

Семейство универсальных поездов Protos

Поезд Protos, разработанный компанией FTD Schienenfahrzeugtechnik Dessau, является представителем семейства поездов, предназначенных для региональных сообщений с максимальной скоростью движения 160 км/ч. Модульная концепция поезда позволяет создавать модификации с разными видами тяги, различными вариантами внутреннего оборудования и разной высотой пола в зависимости от условий эксплуатации. Все поезда этого семейства имеют распределенную тягу, обеспечивают максимальную гибкость применения и могут быть сцеплены с поездами других серий. Пассажиры имеют возможность свободного прохода вдоль всего состава. Первые пять двухвагонных поездов этого семейства, изготавливаемые на заводе в Дессау, предназначены для железных дорог Нидерландов.

В последнее время поезда для региональных сообщений заказывают в основном небольшими партиями. Причиной этого является прежде всего практика объявления тендеров на различные виды транспортных услуг, в результате чего возникает много небольших компаний-перевозчиков, заказывающих предприятиям железнодорожной промышленности неболь-

шие партии подвижного состава. В связи с этим железнодорожная промышленность, стремящаяся удовлетворить потребность этих компаний в подвижном составе, предлагает различные варианты поездов, создаваемых на единой платформе.

Компания FTD Schienenfahrzeugtechnik Dessau в этом отношении не является исключением. Разра-

батываемые ею поезда Protos создаются на общей платформе. При этом возможна реализация модификаций, существенно рознящихся между собой, в том числе по виду тяги, высоте пола над УГР, а также по внутреннему оборудованию. Кроме того, по желанию заказчика компания может поставлять поезда разной составности.

Первый заказ из Нидерландов на поезда Protos для тяговой сети постоянного тока напряжением 1,5 кВ и первые положительные отзывы подтвердили правильность и перспективность позиции, занятой компанией FTD Schienenfahrzeuge Dessau.

Концепция поезда

Поезда семейства Protos, сформированные из однотипных вагонов и оснащенные оборудованием, построенным на базе унифицированных компонентов, обеспечивают высокую гибкость использования. Независимо от модификации все поезда в базовой версии Protos оборудованы высококачественным тяговым приводом. В зависимости от желания заказчика могут быть сформированы двух-, трех- и многовагонные поезда. Возможно также использование одиночных моторных вагонов. При этом обеспечивается высокая надежность и резервируемость тяговых агрегатов, а также постоянная удельная тяговая мощность, не зависящая от длины поезда. В базовой версии 50% осей в поезде — моторные. Это значит, что каждый вагон имеет одну моторную и одну поддерживающую тележку. В поезд могут также включаться и вагоны без моторных тележек: промежуточные и концевые с кабиной управления. От остальных вагонов они отличаются лишь отсутствием тяговых двигателей.

Protos в версии электропоезда может иметь исполнение в расчете на одну из следующих систем тока:

- переменного тока напряжением 15 кВ, частотой 16,7 Гц;

Технические данные поездов семейства Protos

Система тягового тока	Переменный ток: 15 кВ, 16,7 Гц; 25 кВ, 50 Гц; постоянный ток: 3 кВ; 1,5 кВ
Ширина колеи, мм	1435
Минимальный радиус проходимой кривой, м	80
То же, S-образной кривой, м	150 с прямой вставкой 6 м
Максимальная скорость, км/ч	160
Осевая формула отдельного вагона	Bo'2'
Максимальная осевая нагрузка, т	18,5 (в зависимости от исполнения)
Диаметр колес (новых/изношенных), мм	760/680
Длина кузова, м	26,4
Расстояние между шкворнями, м	19
База тележки, м	2,5
Ширина кузова, м	2,82
Пониженный уровень пола, мм	600 или 810
Высокий уровень пола, мм	1020
Число мест для сидения в одном вагоне	до 92
Масса одного вагона (в зависимости от модификации)	от 54 до 59 т

- переменного тока напряжением 25 кВ, частотой 50 Гц;
- постоянного тока напряжением 3 кВ;
- постоянного тока напряжением 1,5 кВ.

Для неэлектрифицированных линий предусмотрена модификация в виде дизель-поезда с электрической передачей.

Отдельный вагон поезда, имеющий длину 26,4 м, по своим размерам соответствует стандартному пассажирскому вагону МСЖД, благодаря чему обеспечивается полная совместимость поездов Protos с большинством существующих железнодорожных сетей.

В средней части вагона, расположенной между тележками, пол имеет пониженный уровень: 810 или 600 мм над УГР. Эта часть пола составляет 60% общей площади. Благодаря наличию пониженного уровня пола обеспечиваются удобные условия посадки пассажиров у платформ высотой соответственно 760 или 550 мм.

Вагоны соединены между собой короткими сцепками, которые могут быть разъединены только в условиях депо. Межвагонные переходы защищены разъемными суфле.

На рис. 1 показаны концевой и промежуточный вагоны, а также дана их планировка. Во втором концевом вагоне, не показанном на рисунке, число мест для сидения больше, так как в нем нет зоны многоцелевого назначения и туалета. На рис. 2 приведены тяговые характеристики электропоезда переменного тока 15 кВ, 16,7 Гц тяговой мощностью 860 кВт и дизель-поезда с электрической передачей мощностью 530 кВт.

Конструкция кузова и безопасность при столкновении

Кузова вагонов представляют собой стальную, полностью сварную конструкцию, выполненную в

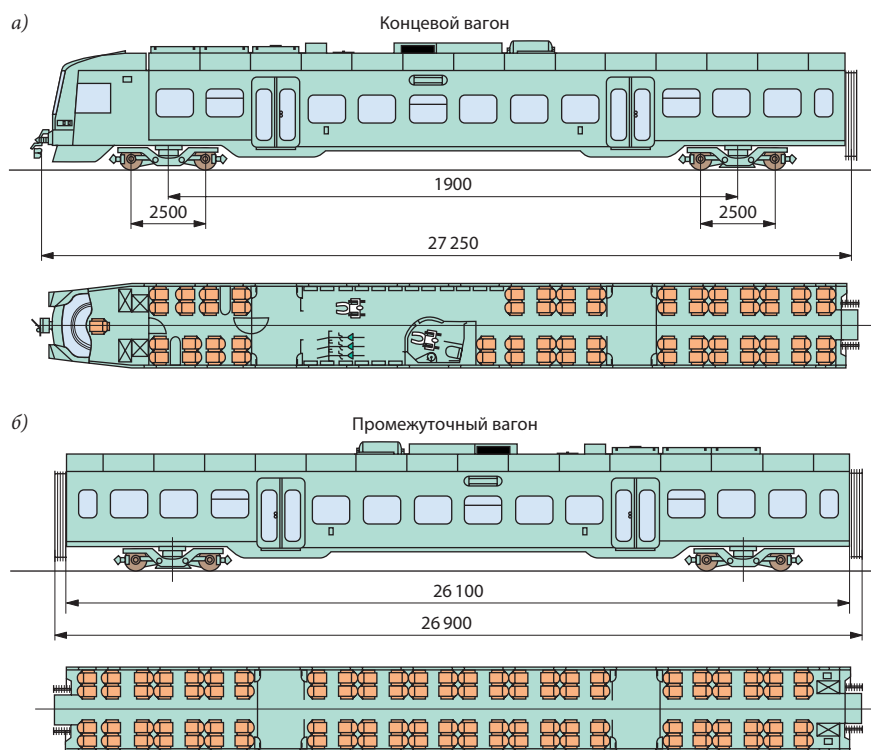


Рис. 1. Схемы концевой и промежуточного вагонов поезда Protos

соответствии с европейским стандартом EN 12663, который предусматривает испытание на продольное сжатие усилием, равным 1500 кН. Зоны кабины машиниста в концевых вагонах поезда спроектированы с учетом четырех сценариев столкновения, отраженных в проекте европейского стандарта prEN 15227 (2005). Эти сценарии относятся к столкновениям поезда со следующими объектами:

- с однопутным поездом (Protos — Protos) при относительной скорости движения 36 км/ч;
- с грузовым вагоном массой 80 т при той же относительной скорости;
- с деформируемым препятствием массой 15 т при относительной скорости 110 км/ч (соответствует столкновению с грузовым автомобилем на переезде);
- с легковым автомобилем (для определения методов защиты от столкновений, сопровождающихся возникновением продольных усилий 250–300 кН и требующих гашения энергии соответственно 30–36 кДж).

Для этих четырех сценариев нужно было реализовать средства гашения энергии столкновения и обеспечить наличие зоны для выживания машиниста. Особое значение для выполнения требований к безопасности при столкновениях имеет правильное определение точек воздействия сил столкновения для всех четырех сценариев. Основываясь на этих требованиях, специалисты компании FTD Schienenfahrzeuge Dessau разработали многоступенчатую концепцию смятия концевых ударно-тяговых устройств. Эта концепция

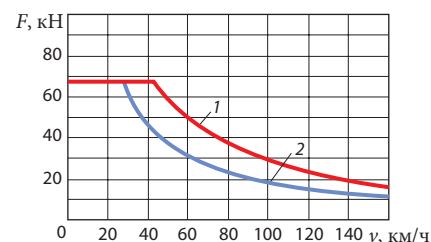


Рис. 2. Тяговые характеристики поездов Protos двух модификаций:

F — сила тяги; v — скорость движения; 1 — электропоезд переменного тока 15 кВ, 16,7 Гц; 2 — дизель-поезд с электрической передачей

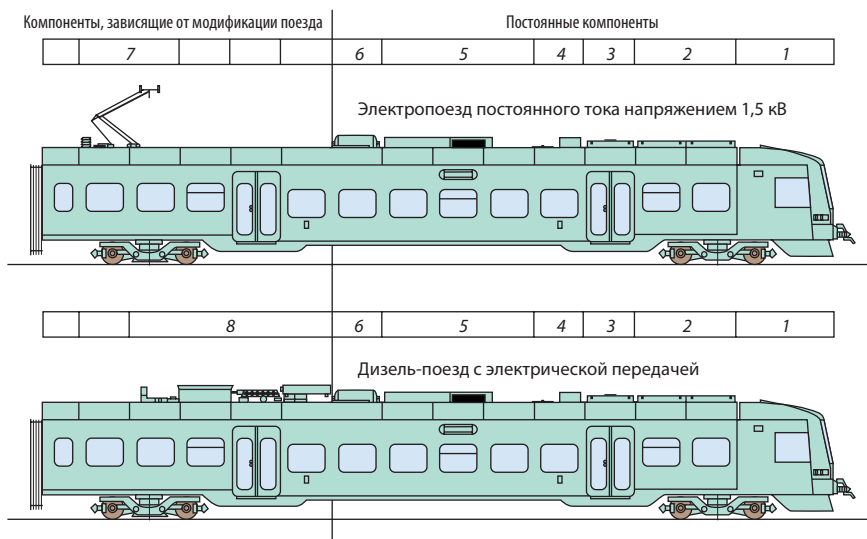


Рис. 3. Размещение крышевого оборудования:

1 — кондиционер кабины машиниста; 2 — тяговый преобразователь; 3 — тормозной резистор; 4 — преобразователь питания бортовой сети; 5 — установка кондиционирования воздуха в пассажирских салонах; 6 — компрессорный модуль; 7 — токоприемник; 8 — дизель-генераторный агрегат

распространяется на центральную сцепку, буфера со сминаемыми элементами, защиту от напоязания и конструкцию лобовой части кабины машиниста. В конструкции центральной сцепки, как и в буферах, предусмотрен сминаемый элемент, который при небольшой скорости наезда на препятствие полностью гасит энергию столкновения. В этом случае ремонтные затраты минимальны.

В расчете на более высокую скорость столкновения лобовая часть конструкции кабины имеет исполнение, при котором контролируемая деформация обеспечивает для машиниста зону выживания. Все элементы конструкции вагона, воспринимающие усилия, которые возникают при столкновении по любому из четырех сценариев, спроектированы таким образом, чтобы их способность поглощать энергию столкновения использовалась оптимально.

Наряду с рассмотренными элементами конструкции короткие сцепки также снабжены сминаемыми устройствами, гасящими энергию столкновения. Таким образом, контролируемое гашение сил происходит и по всей длине поез-

да, благодаря чему снижается нагрузка на концевые ударно-тяговые устройства.

Крышевое оборудование

Размещение крышевого оборудования для всех модификаций поезда Protos идентично. Так, над кабиной машиниста расположен ее кондиционер. К нему примыкают тяговый инвертор, тормозной резистор, аккумуляторная батарея, вспомогательный преобразователь, питающий бортовую сеть, установка кондиционирования воздуха в пассажирском салоне, а также компрессорный модуль, снабжающий пневмосистему сжатым воздухом. В зоне коротких сцепок размещаются устройства, определяемые типом тягового привода: модуль токоприемника, тяговый трансформатор, дизель-генераторный агрегат. Для размещения в этой зоне различных устройств предусмотрено соответствующее модификации расположение поперечных балок конструкции крыши с необходимыми точками крепления. На рис. 3 показаны варианты расположения крышевого оборудова-

ния в двухвагонном электропоезде постоянного тока напряжением 1,5 кВ и дизель-поезде.

Электрическая часть

Все поезда семейства имеют промежуточное звено с напряжением 1500 В постоянного тока. Подключенные к этому звену устройства идентичны для всех модификаций:

- тяговые преобразователи, питающие оба асинхронных тяговых двигателя моторной тележки;
- вспомогательный преобразователь, питающий установку кондиционирования воздуха и компрессорный модуль напряжением 400 В трехфазного тока, частотой 50 Гц;
- подключенный к вспомогательному преобразователю выпрямитель, питающий напряжением 24 В постоянного тока систему управления, торможения, освещения и др.

Питание промежуточного звена постоянного напряжения осуществляется разными способами, в зависимости от вида тягового привода и системы тока. Под контактной сетью переменного тока напряжением 15 кВ, 16,7 Гц или 25 кВ, 50 Гц напряжение подается в него через трансформатор и выпрямитель. Если питание поезда осуществляется от контактной сети постоянного тока напряжением 3 кВ, напряжение в промежуточное звено подается через регулятор постоянного тока, а при напряжении 1,5 кВ питание промежуточного звена осуществляется непосредственно от контактной сети. В случае дизель-поезда напряжение в это звено подается от дизель-генераторного агрегата через выпрямитель (рис. 4).

Базой для простой адаптации поездов Protos к разным системам тягового тока является компьютерная система управления поездом, которая состоит из двух компьютеров в каждом вагоне и информационной шины IBIS. С помощью непосредственно программируе-

мых компьютеров осуществляется управление всеми функциями, такими, как тяга, торможение, управление дверями, системой электропитания, установками кондиционирования воздуха и др. Благодаря применению двух компьютеров обеспечивается надежное резервирование, поэтому при выходе из строя одного из них поезд продолжает движение в прежнем режиме без каких бы то ни было ограничений.

По желанию заказчика поезд может быть оборудован системами безопасности, принятыми на сети, где он эксплуатируется:

- цифровая поездная радиосвязь GSM-R;
- динамическая система информирования пассажиров на базе спутникового позиционирования;
- наружный указатель станции назначения на светодиодах;
- внутренний светодиодный указатель станции назначения.

Управление и контроль всех функций осуществляются с пульта машиниста с помощью специального меню и дисплея. Этим обеспечивается максимальная безопасность как в режиме нормальной эксплуатации, так и при возникновении каких-либо отказов.

Дверные модули и выдвижной мостик

В каждом вагоне имеются четыре входные двери, расположенные по концам зон с пониженным уровнем пола с обеих сторон вагона. Каждая отдельная дверь поставляется в виде готового модуля, который является собственной разработкой компании FTD Schienenfahrzeuge Dessau. Эти модули изготавливаются здесь же на предприятии в разных вариантах. Они могут быть установлены также и на поездах других серий.

Дверные FTD-модули состоят из рамы, в которой интегрированы все функциональные элементы, включая привод, приборы управле-

ния, датчики, кабельную разводку, а также дверные створки. Рама дверного модуля монтируется в подготовленный дверной проем кузова и закрепляется в нем. На монтаж двери в вагоне и проверку работоспособности затрачивается минимальное количество времени.

Для поездов Protos используются поворотные-сдвижные двери с шириной и высотой в свету соответственно 1300 и 2100 мм. Створки дверей, изготовленные из алюминиевых экструдированных профилей, открываются и закрываются с помощью двигателя постоянного тока и зубчатого ремня. Блокирование двери в закрытом положении осуществляется двигателем привода с одновременным контролем всех элементов. Благодаря этому число функциональных элементов в системе значительно уменьшается, что повышает надежность системы и ее эксплуатационную готовность, снижает затраты на техническое обслуживание.

Концепция безопасности дверных модулей предусматривает прямой контроль всего контура прилегания, осуществляемый с помощью датчиков, смонтированных в уплотняющем резиновом профиле. Кроме того, с помощью переключения направления тока в двигателе привода проверяют, что сила прижатия не превышает допустимого значения и что обеспечивается автоматическое открывание дверей в случае зажатия человека или предмета. С помощью фотоэлементов контролируется общий процесс открывания дверей.

Для того чтобы перекрывался зазор между кузовом вагона и платформой, все входные двери поезда оборудовали выдвижными мостиками. Они выдвигаются при открывании дверей на уровне пола тамбура. Максимальный вылет мостика при выдвигании составляет 230 мм. Необходимая величина вылета регулируется интегрированной автоматикой в зависимости от величины зазора. Благодаря этому

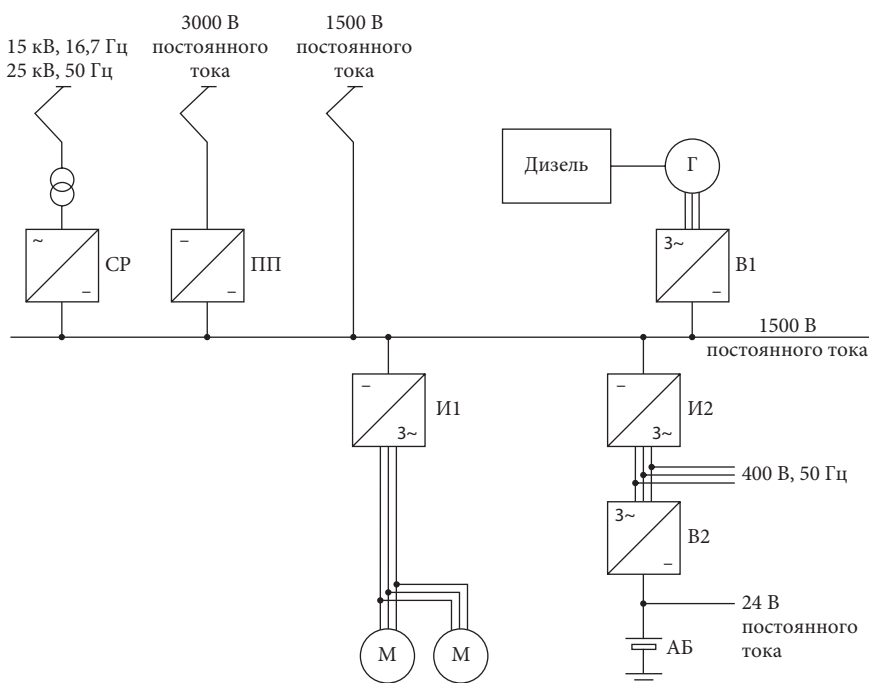


Рис. 4. Цепи главного тока для разных видов тягового привода и различных систем тока:

СР — сетевой четырехквadrанный регулятор; ПП — преобразователь постоянного тока; Г — генератор; В1 — трехфазный мостовой выпрямитель; И1 — трехфазный инвертор собственных нужд; И2 — трехфазный тяговый инвертор с регулируемым напряжением и частотой; В2 — трехфазный выпрямитель зарядного агрегата; М — тяговый двигатель; АБ — аккумуляторная батарея

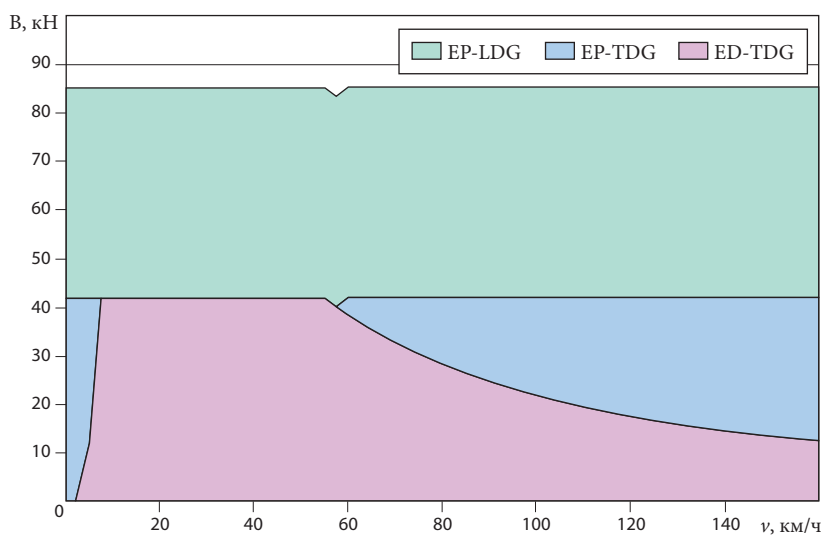


Рис. 5. Тормозные характеристики поезда Protos:

B — тормозное усилие; v — скорость; LDG — поддерживающая тележка; TDG — моторная тележка

обеспечивается удобная посадка и высадка пассажиров через любую из дверей, в том числе и у платформ, расположенных в кривых. Устройство обогрева, смонтированное в конструкции мостика, обеспечивает его работоспособность и при низких температурах.

Пневматическая система и тормозное оборудование

Каждый вагон имеет свой компрессорный модуль, обеспечивающий сжатым воздухом все пневматические устройства. Этот модуль состоит из поршневого компрессора, воздухоотборника и системы управления тормозами моторной и поддерживающей тележек. Модуль, поставляемый в готовом виде, монтируют на крыше. Каждый поезд имеет главную воздушную магистраль, проходящую через весь состав, и главный воздушный резервуар, которые также монтируют на крыше под расположенными на ней агрегатами. При формировании состава из двух или нескольких базовых единиц главная магистраль соединяется в автосцепке. От пневмосистемы снабжаются система торможения, воздушные ресоры вторичного подвешивания, а также различные вспомогательные

устройства, такие, как система пескоподдачи, лубрикатор гребня бандажа, тифон, токоприемник и др.

- Тормозная система состоит из:
- электродинамического (ED) тормоза с рекуперацией и тормозным резистором в варианте электропоезда или только с тормозным резистором в дизель-поезде;
 - прямодействующего электропневматического (EP) тормоза типа KBC-EL-P-A-E-MG-D;
 - непрямодействующего тормоза;
 - магнитно-рельсового тормоза;
 - стояночного тормоза с пружинным накопителем энергии.

Для распределения тормозных сил между моторной и поддерживающей тележками разработана система оптимального взаимодействия электродинамического и электропневматического тормозов. В режиме движения, при котором требуется использование небольших тормозных сил, применяется электродинамический тормоз моторных тележек. Начиная с момента, когда требуется использование сил сцепления с коэффициентом $f > 0,1$, на моторных тележках по-прежнему работает электродинамический тормоз, но к нему добавляется электропневматический поддерживающих тележек. Электропневматический тормоз, включаемый на моторных тележках,

обеспечивает постоянную величину тормозной силы во всем диапазоне скорости. При низкой скорости система отключает электродинамический тормоз, а при высокой, когда требуется величина тормозной силы, превышающая значения, ограничиваемые гиперболической тяговой характеристикой, дополнительно вновь включается электродинамический тормоз. Система обеспечивает также необходимую величину тормозной силы при выходе из строя тяговых агрегатов.

На рис. 5 показана тормозная характеристика полностью населенного поезда при тормозном коэффициенте 80%. В режиме экстренного торможения включаются электропневматический и магнитно-рельсовый тормоза, при этом одновременно отключается тяга.

Пескоподачу в случае необходимости включает сам машинист. Если сравнивать с системой автоматического включения пескоподдачи, то в данном случае обеспечивается значительная экономия песка, кроме того, удастся избежать нежелательного загрязнения песком зоны стрелочных переводов.

Электродинамический и электропневматический тормоза могут быть включены также системой защиты от юза и боксования, которая использует сигналы датчиков частоты вращения, установленных на буксовых подшипниках. Стояночный тормоз с пружинным накопителем энергии включается чисто механически с помощью рычага, связанного с тягой.

Ходовая часть

Моторная и поддерживающая тележки имеют в основном одинаковую сварную конструкцию. Упругая на скручивание H-образная рама образована двумя продольными балками, которые соединены двумя поперечными. На цельнокатанных колесах моторных и поддерживающих колесных пар закреплены

с помощью болтов стальные тормозные диски внешним диаметром 610 мм. Направление колесных пар в колее осуществляется поводками, воздействующими на корпуса интегрированных букс, в которых используются двухрядные конические роликоподшипники. Буксовые подшипники рассчитаны на пробег 3,8 млн. км, что при норме годового пробега 300 тыс. км составляет более 12 лет.

На нижней части кузова смонтирована траверса, на которую с помощью низкорасположенной штанги, поперечного гасителя колебаний и поперечных упоров передаются от рам тележек продольные усилия (тяги и торможения) и поперечные силы. На тележках дополнительно смонтированы упоры для гашения колебаний галопирования.

Вагоны имеют двухступенчатую систему подвешивания. Первая ступень реализована на стальных пружинах, параллельно которым включены гидравлические гасители колебаний, вторая — на двух пневморессорах, также с гидравлическими гасителями, параллельно включенными между рамой тележки и траверсой кузова. Траверса исполнена в виде воздушного резервуара вместимостью 165 л, используемого для поддержания нужного давления в обоих пневморессорах.

Вторая ступень рессорного подвешивания принимает участие в развороте тележки. Для оптимизации качения тележки в колее движения разворота демпфируются гасителями колебаний виляния, расположенными по одному с обеих сторон рамы тележки.

На торцовых балках моторных тележек закреплены вентиляторы охлаждения тяговых двигателей, а также различные устройства и антенны системы обеспечения безопасности движения. На моторных тележках также размещены устройства пескоподачи, а на первой по ходу поезда тележке — лубрикатор для смазывания гребней колес передней колесной пары.

Тяговый привод осуществляется двумя поперечно расположенными асинхронными тяговыми двигателями с принудительным охлаждением продолжительной мощностью по 340 кВт. Вращающий момент передается на колесные пары с помощью двухступенчатого редуктора с передаточным числом 4,8, закрепленного на оси колесной пары. Возможность перемещений тягового двигателя относительно колесной пары в вертикальной и поперечной плоскостях обеспечивается зубчатой муфтой с арочным зацеплением. Эта муфта также защищает тяговый привод от усилий, возникающих при столкновении, так как она препятствует дальнейшей передаче сил в редуктор.

Внутреннее оборудование и пульт машиниста

Для того чтобы можно было удовлетворить различные запросы заказчика, при проектировании внутреннего оборудования вагонов исходили из необходимости создания в пассажирском салоне отдельных зон. С этой целью для компоновки внутреннего оборудования разработали несколько модулей, различающихся как по функциям, так и по внешнему виду

(рис. 6). С их помощью можно реализовать размещение пассажирских кресел со встречным или рядным расположением (шаг расстановки кресел соответственно 1690 и 845 мм). Используя модули других видов, можно установить в вагоне кабину стандартного туалета или приспособленного для инвалидов. Последний размещается в зоне с пониженным уровнем пола. Относительно просто реализуются отделения многоцелевого назначения со стойками для велосипедов, откидными сиденьями и туалетом одного из указанных видов. Рассмотренный метод оборудования пассажирских помещений с помощью готовых модулей обеспечивает высокую гибкость при создании поездов для различных условий эксплуатации и с разными дизайнерскими решениями.

В связи с тем что поезд по всей длине имеет одинаковую высоту потолка относительно УГР, обеспечивается хорошая просматриваемость состава. Открытые межвагонные переходы шириной в свету 1100 мм позволяют пассажирам легко перемещаться вдоль поезда, что не только дает им дополнительные удобства, но и повышает степень безопасности.

На потолке с двух сторон прохоят сплошные полосы светильни-

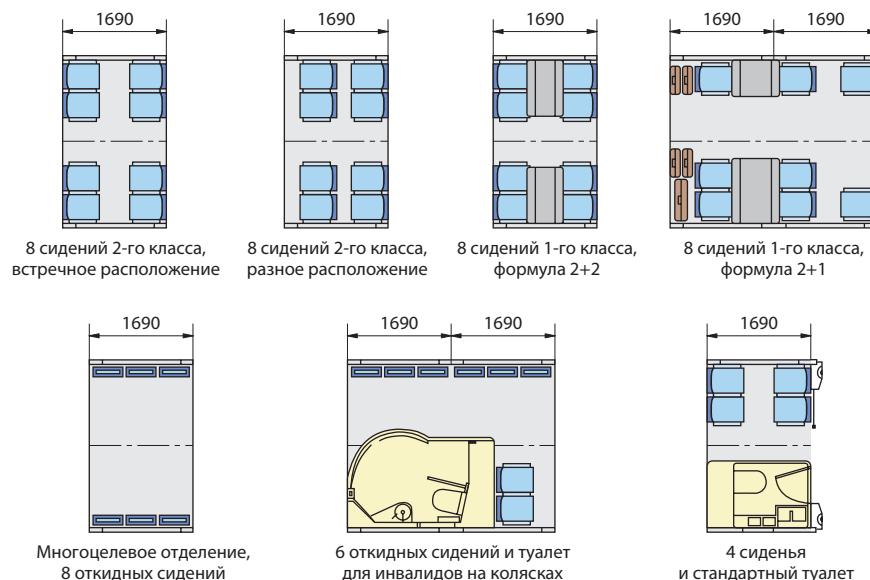


Рис. 6. Модули внутреннего оборудования пассажирских салонов

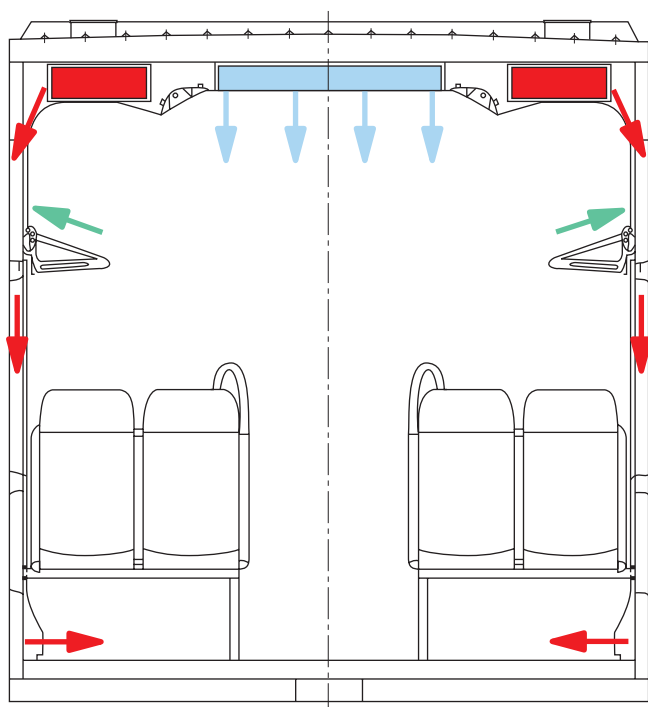


Рис. 7. Направление воздушных потоков в вагоне: отопление (красный цвет), охлаждение (голубой), отработанный воздух (зеленый)



Рис. 8. Серийный поезд Protos

ков. Для улучшения условий посадки и высадки пассажиров в тамбурах эти полосы смещены в сторону входных дверей.

Для создания оптимального климата в пассажирских салонах разработана компактная установка кондиционирования воздуха, с помощью которой обеспечиваются отопление, охлаждение и вентиляция салонов. На рис. 7 показана схема кондиционирования пассажирского помещения. В соответствии с инструкцией 6032 Союза предприятий железнодорожного транспорта (VDV), запрещающей смешанное использование воздушных каналов разного назначения, в поездах Protos смонтированы отдельные каналы для теплого (красные стрелки), холодного (голубые стрелки), обратного и отработавшего (зеленые стрелки) воздушных потоков. Теплый воздух идет по двум каналам вдоль всего вагона и через соединительные вертикальные воздухопроводы подается в выпускные каналы, расположенные у пола в боковых стенках. Холодный воздух проходит по каналу, идущему вдоль вагона в центральной части потолка, откуда и подается в салон. В зонах над багажными полками салона с низким уровнем пола происходит забор обратного воздуха. В таких же зонах салонов с высоким уровнем пола вытяжные вентиляторы забирают и выбрасывают в атмосферу отработавший воздух.

На пульте размещены все элементы, необходимые для управления, регулирования и контроля. Для машиниста создано удобное эргономичное рабочее место, оснащенное регулируемым по высоте и передвигаемым в продольном направлении креслом. У задней стенки, отделяющей кабину от пассажирского салона, расположены шкафы с электронным оборудованием и системой управления тормозами. Между ними находится дверь шириной в свету 850 мм для прохода в пассажирский салон. На крыше, непосредственно над пультом машиниста, расположен кондиционер, обеспечивающий температуру в кабине от +18 до +27 °С при температуре наружного воздуха от — 20 до +35 °С.

Перспективы

Первый опытный двухвагонный поезд, предназначенный для эксплуатации на постоянном токе напряжением 1,5 кВ в Нидерландах, в начале 2007 г. был передан для проведения приемочных испытаний. По завершении опытных поездок в рамках допуска его планировали вернуть на завод в Дессау с целью отработки на нем новых вариантов внутреннего оборудования. Передача первых пяти поездов этого типа (рис. 8) компании Connexxion для эксплуатации на линии Армерсфорт — Эде — Вахенинхен была запланирована на лето 2007 г.

R. Jürgens. *Glaser's Annalen*, 2007, № 3, S. 68–76.