

Tango — поезд-трамвай для Базеля

В последние годы компания Stadler заметно активизировалась на европейском рынке трамвайных вагонов. Подвижной состав этого типа обращается на линиях Граца (Австрия), Лиона (Франция), Бергена (Норвегия), а также Бохума, Нюрнберга, Мюнхена, Потсдама и Майнца (Германия). Базой для разрабатываемых вагонов служат две концепции, получившие название Variobahn и Tango.

При слиянии крупных концернов Bombardier и Adtranz в 2001 г. Европейская комиссия по конкуренции настояла на предоставлении долгосрочной лицензии на подвижной состав Variobahn, разработанный компанией Adtranz, группе компаний Stadler. Этот трамвай в 1992 г. впервые был выставлен на тендер, объявленный транспортной компанией Вены. Однако тендер тогда выиграла компания Siemens, предложившая вагон ULF.

На предприятии Stadler Pankow вагон Variobahn был основательно модернизирован и приведен в соответствие с потребностями заказчика, поскольку компания Stadler бы-

ла намерена позиционировать себя как поставщик серийного оборудования, гибко реагирующий на изменяющиеся запросы рынка.

Концепция поезда-трамвая Tango

На базе поездов семейства GTW для колеи 1435 мм и 1000 мм компания Stadler Altenrhein разработала подвижной состав для компаний-операторов Forchbahn и Trogenerbahn. Эти поезда, соответственно Be 4/6 и Be 4/8, в черте города обращаются как трамвай, подчиняясь правилам дорожного движения. Вне города они курсируют на выделенной линии с повышенным уровнем напряжения в контактной сети в соответствии с правилами движения пригородного железнодорожного транспорта. При эксплуатации в городских условиях к этому подвижному составу предъявляются такие требования, как возможность движения в кривых очень малого радиуса.

В новом поезде-трамвае используются многие компоненты подвижного состава семейства GTW, в частности экструдированные алюминиевые профили.

К этой же группе можно отнести пригородные поезда в Нью-Джерси

и Остине (США), которые по конструкции и техническим характеристикам можно отнести к железнодорожному подвижному составу, в черте города используемому как трамвай. Для этого они оборудованы соответствующей тормозной системой, светосигнальными устройствами и зеркалами заднего вида, а в Остине — также устройствами видеонаблюдения за внешними, плохо просматриваемыми зонами.

Компания Stadler Rail разработала две модификации поезда-трамвая, получившие название Tango и отличающиеся тем, что в их ходовой части использованы классические тележки. Одна из модификаций имеет пониженный уровень пола на 75% длины вагона, вторая — высокий уровень пола по всей длине.

К общим признакам поездов семейства Tango (табл. 1) первой модификации можно отнести следующие:

- классическая конструкция тележек, обеспечивающая хорошие ходовые качества и скорость движения до 100 км/ч (например, в Лионе);
- тяговая передача с полым валом и высококачественное рессорное подвешивание, способствующие снижению динамических воздействий подвижного состава на путь;
- сочлененная конструкция состава, позволяющая сократить необходимое число тележек и увеличить до 75% долю пола с пониженным уровнем;

Вторая модификация легла в основу вагонов трамвая для Бохума (рис. 1). Большим успехом пользуются также поставленные в Лион шесть трехвагонных комфортабельных поездов-трамваев, используемых для доставки пассажиров в аэропорт (рис. 2).

Поезда для Базеля

Трамвайная сеть Базеля отличается наличием большого числа кривых малого радиуса. Так, радиус



Рис. 1. Поезд-трамвай Tango компании BOGESTRA (Бохум)

Таблица 1

Технические данные поезда-трамвая Tango

Параметр	Значение
Ширина колеи, мм	1000
Год первой поставки	2008
Число мест: для сидения для едущих стоя (4 чел. на 1 м ²) максимальное	94 + 1 182 392
Уровень пола над УГР, мм: пониженный высокий	320 (на 75% длины вагона) 370
Общая длина поезда, мм	44 890
Ширина, мм	2300
Масса тары, т	55
Число входных дверей	8
Диаметр колес моторных осей, мм	680
То же, немоторных, мм	560
Напряжение в контактной сети, В	600/750 (постоянный ток)
Мощность тягового привода, кВт	6×125
Максимальная скорость, км/ч	80
Минимальный радиус проходимых кривых, м	11,8

петли на конечной остановке Эшен-платц составляет всего лишь 11,8 м. Кроме того, в городе много пересечений путей. От окраин города идут протяженные участки междугородного сообщения с обособленным путевым полотном. Так, маршрут 10 частично проходит по территории французского Эльзаса до Родерсдорфа (Юра). Разработчики учитывали, что зимой здесь может быть много снега.

Несмотря на то что в основном местность в районе Базеля относительно ровная, тем не менее здесь имеются участки с уклонами до 80%. По условиям международного тендера доля пониженного уровня пола должна была составлять не менее 60%.

Компания Stadler, выигравшая тендер, заключила контракт с Объединением предприятий пассажирского транспорта Базеля (BVB) и транспортной компанией кантона Базель (BLT) на поставку в общей сложности 52 поездов-трамваев. Первые четыре поезда-трамвая семейства Tango (рис. 3) были поставлены и введены в эксплуатацию в 2008–2009 гг. Один из этих поездов в течение трех недель проходил эксплуатационные испытания в Цюрихе.

Механическая часть

Подвижной состав семейства Tango имеет ходовую часть, базирующуюся на моторных и поддерживающих тележках. При разработке тележек большое внимание уделялось максимальному сокращению неподдрессоренных масс в подвеске двигателя и передачи для снижения динамических воздействий на путь.

При разработке интерьеров подвижного состава большое значение придавалось тому, чтобы передвижение пассажиров по вагону было безопасным, несмотря на наличие необходимых ступенек и рампы. Нужно было также обеспечить спо-

койный и гармоничный вид пассажирского салона даже при наличии перепадов высоты пола. Этой же задаче должны были служить любые детали интерьера, исполненного в светлых тонах.

Кабина машиниста в трамваях обычно бывает довольно тесной. При проектировании поезда Tango одновременно с обеспечением эргономических характеристик и оптимального обзора решались так-



Рис. 2. Поезд-трамвай Tango для доставки пассажиров в аэропорт Лиона



Рис. 3. Поезда-трамваи Tango компании Stadler в центре Базеля

же задачи, связанные с увеличением размеров кабины в допустимых пределах при сохранении заданной массы.

Структурная прочность вагонов городской железной дороги регламентируется нормами VDV 152 и евростандартом EN 12663. Указанные в этих документах расчетные нагрузки проверялись путем динамического многотельного моделирования. Результаты измерения ускорений и продольных деформаций материала в высоконагруженных местах, выполненного на поездах первой партии в ходе специальных измерительных поездок и при нормальной эксплуатации, позволили выявить

слабые места еще до запуска следующей партии.

Кузова и кабина. Каркасы кузовов выполнены в виде сварной рамной конструкции, усиленной жестко приваренными отфрезерованными плоскими деталями узла сочленения кузова с тележкой. Для изготовления некоторых элементов каркаса использован стальной лист толщиной от 2 до 4 мм (ферритная нержавеющая сталь) и лист толщиной менее 2 мм из аустенитной нержавеющей стали.

Не несущая нагрузки наружная обшивка кузова изготавливается из алюминиевых листов. Они закрепляются на каркасе кузова с помощью деформируемого клеящего

слоя толщиной 5–6 мм. При таком способе изготовления обшивки получается качественная поверхность без применения шпатлевки.

Наружная обшивка, окна и двери стыкуются в одной плоскости, так что вся боковая стенка образует единую поверхность. В случае ремонта клей легко удаляется с помощью виброножа и режущей проволоки. Нижние листы обшивки боковой стенки и лобовой части кузова крепятся на винтах или защелках для ускорения ремонта после бокового (касательного) столкновения.

Конструкция лобовой части состоит из несущего стального каркаса и наклеенной на него кабины из стеклопластика. Передние стойки кабины имеют металлическое усиление.

Общая кинематика. Оба нижних узла сочленения промежуточных коротких секций В и Е (рис. 4) выполнены в виде карданных шаровых шарниров. Поперечными амортизаторами ограничивается боковая качка кузова. Лемнискатные поводки стабилизируют движение этих секций при прохождении участков пути со сложным продольным профилем. Гасители колебаний предотвращают влияние вагонов при высокой скорости и стабилизируют движение коротких секций (В и Е) при прохождении кривых. При этом уменьшаются поперечные ускорения при вхождении в кривую и при выходе из нее. Кузова обеих коротких секций опираются также на тележку, что включает возможность боковой кач-

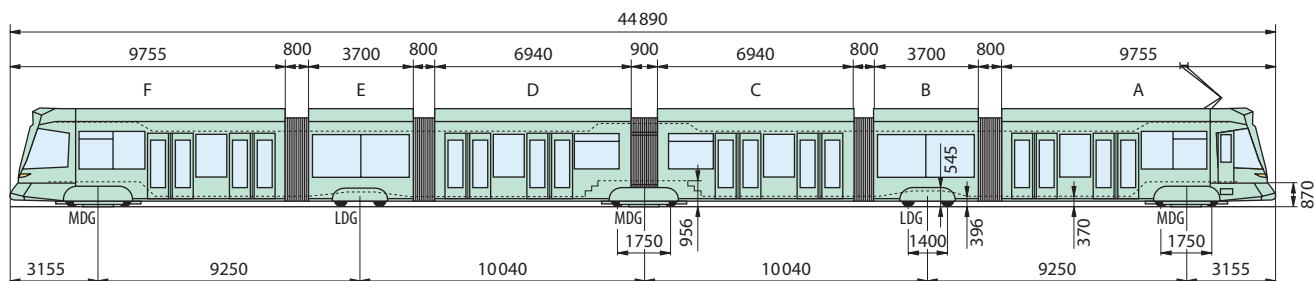


Рис. 4. Типовой эскиз поезда Tango:
MDG – моторная тележка; LDG – поддерживающая тележка

ки. Таким образом, два карданных шаровых шарнира и тележка обеспечивают трехточечное опирание каждой короткой секции.

Крышевой поперечный амортизатор не имеет функции возврата в исходное положение, поэтому вертикальное выравнивание подвижного состава осуществляется за счет опирания на тележку. Шарнир над тележкой Якобса (между секциями D и C) выполнен в виде двойного бесшкворневого узла соединения кузова с тележкой.

Рассмотренная кинематика оптимально соответствует условиям движения на трамвайной сети города.

Тележки. На рассматриваемом подвижном составе использованы тележки трех типов:

- две концевые моторные тележки установлены под секциями А и F. В связи с этим каждая из них опирается на моторную тележку и соседнюю короткую промежуточную секцию;

- моторная тележка Якобса, по своей конструкции в основном сходная с концевыми тележками, установлена между средними секциями С и D. Каждая из них одним концом опирается на тележку Якобса, а другим — на промежуточную короткую секцию. Тележка Якобса оборудована уже упоминавшимся двойным бесшкворневым узлом соединения с кузовом, к которому через балансир с помощью разъемных подшипников крепятся обе части поезда;

- две поддерживающие тележки установлены под короткими секциями В и Е.

Оси колесных пар во всех тележках имеют конические роликотподшипники и направляются с помощью рычагов буксовых тяг. Колеса всех тележек снабжены шумогасящими резиновыми кольцами, изолирующими бандаж от колесного центра.

Направляющие буксовые тяги закреплены на раме тележки бол-

тами с использованием резинометаллических шарниров. За счет такой конструкции достигается соответствующая жесткость смещения колесной пары в продольном направлении, обеспечивающая оптимальное соотношение между плавностью хода на прямолинейном участке и условиями прохождения кривых.

В качестве рессор служат две параллельно соединенные винтовые пружины типа Flexicoil. На раме тележки последовательно с винтовыми пружинами в опорно-направляющих стаканах установлены резиновые шайбы, снижающие уровень передаваемого корпусного шума. Ход рессор ограничивается гидравлическими амортизаторами, расположенными параллельно пружинам.

Вторичное подрессоривание моторной тележки состоит из двух пневматических рессор, которые через многослойные резиновые амортизаторы опираются на продольные балки рамы тележки.

Тележки имеют один или два стабилизатора, которые ограничивают боковую качку кузова и в конечном итоге обеспечивают его вертикальное положение.

В моторных тележках обе колесные пары оборудованы тяговым приводом. Поддерживающие тележки имеют в основном аналогичное исполнение. Кузова коротких секций В и Е опираются на раму тележки через винтовые пружинные рессоры, помещенные в опорно-направляющие стаканы.

Поддерживающие тележки проектировались с учетом максимальной ширины межвагонных переходов в коротких промежуточных секциях. Диаметр колес, равный 560 мм, и оптимальный выбор типа колесных пар позволяют понизить уровень пола в этих секциях без ущерба для ходовых качеств тележки и срока службы колес.

Дополнительные компоненты ходовой части. Моторная тележка

оборудована системой смазывания гребня бандажа, которая устанавливается на передней колесной паре и работает в зависимости от условий движения и скорости. Эта система имеет пневматический привод. Воздушный насос, укомплектованный емкостью для смазки, устанавливается на тележке и подает смазку к соответствующим форсункам моторной тележки.

Поезд оборудован системой пескоподдачи, состоящей из бункера для песка, дозирующего и запорного устройства, пескопровода и подогреваемых распылителей, устанавливаемых у колесных пар трех моторных тележек. Бункер для песка изготовлен из листового алюминия. Окно для заполнения его песком выведено на боковую стенку вагона. Устройство пескоподдачи снабжено системой, контролирующей степень заполнения бункера. Песок подается на оба колеса по отдельным пескопроводам. Благодаря такой конструкции, которая стала возможной в результате применения инжекторного принципа, упрощается процесс заполнения бункера. Кроме того, достигается более равномерное распределение массы, поскольку более тяжелая сторона, где расположены входные двери, уравновешивается бункером пескоподдачи, расположенным с противоположной стороны. Бункеры имеют крышки люков для технического обслуживания и удаления грубых загрязнений. При включении установки пескоподдачи электромагнитные клапаны открывают путь для транспортирующего потока воздуха и песка. По завершении процесса пескоподдачи сначала закрывается пескоподвод, а затем воздухоподвод. За счет этого обеспечивается функция очистки.

Тормозная система

Поезд-трамвай Tango оборудован тремя не зависящими друг от друга тормозными системами:

- электродинамическим тормозом на трех моторных тележках;
- электрогидравлическим дисковым с бесступенчатым отпуском: непрямодействующим с пружинным энергоаккумулятором на трех моторных тележках и прямодействующим на двух поддерживающих тележках;
- магнитно-рельсовым тормозом на всех тележках.

Электродинамическая система является основной (служебное торможение). Она работает главным образом в режиме рекуперации, возвращая энергию в контактную сеть. Если же сеть не в состоянии принимать рекуперированную энергию, последняя гасится на тормозном резисторе (реостатный тормоз). Почти во всем диапазоне скоростей моторные тележки затормаживаются тяговыми двигателями, работающими в генераторном режиме. При плохих условиях сцепления между колесом и рельсом система регулирования снижает задаваемые значения тормозного момента до реализуемой величины, чтобы достиглось максимально возможное замедление. В нормальных условиях эксплуатации весь процесс торможения осуществляется с помощью электродинамического тормоза, который действует почти до полной остановки. Неизнашиваемый электродинамический тормоз и рекуперация энергии обеспечивают условия для экономичной эксплуатации.

Электрогидравлический тормоз используется в дополнение к электродинамическому в следующих особых случаях:

- при потребности в более высокой тормозной мощности, которая не может быть создана одним только электродинамическим тормозом;
- для одновременного торможения немоторных колесных пар при плохих условиях сцепления, когда тормозное усилие электродинамического тормоза, передаваемое на моторные колесные пары, оказывается недостаточным;

- при экстренном торможении. В случае отказа одного из тяговых агрегатов и отсутствия в связи с этим его доли тормозной мощности при электродинамическом торможении недостающая ее часть также обеспечивается электрогидравлическим тормозом.

Каждая колесная пара моторной тележки снабжена тормозом с пружинным энергоаккумулятором. Тормозное усилие создается пакетом пружин и через тарелку пружин передается на толкатель. Последний воздействует на механизм захвата тормозного диска, установленного на полом вала тяговой передачи. Отпуск производится путем подвода давления к поршню гидравлической системы. В результате этого пружина растягивается в направлении, обратном ее рабочему действию. При этом происходит отпуск тормоза или ослабление его действия на заданную величину.

В поддерживающих тележках каждая колесная пара имеет два тормозных диска, закрепленных на ступицах колес. Включение тормоза производится путем подвода давления к поршню гидравлической системы.

Давление в гидравлической системе каждой тележки и соответственно механическое усилие торможения могут плавно регулироваться. На каждой тележке имеется свой гидроагрегат с мембранным аккумулятором давления. В состав гидроагрегата входят необходимые гидравлические клапаны и датчики для контроля тормозной силы. Благодаря этому отпадает необходимость в шлангах между кузовом вагона и тележкой.

Для стояночного тормоза используется полное тормозное усилие пружинных энергоаккумуляторов на моторных тележках. Этот режим реализуется, если на катушке электромагнитного клапана стояночного тормоза отсутствует напряжение (настройка с защитой от на-

рушения цепи управления). В соответствии с этой схемой стояночный тормоз может включиться только при стоянке. Торможение в этом режиме во время движения может привести к блокированию моторных колесных пар. Тормозное усилие стояночного тормоза моторных тележек рассчитано так, чтобы полностью загруженный поезд надежно удерживался на подъеме до 80‰.

Блок управления торможением через интерфейс CAN-open связан с системой управления поездом. Для каждой моторной тележки имеется свой блок управления торможением. Гидроагрегаты поддерживающих тележек управляются блоками моторных тележек соседних концевых вагонов.

Магнитно-рельсовый тормоз вступает в действие при ручном включении машинистом или автоматически в случае экстренного торможения. Таким тормозом оборудованы все тележки. Его питание осуществляется аккумуляторной батареей поезда напряжением 24 В. Срабатывание контактора, включающего магнитно-рельсовый тормоз, контролируется по наличию напряжения на зажимах электромагнита. При этом величина тока в его цепи не измеряется.

Рельсовый электромагнитный тормоз является в то же время аварийным в соответствии с действующими инструкциями.

Пневматическая система, энергопоглощающие элементы и сцепные приборы

Поезд Tango оборудован пневматической системой, от которой получают питание воздушные ресоры вторичного подвешивания, устройство пескоподдачи, система смазки гребня бандажа и пневмоцилиндр кресла машиниста. Сжатый воздух вырабатывается ротационным компрессором с подключенным к нему двухкамерным осушителем воздуха.

Энергопоглощающие и сцепные устройства размещены на обеих лобовых частях поезда. К ним относятся:

- два гидравлических энергопоглощающих элемента с реверсивным ходом 300 мм, размещенных горизонтально между кузовом и буфером, находящимся за носовым обтекателем;

- откидывающееся сцепное устройство, закрепленное на торцовой части буфера;

- клапан носового обтекателя, закрывающий все устройства, в том числе откидывающуюся сцепку.

Форма выступающего носового обтекателя, закрывающего сцепные устройства, с одной стороны, обеспечивает пространство для рабочего хода гидравлических энергопоглощающих элементов, а с другой стороны, является пассивной защитой при столкновениях. В случае столкновения с пешеходом этот обтекатель, располагающийся ниже центра тяжести человека, отбрасывает его вверх, в результате чего снижается опасность попадания человека под колеса.

Двери и тамбуры

Восемь входных дверей равномерно распределены по всей длине поезда. Все двери находятся в области пониженного уровня пола (см. рис. 4). Двухстворчатые поворотно-сдвижные двери с электрическим приводом имеют ширину в свету 1300 мм (рис. 5).

Работа дверей контролируется в соответствии со стандартом по следующим показателям:

- срабатывание защиты от зажатия пассажира, контролируемое по величине просвета между краями створок датчиками, установленными на обеих створках;

- действие защиты от зажатия, срабатывающей по команде интеллектуальной схемы управления;

- контроль потока пассажиров (закрытие дверей только при сво-

бодных от пассажиров дверных проемах);

Все двери имеют собственный блок управления приводом, связанный с системой диагностики. В остальном каждая дверь может управляться автономно, причем открытие и закрытие контролируется централизованно машинистом в зависимости от скорости.

Каждая дверь имеет следующие элементы управления и индикации:

- кнопки для открывания двери и остановки по требованию, расположенные в тамбуре на левой и правой стойках двери;

- кнопка для открывания двери снаружи, расположенная на одной из ее створок;

- звуковая и световая сигнализация, предупреждающая о принудительном закрывании;

- звуковой маяк на первой и последней дверях для пассажиров с ослабленным зрением.

Первую и последнюю двери может открывать машинист снаружи или с ближайшего пульта управления. В особых ситуациях он имеет возможность закрывать двери принудительно, игнорируя запрет системы контроля потока пассажиров. Однако в этом случае система защиты пассажиров от зажатия дверьми остается включенной.

Вторая дверь оборудована платформой с откидной механической рампой для пассажиров на инвалидных колясках.

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха

В секциях А, С, D и F имеются компактные установки для кондиционирования воздуха. Для обслуживания эти установки доступны со стороны крыши. В их состав входит герметично закрытый компрессор. В холодильном агрегате установки используется хладагент R 134a. Все элементы этих установок смонтированы с учетом удобства обслуживания.

Подогретый, охлажденный или просто отфильтрованный воздух из установки кондиционирования подается в салоны по системе каналов, которые расположены в основном в области крыши или встроены в нее. В режиме охлаждения подготовленный воздух подается по отдельным каналам к выпускным решеткам в области потолка. В режиме обогрева большая часть теплого воздуха по системе гибких воздуховодов типа Westaflex подается вниз к выпускным отверстиям в зоне ног пассажиров. Регулировка подачи и распределения холодного и теплого воздуха осуществляется с помощью встроженных в установку кондиционирования воздушных заслонок. Для увеличения мощности охлаждения или обогрева и повышения экономичности работы системы в крышевых кондиционерах реализован принцип частичного использования оборотного воздуха. Отверстия для выпуска отработанного воздуха наружу находятся только на крышах коротких секций В и Е. Свежий воздух попадает в эти секции через межвагонные переходы. Дополнительно в некоторых местах поезда (например, в секциях В и Е, а также в хвостовой части) установлены циркуляционные тепловентиляторы.

Кондиционеры пассажирских салонов выполнены с двумя независимыми контурами охлаждения. Каждый контур имеет свой компрессор и вентилятор конденсатора. Приточный вентилятор обес-



Рис. 5. Интерьер вагона в зоне входной двери

печивает воздухом оба контура охлаждения. Такая конструкция экономически эффективна в режимах частичной нагрузки, так как при мощности, которая ниже 50% максимальной, работает только один контур охлаждения. При выходе из строя компрессора или клапана или в случае возникновения негерметичности работа системы в режиме охлаждения может происходить с пониженной мощностью. Частота вращения вентилятора конденсатора плавно регулируется с помощью преобразователя частоты в зависимости от потребности в охлаждающей мощности.

Необходимая отопительная мощность обеспечивается встроенными в систему кондиционирования нагревательными регистрами, питаемыми напряжением 600 В.

Система управления отоплением выполнена таким образом, что при рекуперативном торможении генерируемая энергия может потребляться системой отопления. Для оптимальной настройки этого режима работы системы отопления, а также для точной регулировки отопительной мощности в установках кондиционирования пассажирских салонов предусмотрены полупроводниковые коммутирующие элементы, заменяющие обычные контакторы и одновременно выполняющие функции регулирования мощности.

Кондиционирование воздуха в кабине машиниста осуществляется с помощью отдельного компактного крышевого кондиционера. Он также имеет герметичный компрессор, работает с хладагентом R 134a и забирает свежий воздух через решетки в зоне крыши. Этот кондиционер с одноконтурным охлаждением оснащен приточным вентилятором с тремя ступенями регулирования частоты вращения. Требуемая мощность отопления достигается с помощью встроенного в кондиционер нагревательного

элемента. Дополнительно в системе отопления установлен тепловентилятор, подающий воздух в нишу для ног.

Внутреннее оборудование, акустика

В качестве материала полов в вагонах поезда использованы плиты из клееной фанеры, уложенные на поперечные балки каркаса кузова. Пол имеет так называемую плавающую конструкцию, обеспечивающую хорошую звуко- и теплоизоляцию. Отделка боковых стен выполнена из крупных легко моющихся декоративных пластиковых панелей, стойких к повреждениям и загрязнениям. Громкоговорители и вентиляционные каналы для забора и выпуска воздуха встроены в пространство между потолком и крышей.

Внутренняя дверь кабины управления оборудована опускающимся стеклом. Благодаря этому машинисту обеспечены хороший обзор пассажирских салонов и возможность связи с пассажирами.

Все сидения, за исключением тех, под которыми предусмотрено пространство для багажа, имеют консольное крепление, что облегчает уборку салона. Сиденья расположены рядами с шагом 760 мм. В хвостовой части вагона расположен U-образный угловой диван.

Со стороны прохода на спинках сидений закреплены ручки для удобства пассажиров, едущих стоя. Кроме того, у всех двойных сидений имеются вертикальные поручни. В области межвагонных переходов также смонтированы поручни, встроенные в портал.

Межвагонные переходы оборудованы двойными суфле, которые также обеспечивают хорошую звуко- и теплоизоляцию.

Отличительной особенностью поезда Tango является то, что двухстворчатые поворотно-сдвижные двери с ручным управлением сек-

ций E и F можно блокировать в закрытом положении при малом пассажиропотоке. В период больших пассажиропотоков нижние направляющие дверей могут быть сняты, что облегчает пассажирам вход и выход.

Освещение вагонов выполнено в виде двух светящихся полос из светодиодов, проходящих по всей длине вагона. Использование светодиодов вместо люминесцентных ламп диктуется наличием перепадов высоты потолка в зоне ступеней, поскольку в противном случае длина участков световой полосы зависела бы от длины люминесцентных ламп. Кроме того, светодиоды более экономичны и имеют высокую светоотдачу. В будущем ожидается значительное снижение их стоимости.

Вся система освещения состоит из двух независимых цепей, при этом одна из них служит в качестве аварийного освещения.

Из-за небольшого расстояния между остановками и необходимости в связи с этим в частых разгонах и торможениях компании-операторы заинтересованы в энергетической эффективности поездов, в большой степени зависящей от массы тары. Если при этом учесть, что ни в краткосрочной, ни в долгосрочной перспективе не ожидается снижение цен на энергоносители, то становятся понятнее высокие штрафы за избыточную массу, оговариваемые в договорах на поставку, как бы болезненно это ни воспринималось производителями.

С другой стороны, отмечается большая общественная заинтересованность в отношении снижения шума, создаваемого движущимся поездом. Так, влияние акустических характеристик подвижного состава на выбор изготовителя оценивается на уровне 7%.

Все основные законы акустики напрямую связаны с массой конструктивных элементов. Сущест-

вуют следующие физические возможности для преодоления этой зависимости:

- применение виброгасящих средств (соответствующих покрытий, облицовки);
- виброизоляция пола;
- целенаправленное усиление звукопогложительных характеристик интерьеров.

Решения по первым двум пунктам были в значительной мере достигнуты за счет применения при монтаже клеевых технологий. Таким образом, рассмотренная ранее конструкция обшивки кузова также выполняет функции гашения вибраций.

При низкой шумопоглощающей способности трамвайного подвижного состава (отсутствие ковровых покрытий, недостаточно мягкая обивка сидений) особое значение имеет шумопоглощающая способность потолка. Она составляет от 2–3 дБ (А), что достаточно много для мер, не требующих снижения массы. В целях улучшения акустических характеристик плиты пола поездов Tango выполнены двойными. Низкий уровень шума внутри вагонов является важным отличительным качеством этого подвижного состава.

Сочетание хороших акустических характеристик с облегченной конструкцией и экономией материалов было реализовано в рассматриваемом проекте. Следует также отметить, что масса поезда оказалась почти на 3 т меньше оговоренной контрактом.

Кабина машиниста

Поезд Tango имеет просторную кабину с хорошим обзором и высокими эргономическими характеристиками. Она спроектирована на базе кабины поезда Ve 4/6 со следующими отличительными качествами:

- большинство функций, не относящихся к технике безопасно-

сти и резервированию, реализуется с помощью не кнопочной и переклюкающей аппаратуры, а бортового компьютера, который, кроме того, необходим для системы диагностики;

- за счет сокращения численности элементов ручного управления улучшаются условия обзора и облегчается работа машиниста. Особое значение имеет улучшение видимости в правой нижней части лобового стекла. Это необходимо для предотвращения таких опасностей, как неожиданное появление человека на путях.

Благодаря установке видеокamera с соответствующими дисплеями вместо зеркал заднего и бокового вида был существенно улучшен обзор и достигнут более высокий уровень безопасности при посадке и высадке пассажиров.

Дизайн внутреннего оборудования кабины машиниста выполнен компанией Stadler Altenrhein. Рабочая группа для разработки пультов управления была организована в этой компании уже при создании поезда для компании-оператора Forchbahn.

Особо важной задачей при разработке кабины машиниста является обеспечение доступа ко всем электрическим и электронным элементам управления, а также блокам и узлам. Если ранее замена одного из блоков, находящегося в левой части приборного шкафа, вызывала много трудностей, поскольку этому мешало кресло машиниста, то в окончательном варианте конструкция кресла была изменена. Теперь для замены указанного блока требуется лишь снять блокировку и откинуть кресло в сторону.

Само кресло машиниста отвечает современным требованиям эргономики. Оно сконструировано при участии специалистов по эргономике и представителей заказчика из модулей, изготовленных компанией Stadler.

Электрическая часть

Сочлененный моторвагонный поезд-трамвай рассчитан на напряжение в контактном проводе от 600 до 750 В постоянного тока.

Высоковольтное оборудование подвижного состава образуют следующие компоненты:

- токоприемник;
- разрядник;
- быстродействующий выключатель постоянного тока;
- тяговые преобразователи с интегрированной системой бортового электроснабжения;
- тормозные резисторы;
- нагревательные регистры в кондиционерах пассажирских салонов.

Система тяги состоит из трех параллельных, не зависящих друг от друга тяговых блоков, в результате чего обеспечивается максимальное резервирование. Каждая тяговая цепь связана с одной из моторных тележек.

Все компоненты, относящиеся к системе тяги, смонтированы вблизи от тележек. Кроме подводящих кабелей токоприемников и системы рекуперации энергии, никакие другие соединения тяговой цепи не проходят через межвагонные сочленения. За счет этого обеспечивается минимизация кабельной разводки.

При отсутствии в контактной сети возможности принятия рекуперированной энергии тормозной регулятор подключает цепь напряжения, вырабатываемого тяговыми двигателями при торможении, к наружному тормозному резистору.

Токоприемники

Напряжение 600 или 750 В постоянного тока подается из контактной сети с помощью однорычажных токоприемников и подводится к быстродействующим выключателям. Отсюда поступает питание на преобразователи, вспо-

могательное оборудование и установка кондиционирования воздуха. Поднятие и опускание токоприемника осуществляется с помощью электропривода. Однорычажный токоприемник облегченной конструкции обеспечивает хороший контакт с контактным проводом.

Преобразователи

Для регулируемой работы трехфазного асинхронного тягового двигателя требуется напряжение изменяемой частоты. Поскольку из сети подается напряжение постоянного тока, требуется его преобразование в трехфазное. Эта задача реализуется с помощью тягового преобразователя соответствующей мощности, работающего по принципу автономного инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией. Изменением ширины импульса регулируется величина выходного напряжения, а частотой переключения полюсов — выходная частота. Примененный принцип преобразования позволяет к тому же осуществлять

рекуперацию тормозной энергии в сеть.

Для обеспечения оптимального регулирования тяговых двигателей и во избежание ограничений в отношении разницы в диаметрах колес каждый тяговый двигатель подключен к своему инвертору (рис. 6). Каждый из этих инверторов имеет собственный входной фильтр и может отключаться контактором.

Оба инвертора одной тележки имеют общую систему охлаждения и общий блок управления тяговым приводом. Они размещаются в одном корпусе вместе с двумя преобразователями собственных нужд и зарядным устройством для аккумуляторных батарей.

Тяговые преобразователи обеспечивают:

- высокий КПД;
- возможность рекуперации тормозной энергии;
- высокую степень использования привода и низкий уровень шума за счет высокой частоты переключений;
- высокую плавность хода за счет бесступенчатого электронно-

го регулирования в режимах тяги и торможения;

- высокую надежность и минимальное обслуживание;
- низкие затраты на обслуживание используемой системы водяного охлаждения.

Тормозной резистор

У каждого тягового двигателя имеется свой тормозной резистор. Управление процессом преобразования тормозной энергии в тепло осуществляется путем синхронизированного подключения тормозного резистора к конденсатору входного фильтра с помощью тормозного регулятора. С помощью тактового регулирования напряжение во входном контуре поддерживается на постоянном уровне (обычно на верхнем пределе напряжения сети). При этом избыточная тормозная энергия преобразуется на тормозных резисторах в тепло, которое отдается в окружающую среду.

Другой задачей тормозных резисторов является разрядка конденсаторов промежуточного контура при отключении преобразователя и предотвращение перенапряжений в преобразователе в процессе контролируемой разрядки этих конденсаторов.

Тяговые двигатели и передача

На каждой ведущей тележке установлено по два поперечно расположенных асинхронных трехфазных двигателя. Каждый из них оборудован редуктором и служит для привода одной колесной пары. Тяговый двигатель получает от своего инвертора питающее трехфазное напряжение регулируемой частоты.

Тяговые двигатели (табл. 2) имеют принудительную и естественную вентиляцию и обладают достаточно высокой тепловой постоянной времени. Изоляция соответствует классу 200. Ротор со стороны, противоположной приво-ду,

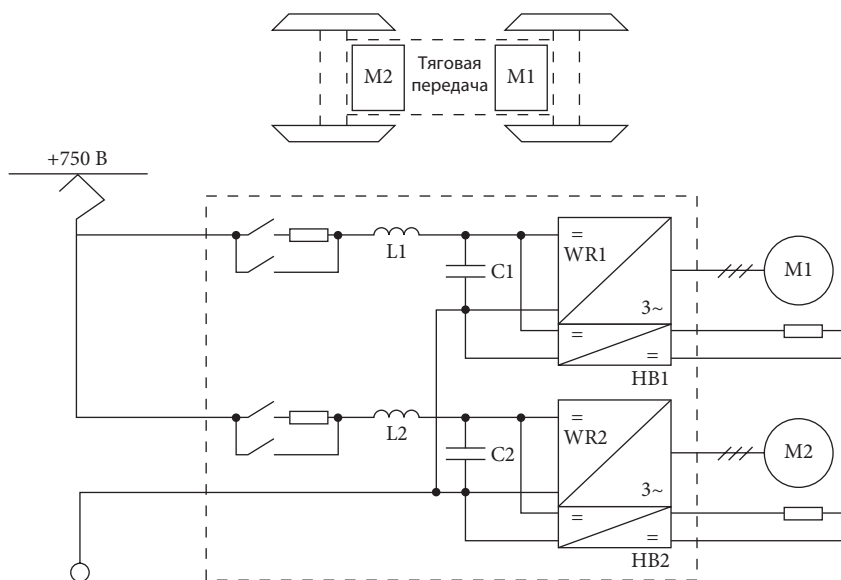


Рис. 6. Схема тяговой цепи моторной тележки в поезде Tango:

M1, M2 — тяговые двигатели; L1, L2 — дроссели входного фильтра; C1, C2 — конденсаторные батареи входного фильтра; WR1, WR2 — трехфазные тяговые инверторы; HB1, HB2 — преобразователи питания вспомогательных устройств

Таблица 2

Технические данные тягового двигателя

Параметр	Значение параметра
Тип	TMF 42-24-4
Номинальная мощность, кВт	125
Номинальная частота вращения, об/мин	2068
Номинальное напряжение, В	398
Номинальный ток, А	220
Частота, Гц	70
Число полюсов	4
Изоляция	Klasse 200
Охлаждение	Воздушное, принудительное

закреплен с помощью изолированного подшипника с цилиндрическими роликами. С рабочей стороны к нему крепится редуктор через мембранную муфту, жесткую на кручение. Статор набран из пластин электротехнической стали. Для контроля температуры используются датчики температуры Pt 100. Обмотка статора состоит из изолированной профильной меди с вакуумной пропиткой на силиконовой основе (VPI). Стержни «беличьей клетки» ротора изготовлены из электролитической меди.

Тяговый привод выполнен полностью подрессоренным. Двигатель с редуктором опирается на тележку через упругий соединительный элемент. Резиновая шарнирная муфта полого вала служит не только для передачи крутящего момента на колесную пару, но также и для компенсации относительных смещений тягового привода и оси колесной пары, возникающих в процессе движения поезда. Передача усилия от тягового двигателя к редуктору осуществляется жесткой на кручение мембранной муфтой, которая с помощью конической прессы посадки динамически связана с валом ротора. Усилия в редукторе передаются с помощью косозубых цилиндрических колес от приводного вала через промежуточный к ведомому полумвалу. Все три вала установлены в подшипниках качения. Цилиндрические зубчатые колеса приводного, промежуточного и ведомого валов изготовлены из цементуемой стали. Торцовые зубья подвергаются цементации и шлифуются. Передаточное отношение составляет 1:6,3238.

Резиновая шарнирная муфта полого вала состоит из звездочки полого вала, соединенной через поводки в резиновых опорах со звездочкой оси колесной пары. Последняя соединена с осью колесной пары посредством конической прессы посадки.

При выполнении кабельной разводки особую трудность вызвал подвод кабелей к тяговым двигателям тележки Якобса. Свободная прокладка была затруднена, поэтому кабели (а также воздухопроводы) пропускали под суфле межвагонного перехода.

Система управления

Система управления выполняет задачи регулирования режимов движения, контроля, поддержки, оптимизации и протоколирования процессов, протекающих в подсистемах поезда. Она устанавливает связь между отдельными компонентами, между системой в целом и машинистом, а также между системой и обслуживающим персоналом. Система управления поездом обрабатывает команды машиниста и преобразует их в соответствующие сигналы для тягового и тормозного оборудования. Кроме того, она отвечает за управление приводом дверей, контроль над системой информирования пассажиров (IBIS), а также за регистрацию и сохранение информации о неисправностях и выполнение требований по технике безопасности.

Отдельные компоненты системы управления посредством поезд-

ной информационной шины связаны с протоколом передачи данных CANopen.

Структура системы управления

Система управления выполнена с полным резервированием. С помощью двух мостов ВД поездная информационная шина разделена на три сегмента (CAN1, CAN2 и CAN3), чтобы в случае короткого замыкания в одном из них остальные два остались работоспособными. Схема располагает двумя независимыми блоками управления FLG (рис. 7). Все важные сигналы с помощью модулей ввода/вывода передаются на эти два различных сегмента. Элементы системы управления, относящиеся к тяговому преобразователю (SR), интегрированы в контейнере преобразователя. Схемы регулирования сил сцепления (защита от боксования, противоюзная защита для электродинамического тормоза) выполняют функции, связанные с работой блока SR. Каждая моторная тележка имеет блок управления торможением BR, тормоза поддерживающих тележек управляются с помощью блоков BR моторных тележек соседних концевых вагонов. В устройство управления тормозом встроена также противоюзная защита для электрогидравлического тормоза.

К поездной информационной шине подключены следующие устройства:

- два блока управления поездом FLG, один из которых является ведущим;
- два моста BD;
- три блока BR;
- три блока SR, управляющих установленными на крыше поезда тяговыми преобразователями с интегрированными в них вспомогательными преобразователями;
- диагностический дисплей в кабине машиниста DSP;
- четыре устройства управления кондиционерами в пассажирском салоне KL и одно — кондиционером в кабине машиниста KLF;
- восемь устройств управления приводом дверей TR;
- система информирования пассажиров FIS;
- система измерения скорости VMA.

Системы, не имеющие связи с протоколом передачи данных CANopen, подключаются к магистрали поезда с помощью децентрализованных модулей ввода/вывода DDC. Модули ввода/вывода расположены в кабинах машиниста, а также на электрической панели на крыше поезда. Логическая связь (за

исключением сигналов, относящихся к системе безопасности) осуществляется с помощью программного обеспечения. Функции, относящиеся к системе безопасности, выполняются независимо от системы управления поездом, причем соответствующие сигналы передаются по проводам.

В системе управления поездом также имеются один блок ходового контроллера F/B и два блока управления сигнальными огнями LSG.

Резервирование и реакция на неисправности

В нормальном режиме работают оба устройства FLG. Если одно из них выходит из строя, то другое берет на себя выполнение всех функций.

При неисправности в самой магистрали (обрыв кабеля или короткое замыкание) благодаря резервированию и развязке с помощью мостов BD неисправность затрагивает только соответствующий сегмент поездной шины, а абоненты других сегментов продолжают нормально работать.

Реакция на неисправности при прекращении связи отдельных абонентов сети с магистралью:

• блок SR: прекращает работу тяговый преобразователь соответствующей моторной тележки, в связи с чем выпадает одна треть мощности тяги и собственных нужд;

• блок BR: отключается электрогидравлический тормоз соответствующих тележек (за исключением экстренного и стояночного тормозов, а также стоп-крана);

• блок DSP: прерываются индикация диагностических данных и отражение функций управления на дисплее;

• блок TR: соответствующая дверь продолжает работать в автономном режиме. Обратная связь осуществляется по резервной линии. Функция «Открыть все двери» не работает. Не выводятся сообщения о неисправности соответствующих дверей и диагностические данные по ним;

• блоки KL, VMA и FIS в случае утраты связи с поездной информационной шиной продолжают работать в автономном режиме, однако прекращается обмен данными с блоками FLG;

• блоки KL: режим работы кондиционеров сохраняется таким же, как в нормальном режиме (регулирование температуры в зависимости от внутренней и наружной температуры), но без учета зависимости от эксплуатационного состояния поезда и времени суток;

• блок VMA: система измерения и индикации скорости функционирует, но сигналы, получаемые по информационной шине, не записываются;

• блок FIS: время начала отсчета не поступает на блок FLG.

Кроме того, при неисправности в поездной информационной шине эти системы больше не выдают диагностических данных.

При выходе из строя сегмента CAN3 информационной шины или мостов BD оба блока FLG работают в режиме ведущего устройства. Между ними устанавливается связь по линии FLG — FLG.

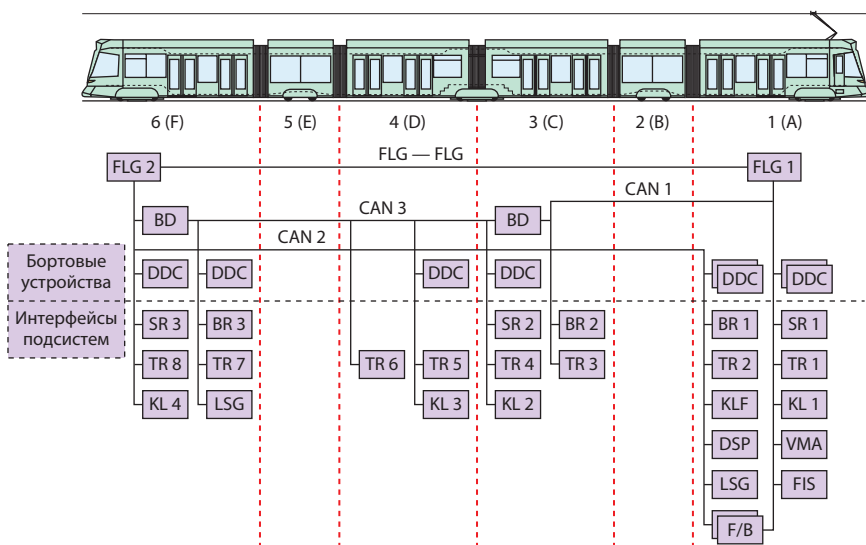


Рис. 7. Блок-схема системы управления поезда-трамвая Tango

Таблица 3

Технические данные преобразователя питания бортовой сети

Параметр	Значение параметра
<i>Входные величины</i>	
Напряжение, В	600/750
Диапазон колебаний входного напряжения, В	400–950
<i>Выходные величины</i>	
Фиксированные напряжение и частота трехфазного выхода 1, В/Гц	3×400/50
Мощность (при $\cos\phi = 0,85$ и фиксированных значениях напряжения и частоты), кВт·А	35
Регулируемые напряжение и частота трехфазного выхода 2, В/Гц	$3 \times (0 \div 400) / (0 \div 50)$
Мощность (при $\cos\phi = 0,85$ и регулируемых значениях напряжения и частоты), кВт·А	1,9
Напряжение на выходе постоянного тока (зарядное), В	До 28 (регулируется)
Точность регулирования зарядного напряжения постоянного тока, %	±1
Ток на выходе постоянного тока, А	До 290
Максимальная мощность по постоянному току, кВт	7
Ток заряда аккумуляторных батарей, А	100 (регулируется)

Вспомогательное оборудование

Преобразователь питания бортовой сети

Бортовая сеть трехфазного тока питается от статических преобразователей. В каждый тяговый преобразователь встроен преобразователь питания бортовой сети или преобразователь собственных нужд (табл. 3). Он получает питание от цепи постоянного тока, подключенной ко входу тягового инвертора. Если один из преобразователей собственных нужд выходит из строя, то нагрузку берут на себя преобразователи других моторных тележек.

От трехфазного выхода 1 питается бортовая сеть трехфазного тока, а от выхода 2 — двигатель вентилятора, охлаждающего тяговый двигатель и воду в системе охлаждения преобразователя. Выходная частота и, следовательно, частота вращения вентилятора регулируются в зависимости от нагрева тягового двигателя и преобразователя.

Аккумуляторные батареи

На каждом поезде установлены две аккумуляторные батареи емкостью по 180 А·ч. Каждая батарея заряжается от своего зарядного устройства. Аккумуляторные батареи имеют диодную развязку. Третий зарядный агрегат непосредственно питает цепи системы управления. Каждая аккумуляторная батарея напряжением 24 В состоит из 18 никель-кадмиевых элементов, имеющих виброустойчивое исполнение и не требующих обслуживания.

При поступлении напряжения контактной сети в схему поезда про-

исходит автоматическое включение цепи заряда аккумуляторных батарей через преобразователь бортовой сети. Имеется также возможность заряда аккумуляторов от внешних источников постоянного тока напряжением 24 В. Емкости полностью заряженных аккумуляторных батарей достаточно для работы системы управления поезда при дежурном освещении в течение 2 ч.

Выводы и заключение

При разработке поезда Tango для Базеля удалось создать современный и высокоэффективный подвижной состав сочлененной конструкции с качественным дизайном и высокой плавностью хода. Эксплуатация первой поставленной

партии из четырех единиц сопровождается проведением различных измерений и служит для всесторонней проверки пригодности поездов-трамвая для эксплуатации в реальных условиях.

В соответствии с планами транспортного предприятия Базеля BVB с 2011 по 2016 г. на линиях 10 и 11 устаревшие вагоны, срок службы которых составил 40 лет, будут полностью заменены вагонами Tango. В 2017 г. также будут списаны трамвайные вагоны серии 100 компании Schindler.

По материалам городского транспортного предприятия Базеля BVB (<http://www.bvb.ch>), транспортного предприятия кантона Базель BLT (<http://www.blm.ch>) и компании Stadler (<http://www.stadler.com>).