нижней системы. Это доказывается, в частности, тем, что средние значения отжатий контактного провода у опор и размаха вертикальных перемещений полоза в пролетах при скоростях свыше 215—263 км/ч оказались в основном больше, чем при испытаниях одной верхней системы, установленной на крыше электровоза на неподвижном основании. Это говорит о целесообразности применения авто регулирования в двухступенчатых токоприемниках при применении их на высокоскоростном электроподвижном составе.

Линейные испытания макетов токоприемников с разными полозами показали, что непременным условием обеспечения стабильного контакта между полозом и контактным проводом является расширение полоза по крайней мере до 400 мм. В авторегулируемых токоприемниках типов ТСп-1М и Сп-6М ширина полоза принята равной 440мм

В первых образцах авторегулируемого токоприемника каретка была выполнена с применением пакетов листовых пружин, что объяснялось их демпфирующими свойствами, способствующими гашению высокочастотных колебаний. Однако впоследствии листовые пружины из-за их усталостных разрушений были заменены на спиральные и каретка стала иметь вид, показанный на рис. 11.

Важной особенностью авторегулируемых токоприемников является их способность автоматически опускаться при ударе полоза движущегося э. п. с. о какое-либо препятствие на контактном проводе. Действие этой системы основано на нарушении симметрии верхней подвижной системы в результате удара. Вследствие этого при любом искажении симметрии поршень золотника смещается в ту сторону, при которой нижняя подвижная система опускается.

Испытания токосъема на электропоезде ЭР200, проводившиеся неоднократно (сначала на полигоне Белореченская — Майкоп, а затем на линии Москва — Ленинград), позволили оценить качество контакта токоприемника с проводом при различных контактных подвесках (компенсированных, полукомпенсированных, рессорной, рычажной) и разных скоростях движения. Эти испытания показали, что во всех случаях передний токоприемник имеет более устойчивый контакт с проводом, чем последний; например, на участках с типовой рессорной компенсированной подвеской наибольший коэффициент отрыва для переднего токоприемника составил 0,2 %, а для последнего 0,3—0,4 %.

Наибольшая стабильность контакта при максимальной скорости движения наблюдалась при статическом нажатии 90—110 Н. В этом случае при скорости движения 210 км/ч по участкам с компенсированными подвесками коэффициент отрыва не превышал 0,08 и 0,26 % соответственно для первого и третьего токоприемников. Для последнего токоприемника несколько больший коэффициент отрыва зарегистрирован на участках с полукомпенсированными подвесками, искусственно введенными в режим максимальной и минимальной температуры окружающего воздуха соответственно 0,31 и 0,40 %. Последние значения свидетельствуют, что авторегулируемые токоприемники (нормально запараллельные на электропоезде между собой) обеспечивают надежный токосъем при скоростях до 200 км/ч не только на участках с компенсированными, но и с полукомпенсированными контактными подвесками.

При опытных поездках электропоезда посредством датчиков, смонтированных на опорах контактной сети (на стационарных и временных специально установленных в серединах и четвертях пролетов), были измерены отжатия контактных проводов проходящими токоприемниками. Результаты этих измерений представлены на рис.12. зависимостью Ah (v).

Если учесть, что типовые сочлененные фиксаторы контактной сети постоянного тока допускают отжатие контактного провода 300 мм (а в некоторых случаях и более) при компенсированной подвеске и 275 мм при полукомпенсированной в режиме наинизшей температуры окружающего воздуха (—40° С), то на основании приведенной зависимости можно сделать вывод, что во всех случаях типовые сочлененные фиксаторы обеспечивают надежный проход авторегулируемых токоприемников, установленных на электропоезде ЭР200.

Такие результаты испытаний токосъема явились основанием для отказа от планировавшейся ранее замены полукомпенсированной подвески в компенсированную на ряде перегонов и станций линии Москва — Ленинград.

Динамическое исследование авторегулируемого токопртемника в переходном режиме

В последние годы в связи с дальнейшим возрастанием скоростей движения электроподвижного состава актуальное значение приобретает динамическое исследование токоприемника для определения влияния отдельных параметров его на качество токосъема и оптимизации их. Одним из решений проблемы токосъма при высоких скоростях движения является применение двухступенчатого авторегулируемого токоприемника.

Данная статья посвящена динамическому исследованию авторегулируемых токоприемников в переходном режиме, т. е. когда одновременно срабатывают верхняя и нижняя ступени, и авторегулируемый токоприемник можно рассматривать как механизм с пятью степенями подвижности. Обобщенными координатами такого механизма будут горизонтальное х0 и вертикальное у0 перемещения основания токоприемника, угловое перемещение нижней системы ϕ, абсолютное вертикальное перемещение верхнего шарнира В верхней системы уВ и абсолютное вертикальное перемещение подрессоренного полоза уд.

Для динамического исследования переходного режима воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода.

 ( 1.19)

где Т -кинетическая энергия токоприемника; П -потенциальная энергия упругих элементов; qі— обобщенная координата; Qi-отнесенная к обобщенной координате сила или момент.

Требуется определить приведенные к обобщенной координате силы и моменты. Для этого составим уравнение суммарной мощности всех действующих на токоприемник сил и моментов.

Воздействие кузова на основание токоприемника заменяем силой реакции R0, составляющие которой . С учетом этого суммарная мощность N

( 1.20)

где РN — контактное нажатие; аэродинамическая подъемная сила полоза;  приведенная к точке В аэродинамическая подъемная сила верхней ступени; приведенная к точке В сила трения верхней ступени; ТВ — сила натяжения подъемных пружин верхней системы;

tЦ — сила возвратной пружины пневмоцилиндра; РЦ — сила давления воздуха на поршень пневмоцилиндра; fЦ — сила трения в пневмоцилиндре; Мтр.н — момент от сил трения на главных осях нижней ступени; Маэ.н— момент на оси нижней ступени от аэродинамического воздействия встречного воздушного потока; Gп — масса полоза; Gl, G2, G3, G4, — масса звеньев; вертикальные скорости в точках соответственно А, В, Д, S., S2, S3, S4; α — угол между стержнем AM и горизонталью; Θ— угол между стержнем AM и рычагом подъемной пружины верхней системы.

Следует отметить, что в уравнении (2) знаки перед силами трения  и fЦ, а также моментом трения Мтр.н должны выбираться такими, чтобы мощности всегда были отрицательными, так как для их преодоления требуются дополнительные затраты энергии. Так, при движении верхней системы вниз (в отрицательна), при движении поршня пневмоцилиндра справа налево (-отрицательна), а нижней системы по часовой стрелке (ϕ отрицательна) они берутся со знаком плюс, при противоположных направлениях движения — со знаком минус. При движении электроподвижного состава в указанном на рис.13 направлении (влево) Маэ.н нужно брать со знаком минус, в противоположном направлении — со знаком плюс.

Параметры пружины (ее жесткость с, длина рычага r и угол Θ между рычагами пружин и нижних рам) подбираются так, что момент от сил натяжения ТВ относительно главных осей верхней ступени при любой рабочей высоте уравновешивает момент относительно этих же осей от сил массы звеньев и полоза, а также некоторой оптимальной силы статического нажатия Рсm, приложенной в точке В. На основании этого из построенного повернутого плана скоростей верхней ступени ( рис. 14 ) с применением теоремы Жуковского сумма всех моментов относительно точки Р равна



Умножив обе части этого уравнения на масштаб плана скоростей и приняв во внимание, что



получим



Если в этом выражении все скорости выразить через обобщенные скорости, то после соответствующих математических преобразований



где Rц - длина рычага, к которому присоединен шатун от пневмоцилиндра; — угол между стержнем нижней подвижной системы и рычагом, к которому присоединен шатун от пневмоцилиндра; δ —угол между штоком пневмоцилиндра и шатуном; λ- отношение расстояния между шарниром О и центром масс S1 стержня нижней ступени к полной длине этого стержня l1.

В этом выражении коэффициент перед обобщенными скоростями представляет собой силы, приведенные к соответствующим обобщенным координатам, входящим в уравнение Лагранжа второго рода, т. е.:











где GB.С — полная масса верхней ступени с подвижным основанием

GB.C=GП+2G4+2G3+G2

Полученные значения приведенных к обобщенным координатам сил в дальнейшем можно использовать в динамической модели двухступенчатого авторегулируемого токоприемника.

Порядок динамического расчета компенсированных контактных подвесок скорстных и высокоскоростных магистралей

Расчеты компенсированной подвески предлагается проводить в следующей последовательности

1) особенности конструкции варианта, задаваемые параметры, значения скорости движения поезда и токовых нагрузок;

1. определение погонных нагрузок проводов подвески с учетом заданных метеоданных;
2. определение стрел провеса несущих тросов и контактных проводов для заданных натяжений в нормальном режиме;
3. определение стрел провеса несущих тросов и контактных проводов для заданных натяжений при гололеде;
4. определение длин пролетных струн заданных параметров подвески;
5. определение предварительных провесов рессорных струн при заданных параметрах подвески;
6. определение допустимости ветровых отклонений контактной подвески при заданных параметрах и изменениях натяжений проводов (или допусков);
7. определение жесткости подвески в пролете для заданных параметров подвески;

9) оценка влияния изменений параметров жесткости подвески на критерии ее оптимальности для различных вариантов;

1. проверка вариантов подвески по критическим скоростям и коэффициентам надежности и экономичности;
2. оценка влияния на критерии оптимальности жесткости подвески количества и расположения струн;
3. проверка вариантов количества и расположения струн на критические скорости и коэффициенты надежности и экономичности;
4. выявление оптимального варианта подвески с определенными параметрами;
5. определение для оптимального варианта подвески:

а) стрел провеса несущего троса;

б) длин струн и вспомогательных тросов рессорных струн;

в) коэффициента экономичности;

г) ветровых отклонений;

15) проверка необходимости мероприятий по предотвращению автоколебаний оптимального варианта подвески.

Предлагаемый порядок работ по созданию подвесок контактной сети для скоростей 250—300 км/ч связан с выбором конструктивных решений и расчетами рациональных статических и динамических характеристик из условий надежного и экономичного взаимодействия с токоприемниками Варианты последовательного выполнения условий подобных методов были разработаны и применены в ОмГУПС при расчете скоростной ПКС постоянного тока КС-200.

Предлагаемая последовательность расчетов является разделом рассмотренного порядка создания ПКС и базируется на том, что характеристики и параметры современных скоростных ПКС априорно нормированы. К примеру, длина пролета 65 м; рессорный трос от 16 до 22м; число струн в пролете от 6 до 14шт.; натяжения проводов и тросов порядка 10—27 кН.

Расчеты компенсированной ПКС предлагается проводить с определением коэффициентов экономичности и надежности; проверок на ветроутойчивостъ и гололед, с учетом параметров токоприемника и т.д.