

Регулируемый токоприемник для высокоскоростного подвижного состава

Конструкция пассивных токоприемников для высокоскоростного подвижного состава достигла высокого технического уровня, однако дальнейшее увеличение диапазона скорости показывает, что этот уровень является предельным. Разработанный железнодорожной промышленностью в сотрудничестве с железными дорогами Германии (DBAG) однорычажный токоприемник с активным регулированием позволяет повысить скорость движения на сети DBAG, уменьшить износ в системе контактный провод—токоприемник и значительно снизить уровень излучаемого шума. Это было подтверждено моделированием, испытаниями на стенде и в аэродинамической трубе, а также с помощью эксплуатационных испытаний опытных образцов.

Задачей системы токоприемник—контактная сеть является надежная и бесперебойная передача электрической энергии. Для решения этой задачи в современных условиях, когда существующие токоприемники уже не в состоянии обеспечить качественный токосъем, DBAG совместно с промышленностью приступили к разработке нового однорычажного токоприемника с активным регулированием, получившего название ASP (Actively controlled Single-arm Pantograph), который за счет

улучшенной динамики сил прижатия в контакте может работать в условиях существующей неоднородной контактной сети DBAG при более высокой, чем до сих пор, скорости движения с уменьшенным износом и пониженным уровнем шума.

На основании характеристик находящегося в эксплуатации пассивного токоприемника для высокоскоростного подвижного состава DSA350SEK были определены следующие цели разработки:

- снижение на 20 % динамических контактных усилий за счет активного регулирования;
- обеспечение движения с более высокой скоростью на существующих электрифицированных линиях без дорогостоящих мероприятий по модернизации контактной сети;
- повышение скорости поездов, эксплуатируемых с двумя поднятыми токоприемниками, с 200 до 230 км/ч под контактной сетью Re 200 и с 280 до 300 км/ч—под Re 250;
- уменьшение износа и расходов на текущее содержание за счет регулирования величины сил в контакте и использования результатов самодиагностики;
- снижение уровня шума на 10 дБ (A) за счет улучшенной конструк-

ции, особенно в диапазоне скорости более 300 км/ч;

- обеспечение возможности снижения уровня шума при введении более жестких норм в перспективе;
- уменьшение затрат при реализации трудоемких мероприятий, направленных на снижение уровня шума при высокоскоростном движении;
- обеспечение эффективности звукоизоляции существующих шумозащитных стенок при высокой скорости движения;
- непрерывная диагностика контактной сети и токоприемников с помощью сигналов, подаваемых датчиками системы регулирования;
- своевременное выявление мест повреждений в контактной сети;
- оперативная оценка масштабов повреждения с целью предотвращения серьезных последствий;
- сокращение объема работ по обследованию токоприемников в депо за счет внедрения диагностической системы;
- сокращение расходов на текущее содержание нового токоприемника, чтобы они были ниже, чем для существующего DSA 350SEK;
- обеспечение возможности установки новых токоприемников на существующем подвижном составе.

Так как обеспечение надежной и бесперебойной передачи электроэнергии является основной задачей системы токоприемник—контактная сеть, работы по проекту были направлены на улучшение характеристик контакта за счет регулирования сил прижатия. Испытания двух опытных токоприемников подтвердили надежность работы системы регулирования сил в контакте.



Рис. 1. Токоприемник ASP без обтекателя нижней рамы (фото: DBAG, Нильсен)

Конструкция высокоэффективных токоприемников ASP

Для разработки конструкции нового высокоэффективного токоприемника ASP потребовалось провести ряд исследований. На основе результатов расчета параметров системы регулирования, полученных с помощью математической модели, и акустической оптимизации компании Bombardier Transportation и DB Systemtechnik, входящая в состав холдинга DBAG, выбрали полупантографическую конструкцию с ползком, обладающим оптимизированными акустическими характеристиками, однорычажным верхним плечом и двухступенчатым регулированием (рис. 1).

Промышленность взялась за создание механической конструкции и изготовление опытных образцов токоприемника, а также за выбор аппаратного и программного обеспечения системы регулирования. Компания DB Systemtechnik выполняла расчет параметров системы регулирования, моделирование ее взаимодействия с контактной сетью, моделирование акустических расчетов, а также отвечала за проведение испытаний на стенде, в аэродинамической трубе и на линии в рамках эксплуатационных испытаний. Разработка параметров системы регулирования проводилась с участием компании Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft (IABG).

Особенности конструкции

По сравнению с существующими токоприемниками ASP должен обладать следующими отличительными характеристиками:

- излучать шум более низкого уровня;
- иметь регулируемую кинематику, при которой размещаемые на нем датчики и исполнительные механизмы не должны вызывать мешающих резонансных колебаний;

- обеспечивать высокую надежность и удобство в обслуживании.

Для того чтобы новые токоприемники можно было эксплуатировать на всей сети DBAG, необходимо было правильно выбрать такие важные параметры, как контуры полоза, число контактных накладок и расстояние между ними, а также минимальную и максимальную рабочую высоту токоприемника. Для обеспечения возможности монтажа этих токоприемников на существующем подвижном составе места установки на крыше поезда и кинематика новых токоприемников были в значительной мере выполнены по аналогии с токоприемниками серии SEK.

Для уменьшения шумообразования поперечное сечение основных рычагов конструкции выбиралось как можно большим. Рама основания и угловое шарнирное сочленение токоприемника могут быть закрыты обтекателем.

Полз токоприемника сконструировали заново (рис. 2). Было уменьшено число влияющих на уровень шумообразования элементов с малым поперечным сечением, акустически оптимизированные рога стыкуются с торцами контактных накладок.

Контактные накладки подрессорены с помощью двух торсионов, которые закреплены с двух сторон соединительной трубы и связаны с контактными накладками. В зависимости от величины и точки приложения контактных усилий поперечные направляющие поворачиваются относительно оси торсионов, в результате чего сила подрессоривания контактных накладок увеличивается или уменьшается. На держателях контактных накладок установлены датчики сил и ускорений, используемых для определения величины нажатия полоза токоприемника на контактный провод.

Между расположенными снаружи шарнирными соединениями поперечных направляющих и держателями контактных накладок уста-

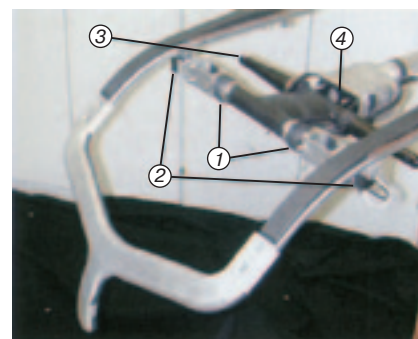


Рис. 2. Полз токоприемника типа ASP с элементами регулирования и датчиками: 1 — горизонтальные пружины; 2 — датчики сил и ускорений; 3 — пружины торсионов; 4 — пневматический исполнительный механизм

новлены небольшие спиральные пружины, которые обеспечивают дополнительную упругость накладок в направлении движения и таким образом предотвращают их повреждение (например, разрушение кромок при ударах в горизонтальном направлении).

Конструктивные параметры системы регулирования

Целью процесса регулирования является уменьшение колебаний величины сил нажатия в контакте за счет соответствующего воздействия с помощью специальных исполнительных механизмов на перемещения контактных накладок. Основными параметрами, оказывающими влияние на процесс регулирования, являются масса, жесткость и амортизационные характеристики токоприемника, место установки и динамические характеристики исполнительных элементов, а также динамические характеристики контактной сети как части объекта регулирования.

Так как полное математическое описание динамических характеристик контактной сети не представляется возможным, то сначала для упрощения расчета параметров регулирования вывели приближенные формулы для цепной подвески, которые затем вместе с моделями токоприемника ASP использовали для расчета системы регулирова-

ния. Для этого использовали программу PrOSA, позволяющую моделировать цепные подвески. Эту программу разработала компания DB Systemtechnik и проверила на реальной контактной сети. Характеристики разработанной таким способом системы регулирования были проверены с помощью моделирования движения на различных участках.

В результате была разработана двухступенчатая система, регулируемым параметром в которой является величина сил нажатия в контакте. Первая ступень регулирования, воздействующая на токоприемник путем изменения давления в сильфоне стандартного подъемного привода, компенсирует медленные изменения сил прижатия, которые возникают, например, под воздействием аэродинамических сил или при прохождении участков со снижением контактного провода.

Замкнутый контур регулирования обеспечивает поддержание средней величины сил прижатия в заданном диапазоне, зависящем от скорости движения. Для каждого токоприемника в составе поезда можно отдельно задавать среднее значение этих сил в зависимости от положения, направления движения и скорости. Благодаря этому снижается воздействие аэродинамических сил на величину сил прижатия, что дает возможность проходить различные участки контактной сети при минимальной средней величине этих сил, соответствующей скорости движения на данных участках. Это способствует снижению величины износа контактного провода и накладок.

Частотный диапазон первой ступени регулирования ограничивается инерционностью пневматического привода, а также низкочастотными колебаниями системы токоприемник—контактная сеть. При выходе из строя системы происходит автоматическое переключение на механический регулирующий вентиль, и движение мо-

жет продолжаться без остановки, при необходимости с ограничением скорости.

Исполнительные элементы второй ступени регулирования, представляющие собой два небольших сильфона, расположены рядом с торсионными на концах соединительной трубы (см. рис. 2). Пневматическая система второй ступени регулирования может работать с частотой более 25 Гц. Частоту колебаний сил прижатия за счет регулирования можно уменьшить до 10 Гц в зависимости от характеристик контактной подвески.

Токоприемник ASP может эксплуатироваться в пассивном режиме без включения второй ступени регулирования. В этом случае давление в сильфонах отсутствует, и контактные накладки фиксируются только пружинами торсионов.

Как уже отмечалось, для определения силы прижатия используют результаты измерения, снимаемые с четырех датчиков сил и ускорений. На базе положительно зарекомендовавшей себя системы DB для измерения сил нажатия в контакте была разработана миниатюризированная измерительная система, которую можно размещать вблизи от датчиков сил.

Результаты испытаний

Опытные образцы

Были изготовлены два опытных образца токоприемников ASP, из которых вначале только один оборудовали компонентами для регулирования. Оба образца испытывали в аэродинамической трубе со скоростью потока до 300 км/ч. Динамические характеристики передаточной функции токоприемников исследовали на испытательном стенде DB Systemtechnik. Работу системы регулирования проверяли в ходе эксплуатационных испытаний на линии.

Испытания в аэродинамической трубе. Оба опытных образ-

ца ASP и один токоприемник серии DSA350SEK, взятый для сравнения, были подвергнуты испытаниям в аэродинамической трубе компании Audi в Ингольштадте при скорости потока до 300 км/ч. Испытания проводили с опущенными токоприемниками и с поднятыми при рабочей высоте 1,4 м. Для измерений использовали стандартные измерительные микрофоны и микрофонную матрицу DB Systemtechnik с 89 микрофонами. Аэродинамическую подъемную силу, действующую на токоприемник, измеряли с помощью дополнительного датчика силы, установленного на раме.

При скорости обдува 300 км/ч уровень шума у токоприемников ASP был на 4 дБ (А) ниже, чем у токоприемников SEK. У токоприемников SEK источники шума сосредоточены в основном в области полоза, а у ASP с акустически оптимизированным ползком источники шума находятся в области рамы. Обтекатель закрывает рамы от встречных потоков и значительно снижает уровень шума.

Стендовые испытания. Токоприемник ASP комплексно испытывали на стенде компании DB Systemtechnik с целью определения параметров пневматического исполнительного механизма системы регулирования и оптимизации его расположения в зоне полоза. Для этого измеряли и анализировали передаточные характеристики объекта регулирования при взаимодействии с упрощенной моделью цепной подвески для различных конфигураций датчиков и исполнительных механизмов. Установленные зависимости использовали для определения параметров моделирования. После этого с помощью математической модели ASP рассчитывали систему регулирования и моделировали взаимодействие токоприемника с контактной сетью. Результаты, полученные при измерениях, достаточно близко совпали с результатами моделирования.

Моделирование

Для разработки регулируемых токоприемников необходимы расчеты на математической модели с использованием программы моделирования цепной подвески. Результаты таких расчетов позволяют сделать выводы о стабильности замкнутых контуров регулирования и потенциальных возможностях регулируемых токоприемников с точки зрения улучшения динамики сил нажатия в контакте. Движение на участках моделировали с помощью программы PrOSA, разработанной для цепной подвески, в сочетании с моделями опытных образцов ASP, результатами стендовых испытаний и характеристиками системы регулирования.

Сравнение результатов моделирования показало, что по отношению к пассивным токоприемникам DSA350SEK токоприемники ASP с активным регулированием снижают колебания сил прижатия в контакте до 20 Гц. Это относится и ко второму токоприемнику, если поезд движется под контактной подвеской типа Re 200 с двумя поднятыми токоприемниками. Максимальная величина сил прижатия снижается примерно на 50 Н, минимальная же увеличивается на 30 Н. Стандартное отклонение сил прижатия снижается более чем на 30 %.

Полевые испытания

Целями первых испытаний опытных образцов токоприемников ASP на линии были проверка правильного функционирования активных компонентов (датчиков, исполнительных механизмов и системы питания) в условиях эксплуатации и сбор первичной информации о работе двухступенчатой системы регулирования. Измеренные в поездках с одним активно регулируемым токоприемником при скорости 120 км/ч параметры в доста-

точной степени совпали с результатами, полученными путем моделирующих расчетов и при стендовых испытаниях.

Последующие испытания проводились под контактной подвеской типа Re 200 при движении поезда со скоростью 230 км/ч с двумя поднятыми токоприемниками ASP, расположенными на расстоянии 200 м друг от друга. Для испытаний использовали поезд, составленный из локомотива, измерительного и пассажирского вагонов (рис. 3). Полученные результаты показали, что активное регулирование заметно снижает пиковые значения сил прижатия в контакте. Динамика контактных усилий при скорости 200 км/ч снижается на 20 %, если сравнивать с токоприемником DSA 350SEK.

На линии Гамбург—Берлин испытания в диапазоне скорости до 230 км/ч выполнялись с использованием измерительного поезда ICE-S (рис. 4). При одинаковой величине отжатия контактного провода динамика сил в контакте у токоприемника ASP при скорости 230 км/ч меньше, чем у DSA 350SEK при 200 км/ч. Это позволяет уменьшить среднее значение силы прижатия и за счет этого снизить износ контактных накладок и контактного провода.

Дальнейшие испытания токоприемников ASP проводились при скорости до 300 км/ч под контактными подвесками SICAT H1.0 и Re 250 как в тоннелях, так и на открытых участках. Первая оценка результатов также подтвердила ожидавшееся улучшение динамики сил прижатия в контакте по сравнению с пассивными токоприемниками.

Результаты акустических измерений на токоприемнике ASP при скорости до 300 км/ч сравнивали с акустическими характеристиками пассивного токоприемника DSA 350SEK как в поднятом, так и в опущенном положении генерирует шум заметно большего уров-



Рис. 3. Измерительный поезд на участке между станциями Донаувёрт и Аугсбург (фото: DBAG, Нильсен)



Рис. 4. В измерительном поезде ICE-S. Исследование взаимодействия между токоприемником и контактной сетью (фото: DBAG, Райхе)

ня, чем ASP. Однако чтобы полностью использовать это преимущество, необходима также оптимизированная по акустике конструкция крыши подвижного состава.

При реализации мер по снижению уровня шума, излучаемого поездом, основные затраты приходятся на борьбу с шумом в зоне крыши. Использование регулируемых токоприемников с пониженным уровнем шума позволяет в ряде случаев отказаться от строительства шумозащитных стенок вдоль линии, что обеспечивает большую экономию средств. Новые токоприемники могут обеспечить выполнение даже более жестких требований по шумозащите, которые будут введены в перспективе.

W. Baldauf et al. *Elektrische Bahnen*, 2005, № 4/5, S. 225–230.