

# Электровозостроение в Германии после реформирования железных дорог

Реформирование железных дорог Германии, начавшееся в 1994 г., повлекло за собой, помимо прочего, коренные изменения в процедуре закупок локомотивов и реструктуризацию всей железнодорожной промышленности Германии. Все новые электровозы различных серий, поступившие на железные дороги Германии с 1997 г. и получаемые сейчас, поставляются двумя конкурирующими компаниями-изготовителями — Siemens и Bombardier.

В 1990-е годы в железнодорожной отрасли Германии произошли важнейшие перемены. С появлением электровозов серии 120 и концевых моторных вагонов высокоскоростных поездов ICE на тяговом подвижном составе в Германии окончательно утвердилась техника асинхронного трехфазного привода. Все прочие виды электрического привода стали считать технически устаревшими и перестали выпускать.

Реформой 1994 г. бывшие Государственные железные дороги ФРГ (DB) и железные дороги бывшей ГДР (DR) были преобразованы в две самостоятельные коммерческие структуры, что не могло не отразиться на заказах тягового подвижного состава. Универсальные локомотивы, закупка которых планировалась ранее и которые должны были использоваться как со скоростными пассажирскими поездами, так и с тяжелыми грузовыми, стали не нужны. Закупки тягового подвижного состава были сориентированы на выполнение определенных задач без переориентации на другие цели. В результате этого была получена большая экономия инвестиционных средств.

В связи со значительным сокращением заказов железнодорожная промышленность Германии оказалась в кризисной ситуации, которую приходилось преодолевать путем концентрации производства, слияния и реструктуризации предприятий. Из поставщиков локомотивов для реформированных железных дорог Германии в ходе это-

го процесса остались только компании Bombardier и Siemens. Все рассматриваемые в данной статье электровозы разработаны и изготовлены этими компаниями или их предшественниками.

## Первые заказы железных дорог Германии

К моменту проведения реформы парк электровозов железных дорог Германии (DB) в значительной степени устарел, и поэтому срочно требовались новые инвестиции. Несмотря на большие финансовые трудности, DB с 1996 по 2001 г. заказали в общей сложности 420 современных электровозов с трехфазным тяговым приводом у немецких предприятий железнодорожной промышленности, находящихся в стадии преобразования. Договоренность о последующей закупке еще 500 электровозов подтверждала устойчивость тенденции на обновление локомотивного парка. Значительных различий между локомотивами основного и дополнительного контрактов не должно было быть, не предусматривалась также и разработка



Рис. 1. Электровоз серии 101 с междугородным поездом (фото: DB)



Рис. 2. Электровоз серии 145 с международным поездом на станции Нордайх-Мале (фото: DB)

новых серий, отвечающих последним требованиям.

Заказанные локомотивы трех серий имели много общего при небольших различиях, которые вытекали из требований заказчиков, современного уровня развития техники, а также из традиций фирм-изготовителей. Внешне электровозы всех трех типов были достаточно схожи, и лишь локомотивы серии 101, предназначенные для вождения скорых поездов, имели некоторые отличительные особенности (рис. 1 и 2).

Все эти электровозы, предназначенные для эксплуатации на сети DB, были рассчитаны только на одну систему тока — 15 кВ/16,7 Гц. В то время еще не ставилась задача разработки и использования многосистемных электровозов. Принцип построения тяговой цепи у всех электровозов одинаков: входной четырехквadrантный регулятор обеспечивает питание промежуточного звена постоянного напряжения, содержащего фильтр для подавления токов помех. Выход промежуточного звена связан с импульсным инвертором напряжения, питающим асинхронные трехфазные тяговые двигатели. Электровозы серии 101, имеющие максимальную скорость 220 км/ч, оборудованы полностью подрессоренным тяговым приводом и карданной передачей с полым валом. Остальные две серии электровозов предназначены для грузовой работы и имеют максимальную скорость 140 км/ч. Они оборудованы более простым с технической точки зрения и более дешевым приводом с моторно-осевым подвешиванием.

Расстояние между колесными парами в тележке и принцип передачи силы тяги от тележки к ку-

зову локомотива не оговаривались техническим заданием и оставлялись на усмотрение компании-изготовителя. Так, расстояние между колесными парами у локомотивов серии 101, составляющее 2650 мм, и у локомотивов серии 145, равное 2600 мм, заметно меньше, чем у электровозов серии 152 (рис. 3) компании Krauss Maffei, которое составляло 3000 мм. В то время как на локомотивах серий 101 и 145 компаний AEG и Adtranz (позже Bombardier) передача тяговых усилий на кузов осуществляется с помощью штанг, на локомотивах Krauss Maffei она в соответствии с традициями компании реализуется с помощью шкворней, хотя и в упрощенной, более дешевой форме. Это относится только к грузовым электровозам. Скоростные локомотивы этой компании (Taurus и его последующие модификации) оснащены классическими шкворневыми узлами с подшипником, смазкой и усовершенствованными боковыми направляющими шкворневого подшипника. Эти фирменные традиции были продолжены и в последующих модификациях. Компании — разработчики локомотивов, как правило, подчеркивают преимущества своих технических решений, в то время как конкуренты обычно дают им противоположную оценку. Что же касается компаний, эксплуатирующих эти локомотивы, особенно грузовые электровозы, то они не придают особого значения небольшим конструктивным различиям.

Если локомотивы серий 101 и 145 были успешно введены в эксплуатацию, то при вводе локомотивов серии 152 возникла непредвиденная проблема. Во время серийных поставок этого электровоза потребовалось получить допуск для захода его на сеть железных дорог Австрии. В допуске было отказано из-за слишком высоких нагрузок на путь в кривых. Такое положение остается по сей день, одна-



Рис. 3. Электровоз серии 152 с контейнерным маршрутным поездом (фото: DB)



ко на момент возникновения этой проблемы к лету 2000 г. более половины всей заказанной партии было уже поставлено. Причинами, вызывающими высокие нагрузки на путь, являются относительно большое расстояние между колесными парами в тележке, достаточно жесткая установка колесных пар в кривой и слишком мягкая вторая ступень рессорного подвешивания.

Следует отметить, что в настоящее время на сети Федеральных железных дорог Австрии (ÖBB) обращается большое число локомотивов, которые не соответствуют требованиям, предъявленным к электровозу серии 152. В то же время тяжелый грузовой локомотив, который не может обращаться на сети ÖBB Австрии, а значит, не может эксплуатироваться на перевале Бреннер, не отвечает потребностям DB. Решение проблемы оказалось простым: последние 25 заказанных локомотивов серии 152 заменили таким же количеством электровозов Taurus, которые поставляют на сеть ÖBB консорциум компаний Krauss Maffei и Siemens. Этот электровоз, естественно, имеет допуск на сеть ÖBB, где он эксплуатируется под серийным обозначением 1116. Таким образом, на сеть DB был поставлен тяговый подвижной состав, значительно отличающийся от первоначально заказанного. Эти локомотивы, получившие на сети серийное обозначение 182, были совершенно новой техникой для тягового хозяйства DB и поэтому должны были пройти стадию интеграции в систему технического обслуживания. В Австрии к электровозу Taurus предъявляются требования как к универсальному локомотиву. В Германии же его технические возможности полностью не используются. Например, локомотивы серии 182, задействованные в грузовых перевозках DB, развивают максимальную скорость, которая значительно ниже паспортной. В результате измене-

ния заказа был сделан первый, хотя и непроизвольный шаг на пути к диверсификации типов подвижного состава.

Двухсистемная электрическая часть электровозов серии 182 была абсолютным новшеством для железных дорог Германии. Это новшество оказалось довольно выгодным, так как позволило использовать данный подвижной состав даже на линиях, ведущих в Венгрию.

### Электровозы серии 146

Дополнительный контракт на закупку электровозов серии 101 не был подписан, так как появились предпосылки того, что в ближайшем будущем скоростные пассажирские перевозки будут в основном базироваться на моторвагонных поездах с распределенной тягой. Кроме того, в наличии имелось в общей сложности 60 современных электровозов серии 120, мощность которых мало отличалась от мощности электровозов серии 101.

Что касается грузовых электровозов двух упоминавшихся серий, то здесь появились очень серьезные различия между локомотивами основного и дополнительно кон-

трактов. Отчасти это было связано с техническим прогрессом. С другой стороны, немалую роль сыграли ожидавшееся упрощение процедур, связанных с обращением подвижного состава DB на сетях других стран, и вытекающая отсюда проблема разных систем тягового электроснабжения.

Начало расширению спектра модификаций подвижного состава за счет дополнительных заказов было положено неожиданным появлением электровозов серии 146. Известно, что тяговый привод с опорно-осевым подвешиванием на электровозах переменного тока используется для скорости до 140 км/ч. В то же время многие специалисты не склонны считать это положение догмой и придерживаются иного мнения. В США тяговый подвижной состав с опорно-осевым подвешиванием развивает скорость до 176 км/ч.

Электровозы серии 145 имеют допуск к эксплуатации со скоростью до 160 км/ч, однако эта максимальная скорость не используется в целях снижения нагрузки на путь и продления срока службы элементов тяговой передачи и подшипников. Желание использо-



Рис. 4. Электровоз 146.2 на станции Нюрнберг (фото: DB)

вать электровозы серии 145 в региональном сообщении для вождения двухэтажных поездов с высокой скоростью, в частности на сети земли Рейнланд-Пфальц, привело к разработке новой модификации, получившей серийное обозначение 146 (рис. 4).

Отличие этого локомотива от электровозов серии 145 заключается в измененной конструкции тележки с полностью подрессоренным тяговым приводом и в оборудовании этого электровоза так называемым пригородным пакетом. Идею повышения максимальной скорости при опорно-осевом подвешивании тяговых двигателей начали реализовывать еще на электровозе серии 145, где была использована тяговая передача Gealaif компании AEG. Она характеризуется наличием упругой на изгиб муфты между ротором тягового двигателя и шестерней, установленной в подшипниках корпуса редуктора.

Новым в тележке электровоза серии 146 был полностью подрессоренный тяговый привод с карданной передачей и полым валом, цена которого была примерно на 30% выше по сравнению с тележкой электровоза серии 145. По своим мощностным показателям и области использования электровозы новой серии 146 почти полностью соответствуют электровозам серии 101, но построены на более современной технической базе.

«Пригородный пакет», как это следует из названия, включает в себя специальное оборудование, устанавливаемое на электровозах, которые используются с поездами пригородного и регионального сообщения. Вверху над лобовым стеклом размещен указатель маршрутов на желтых светодиодах, потребовавший внесения небольших изменений в конструкцию кузова. Другими дополнительными устройствами являются система управления приводом дверей с селективной

блокировкой их на нужной стороне поезда, система радиооповещения пассажиров поезда и приема экстренных вызовов от пассажиров по переговорному устройству. Освещение в вагонах может включаться и выключаться из локомотива. Мощность и передаточное число локомотивов серий 145 и 146 сначала были приблизительно одинаковыми. Впоследствии внесли изменения, связанные с появлением электровоза серии 185. Локомотивы серии 146 широко используются в пригородном сообщении в виде модификаций.

### Дополнительный заказ электровозов серии 145

Четырехквadrантный входной регулятор обеспечивает простую реализацию двухсистемного тягового электроснабжения на электровозах переменного тока. Компании Siemens и бывшая Adtranz практически одновременно использовали такие схемы на электровозах серий соответственно 1116 (ÖBB) и 185 (DB), что создало условия для обращения этих электровозов под контактной сетью 25 кВ/50 Гц. При дополнительных расходах на уровне 5% по сравнению с базовой моделью можно было выпускать двухсистемные локомотивы более универсального применения. Такие локомотивы имеют трансформатор с переключаемыми отпайками во вторичной обмотке. Это позволяет поддерживать неизменным напряжение на входе четырехквadrантного регулятора в случае перехода с одной системы переменного тока на другую. Вся остальная часть схемы локомотива с промежуточным контуром и импульсными инверторами остается при этом без изменения.

При дополнительном заказе последующих 400 грузовых электровозов DB, учитывая небольшие дополнительные расходы, не могли не заинтересоваться возможностью

использования этих локомотивов в других странах. В первую очередь речь шла о Франции, странах Скандинавии, Чехии, Венгрии. В результате родилась идея создания двухсистемного электровоза серии 185, электрическая часть которого имела соответствующие отличия от схемы электровозов серии 145.

Закупка 400 локомотивов обошлась железным дорогам Германии почти в 2 млрд нем. марок, которые были выплачены в период с 2000 по 2009 г.

Из-за появления в схеме электровоза более высокого напряжения (25 кВ), требующего увеличения изолирующих промежутков, а также из-за специфических требований других стран в отношении габаритов требовалось внести некоторые изменения в конструкцию кузова локомотива. В частности, потребовалось понизить уровень расположения крыши. Из-за необходимости в размещении четырех токоприемников нужно было также изменить ее конструкцию. В результате произведенных изменений пришлось выполнить довольно существенные преобразования в машинном отделении. Так, потребовалось новое техническое решение для каналов воздушного охлаждения, претерпела изменения воздухозаборная решетка системы вентиляции.

В общей сложности в локомотивах серии 185 (рис. 5) оказалось довольно много значительных изменений по сравнению с локомотивами серии 145. Без изменений остались только тележки, тяговый привод с опорно-осевым подвешиванием двигателей и групповое питание тяговых двигателей.

На новом локомотиве были использованы последние достижения технического прогресса и внедрены новые конструкторские решения. На момент выпуска в 2002 г. одним из основных отличий электровоза серии 185 от электровозов серии 145 была повышенная с 4,2

до 5,6 МВт продолжительная мощность. Этот параметр был сохранен и при последующих заказах. Такое повышение мощности было достигнуто в основном за счет модификации программного обеспечения без принципиальных изменений основных узлов. Трансформатор не требовал изменений, так как изначально был рассчитан на оптимальный КПД.

Характеристики нового электровоза учитывали также требования Федеральных железных дорог Швейцарии (SBB), которые намеревались приобрести большую партию электровозов серии 185 для работы на альпийских магистральных линиях. Использование подвижного состава в международном сообщении, за исключением сообщения между Германией и Австрией (DB/ÖBB), предполагает наличие на электровозах различных дорогостоящих устройств, таких, как система автоматической локомотивной сигнализации с автостопом, а также требует допуска на сеть страны, который получить, как правило, непросто. Не все локомотивы оборудованы для любых возможных случаев эксплуатации, поэтому число не предусматривавшихся ранее модификаций значительно увеличивается. Для эксплуатации электровозов в международных сообщениях требуются также токоприемники разных конструкций. В результате на многих электровозах приходится устанавливать несколько токоприемников (до четырех). После появления локомотива серии 185 компания Bombardier ввела для своих электровозов обозначение TRAXX, дополненное различными цифровыми индексами. Локомотив, на разработку и поставки которого потребовалось девять лет, должен был соответствовать уровню технического прогресса и поэтому не мог оставаться без изменений в течение такого длительного срока. Новые предписания, вступив-



Рис. 5. Электровоз серии 185 с грузовым поездом у станции Лербберг (фото: DB)

шие в силу на железнодорожном транспорте в Европе, также потребовали внесения изменений в электровоз серии 185 начиная с номера 185 200.

#### Дальнейшее развитие электровоза серии 185

Многочисленные изменения, внесенные в электровозы серии 185 начиная с номера 185 200, касались как механической, так и электрической части. В соответствии с европейской технической спецификацией TSI потребовалось изменение конструкции кузова электровоза для повышения прочности при столкновениях. Внешне это проявилось в небольшом изменении формы лобовой части и некоторых элементов оборудования. Новые деформируемые элементы и специальные буфера обеспечивают повышенную защиту машиниста при авариях. Тележки усилены до осевой нагрузки 22 т. Для облегчения обслуживания кондиционера, установленного в кабине машиниста, был обеспечен доступ к нему снаружи через специальный люк,

для чего также потребовалось изменение конструкции лобовой части кабины.

Существенным изменением в электрической части является применение в схеме тягового преобразователя биполярных транзисторов с изолированным затвором и водяным охлаждением (IGBT) вместо запираемых двухоперационных (GTO). Подверглись доработке также такие системы, как дисплей в кабине машиниста, управление тормозной системой, устройства для обеспечения безопасности движения поезда и система управления поездом в челночном режиме. С появлением локомотивов модификации 185.2 всем предыдущим было присвоено серийное обозначение 185.1.

Оборудование для системы тока 25 кВ/50 Гц используется на электровозах серии 185, курсирующих в направлениях Франции и Дании/Швеции. «Швейцарский пакет» оборудования используется для локомотивов, идущих через Сен-Готард, где они составляют достаточно ощутимую конкуренцию подвижному составу SBB.



### Модификации электровоза серии 146

С появлением локомотивов серии 185 был прекращен выпуск электровозов серии 145, которые еще продолжали выпускать для частных железнодорожных компаний. Как для изготовителей, так и для заказчиков оказалось целесообразным отказаться от изготовления двух различных кузовов и впредь для локомотивов серии 146 использовать такие элементы электровоза серии 185, как кузов, двухсистемный главный трансформатор, а также другие элементы, относящиеся к прогрессивным новшествам.

По состоянию на конец 2008 г. компания DB Regio, входящая в состав холдинга железных дорог Германии, имеет три различные модификации локомотивов серии 146, общими элементами которых являются тележки, рассчитанные на скорость движения до 160 км/ч, и «пригородный пакет»:

- 31 ед. серии 146.0, разработанной на базе серии 145;
- 32 ед. серии 146.1, разработанной на базе серии 185.1;
- 47 ед. серии 146.2, разработанной на базе серии 185.2.

Локомотивы серии 146.0 имеют такую же мощность, как и локомотивы серии 145, т. е. 4,2 МВт, а модификации серий 146.1 и 146.2 — более высокую, т. е. 5,6 МВт, как у электровоза серии 185.

### Электровозы серии 189

При заключении контракта на поставку локомотивов серии 152 с консорциумом в составе компаний Krauss Maffei и Siemens было достигнуто соглашение о дополнительном заказе еще 100 локомотивов. Этот контракт был подписан уже с компанией Siemens в августе 1999 г. и предусматривал поставку четырехсистемного локомотива серии 189 (рис. 6), претерпевшего значительные изменения по сравнению с серией 152. Приобретение электровозов, работающих со всеми системами тока, имеющимися в Европе, было признаком оптимистической оценки применимости таких локомотивов в ближайшем будущем, хотя по цене эти локомотивы отличаются от базовой модели на 20–25% в зависимости от установленных устройств обеспечения безопасности движения поезда. Это значит, что при переходе от серии 152 к серии 189 увеличение стоимо-

сти на порядок выше, чем при переходе от серии 145 к серии 185.

Само собой разумеется, что четырехсистемный локомотив по сложности электрической части существенно отличается от односистемного электровоза переменного тока 15 кВ/16,7 Гц. Однако неудачная попытка получить для локомотивов серии 152 допуск на сеть ÖBB поставила компанию Siemens перед необходимостью внесения существенных изменений в конструкцию ходовой части локомотива. Так, расстояние между колесными парами в тележке было уменьшено с 3000 до 2900 мм, буксовые поводки стали выполнять треугольными и менее жесткими (как у локомотивов Taurus, ÖBB). Пружины второй ступени рессорного подвешивания стали устанавливать на специальные упругие подушки, что способствовало более мягкому вписыванию тележки в кривые.

При испытаниях в Австрии эта конструкция показала себя настолько положительно, что претензии, предъявлявшиеся к электровозу серии 152 и касавшиеся слишком больших сил воздействия на путь в кривых, были сняты. И тем не менее электровоз серии 189 до сих пор не имеет допуска на сеть Австрии.

Локомотив с таким объемом электрического оборудования мог создать вполне предсказуемые проблемы с точки зрения массы, поэтому были предприняты соответствующие меры для соблюдения максимальной массы 88 т. Боковые стенки локомотива выполнены из более тонкого гофрированного листа. Особое отличие от локомотива серии 152 заключается в размещении на крыше главного выключателя, разъединителей и высоковольтной разводки, которая обеспечивает подключение к четырем токоприемникам. Таким образом, внешне электровозы серии 189 отличаются от всех других электровозов переменного тока DB в основном только исполнением боковых стенок и крыши. Несмотря на предваритель-



Рис. 6. Многосистемный электровоз серии 189 (фото: DB)

но предпринятые меры, опытные образцы этих электровозов все-таки оказались очень тяжелыми и для снижения массы до 88 т были дополнительно подвержены доработке.

В системах переменного тока локомотивы серии 189 работают так же, как локомотивы серии 185 фирмы Bombardier или серии 182. Питание электровоза от контактной сети постоянного тока осуществляется непосредственно через промежуточный контур, что обеспечивается использованием в схеме преобразователя новых биполярных транзисторов IGBT с обратным напряжением 6,5 кВ. Компания Siemens применила их в тяговых преобразователях еще на электровозе серии 152 190. При работе от контактной сети постоянного тока последний протекает по вторичным обмоткам трансформатора, которые в этом случае служат в качестве дросселя сетевого фильтра. Локомотивы серии 189 имеют индивидуальный привод колесных пар. Тяговые двигатели, редукторы, преобразователи вспомогательного оборудования и многие другие узлы сильно отличаются от установленных на электровозе серии 152. В связи с этим по дополнительному контракту были поставлены электровозы, значительно отличающиеся от локомотивов базовой серии.

Универсальность локомотивов серии 189 ограничивалась большим количеством оборудования, необходимого для обеспечения безопасности движения поезда, которое как по техническим, так и по коммерческим причинам не могло быть одновременно в полном объеме установлено на локомотиве.

Планы использования электровозов серии 189 в железнодорожных сетях соседних стран поначалу не удалось реализовать, в результате чего DB изменили стратегию их

использования. Последние 40 локомотивов этой серии были исполнены в упрощенном варианте с двумя токоприемниками, что ограничивало область их применения. Однако в 2008 г. открылось движение на новой грузовой линии Betuwe в Голландии, для которой 26 локомотивов были оборудованы системами обеспечения безопасности движения ETCS и АТВ. К моменту сезонного изменения графика движения 2007 г. эти электровозы были первыми пущены в эксплуатацию с полным использованием их возможностей на линии Betuwe, электрифицированной на переменном токе напряжением 25 кВ, частотой 50 Гц и на постоянном токе напряжением 1,5 кВ.

#### Популярность локомотивов, изготовленных в Германии

В высшей степени удачные конструкции локомотивов, изготовленных в Германии, способствовали успешной продаже их государственным и частным компаниям-операторам, а также лизинговым компаниям. Это явилось еще одним подтверждением эффективности локомотивов, первоначально проектировавшихся и выпускавшихся для железных дорог Германии. Объем этих продаж является настоящим знаком качества для локомотивостроительной промышленности Германии, претерпевшей за последние годы сильные перемены. Всего по состоянию на июнь 2008 г. было поставлено:

- 23 электровоза серии 145 различным частным компаниям, из них 6 локомотивов для Mittelthurgaubahn;
- 29 локомотивов серии 101 для компании New Jersey Transit (США), поставки продолжают;

- 31 локомотив серии 146 для компании LNVG в Нижней Саксонии;
  - 50 электровозов серии 185 государственной компании SBB Cargo (Швейцария);
  - 20 электровозов серии 185 частной швейцарской компании BLS;
  - 20 электровозов серии 185 для Национального общества железных дорог Люксембурга (CFL);
  - 162 электровоза серии 185 прочим частным компаниям-операторам и лизинговым компаниям;
  - два электровоза серии 152 компании Siemens Dispolok (сейчас MRCE);
  - 12 электровозов серии 189 для SBB;
  - два локомотива серии 189 для частной компании Hector (Швеция);
  - 45 локомотивов серии 189 для компании MRCE;
  - два электровоза серии 189 для итальянской компании Del Fungo Gierra;
  - один электровоз серии 189 для компании Ferrovie Nord Milano;
  - дополнительная партия из 50 электровозов серии 189 для MRCE, часть которых — односистемные, постоянного тока;
- Некоторое количество электровозов серии 189 находится в стадии изготовления или планируется к выпуску в соответствии с заключенными контрактами. Электровозы с трехфазным асинхронным тяговым приводом несут в настоящее время основную нагрузку на сети DB и достаточно широко используются в соседних странах. Этот подвижной состав обладает высокими показателями в отношении безопасности, надежности и эксплуатационной готовности.

*K. G. Baur. Deine Bahn, 2008, № 9, S. 40–45.*