

Четырехсистемный электровоз большой мощности EuroSprinter ES64F4

Летом 2003 г. в Германии появились в регулярной эксплуатации электровозы серии 189, разработанные компанией Siemens Transportation Systems (Siemens TS). Они относятся к семейству локомотивов EuroSprinter и имеют фирменное обозначение ES64F4. В декабре 2005 г. в компании Railion Deutschland, входящей в состав холдинга железных дорог Германии (DBAG), в парке локомотивного пула Siemens Dispolok и в грузовой компании SBB Cargo в общей сложности было уже более 140 локомотивов этой серии. Опытная, а затем и регулярная эксплуатация показала, что новые электровозы отвечают всем предъявляемым к ним требованиям. В рамках измерительных и опытных поездок электровозы ES64F4 обращались на сетях 16 стран. По состоянию на начало 2006 г. они получили допуск к эксплуатации в пяти странах и ожидалось его получение в четырех. Технически электровозы ES64F4 могут обращаться на сетях 24 стран.

В августе 1999 г. Siemens TS получила от компании Railion Deutschland (в то время DB Cargo) заказ на разработку и поставку 100 четы-

рехсистемных электровозов большой мощности. Согласно контракту эти локомотивы должны иметь характеристики, обеспечивающие



Рис. 1. Электровоз серии 189 компании Railion Deutschland (фото: DBAG, Шпильхофен)

им возможность допуска к эксплуатации на сетях 15 европейских стран. Контракт был выполнен в период с апреля 2003 г. по декабрь 2005 г. Его реализация стала первым опытом разработки многосистемного электровоза, технические характеристики которого делают принципиально возможной эксплуатацию в 24 странах.

Еще в период разработки электровоза EuroSprinter третьего поколения были заключены контракты с компаниями Siemens Dispolok (SDL) на поставку 45 локомотивов, с SBB Cargo Федеральных железных дорог Швейцарии на 18 ед. и с Hector Rail (Швеция) на 2 ед. SDL заказала эти электровозы с целью сдачи их в аренду ряду компаний, а именно: Rail Traction (RTC, Италия), Lokomotion Gesellschaft für Schienentraktion (Мюнхен, Германия), SBB Cargo, Ferrovie Nord Cargo (FNC, Италия). Кроме того, контракты на аренду были заключены с Федеральными железными дорогами Австрии (ÖBB), железными дорогами Хорватии (HŽ) и железными дорогами Словении (SŽ).

Благодаря сотрудничеству компаний RTS и Lokomotion на бреннерском направлении с июня 2004 г. установлено прямое сообщение между Вероной и Мюнхеном без замены локомотива. В декабре 2004 г. началось движение поездов между городами Милан, Луино и Кьяссо (Швейцария), ведомых электровозами ES64F4. В августе 2005 г. они были заменены многосистемными электровозами серии Re 474, относящимися к этой же платформе локомотивов EuroSprinter.

Компания FNC летом 2005 г. ввела прямые поезда на маршруте Эммерих — Базель — Сен-Готард — Кьяссо — Брешиа. Здесь также ис-

пользуются многосистемные электрово́зы ES64F4, арендованные у локомотивного пула Dispolok. Это первый международный маршрут через Сен-Готард, который поезда проходят без замены локомотива.

Ввод в эксплуатацию, допуск

Германия и Австрия

По состоянию на начало 2006 г. электрово́зы ES64F4 совершили поездки в рамках процедур допуска и презентаций в 16 странах Европы. Зимой 2002/2003 г. специалистами Федеральных железных дорог Австрии (SBB) были выполнены измерительные и приемочные поездки в Австрии и Венгрии. Результаты этих поездок послужили базой для приемочных процедур в Германии, Австрии и Швейцарии. Кроме того, в Венгрии были проведены испытания, посвященные исследованию влияния подуклонки рельсов 1:20 на работу ходовой части локомотива. Результаты данных испытаний были необходимы для получения допуска на железных дорогах Италии. В рамках этой тематики проводились также поездки на линиях компании Salzburger Lokalbahn (SLB), где локомотивы успешно эксплуатировались под контактной сетью постоянного тока напряжением 1000 В. В марте 2003 г. после выполнения необходимых измерительных поездок и исследований в испытательном центре Черхенице (Чехия) электрово́з серии 189 получил допуск к эксплуатации на железных дорогах Германии, а по завершении серии учебных поездок в июне того же года коммерческую эксплуатацию этих локомотивов начала компания Railion Deutschland (рис. 1). В декабре 2005 г. эта компания получила сотый электрово́з серии 189, последний из заказанной партии.

Страны Скандинавии

При разработке модификации электрово́за серии 189, рассчитанной на работу в зонах с большими

перепадами температуры воздуха, использовали результаты эксплуатации электрово́за серии EG 3100 железных дорог Дании (DSB). Правильность мероприятий, реализованных на базе этих данных, была подтверждена результатами испытаний, проводившихся в марте 2003 г. в Швеции и Норвегии. В ходе этих испытаний электрово́з достиг самой северной точки европейской сети нормальной колеи, а именно порта Нарвик. Испытания проводились при температуре, достигавшей – 30 °С. Выяснилось, что тяговый привод даже для таких жестких условий эксплуатации не требует специальной доработки. В рамках этих испытаний на сетях обеих стран проводили также измерения мешающих токов. Таким образом, для Швеции и Норвегии был проведен почти полный комплекс испытаний, необходимых для допуска. Неохваченными остались только системы обеспечения безопасности движения, испытания которых в свое время будут проведены.

Страны Бенилюкса

В мае 2003 г. в Люксембурге были проведены испытания электрово́за с целью определения уровня излучаемых высших гармоник тягового тока. Результаты испытаний показали, что их уровень не превышает допустимого предела. Здесь также были завершены все испытания, предусмотренные процедурой допуска, кроме проверки работы устройств обеспечения безопасности движения.

Зимой 2003/04 года начались измерительные поездки в Нидерландах. Поскольку на линии Betuwe, где будет эксплуатироваться электрово́з серии 189, тип напольных устройств системы обеспечения безопасности движения в то время еще не был определен, компания Railion не могла провести в полном объеме испытания, требуемые процедурой допуска. Предполагалось, что эту линию оборудуют системой ETCS уровня 2. Для оснащения локомотивов соответствующими компо-

нентами правительство Нидерландов выделяет компании-перевозчику необходимые средства.

В июне 2005 г. электрово́з серии 189 успешно выполнил опытные поездки на линии Betuwe. Уже сейчас имеется возможность без замены локомотива проходить в направлении Германии по второстепенным путям пограничную станцию Венло, электрифицированную на постоянном токе напряжением 1500 В. Для этого должен быть специальный допуск.

Италия и Швейцария

С поставкой компании SDL в июле 2003 г. первого электрово́за серии 189 модификации D начались измерительные поездки на линиях компании Rete Ferroviaria Italiana (RFI) в Италии. По истечении 2 мес была завершена процедура допуска электрово́за на сеть Италии, выдаваемого ведомством Certificazione Sicurezza Imprese Ferroviarie (CESIFER). В июне 2004 г. электрово́з получил разрешение на прохождение по линиям итальянской сети. С тех пор новые локомотивы находятся в регулярной эксплуатации на южной части бреннерского направления (между Бреннером и Вероной), электрифицированного на постоянном токе напряжением 3 кВ. Режимы движения на этой линии, имеющей затяжные и крутые подъемы, характеризуются высокими значениями длительной мощности и силы тяги при высоком использовании сил сцепления. С тех пор как операторы в начале января 2005 г. получили от итальянского ведомства CESIFER дополнительное разрешение на движение с пересечением государственной границы, поезда с новыми локомотивами находятся в ежедневном обращении между Вероной и Мюнхеном. При этом замена локомотива на станции Бреннер не требуется.

В сентябре 2003 г. в эксплуатации на линиях Германии появились первые локомотивы модификации E, дополнительно оборудованные швейцарской системой обеспече-



Рис. 2. Электро́воз серии Re 474

ния безопасности движения. Через неделю после ввода их в эксплуатацию в Германии были выполнены измерительные поездки в Швейцарии, после чего Федеральное бюро транспорта этой страны (BAV) выдало допуск на эксплуатацию электрово́зов модификации E. В рамках программы исследования мешающих влияний электрической тяги был выполнен ряд измерительных поездок с необычной программой измерений. В частности, на северном подъеме Лёчбергского перевала был проведен поезд, масса которого, равная 1332 т, значительно превышала установленную норму. Поезд следовал двойной тягой в тяжелых зимних условиях на поъеме 27 ‰ и разогнался до максимальной скорости, допустимой для этого участка.

В середине декабря 2004 г. компания SBB Cargo Italia начала перевозки между Миланом, Луино и Кьяссо с использованием электрово́зов серии 189 модификации D, арендованных у компании SDL. Электрово́зы Re 474 компании SBB



Рис. 3. Поезд Asien-Europa-Express

Cargo имеют такое же исполнение, как локомотивы серии 189 модификации F. В июле 2004 г. они получили допуск Швейцарии, а в июне 2005 — Италии. После освоения машинистами Италии эти электрово́зы в августе 2005 г. были допущены к использованию с поездами в сообщении между Италией и Швейцарией (рис. 2). На базе компьютерной оценки предыдущего опыта эксплуатации удалось достаточно быстро обеспечить 100 %-ную эксплуатационную готовность электрово́зов.

Восточная Европа

В январе 2004 г. ÖBB, арендовавшие у компании Siemens Dispolok четыре электрово́за серии 189 модификации D для использования их в сообщении со Словенией, провели измерительные поездки на линиях страны, электрифицированных по системе постоянного тока напряжением 3 кВ. В августе 2004 г. был дан допуск на эксплуатацию этих электрово́зов в Словении. Электрово́зы данного типа, арендованные железными дорогами Словении у компании SDL, предназначены для тяжелой грузовой работы на линии с большими уклонами, соединяющей станцию Дивача с портом Копер. Использование системы обеспечения безопасности движения PZB 90 дает значительные финансовые и эксплуатационные преимущества. После измерительных поездок, выполненных в августе и сентябре 2005 г. в Хорватии, область эксплуатации новых локомотивов была расширена. В Хорватии сеть электрифицирована на переменном токе напряжением 25 кВ, частотой 50 Гц. В январе 2006 г. планировалось реализовать на локомотивах некоторые технические изменения, предписываемые процедурой допуска, чтобы их можно было эксплуатировать также и в Хорватии.

Независимо от проходившего в Европе процесса допуска новых электрово́зов DBAG с 9 по 14 мая 2004 г. провели демонстрационную

поездку грузового поезда (Asien-Europa-Express) из Стамбула в Кёльн. Поезд массой 900 т, ведомый электрово́зом серии 189 модификации E и тепловозом EuroRanner ER 20, пришел из Турции в Германию через Болгарию, Румынию, Венгрию и Австрию за 79 ч без каких бы то ни было технических неполадок (рис. 3). Несмотря на то что на границах имели место задержки, связанные с административными процедурами, общее время хода поезда значительно меньше, чем затраты времени при автомобильной перевозке.

В настоящее время подготавливается допуск электрово́зов на сети Чехии и Польши. В качестве первого этапа будет выдан допуск на прохождение поезда из Германии в Чехию через пограничную станцию Дечин. В дальнейшем это позволит компании Railion заменить новыми многосистемными электрово́зами тяговый подвижной состав устаревших серий, эксплуатирующийся на данном направлении.

Поездки в рамках допуска планировалось провести в начале 2006 г. в Польше. Для решения этой задачи один из электрово́зов в декабре 2005 г. в опытном порядке был оборудован компонентами польской системы обеспечения безопасности движения SHP.

Концепция локомотива

Как и все локомотивы семейства EuroSprinter компании Siemens TS, электрово́з серии 189 по типу своих компонентов и принципу конструкции имеет модульное исполнение. Благодаря использованию унифицированных деталей, узлов и агрегатов снижаются затраты на единицу продукции. Благодаря модульному принципу совершенствование конструкции и устройств электрово́за возможно без изменения общей системы.

В связи с высокими требованиями к электрово́зу, отраженными в техническом задании компании Railion Deutschland и предусмат-

ривающими возможность использования для тяжелой грузовой и пассажирской работы в горных условиях, четырехсистемное исполнение и эксплуатацию в 15 европейских странах, разработчикам пришлось искать новые пути решения задачи. Поскольку заказчику требовалось обеспечение в поездной работе большой длительной мощности во всем интервале от момента трогания до достижения максимальной скорости, длительная тяговая мощность на ободке была принята равной 6400 кВт. При этом предусматривалось индивидуальное регулирование осей.

Для указанного температурного диапазона эксплуатации еще нигде в мире не разрабатывались электровозы со сравнимыми характеристиками.

Если сравнивать многосистемный электровоз с двухсистемным переменного тока, то для него необходимо дополнительное оборудование, а именно устройства для тяговых режимов постоянного тока, дополнительные токоприемники, высоковольтные компоненты, а также блоки различных систем обеспечения безопасности движения. При размещении дополнительного оборудования необходимо было соблюдать требование о совмещении центра тяжести с геометрической осью симметрии. Для компенсации дополнительной массы, обусловленной наличием этих компонентов, потребовалось пересмотреть конструкцию каркаса кузова. Он был значительно облегчен без ущерба для жесткости и прочности при столкновении. Так, боковые стенки кузова изготовили из листа с выштампованными ребрами жесткости (зигами), а в конструкции крыши использовали элементы из алюминиевых сплавов. Кроме того, за счет применения современных силовых полупроводниковых приборов удалось значительно снизить массу тягового преобразователя и сделать его более компактным.

Для удовлетворения требований к системам сигнальных огней,

| Технические данные электровоза серии 189 | |
|---|--------------------------------|
| Осевая формула | 2 ₀ -2 ₀ |
| Температурный диапазон эксплуатации | от — 30 до +50 °С |
| Максимальная высота работы над уровнем моря, м | 1400 |
| Системы тягового электроснабжения: | |
| переменный ток | 15 кВ, 16,7 Гц; 25 кВ, 50 Гц |
| постоянный ток | 3, 1,5 кВ |
| Продолжительная мощность, кВт: | |
| переменный ток | 6400 |
| постоянный ток, 3 кВ | 6000 |
| то же, 1,5 кВ | 4200 |
| Системы электроснабжения поезда: | |
| переменный ток | 1000 В, 16,7 Гц; 1500 В, 50 Гц |
| постоянный ток | 1500; 3000 В |
| Максимальная скорость, км/ч | 140 (230) |
| Масса, т | 87 |
| Сила тяги, кН: | |
| при трогании | 300 |
| продолжительного режима | 270 |
| Тормозная сила при электрическом торможении, кН | 150 (до 300) |
| Коэффициент мощности | близок к 1, регулируется |
| Ширина колеи, мм | 1435 |
| Длина, мм | 19580 |
| Диаметр новых колес, мм | 1250 |

различных для разных стран Европы, пришлось разработать специальную комбинацию из сигнальных огней на базе светодиодов и линзовых прожекторов. Эта система оказалась оптимальной при всем разнообразии требований.

Электрическая часть

Уже первый серийный электровоз был оснащен высоковольтным тяговым преобразователем на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT). Благодаря применению IGBT с обратным напряжением 6,5 кВ стало возможным подавать напряжение контактной сети постоянного тока непосредственно на промежуточное звено. При этом четыре четырехквadrантных регулятора использовались в качестве независимых тормозных регуляторов. Это дает следующие преимущества:

- не требуется специальный модуль для регулирования тока тормозного резистора;
- применение четырех независимых тормозных регуляторов обеспечивает высокую степень эксплуатационной готовности;

- необходимость в дополнительном входном импульсном регуляторе постоянного тока отпадает, что дает экономию места и массы;

- потери в дополнительных входных IGBT исключаются. В связи с этим повышается общий КПД по сравнению со схемой, имеющей входной импульсный регулятор постоянного тока. Измерения, выполненные в реальных условиях на сети постоянного тока напряжением 3 кВ в Италии, показали, что КПД может достигать 90 %;

- тяговые двигатели адаптируются к более высокому напряжению простейшим способом — усилением изоляции;

- исключаются проблемы, связанные с взаимным влиянием цепей управления входных регуляторов и выходных инверторов;

- преобразователь питания вспомогательных устройств может без разделительного трансформатора подключаться непосредственно к промежуточному звену;

- для выполнения переключений в тяговом преобразователе вместо дорогих и ненадежных контакторов используются барабанные пускатели.

Разработанная в свое время компанией Siemens морозостойчивая система охлаждения полупроводниковых вентилях с помощью воды в усовершенствованном виде применена на электровозе серии 189. Использование тяговых обмоток главного трансформатора в качестве входных дросселей цепи постоянного тока способствует снижению общей массы преобразователя за счет более интенсивного использования его компонентов.

Благодаря переключению обмоток тяговых двигателей со звезды на треугольник при движении на линиях, электрифицированных по системе постоянного тока напряжением 1500 В, удается обеспечить мощность на обode 4200 кВт. Такая мощность на других электровозах подобного типа достигается лишь под контактной сетью переменного тока.

Высоковольтное оборудование переменного тока, такое, как главный выключатель, заземляющий разъединитель, трансформатор напряжения и системный разъединитель, размещено на крыше электровоза, поэтому в машинном отделении удалось выделить место для размещения схемных компонентов и устройств обеспечения безопасности движения, специфичных для разных стран Европы. Лишь высоковольтное оборудование постоянного тока размещено в машинном отделении и скомпоновано в виде отдельной ячейки напряжением 3 кВ.

Механическая часть

В соответствии с пожеланиями заказчика не все локомотивы сразу оснащали всеми возможными европейскими системами обеспечения безопасности движения, дополнительными токоприемниками и специальным оборудованием, специфичным для отдельных стран. Вместе с тем обеспечивалась возможность дооборудования электровоза в случае изменения зоны или страны эксплуатации. Кроме того, во время разработки многосистемного

локомотива требования по допуску имелись не для всех стран, где планировалось его использовать. В связи с этим конструкторы обеспечили такой уровень разработки, при котором можно было легко провести дооснащение электровоза недостающими компонентами на месте, т. е. уже после его поставки заказчику. Для этого в машинном отделении, приборных шкафах, пульте управления, а также под кузовом электровоза базового исполнения предусматривалось свободное пространство для установки нужных компонентов. Крышное оборудование также можно было перекомпоновывать при замене токоприемника в случае изменения зоны эксплуатации.

В электровозах серии 189 модификаций D, E и F стандартное исполнение предусматривало нанесение необходимых надписей на четырех европейских языках: немецком, английском, французском и итальянском. Для модификаций D и E в последнее время принято решение о нанесении дополнительных надписей на польском, словенском и хорватском языках. Кроме того, в дальнейшем возможно также использование пиктограмм.

Кузов

Кузов электровоза представляет собой сварную самонесущую конструкцию, оптимизированную по массе и технологичности изготовления. Для закрепления модулей, приборных шкафов и вентиляторов на полу имеются сплошные монтажные профили. Кроме того, в полу машинного отделения предусмотрены люки для вентиляционных каналов, кабелей и труб, идущих в подкузовное пространство.

Крыша

В целях снижения общей массы электровоза его трехсекционная крыша изготовлена из алюминевых элементов. В полостях секций расположены камеры, устраняющие турбулизацию воздуха, поступающего в них через за-

борные решетки. На крыше можно разместить до четырех токоприемников разных типов. Кроме того, здесь расположено почти все высоковольтное оборудование переменного тока.

Кабели и трубы

Готовый модуль с трубной и кабельной разводкой, располагаемый по продольной оси кузова, служит для пропуска труб сжатого воздуха, силовых кабелей и электрических линий системы управления, подключаемых к оборудованию в машинном отделении. Модуль поступает в сборочный цех в готовом виде. Трубы с подготовленными резьбовыми соединениями и кабели со штекерной разделкой позволяют быстро и надежно выполнить все необходимые подключения. Это также дает возможность значительно снизить затраты на монтаж. После завершения сборки локомотива возможно внесение изменений в схемы управления с перекладкой кабелей. Для этой цели верхние крышки модуля выполнены съемными и в закрытом состоянии образуют часть поверхности пола в центральном проходе. Такие работы могут выполняться, например, при замене или установке новых систем обеспечения безопасности движения. Пропуск кабелей к оборудованию, размещенному под кузовом, осуществляется через заранее подготовленные проемы в полу. Эти проемы закрывают съемными крышками, выполненными с вырезами, соответствующими пропускаемым кабелям и проводам. При необходимости перекладки кабелей здесь также изменяются только расположение и число отверстий в съемных крышках.

Пульт управления

Благодаря модульной конструкции пульта управления в нем могут быть легко заменены или установлены новые блоки и элементы управления систем обеспечения безопасности движения, а также дополнительные устройства, напри-

мер установка пожаротушения, блок управления видеокameraми заднего вида и информационные системы, специфичные для отдельных стран. Зоны обзора машиниста и помощника не ограничены элементами пульта управления. В дальнейшем широкое внедрение пиктограмм вместо надписей позволит значительно облегчить работу локомотивных бригад разных стран Европы.

Тележка

Передача тягового усилия

Тележка электровоза серии 189 имеет H-образную замкнутую по торцам раму, сваренную герметичным швом из полых профилей прямоугольного сечения. Система передачи силы тяги от тележек к кузову через шкворневые узлы и многослойные рессоры с резиновыми элементами работает без износа и не требует ухода. Она является хорошим компромиссом между малой разгрузкой колесных пар в режиме тяги, низкими значениями поперечных сил, устойчивостью движения и высокой плавностью хода. Кроме того, передача тяговых усилий через шкворневый узел позволяет проходить кривые малого радиуса (от 80 м). Электровоз легко преодолевает короткие подъемы и уклоны малого радиуса в профиле (соответственно 200 и 250 м), благодаря чему сортировочные горки не являются для него препятствием. При других конструкциях системы передачи возникли бы значительные эксплуатационные проблемы. Применение дисковых колес диаметром 1250 мм обеспечивает большой срок службы колесных пар.

Направление колесных пар

Для уменьшения поперечных сил при движении в кривой применили упругие опоры пружин вторичного рессорного подвешивания. Благодаря этому силы, про-

тиводействующие развороту тележки, снижаются до минимума. Работающая без износа система направления колесных пар с треугольными поводками обеспечивает оптимальную продольную и поперечную жесткость в системе колесная пара — рама тележки. Треугольные поводки, взаимодействуя с первичным рессорным подвешиванием, имеющим низкую жесткость в поперечном направлении, обеспечивают без износа пассивную радиальную установку колесных пар в кривых. Этим обеспечивается выполнение требований документа МСЖД 518, ссылающегося на проект европейского стандарта prEN14363, следование которому является обязательным условием в процедурах допуска электровоза на сети разных стран. Кроме того, радиальная установка колесной пары снижает уровень сил, действующих в кривой на гребень колеса и головку рельса. Поскольку в перспективе снижению износа верхнего строения пути владельцы инфраструктуры будут придавать все большее значение, для компаний-перевозчиков важным потенциалом экономии будет минимизация поперечных сил в кривых. Снижение поперечных сил повышает плавность хода и в связи с этим улучшает условия работы локомотивной бригады.

Активный демпфер

Важной инновацией, которую планируется реализовать в тележке электровоза серии 189, является экспонированный на международной выставке InnoTrans 2004 активный демпфер разворота (ADD), совместно разработанный компаниями Siemens TS и Liebherr Aerospace Lindenberg. ADD (рис. 4) представляет собой комбинацию обычного гасителя колебаний виляния и регулирующего гидроцилиндра, который при входе в кривую задает оптимальную величину момента разворота тележки и тем самым дополнительно улучшает установку колесных пар. Измерительные поездки показали, что в кривых радиусом менее 400 м сила тяги может быть существенно увеличена, квазистатические поперечные силы дополнительно снижаются на 10 кН, влияние подуклонки рельсов и сил сцепления уменьшается. Конструкция крепления ADD на тележках такая же, как и обычного демпфера, поэтому для его установки не требуются конструктивные изменения. Замена обычных демпферов на ADD разрешена специальным допуском EBA.

При разработке конструкции кузова была предусмотрена возможность установки его на тележки с тяговым приводом повышен-

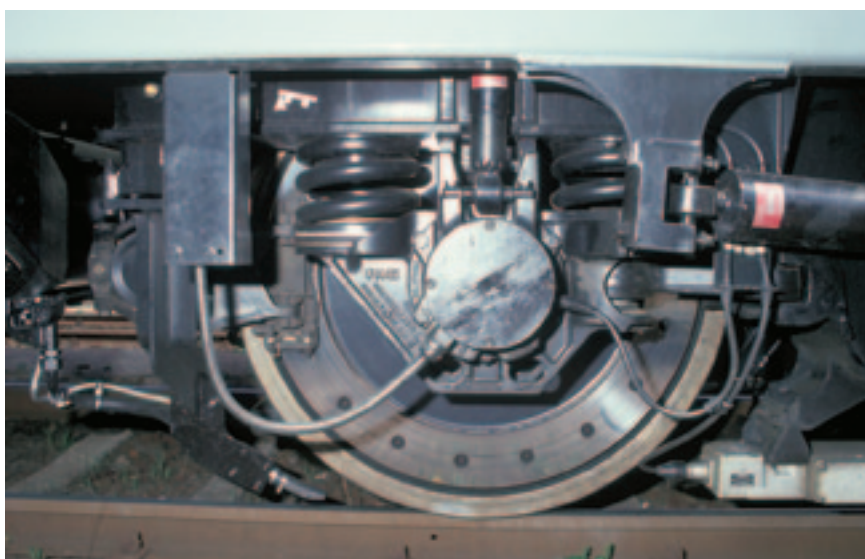


Рис. 4. Активный демпфер на тележке электровоза серии 189 (фото DBAG, Вебер)

ной мощности и тормозным валом. Этот вариант, рассчитанный на скорость движения до 230 км/ч, реализован на электровозах для Австрии и Словении, получивших серийное обозначение соответственно 1216 и 541.

Тяговая передача

Примененный на электровозе серии 189 опорно-осевой тяговый привод с мембранной муфтой является дальнейшим усовершенствованием системы, реализованной в свое время на электровозе серии 152. В некоторых районах эксплуатации электровоза серии 189 используется старая инфраструктура, представляющая собой классический путь со стыками. Наличие стыков, вызывающих повышенную нагрузку на ходовую часть, требует более эффективной развязки между колесными парами, непосредственно воспринимающими удары на стыках, и тяговым двигателем. С этой целью в редукторе применили трехточечное опирание вала шестерни. Вращающий момент от тягового двигателя передается на этот вал через мембранную муфту.

Такая же система реализована на аналогичных локомотивах, разработанных компанией Siemens TS для Кореи.

Регулирование сил сцепления

К электровозам серии 189, предназначенным для трансальпийских линий, предъявляются особо жесткие требования в отношении использования сил сцепления. На этих линиях, характеризующихся наличием большого числа крутых уклонов и кривых малого радиуса, движение должно осуществляться в любую погоду. Чтобы выполнить это требование, необходимо наряду с эффективной механикой тележки применять компьютерное регулирование сил сцепления. Как показали результаты измерительных поездок, электровоз серии 189 может развивать большую силу тяги, что обеспечивается:

- индивидуальным регулированием осей с динамическим распределением силы тяги между другими моторными осями в соответствии с их реальными значениями коэффициентов сцепления;
- регулированием с целью подавления вибраций в тяговом тракте, снижающим нагрузку на его компоненты.

Система регулирования сил сцепления воздействует отдельно на четыре тяговых привода. Благодаря этому обеспечивается такой режим, при котором каждая моторная колесная пара независимо от других может работать в оптимальной рабочей точке. Задаваемые значения величин проскальзывания формируются системой отдельно для каждой оси и соответственно для каждого тягового агрегата. Все четыре тяговых агрегата объединены системой динамического перераспределения силы тяги. Если один из приводов не в состоянии передать на рельсы требуемую величину силы тяги, свободная тяговая мощность распределяется между теми приводами, которые еще могут ее реализовать. Такое перераспределение сглаживает эффект разницы условий сцепления колес в контакте с рельсом. Эта разница возникает из-за неизбежных различий в состоянии рельсов перед передней и задней колесными парами в тележке, а также в результате перераспределения массы при разгрузке передней колесной пары. Регулирование обеспечивает повышение силы тяги в том случае, если возникает опасность перехода всех осей в режим юза или боксования. В случае оснащения электровоза активными демпферами обеспечивается дополнительное повышение силы тяги за счет оптимального гашения колебаний. Когда нет потребности в регулировании сил сцепления, необходимая тяговая мощность равномерно распределяется между всеми тяговыми агрегатами.

Другой задачей системы регулирования сил сцепления является

предотвращение чрезмерного возрастания механических напряжений в тележке. Так, при высоком использовании сил сцепления во время прохождения кривой малого радиуса возникают значительные колебания в тяговом приводе. С помощью системы регулирования эти колебания распознаются и эффективно подавляются, что обеспечивает высокое использование сил сцепления при одновременном снижении нагрузки на компоненты тягового привода. При групповом тяговом приводе такое регулирование возможно лишь в определенных границах. Разница была определена на основании результатов сравнительных испытаний локомотивов с индивидуальным и групповым приводом.

На рис. 5 показана тяговая характеристика тяжелого пуска электровоза серии Re 474 в неблагоприятных условиях на южном подъеме Сен-Готарда. Трогание происходило во время дождя без подсыпки песка с прицепной массой 950 т на подъеме 27 ‰. Норма массы поезда для этого участка составляла 650 т. Как видно из кривых, трогание и разгон поезда проходили успешно с высоким значением силы тяги.

На железной дороге Rübelandbahn в горах Гарц проводились сравнительные поездки с целью определения целесообразности замены эксплуатировавшихся там шестiosных электровозов серии 171 массой 126 т электровозами серии 189. Они показали, что в одних и тех же условиях на влажных рельсах новые электровозы развивают такую же и частично более высокую силу тяги, чем значительно более тяжелые шестiosные локомотивы серии 171 с коллекторными тяговыми двигателями. В ходе измерительных поездок, программа которых включала также тормозные испытания, электровоз серии 189 получил допуск к эксплуатации на линиях с большими уклонами.

В рамках измерений силы тяги, проводившихся железными до-

рогами Германии на подъеме 25 ‰ между станциями Пробстцелла и Штайнбах при плохих погодных условиях и без подсыпки песка, были успешно выполнены трогание и разгон поезда массой 840 т.

Эффективность системы регулирования была подтверждена в ходе многочисленных пусков, в том числе в Швейцарии (перевалы Лёчберг и Сен-Готард), Италии (Бреннер) и Австрии (Тауэрн), а также в ходе коммерческой эксплуатации электровозов компанией Railion Deutschland и железными дорогами Словении.

Дополнительные устройства, используемые в отдельных странах

Швейцария

На электровозах серии 189 модификации E для допуска на линии Швейцарии дополнительно потребовались токоприемник с ползком длиной 1450 мм и системы обеспечения безопасности движения ZUB 262ct и Integra. На тележках смонтировали соответствующие антенны. Необходимый для работы этих систем компьютер был интегрирован в шкаф, где размещались компоненты системы LZB. На пульте машиниста дополнительные элементы управления не потребовались, так как можно было использовать соответствующие клавиши системы LZB/PZB и соответствующие показания на дисплее. С начала 2006 г. локомотивы стали оборудовать отключаемыми электромагнитами системы Integra. Поскольку за пределами Швейцарии не существует больше проблемы мешающего воздействия использовавшихся ранее постоянных магнитов на рельсовые цепи старого типа, электровозы серии 189 модификации E могут эксплуатироваться в Австрии.

Австрия

Процедура допуска локомотивов на сеть железных дорог Австрии предусматривает требование

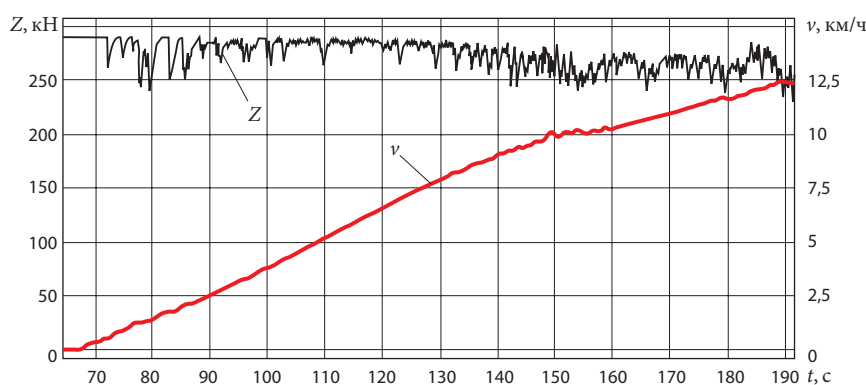


Рис. 5. Тяговая характеристика тяжелого пуска электровоза Re 474 на подъеме 27 ‰

о наличии устройств, позволяющих наблюдать за составом поезда во время движения. Для этой цели использована видеочамера заднего вида.

К требованиям, действующим в Австрии, относится так называемая функция подтормаживания. При этом на некоторых участках с уклонами пневматический тормоз локомотива отключают, чтобы защитить его от перегрузки, и используют только электрический рекуперативный. Еще одной функцией, действующей в Австрии, является ограничение величиной 150 кН максимальной силы электрического торможения, в том числе и при кратной тяге.

Италия

Кроме токоприемника с длиной ползота 1450 мм, в Италии дополнительно требуется использование системы обеспечения безопасности движения типа RS4C, компоненты которой размещают в отдельном шкафу машинного отделения. Поскольку она связана с системой управления локомотива, в пульт управления (рис. 6) интегрирована соответствующая панель. В связи с тем что на пульте нужно было также разместить небольшую панель управления для поездной радиосвязи GSM-R, ее совместили с панелью RS4C. Дополнительные элементы пульта не ухудшают его эргономических качеств.

В машинном отделении требуется установка дополнительного пневматического модуля, с помо-

щью которого в случае необходимости можно произвести прямую разрядку главной воздушной магистрали локомотива.

Согласно инструкциям, действующим в Италии, находящийся в работе электровоз без машиниста в кабине (например, при кратной тяге) должен быть оборудован автоматической установкой пожаротушения. На электровозе серии 189 такая установка позволяет гасить с помощью газа огонь, возникший в любом месте кабины. Включается установка автоматически при срабатывании датчиков температуры, надежно распознающих возгорание. Ложное срабатывание установки исключено. Количество гасящего вещества выбрано таким, чтобы в случае необходимости все пространство кабины почти мгновенно заполнялось газом заданной концентрации. Газ гасит огонь, отбирая из очага возгорания тепловую энергию, необходимую для поддержания горения. Он обладает электроизоляционными свойствами, поэтому при гашении пожара не возникает перекрытий или коррозии на электрооборудовании, не затронутом огнем. Применяемый газ имеет короткий срок жизни в атмосфере, поэтому его использование не запрещено Киотским протоколом.

Все тексты на дисплее переводятся на итальянский язык. Для отображения технической информации на дисплее и приборах также вводится система обозначений, принятая в этой стране.



Рис. 6. Пульт управления электровоза серии 189 (фото DBAG, Вебер)

В соответствии с инструкциями, действующими в Италии, сила электрического торможения при двойной тяге ограничивается 200 кН для электровозов модификации F и 150 кН — модификаций D и E. При этом имеется возможность вручную ограничивать максимальный ток. На электровозах модификаций D и E реализована возможность при отказе токоприемника, предназначенного для контактной сети Италии, использовать токоприемник швейцарской сети с автоматическим ограничением максимальной скорости движения и регулированием максимального тока.

Словения

В связи с тем что контактная сеть постоянного тока напряжением 3 кВ, используемая в Словении, аналогична сети Италии, здесь также установлен токоприемник с ползком длиной 1450 мм.

В дополнение к четырем европейским языкам, предписываемым МСЖД, для информации, выводимой на дисплей, и обозначений использован словенский язык.

Поскольку в Словении применяется система обеспечения безопасности движения PZB, дополнительное оборудование в электровозах для SŽ не требуется.

Польша

Для допуска на польскую контактную сеть постоянного тока напряжением 3 кВ электровоз оборудовали токоприемником с ползком длиной 1950 мм. Здесь необходима установка системы обеспечения безопасности движения SHP. Кроме того, в прибор поездной радиосвязи ZFM 21M интегрируются компоненты применяемой на железных дорогах Польши системы Funkstopp. С ее помощью диспетчер нажатием кнопки может включить принудительное торможение и остановить в определенной зоне все поезда. Все надписи выполнены на четырех языках МСЖД и польском.

Модификации электровоза серии 189

С учетом различных пожеланий заказчиков уже разработано и построено семь модификаций электровоза серии 189. Особенности модификаций в значительной степени обусловлены требованиями, отраженными в процедурах допуска электровозов на сети разных стран.

Модификации A, B, C

Компания Railion Deutschland эксплуатирует и продолжает получать в соответствии с контрак-

том электровозы четырех модификаций: A, B, B2 и C, которые в основном различаются лишь конфигурацией крышевого оборудования (токоприемников, коммутационных устройств, крышевых кабелей). Прочее оборудование идентично, так как по состоянию на начало 2006 г. парк электровозов этой компании еще не имел дополнительного оборудования, необходимого в соответствии с требованиями других стран.

Модификации D и E

Вариант D имеет дополнительное оборудование, требуемое в Германии, Австрии, Италии и Словении, и соответствующие допуски. Дополнительно к оборудованию, установленному на электровозах модификации D, вариант E имеет также системы обеспечения безопасности движения ZUB 262st и Integra, необходимые для эксплуатации в Швейцарии. Этот электровоз имеет допуск на сети Германии, Италии и Швейцарии. Допуск к эксплуатации в Словении планировали получить в конце 2005 г. Возможность эксплуатации электровоза модификации E в Австралии зависела от согласования по вопросу использования системы Integra и ее влияния на рельсовые цепи. На начало 2006 г. 45 электровозов модификаций D и E уже изготовлены для компании Siemens Dispolok. Локомотивы варианта D планировалось подготовить к эксплуатации в Польше.

Модификация F (Re 474 для SBB)

В декабре 2003 г. завершились поставки компании SBB Cargo партии электровозов модификации F в количестве 18 ед., получивших обозначение Re 474 и предназначенных для грузовых перевозок между Северной Италией и Швейцарией. Допуск на сеть Швейцарии был выдан в июле 2004 г. В связи с категорическим отказом итальянской службы CESIFER одновременно проводить допуск сразу нескольких модификаций электровоза се-

рии 189, испытания по процедуре допуска проводили отдельно для каждого из вариантов. В результате варианты E и F были отодвинуты в конец очереди.

Электровозы модификации D прошли все испытания в рамках допуска успешно. Благодаря этому грузовая компания SBB Cargo Italia смогла увеличить объем перевозок.

В феврале 2005 г. начался процесс допуска на сеть Италии электровоза серии Re 474, который был успешно завершен в конце апреля 2005 г. Поскольку SBB не планировали использовать Re 474 на сетях Германии и Австрии, было решено отказаться от установки системы LZB/PZB на электровозы всех модификаций, кроме E. В связи с этим все надписи возле элементов управления системами Integra и ZUB были приведены в соответствие с принятым решением.

С целью резервирования на электровозе Re 474 установили по два токоприемника для сетей Швейцарии и Италии.

По желанию заказчиков тяговые и тормозные характеристики были модифицированы. Максимальная сила тяги 300 кН остается постоянной до рабочей точки I характеристики сцепления. При других вариантах электровоза тяговая характеристика падает с 300 кН в момент трогания до 250 кН в рабочей точке I. Это изменение вызвало необходимость в модификации программного обеспечения для системы регулирования тягового привода, поэтому потребовалось вновь проводить измерения мешающих токов и повторять процедуру допуска по этому пункту. Указанные значения силы тяги относятся к идеальным условиям сцепления (чистые сухие рельсы). При определении допустимых значений массы поезда и составлении графиков движения следует учитывать также и неблагоприятные условия сцепления, при которых эти значения не могут быть достигнуты физически. Здесь

решающую роль играют концепция тягового привода и качество регулирования силы тяги.

Максимальная динамическая сила торможения для разных стран различна. Так, для Швейцарии она составляет 300 кН, а для Италии — 200 кН. Кроме того, при кратной тяге с ведущим электровозом Re 474 сила электрического торможения распределяется поровну между всеми локомотивами.

Сигнал бдительности дополнительно к нажатию педали Sifa квитируется также при включении ходового контроллера, регулятора скорости, тормозного крана машиниста, выключателя сигнальных огней или звукового сигнала. Возможно оснащение локомотива активной системой контроля для нахождения в отстое, а также устройством дистанционного управления стояночным тормозом с пружинным аккумулятором в поездах с кратной тягой.

В отличие от других модификаций электровоз Re 474 оборудован рельсоочистителем, который отвечает требованиям спецификации SNCF SAM-C-201 в отношении прочности.

Для улучшения продольной динамики поезда при движении с повышенной до 300 кН максимальной силой торможения на спусках после прохождения перевалов Сен-Готард и Лёчберг установлены буфера типа Combigard T105 с комбинацией эластомерного и гидравлического гасящих элементов, имеющие специальную характеристику.

На электровозе Re 474, предназначенном для грузовых перевозок на горных линиях Швейцарии, для увеличения силы тяги на крюке применены винтовая сцепка и сцепной крюк с разрывной нагрузкой 1350 кН вместо стандартных сцепных приборов с разрывной нагрузкой 850 кН при максимальной допустимой эксплуатационной тяговой нагрузке 400–450 кН. Благодаря этому тяговое усилие 600 Н, развиваемое при двойной тяге, не

является для сцепки электровоза Re 474 критическим.

В отличие от других модификаций электровоз Re 474 оборудован установкой смазывания гребня бандажа типа Delimon DP-P, регулируемой в зависимости от направления движения, уклона пути и радиуса проходимых кривых. Смазочные головки установлены над каждым колесом локомотива, поэтому независимо от направления движения смазка подается только на гребни колес передней колесной пары в каждой тележке.

Модификация G

В ноябре 2005 г. был завершен контракт на поставку двух электровозов компании Hectors Rail. Они получили обозначение HR 441 и были предназначены для тяжелой грузовой работы в Швеции. Эти локомотивы оборудованы шведской системой обеспечения безопасности движения L 10000. В начале 2006 г. они получили допуск на сеть железных дорог Швеции.

Выводы

Многочисленные приемочные измерительные и презентационные поездки, выполненные в 16 странах Европы, а также опыт эксплуатации показали, что международные сообщения в Европе могут быть без технических проблем реализованы с помощью электровозов серии 189. Перевозки с использованием этих электровозов по маршрутам Верона — Мюнхен и Брешиа — Кьяссо — Базель — Эммерих доказывают, что отказ от замены локомотивов на границах дает существенную экономию, а также снижает время доставки груза и обеспечивает явные преимущества в реализации логистических задач. По состоянию на начало 2006 г. эти электровозы эксплуатировали уже восемь европейских компаний.