

Электропоезд серии 422

Электропоезд серии 422 разработан для городских железных дорог (S-Bahn) консорциумом компаний Bombardier и Alstom в соответствии с контрактом, подписанным с железными дорогами Германии (DB). Главой консорциума, получившего название S-Bahn-Konsortium BR 422, была Bombardier. Компания Alstom отвечала за механическую часть поезда. Оба участника консорциума уже работали совместно над созданием электропоезда серии 423, заказанного в свое время DB, и использовали полученный опыт при разработке поезда новой серии.

Над проектом поезда серии 422 консорциум работал в тесном сотрудничестве с DB, учитывая опыт эксплуатации серии 423. Все 84 поезда заказанной серии предназначены для эксплуатации на городских железных дорогах земли Северный Рейн-Вестфалия. Здесь же используется часть парка поездов серии 423.

Четырехвагонный поезд серии 422 (рис. 1, табл. 1) представляет собой нерасцепляемую в эксплуатации самостоятельную единицу с идентичным дизайном концевых и промежуточных вагонов. Концевые вагоны с промежуточными и промежуточные между собой соединяются тележками Якобса. Кроме этого, концевые вагоны имеют по одной обычной двухосной тележке. Компоненты тягового привода, колесные пары, рессорное подвешивание, а также механические элементы системы торможения тележек обоих типов максимально унифицированы.

В эксплуатации можно сцеплять в один состав до трех четырехвагонных базовых секций. Возможна также сцепка их с поездами серии 423. Масса тары поезда, конструкция механической части которого базируется на облегченных элементах из алюминиевых сплавов, составляет 112 т. В поезде 192 места для сидения. Кроме того, могут ехать стоя

еще 344 чел. В каждом поезде непосредственно за кабинами машиниста расположено по одному салону первого класса с восемью креслами.

Все вагоны в поезде соединены между собой широкими межвагонными переходами. Это обеспечивает хороший обзор поезда по всей длине из кабины, что создает у пассажиров субъективное ощущение безопасности. По своему внутреннему интерьеру новый поезд во многом сходен с поездом серии 423. Изменение претерпели в основном

система освещения салонов, где использованы светильники отраженного света, создающие у пассажиров ощущение просторного помещения, а также материал сидений и обивка кресел повышенной вандалозащищенности. В отличие от поезда 423 в салонах второго класса нового поезда кресла, расположенные у окон, также имеют подлокотники. С целью повышения уровня комфорта увеличено расстояние между креслами внутри каждой группы.

Особенности концепции

В вагонах поезда высота расположения пола в тамбурах составляет 995 мм над УГР. При высоте платформы 960 мм, как, например, на линиях городских железных дорог Мюнхена, Франкфурта-на-Майне, Штутгарта, а также земли Северный Рейн-Вестфалия, пассажиры могут входить в вагон, фактически не ощущая разницы в уровнях. В салонах вагона высота пола над УГР составляет 1025 мм. На этом уровне она остается по всей длине поезда, лишь зоны расположения кабин несколько приподняты.



Рис. 1. Электропоезд серии 422

Таблица 1

Технические характеристики электропоезда серии 422

Параметр	Значение
Длина по сцепкам, мм	69 432
Ширина, мм	3020
Высота, мм	4335
Высота пола над УГР, мм: в пассажирских салонах в тамбуре	1025 995
Расстояние между центрами тележек, мм: концевых вагонов промежуточных вагонов	15 140 15 460
Максимальная нагрузка на ось, т: концевых тележек промежуточных тележек	16 18
Ширина колеи, мм	1435
Радиус минимальной проходимой кривой, м: на пневморессорах на резервных рессорах	150 100
Масса тары (по стандарту DIN 25008), т	112
Число мест: для сидения для едущих стоя (4 чел./м ²)	192 344
Максимальная скорость, км/ч	140
Система тягового тока	15 кВ, 16,7 Гц
Число тяговых агрегатов в поезде	2
Тип тягового преобразователя	Водоохлаждаемые, построенные на силовых транзисторах входной регулятор 4QS и инвертор
Тяговая передача	Поперечная установка, двухступенчатый редуктор с передаточным числом 6,33
Тяговый двигатель	Водоохлаждаемый асинхронный трехфазный, продолжительная мощность 200 кВт, максимальная мощность 294 кВт

Вагоны поезда имеют увеличенную ширину, чтобы расстояние между поездом и краем платформы было как можно меньше. Каждый вагон с обеих сторон имеет по три входные двери шириной 1300 мм. Удобные широкие межвагонные переходы обеспечивают возможность свободного распределения пассажиров по вагонам.

Информация о названии линии, пункте следования поезда, следующей остановке и возможностях пересадки отображается на информационных панелях как внутри вагона, так и снаружи. Для размеще-

ния велосипедов, детских колясок и громоздкого багажа в обоих концевых вагонах имеются многофункциональные отделения, примыкающие к крайнему тамбуру. Входные двери снаружи имеют окраску, отличающуюся от цвета остальной части кузова, что помогает пассажирам ориентироваться на платформе при посадке.

В поезде предусмотрены следующие меры по облегчению поездки пассажирам с ограниченной мобильностью:

- места для инвалидных колясок в многофункциональном отделении;

- подъемное устройство для посадки и высадки инвалидов на колясках у платформ высотой 760 мм;
- одинаковый уровень пола по всей длине поезда;

- специальная планка, смонтированная на резиновых торцевых элементах, защищающих от зажатия, позволяет обнаружить дверь пассажирам с ослабленным зрением.

Для усиления защиты от вандализма и пожаров предусмотрено:

- исполнение верхней части перегородки, отделяющей кабину машиниста от пассажирских салонов, из тонированного ударопрочного стекла позволяет машинисту наблюдать за салонами вагонов;

- оптимальное соотношение между высотой просвета межвагонного перехода и высотой спинок пассажирских кресел обеспечивает машинисту хороший обзор пассажирской зоны;

- исполнение окон со специальной защитной пленкой на стеклах изнутри вагонов позволяет использовать их в качестве аварийных выходов;

- исполнение входных дверей без наружных поручней и ступенек;

- использование для наружной окраски высокопрочного двухкомпонентного покрывного полиуретанового лака, содержащего растворяющие вещества, позволяет легко удалять граффити;

- схема контроля дверей обеспечивает передачу машинисту соответствующего сигнала при попытке разблокировать во время движения закрытую дверь;

- применение огнеупорных и вандалозащищенных пассажирских сидений;

- использование для отделки пассажирских салонов огнеупорных материалов, предписываемых главой E2 соответствующего документа Федерального бюро железных дорог Германии (EBA), конструирование интерьеров вагона с учетом аспектов предотвращения и гашения пожаров;

- применение системы блокирования экстренного торможения, например при возникновении пожара в тоннеле, позволит поезду проследовать до ближайшего остановочного пункта вне тоннеля;

- наличие переговорного устройства пассажир — машинист в каждом тамбуре;

- отключаемая вентиляция пассажирских салонов облегчает гашение возникшего пожара и препятствует распространению газов, выделяющихся при горении (кабина машиниста полностью изолирована от пассажирских салонов).

В соответствии со стандартом DIN EN 15227 поезд отвечает следующим требованиям в отношении безопасности при столкновении:

- сценарий 1 — симметричное столкновение двух одинаковых поездов серии 422 на скорости 36 км/ч;

- сценарий 2 — столкновение с грузовым вагоном массой 80 т на скорости 36 км/ч;

- сценарий 3 — наезд на грузовой автомобиль большой деформируемой массы с высоко расположенным центром тяжести на скорости 90 км/ч;

- сценарий 4 — наезд на препятствие небольшой высоты (легковой автомобиль), защита от напоязания поезда на препятствие.

При любой из аварий названных категорий для машиниста сохраняется зона выживания в случае максимального замедления при торможении поезда. При этом дополнительную защиту машиниста и пассажиров обеспечивают деформируемые элементы, которые предусмотрены в конструкции поезда.

Каркас кузова

Интегральная конструкция вагонов из алюминиевых сплавов в основном осталась такой же, как в поезде серии 423, лишь концевые вагоны усилены элементами, повы-

шающими степень пассивной защиты при столкновениях.

Каркасы кузовов концевых и промежуточных вагонов имеют одинаковую конструкцию. Это относится к торцовым стенкам в зоне тележек Якобса, боковым стенкам и крыше вагонов. В нижней раме концевых моторных вагонов предусмотрено усиление продольных балок, на которых монтируется тяговый трансформатор.

Элементы нижней рамы, боковые стенки и крыша выполнены в основном из крупных алюминиевых экструдированных профилей. Эти профили имеют полость по всей длине с элементами жесткости, соединяющими боковые стенки. В местах стыкования профили соединяются сваркой. Элементы днища кузова, а также боковых стенок соединяют между собой с помощью сварки трением (метод FSW). Применение этого метода обеспечивает высокое качество поверхности при большой прочности.

Упомянувшиеся ранее деформируемые энергопоглощающие элементы пассивной защиты расположены под обшивкой лобовой части на уровне буферов (главные элементы) и на уровне нижнего обреза лобового стекла (вспомогательные элементы). Третья группа деформируемых элементов защиты интегрирована в автосцепку и узел ее крепления к кузову.

Для установки энергопоглощающих деформируемых элементов необходима такая лобовая часть, которая обеспечит безопасное восприятие нагрузки существующей алюминиевой конструкцией каркаса кузова. При этом предполагалось, что величина нагрузки в период поглощения энергии принимается более высокой, чем для предыдущих разработок. Результаты проверочных расчетов и испытаний на сжатие одного из первых изготовленных кузовов подтвердили эти предположения. На основании этих данных было при-

нято решение об изготовлении лобовой части концевых вагонов из стали. Для стыкования лобовой части с конструкцией алюминиевого каркаса выбрано разъемное соединение с фронтальным кольцевым шпангоутом.

Энергопоглощение

В соответствии с рассмотренными сценариями аварийных ситуаций концепция деформируемых энергопоглощающих элементов (абсорберов) реализуется только на лобовых частях концевых вагонов. Энергия удара в зависимости от сценария столкновения гасится последовательно несколькими ступенями на участке, расположенном перед зоной выживания локомотивной бригады и пассажиров. Места расположения пассажиров и машиниста в вагоне, кузов которого и стальная лобовая часть разработаны в соответствии со стандартом EN 12663, защищены особенно надежно. Эти зоны не подвержены пластическим деформациям, поэтому они остаются невредимыми.

Зависимость между силами столкновения по сценарию 1 и величиной деформации представлена на рис. 2.

Процесс столкновения по этому сценарию происходит следующим образом:

- буфера поездов, идущих навстречу друг другу по одному и тому же пути, приходят в соприкосновение. Гидравлический элемент реверсивного ударно-тягового прибора, переместившись при сжатии на 80 мм, гасит около 60 кДж энергии при максимальной силе удара 1000 кН;

- после того как гидравлический элемент исчерпал свои энергогасящие возможности, сила удара кратковременно возрастает до 1500 кН, после чего начинает работать энергопоглощающий элемент в заделке автосцепки, и при этом сила удара снижается до 750 кН;

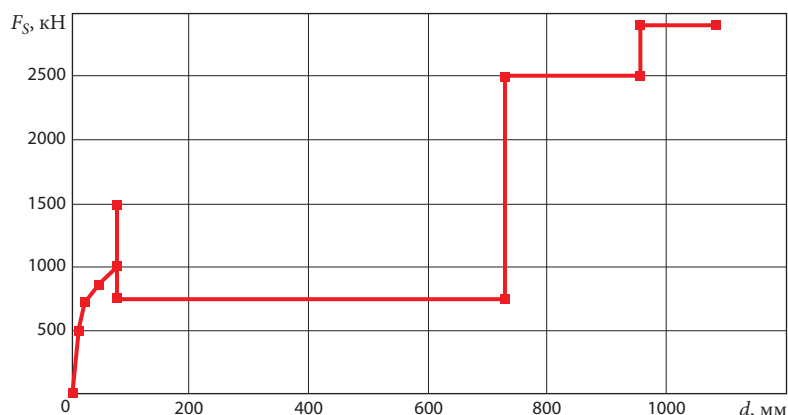


Рис. 2. Зависимость между силой удара F_S при столкновении и деформацией d

- после того как ход этого элемента (750 мм) полностью используется, приходит в соприкосновение с преградой нижний стальной поглотитель энергии, и сила удара возрастает до 2500 кН;

- полный ход при деформации этой ступени составляет 955 мм. По его достижении с преградой соприкасается верхний алюминиевый деформируемый элемент, также поглощающий энергию. Сила при этом возрастает до 2900 кН.

Общий ход при деформации всех элементов составляет 1100 мм, при этом гасится до 2,65 МДж энергии. Основным поглотителем энергии является нижний абсорбер, изготовленный из листовой стали. Дополнительно он защищает поезд от подъема с наполнением на преграду,

т.е. препятствует сходу с рельсов. Верхний алюминиевый абсорбер рассчитан на поглощение меньшей энергии и не обладает способностью защиты от наползания.

Конструкция лобовой части

В связи с необходимостью установки деформируемых поглотителей энергии лобовая часть поезда серии 422 удлинилась приблизительно на 1 м по сравнению с поездом 423. Это потребовало изменения конструкции пластмассовых компонентов лобовой части, что обуславливалось принятым корпоративным стилем, с одной стороны, и фактом принадлежности поезда к семейству 42X. Разработанная концепция характеризовалась динамической формой головной части с интегрированным относительно небольшим окном для автосцепки, защитой от наползания и откидывающимися защитными фартуками.

Внутреннее оборудование

Концепция внутреннего оснащения и планировки была полностью взята из проекта поезда 423. Основным достоинством принятого решения был максимальный обзор всех пассажирских салонов из кабины машиниста. Благодаря этому у пассажиров возникало чувство личной безопасности. Основное рас-

положение мест для сидения было встречное по схеме 2 + 2, т.е. типичное для поездов городских железных дорог и удобное с точки зрения уборки (рис. 3).

Новшеством в конструкции было применение плавающего пола. Механическая изоляция настила пола от каркаса кузова обеспечивалась укладкой виброгасящих полос из материала Sylodyn. Благодаря этому корпусной шум не передается через пол в пассажирские салоны. В качестве материала пола использована многослойная березовая фанера, на которую наклеено чистовое покрытие.

Мягкие сиденья с противовандальной обивкой расположены с шагом 1650 мм. В салонах первого класса одно-, двух- и трехместные блоки сидений с деревянными подлокотниками по обоим краям расположены с шагом 1825 мм. Ширина двухместного сиденья в общем салоне составляет более 950 мм, причем расстояние между подушками двухместного сиденья увеличено на 29 мм по сравнению с поездом 423. Повышенный комфорт позволяет использовать новый поезд в региональном сообщении, поскольку длительность поездок здесь больше.

На потолке по всей длине вагона проходит полоса светильников, расположенная над центральным проходом. Эта полоса состоит из отдельных светильников с люминесцентными лампами мощностью 36 Вт. Светильники установлены таким образом, что вниз идет как прямой световой поток от ламп, так и отраженный от потолка.

Межвагонные переходы образованы двумя суфле с высокими шумо- и термоизолирующими свойствами. Они имеют большую ширину, обеспечивающую хороший обзор как для машиниста, так и для пассажиров.

Входные двери поворотносдвигной конструкции имеют ширину в свету 1300 мм. Элементы



Рис. 3. Интерьер вагона поезда серии 422

управления ими в виде светящихся кнопок расположены как снаружи, так и внутри на левой (если смотреть снаружи) створке дверей. Эти кнопки активны и в период автоматического закрывания, поэтому пассажир может прервать процесс закрывания и инициировать открывание. Двери также оборудованы системой аварийного деблокирования и открывания. Кроме того, они оснащены рядом устройств, позволяющих отправлять поезд, обслуживаемый в одно лицо, без помощи дежурного по станции. Повышению комфортности служат также световая сетка и фотоэлемент, действующие внутри тамбура, непосредственно в зоне перед дверью. В режиме автоматической работы система закрывает дверь, если пассажиропоток прерывается и в течение определенного промежутка времени не возобновляется.

Окна в вагонах выполнены из двойного ударпрочного стеклопакета с противовандальной защитной пленкой, стены и потолок имеют приятное для восприятия покрытие на полимерной основе. Над пассажирскими сиденьями по стенам расположены багажные полки, идущие от одного входного тамбура до другого. Салоны первого класса в концевых вагонах отделены от общего салона стенкой с поворотной дверью.

Кабина машиниста

Компоновка кабины выполнена по образцу поезда серии 423 в соответствии с документом МСЖД 651 и стандартом DIN 5566. Отличие состоит лишь в том, что для подъема машиниста в кабину предусмотрены наружные поручни, утопленные в специальные углубления.

Внутренняя отделка кабины соответствует изменившемуся дизайну лобовой части, причем с новым принципом размещения согласованы также расположение и направление открывания вентиляей.

На задней стенке так же, как и в поезде 423, имеются шкаф, дверь в салон и некоторые приборы. В отличие от поезда 423 на этой стенке расположена аварийная штанга для быстрого открывания или закрывания двери в случае возникновения паники в салонах. Новому принципу компоновки также соответствует конструкция пола в кабине и наличие в нем контрольного вентиля, через который осуществляется соединение с резервным воздушным резервуаром питания пневмобаллонов вторичной системы рессорного подвешивания.

В кабине оптимизирована система кондиционирования воздуха, обеспечившая улучшение условий работы машиниста. Для каждой кабины на крыше установлен отдельный кондиционер, который помимо всего прочего позволяет подавать теплый или холодный воздух к зоне вокруг кресла машиниста, в нишу для ног, а также в зону расположения педали бдительности. Кресло машиниста оборудовано системой обогрева. Воздушный канал между кондиционером и воздухораспределительным блоком, расположенным перед пультом машиниста, претерпел частичные изменения в соответствии с новой концепцией. Для очистки канала установлен специальный вентиль.

Тележки

Двухосные моторные тележки концевых вагонов связаны с кузовом через шкворни и продольные поводки. Отличия от тележек поезда серии 423 ограничиваются в основном первичным рессорным подвешиванием, новыми магнитами точечного автостопа и конструкцией крышек буксовых подшипников. Все колесные пары во всех тележках поезда имеют по два пневматически управляемых тормозных цилиндра, воздействующих на тормозные диски, закрепленные на колессах. При этом на каждые шесть

колесных пар приходится восемь пружинных аккумуляторов для стояночного тормоза.

Направление в колее промежуточных тележек Якобса осуществляется горизонтальной продольной низко расположенной штангой. Промежуточная тележка, расположенная посередине поезда, выполнена как поддерживающая. Она оборудована механическим и магнитно-рельсовым тормозами. По своей конструкции, подвеске и системе направления в колее она идентична моторным промежуточным тележкам Якобса.

Тяговый блок состоит из попеременно расположенного закрытого тягового двигателя с жидкостным охлаждением, редуктора и зубчатой муфты. Двигатель и редуктор, подвешенные к раме тележки, частично подрессорены и вместе с колесной парой могут быть демонтированы как самостоятельный агрегат.

Ударно-тяговые приборы

Новый поезд, как и его предшественник серии 423, оборудован обогреваемой автоматической сцепкой Шарфенберга. Она позволяет автоматически выполнять механическую сцепку, а также соединять электрические и пневматические магистрали при объединении двух или трех базовых поездов в один состав (рис. 4). Широкий диапазон позиционирования приборов автосцепки типа 10 позволяет использовать ее при значительной разнице в высоте расположения сцепляемых приборов или больших боковых смещениях, в том числе в кривых и точках перелома профиля пути. Разъединение сцепки может выполняться как автоматически, так и вручную.

Ударно-тяговые усилия передаются от головки автосцепки через ее штангу к кузову. В этой штанге смонтированы энергопоглощающий фрикционно-пружинный элемент, работающий на растяжение, и



Рис. 4. Поезд, составленный из двух базовых секций серии 422

газогидравлический, работающий на сжатие. Штанга автосцепки соединена с кузовом с помощью сферического резинометаллического шарнира, обеспечивающего необходимую подвижность сочленения. Длина штанги несколько больше, чем в поезде 423, за счет энергопоглощающих элементов пассивной защиты. Шарнирный узел соединяется с кузовом через литую розетку, которая в свою очередь крепится к каркасу кузова разрывными болтами, рвущимися при аварии. В этом случае сцепка с помощью двух алюминиевых штанг отводится назад, при этом происходит поглощение энергии удара.

Другое назначение автосцепки — соединение главной воздушной магистрали и магистрали главного резервуара, а также внутренней линии управления расцепкой. Соединение электрических цепей происходит через два гнезда, расположенные по бокам, в которые вдвигаются контактные штекеры. Для приведения этих штекеров в движение служит отдельный пневмопривод, который также можно обогреть. В эксплуатации поезда серий 422 и

423 могут сцепляться в один состав. Кроме того, механически поезд 422 может быть сцеплен с поездами серий 420, 424, 425 и 426.

В четырехвагонном поезде межвагонные соединения реализованы на сферических шарнирах. Расцепка такого состава возможна только в условиях депо. Трубопроводы со сжатым воздухом и охлаждающей водой, а также электрические кабели подведены к тележкам.

Пневматическое оборудование и тормоза

Система управления

Для управления пневмооборудованием и тормозами на поезде серии 422 используется система EP Compact разработки компании Knorr-Bremse. Разработка этой системы преследовала следующие цели;

- снижение массы и объема;
- упрощение ремонтных работ и концепции технического обслуживания;
- улучшение системных свойств, например сокращение времени срабатывания и отпуска тормозов;

- стандартизация узлов и блоков. Система EP Compact выполняет следующие функции:

- повышение давления в тормозных цилиндрах для прямодействующего и непрямодействующего тормозов;
- контроль нагрузки для прямодействующего и непрямодействующего тормозов;
- экстренное торможение с корректировкой нагрузки;
- управление работой магнитнорельсового тормоза;
- электронное управление пневматическим блоком PU;
- регулирование противобоксовочной защиты;
- управление пружинным аккумулятором энергии.

Электронный модуль управляет торможением и противобоксовочной защитой одной тележки. Эти электронные устройства соединены между собой с помощью информационной шины, не зависящей от системы управления поездом.

Система торможения

Поезд серии 422 оснащен электропневматическим тормозом с микропроцессорным управлением, непрямодействующим пневматическим и стояночным пружинным тормозами, а также электродинамическим на базе тяговых двигателей, переключаемых в генераторный режим. Для режимов тяги и торможения используется защита от юза и боксования, которая предотвращает возможность блокирования колесных пар. Различают несколько видов или режимов торможения.

Служебное торможение. Это прежде всего электродинамическое торможение с возвратом энергии в сеть, поддерживаемое электропневматическим тормозом. При этом электрически тормозится восемь колесных пар. В случае отказа электрического тормоза включается электропневматический. В зависимости от скорости и задаваемых

значений тормозной силы происходит дополнение электрического торможения электропневматическим. Блок управления торможением определяет по тормозной характеристике рабочую точку, соответствующую задаваемому значению дополнительной силы пневматического торможения.

Остановочное торможение. В нижнем диапазоне скорости происходит автоматическое отключение электрического торможения и включение электропневматического. При этом через информационную многофункциональную шину MVB к блокам управления тягой и торможением передается сообщение «Дана команда на остановочное торможение».

Стояночный тормоз. Для затормаживания поезда на стоянке используется стояночный тормоз, потребляющий энергию пружинного аккумулятора. При этом восемь пружинных накопителей воздействуют на шесть колесных пар. Этот тормоз включается вручную, когда поезд остается в отстое или когда машинист покидает кабину. Для включения и отпуска стояночного тормоза используются импульсные магнитные клапаны, смонтированные в каждом из накопителей, на которые подается команда управления, представляющая собой импульс напряжением 110 В.

Ускоренное, экстренное и принудительное торможение. При ускоренном торможении открывается линия отпуска, к которой подключены все клапаны экстренного торможения. При этом происходит механическое торможение всех десяти колесных пар с максимальной силой электропневматического тормоза. При переводе контроллера на позицию ускоренного торможения (последняя позиция в секторе «Торможение») машинист сообщает с атмосферой линию экстренного торможения. То же происходит и при нажатии кнопки аварийного

торможения на пульте машиниста, а также при срабатывании автостопа.

При повороте пассажиром рукоятки стоп-крана также происходит открытие линии экстренного торможения. Машинист может блокировать экстренное торможение соответствующей кнопкой на пульте.

Использование непрямого пневматического тормоза. Этот вид тормоза включается при буксировании или подталкивании другой единицы подвижного состава, причем включение торможения происходит через главную воздушную магистраль. Эта магистраль, проходящая через обе единицы подвижного состава (например, локомотивы или моторвагонные поезда), будучи соединенной с простым воздухораспределителем, допускает упрощенное управление из одного локомотива блоком торможения другого локомотива или же блоком торможения поезда серии 422 из другого сцепленного с ним поезда, оборудованного системой управления торможением МСЖД.

Взаимодействие всех компонентов, относящихся к процессу торможения, регулируется модулем EP Comraft. В его функции также входят автоматическая проба тормозов и диагностика всех тормозных устройств, выполняемые во взаимодействии с системой более высокого уровня MITRAC, осуществляющей общее управление поездом.

В единственной немоторной тележке подвешены устройства магнитно-рельсового тормоза, кото-

рый не учитывается блоком регулирования торможения при расчете величины тормозной силы поезда. Этот тормоз включается только при ускоренном, экстренном или принудительном торможении.

Система снабжения сжатым воздухом

Система снабжения сжатым воздухом с безмасляным компрессором VV 120T размещена в промежуточном вагоне МТВЗ. Система реализована в виде облегченной и компактной конструкции, удобна в эксплуатации и характеризуется низким уровнем излучаемого шума (табл. 2).

Двухкамерный осушитель воздуха по своим характеристикам соответствует производительности компрессора. На входе в систему подготовки воздуха установлен отделитель воды и масла. Последние осаждаются здесь в виде капель. Двухкамерный осушитель содержит два резервуара с водопоглощающим веществом, которые поочередно взаимодействуют с осушаемым воздухом. Когда в одной камере сжатый воздух, поступающий от компрессора, осушается, во второй уже осушенный воздух пропускается через заполняющее ее осушающее вещество. В результате последнее регенерирует. Необходимое для регенерации количество воздуха отделяется от основного потока незадолго до выхода из системы осушки. Здесь достигается высокая степень осушки сжато-

Таблица 2

Технические характеристики компрессора

Параметр	Значение
Производительность, л/мин	735 ±7%
Масса, кг	345
Потребляемая мощность, кВт·А	12,03 +20%/ – 10%
Ток при разгоне, А	124 +20% (при 20 °С)
Пусковой ток, А	227 +20%

го воздуха. Остаточная относительная влажность его ниже 35%, что существенно снижает вероятность коррозии.

Регулирование компрессорной установки осуществляется в зависимости от давления в магистрали главного воздушного резервуара. Компрессор включается отдельным контактором, когда давление в магистрали главного воздушного резервуара снизится до 8,5 бар, а выключается при давлении 10 бар. При эксплуатации поездов по системе многих единиц все компрессоры регулируются одновременно, если достигается минимальное давление. При сбое в системе регулирования предохранительный клапан сбрасывает давление, если оно достигает величины 10,5 бар. Компрессорный агрегат, предохранительный клапан и осушитель воздуха сконструированы в одном модуле, который упруго подвешен в нижней раме вагона. Для накопления воздуха под каждым вагоном имеются воздушные резервуары. От них сжатый воздух может поступать ко всем потребителям, подключенным к магистрали главного воздушного резервуара. Для слива конденсата и выпуска воздуха служит отдельный спускной вентиль. Для питания сжатым воздухом от постороннего источника в каждом вагоне имеется труба с запорным краном, которая подсоединена к магистрали главного резервуара.

Отопление, вентиляция и охлаждение

Установка отопления/вентиляции/охлаждения осуществляет обогрев вагонов с минимальным потреблением энергии из контактной сети и оптимальным использованием тепловых потерь, отводимых в пассажирские салоны от тяговых двигателей, силовой электроники, системы бортового электроснабжения и трансформаторов. В режиме вентиляции благодаря по-

ступлению извне больших объемов свежего воздуха температура в салонах вагона не поднимается выше порога комфорта даже при сильном солнечном излучении. В жаркую погоду забираемый наружный воздух охлаждается до заданной температуры.

Основным элементом системы отопления/вентиляции являются агрегаты НЛКР (отопление/вентиляция/охлаждение/повторное охлаждение), располагающиеся на крыше каждого вагона. Такой агрегат имеет следующие компоненты:

- теплообменник с фильтром и вентилятор для подогрева и охлаждения поступающего воздуха;
- система тепловых насосов для отбора тепла, выделяющегося при охлаждении воздуха;
- электрический проточный нагреватель, включаемый в том случае, когда используемых тепловых потерь недостаточно для обогрева;
- расширительный резервуар;
- охладитель воздуха в пассажирских салонах;
- теплообменник с вентилятором для отвода тепла от контуров охлаждения тяговых двигателей, тяговых преобразователей, системы бортового электроснабжения и трансформаторов, а также для конденсирования рабочего тела в установке, охлаждающей воздух в пассажирском салоне.

В каждом вагоне воздух проходит по продольному каналу и подается в салон через решетки, расположенные с обеих сторон в потолке. Образующийся при этом воздушный валик обеспечивает равномерное распределение воздуха по вагону без образования сквозняков. Отработавший воздух выходит в зоне дверей и попадает в промежуточное пространство между потолком и крышей, откуда с помощью шести статических крышевых вентиляторов выбрасывается в атмосферу. Под десятью сиденьями расположены нагреватели с водно-воздушными теплообменниками, которые

служат для обогрева зоны ног пассажиров. В режиме предварительного обогрева вагонов работают только эти нагреватели. Система регулирования отопления использует результаты измерения температуры воздуха снаружи и в вагонном канале, а также температуры воды в теплообменнике и преобразует их в команды для отдельных агрегатов.

Электрическая часть

Перед разработчиками электрической части была поставлена задача максимального использования решений, реализованных в поезде серии 423.

Размещение компонентов

В соответствии с техническими требованиями компоненты электрической части максимально компоновались в контейнерах и блоках, которые размещаются под кузовом и крепятся к специально проложенным швеллерам.

Установки кондиционирования воздуха и высоковольтное оборудование, в том числе и главный трансформатор, размещены на крыше. Кроме того, электрические и пневматические приборы и сборки расположены в шкафах на задней стенке кабины, в пульте машиниста и на потолке кабины.

Цепь главного тока и тяговый преобразователь

На рис. 5 приведена принципиальная схема электрической части. Токоприемник, расположенный на крыше промежуточного вагона 2, подает напряжение через главные выключатели на два тяговых преобразователя, расположенных в концевых вагонах. Каждый из главных выключателей в случае возникновения неисправности в течение нескольких миллисекунд отключает соответствующую часть электриче-

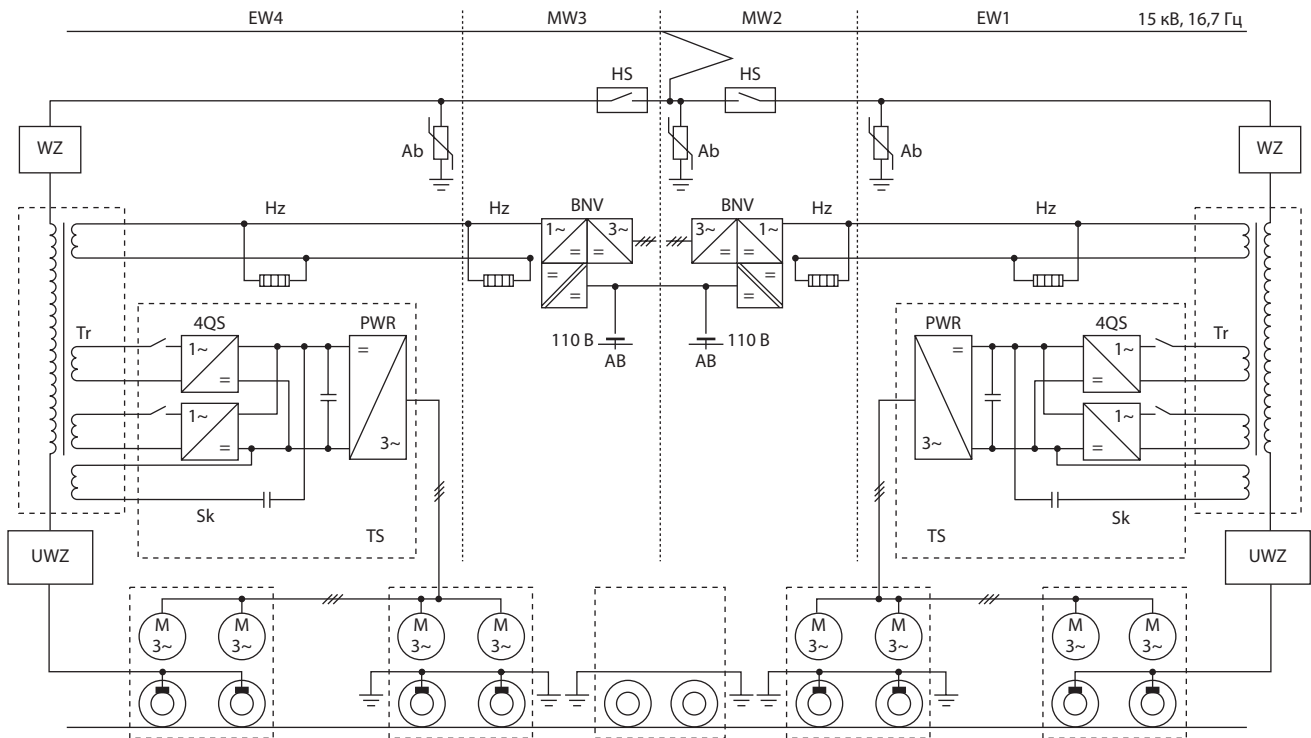


Рис. 5. Схема главного тока поезда серии 422:

EW1, EW4 — концевые вагоны; MW2, MW3 — промежуточные вагоны; WZ — измерительные трансформаторы, счетчик расхода энергии; Ab — разрядник; HS — главный выключатель; Hz — нагреватель системы отопления; BNV — преобразователь питания бортовой сети; AB — аккумуляторная батарея; Tr — главный трансформатор; 4QS — четырехквадрантный входной регулятор; PWR — импульсный инвертор напряжения; Sk — поглощающая цепочка; UWZ — измерительные трансформаторы в цепи обратного тока; TS — тяговый преобразователь; M — тяговый двигатель

ской схемы от контактной сети. Систему питания дополняют измерительные трансформаторы тока и напряжения, а также защита от перенапряжения в виде разрядников.

К главному трансформатору напряжение подводится высоковольтным кабелем. В баке трансформатора, заполненном минеральным маслом, размещен дроссель поглощающей цепи. В одном модуле с трансформатором смонтированы масляный насос и водно-масляный теплообменник. Водяной контур этого теплообменника соединен с контуром охлаждения вагона.

Напряжение 15 кВ частотой 16,7 Гц, поступающее на первичную обмотку трансформатора, понижается до 900 В и подается на входной четырехквадрантный регулятор, осуществляющий выпрямление. Для того чтобы воздействие тягового преобразователя на контактную сеть было минимальным,

тактовое управление регулятором осуществляется по специальному алгоритму. Мощность высших гармоник сети воспринимается поглощающей цепью.

Импульсный инвертор с промежуточным звеном постоянного напряжения формирует из постоянного напряжения трехфазную систему с регулируемой частотой и амплитудой. Основные параметры тягового преобразователя постоянно контролируются. Отклонения от задаваемых значений фиксируются системой диагностики поезда. Состояния, опасные для силовой электроники, своевременно распознаются. В результате этого компоненты оборудования предохраняются от повреждения путем отключения от сети или с помощью подачи запирающих импульсов.

Задачей системы регулирования крутящего момента является быстрая и точная установка мо-

мента с минимальным содержанием высших гармоник. В качестве входных величин системы регулирования используются частота вращения ротора, напряжение промежуточного звена, ток тяговых двигателей, с помощью которых формируется импульсный алгоритм. На основании этого алгоритма с помощью моделирования работы двигателей рассчитывается температура роторов и определяются выходные значения крутящего момента и величины магнитного потока статора. Каждый из тяговых преобразователей подключен к трехфазной системе шин, от которой по параллельной схеме получают питание четыре тяговых двигателя.

Тяговая передача

Конструкция тяговой передачи взята без изменения из проекта поезда 423. Это полуподрессорный

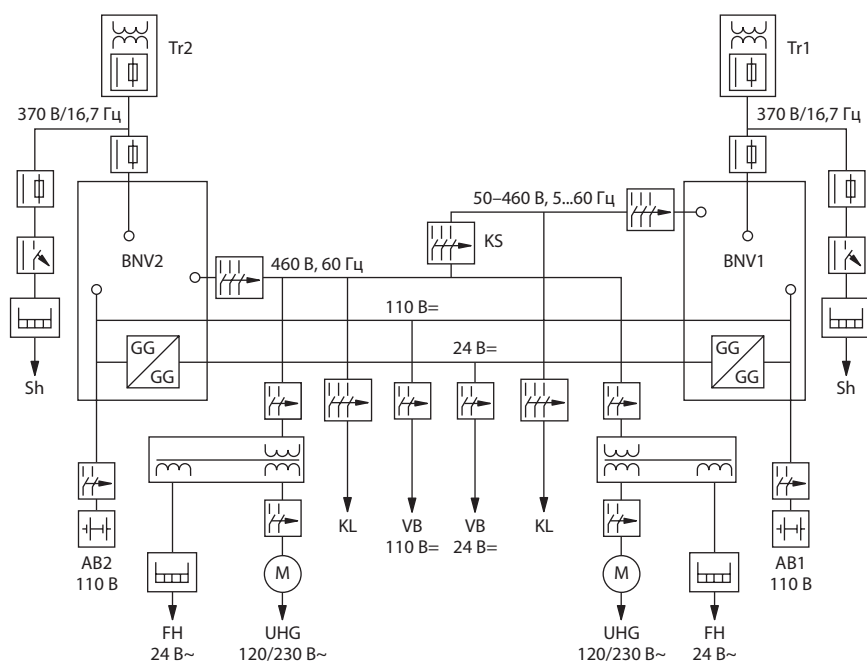


Рис. 6. Бортовая система электроснабжения:

Tr1, Tr2 — главные трансформаторы; KS — шиносоединительный контактор; BNV1, BNV2 — системы преобразователей питания бортовой сети; Sh — обогреватель лобового стекла; GG — преобразователь постоянного/постоянного тока; AB1, AB2 — аккумуляторные батареи; KL — компрессор системы кондиционирования воздуха; VB — прочие потребители; UHG — вентилятор с двигателем однофазного переменного тока; FH — обогреватель ниши для ног машиниста

индивидуальный тяговый привод с водоохлаждаемым тяговым двигателем, цилиндрическим редуктором и упругой пакетной муфтой. Корпуса редуктора и тягового двигателя жестко соединены на болтах и упруго связаны с рамой тележки. Тяговая передача через муфту опирается на середину оси колесной пары.

Четырехполюсный асинхронный трехфазный тяговый двигатель с максимальной частотой вращения 6000 об/мин имеет закрытое исполнение и охлаждается водой. Ротор с одной стороны опирается на подшипник в корпусе редуктора, а с другой — на подшипник в корпусе двигателя. Шестерня редуктора жестко соединена с валом двигателя прессовой посадкой. Все двигатели подключены к общему контуру охлаждения вагона. Охлаждающая жидкость обтекает статор по каналу, выполненному в виде меандра в наружном корпусе двигателя. Тепловые потери ротора, как

и во всех электрических асинхронных машинах закрытого исполнения, передаются через воздушный зазор в статор.

Цилиндрический редуктор имеет передаточное число 1: 6,33. Корпус его изготовлен из чугуна с шаровидным углеродом. Муфта состоит из двух звездочек, одна из которых связана с зубчатым колесом, другая — с осью колесной пары. Обе звездочки соединяются между собой упругими резиновыми пакетами. Такое соединение позволяет упруго компенсировать неизбежные в эксплуатации взаимные смещения редуктора и колесной пары.

Бортовая сеть электроснабжения

В каждом четырехвагонном поезде имеются две одинаковые системы бортового электроснабжения (BNV), каждая из которых подключена к обмотке питания вспомога-

тельных устройств соответствующего главного трансформатора (рис. 6). Бортовая сеть одного промежуточного вагона (табл. 3) питает сборную шину трехфазного тока с регулируемым напряжением (50–460 В) и частотой (5–60 Гц). К ней подключены вентилятор контура охлаждения и компрессор, а также вентилятор конденсирующего звена в установке охлаждения пассажирских салонов. Для снижения уровня излучаемого шума частота питающего напряжения в зависимости от требуемой мощности охлаждения выбирается как можно более низкой.

BNV другого промежуточного вагона питает свою секцию сборных шин трехфазного тока напряжением 460 В и фиксированной частотой 60 Гц. При выходе из строя одной из BNV обе секции сборных шин соединяют и подают на них от рабочей BNV трехфазное напряжение 460 В фиксированной частоты 60 Гц.

Выходы постоянного тока напряжением 110 В обеих BNV соединены со своими секциями сборных шин. К ним через диоды развязки подключены аккумуляторные батареи, расположенные в промежуточном вагоне. Мощность их выбрана так, чтобы при выходе из строя одной BNV отключались от питания лишь самые несущественные потребители.

Регулирование работы вспомогательных преобразователей осуществляется путем оценки параметров, отображающих режим их работы, и подачей команд через многофункциональную информационную шину (MVB). В случае отказа внутренней системы регулирования общая система управления поездом обеспечивает по возможности безотказный режим работы преобразователей, воздействуя на соответствующие контакторы и блоки регулирования. Информация об отказах и режимах работы передается от BNV через

Таблица 3

Технические характеристики системы бортового электроснабжения

Вход/выход	Режим, параметр	Значение параметра	Примечание
Входное напряжение, частота	Нормальный режим	370 В (+20% / – 30%); 16,7 Гц	—
	От постороннего источника	400 В ± 120%; 50 Гц	
Выход 1	Номинальная мощность, кВ·А	90	—
	Номинальный ток, А	130	
	Выходное напряжение, В	50–460 ± 5%	С регулируемой частотой
		460 В ± 5%	С фиксированной частотой
	Выходная частота, Гц	5–60 ± 1%	С регулируемой частотой
60 ± 1%		С фиксированной частотой	
Выход 2	Номинальная мощность, кВт	13	—
	Номинальный ток, А	120	
	Выходное напряжение, В	110 (постоянный ток)	
Выход 3	Номинальная мощность, Вт	500	—
	Выходное напряжение, В	24 ± 5% (постоянный ток)	

поездную шину в систему управления поездом.

Система BNV. Эта система имеет модульную структуру и обеспечивает ограниченное резервирование в случае выхода из строя одного из BNV. При выходе из строя одного из зарядных агрегатов второй почти полностью обеспечивает питание потребителей.

Система BNV имеет водяное охлаждение и состоит из следующих основных компонентов:

- входной фильтр;
- входной повышающий регулятор;
- импульсный трехфазный инвертор напряжением 460 В, частотой 60 Гц; инвертор с выходными регулируемым напряжением (50–460 В) и частотой (5–60 Гц);
- зарядный агрегат напряжением 110 В;
- преобразователь постоянно/постоянного тока (24 В);
- система контроля коротких замыканий;
- выходной фильтр.

Обмен данными осуществляется с помощью многофункциональной шины MVB.

Зарядный агрегат BLG. Зарядный агрегат снабжает вагоны напряжением 110 В постоянного тока. Его мощность выбрана такой, чтобы он мог в параллельном режиме обеспечивать питание всех потребителей в поезде и заряжать полностью разряженные аккумуляторные батареи. Агрегат гарантирует гальваническое разделение потенциалов между входными и выходными цепями. Регулирование в соответствии с зависящей от температуры характеристикой заряда создает условия для оптимального заряда батарей во всем эксплуатационном диапазоне температур. Параметры заряда аккумуляторных батарей свободно программируются в пределах допуска.

В поезде используются свинцовые батареи, постоянно заправленные гелевым электролитом. В

связи с этим в течение всего периода их эксплуатации доливать воду не требуется. Емкость батареи составляет 61 А·ч. Для реализации процесса регулирования зарядного напряжения с учетом температуры аккумуляторы снабжены датчиками температуры. Аккумуляторы имеют двухполюсное исполнение.

Преобразователь постоянно/постоянного тока. Для питания определенной группы потребителей необходимо напряжение 24 В постоянного тока. Для его получения в каждой BNV установлен преобразователь постоянного/постоянного тока 110 В/24 В. Мощность его выбрана такой, чтобы при отказе одного из них второй мог обеспечивать питанием всех потребителей

напряжения 24 В в четырехвагонном поезде.

Питание от постороннего источника. Поезд может получать питание бортовых систем электроснабжения от постороннего источника. В этом режиме обеспечивается питание не только бортовой трехфазной сети, но и шин постоянного тока напряжением 110 В. Пункт подключения внешнего питания расположен в промежуточном вагоне MW3. Для питания используется напряжение трехфазного тока 400 В частотой 50 Гц. Питание от постороннего источника получает только BNV промежуточного вагона MW3, причем выходное трехфазное напряжение имеет фиксированную частоту 50 Гц. Для обеспечения безопасности глав-

ный выключатель поезда отключается при извлечении штекерной вилки из колодки постороннего источника. Возможность неправильного включения разъема исключается благодаря специальному кодированию.

Цепи управления

Для регулирования и диагностики поезда компания Bombardier разработала систему MITRAC® TCMS, которая состоит из компьютерного комплекса, предназначенного для управления на уровнях вагона и поезда, а также специально разработанных сверхбыстродействующих микрокомпьютеров для решения задач, связанных с тяговыми преобразователями.

Структура системы управления. Для выполнения функций управления на уровне вагона служит блок CCU-O, а для диагностики – CCU-D. Интерфейс пользователя (HMI) реализован на двух дисплеях, один из которых (MTD) отображает технические параметры, а второй (MFD) является многофункциональным.

Приборы ввода/вывода через шину MVB и блок CCU-O управляют различными функциями поезда. На каждый такой прибор приходится три модуля ввода/вывода. В свою очередь, каждый модуль управляет двумя группами, каждая из которых содержит по шесть каналов ввода и шесть гальванически разделенных каналов вывода.

Для обмена информацией между отдельными компонентами оборудования и системой управления служат разные виды информационных шин, оптимизированных в отношении выполняемых функций. В составе из нескольких (до трех) базовых четырехвагонных поездов обмен данными между ними производится через поездную шину WTB, а в каждом базовом поезде обмен информацией осуществляется между разными уровнями систе-

мы управления и периферийными устройствами с помощью многофункциональной шины MVB.

Центральная система управления поездам содержит следующие модули программного обеспечения:

- управление базовым поездам в режимах тяги и торможения;
- общее управление базовым поездам;
- подготовка диагностических данных;
- управление подсистемами (например, компрессорами, преобразователями, системой освещения и др.) через прибор вывода данных или непосредственно через шину MVB;
- обеспечение безопасности движения.

Центральным пунктом ввода и вывода данных является пульт машиниста с контроллером, реверсором, элементами управления и контроля (кнопки, тумблеры, переключатели, контрольные лампы), а также с терминалом для вывода данных и сообщений, поступающих от подсистем. Кроме того, в кабине расположены другие информационные устройства, в том числе сигнализирующие о неисправностях с выводом рекомендательных текстов, облегчающих диагностику и устранение сбоев.

Неисправности в отдельных системах обнаруживает система диагностики, которая помещает информацию о них в запоминающее устройство, сопровождая ее дополнительными данными (дата, время и зона локализации). В поезде, составленном из нескольких базовых секций, осуществляется обмен данными также между ведущим поездам и ведомыми. Центральная система управления организует транспорт информации по всем подключенным к ней каналам, обрабатывает принимаемые данные и отображает на дисплее машиниста данные об эксплуатационном состоянии систем, неисправностях и мерах по их устранению.

Регулирование тяги и торможения. Регулирование режимов работы асинхронных трехфазных тяговых двигателей осуществляется путем ввода задаваемых значений параметров, изменяемых ступенями. Для этого служат несколько быстродействующих процессоров, смонтированных в отдельную группу, так называемый блок регулирования тягового привода (TCU). Этот блок обрабатывает задаваемое значение, передаваемое по шине MVB от центральной системы управления поездам, преобразует его в команду управления силовой электроникой соответствующего концевого вагона и контролирует правильное выполнение этой команды. Блок TCU и силовая электроника скомпонованы в тяговый агрегат.

Блок управления торможением (GU) воспринимает и выполняет все команды, подаваемые на тормоза всех типов. Он получает всю необходимую информацию через шину MVB, а также по другим линиям управления.

Управление дверьми. Поезд серии 422 имеет 24 входные двери поворотного-прижимного типа с электрическим приводом. Управление ими осуществляется с помощью локальных устройств управления (LTG). Эти устройства связаны между собой через интерфейсы RS485 и через шину MVB с верхним уровнем управления дверьми центральной системы управления. При этом в каждом вагоне два устройства LTG подключены к шине MVB.

Открытие отдельной двери осуществляется пассажиром нажатием кнопки (внутри или снаружи) после остановки поезда и снятия машинистом блокировки. Закрываются двери автоматически через 4 с после прекращения потока пассажиров в обоих направлениях (контролируется фотоэлементом и световой сеткой) или машинистом с помощью централизованной команды. Процесс закрывания визуальнo контролируется машинистом из кабины,

для чего снаружи тамбура и внутри установлены специальные сигнальные лампы. Кроме того, машинист имеет возможность акустического контроля.

Информация для пассажиров. Система информирования пассажиров (FIS) содержит электроакустическую установку с цифровым запоминающим устройством для передаваемых через трансляционную сеть сообщений о текущих остановках, а также для информационных надписей, отображаемых внутри вагона и снаружи. Кроме того, эта установка включает в себя блок обработки команд, посылаемых с центрального блока управления.

Линейные данные участка, необходимые для управления установкой, также загружаются в запоминающее устройство системы FIS. Перед поездкой машинист задает маршрут (участок со станциями отправления и назначения). По информации о пройденном пути и времени последней стоянки с разблокированными дверями система FIS формирует голосовое сообщение о следующей остановке и текст соответствующей информации, выводимой на табло.

Система FIS базируется на так называемом комбинированном блоке. Он состоит из цифрового запоминающего устройства голосовых сообщений, прибора управления IBIS/DIAS, приемника синхронизации времени по радио, а также интерфейса с системой управления поездом в виде шины MVB. Комбинированный блок служит для автоматизации формирования голосовых сообщений и текстов, отображаемых на табло. Во время поездки возможно вмешательство машиниста в работу терминала. Информа-

ционные тексты с помощью собственной информационной вагонной шины IBIS распределяются между соответствующими табло и дисплеями.

Помимо автоматических голосовых сообщений, возможны также объявления, передаваемые машинистом через микрофон по сети громкоговорящей связи. Соответствующие динамики размещены на потолке вместе с полосой светильников. В каждом тамбуре имеется переговорное устройство для связи с машинистом. Для объявлений, предназначенных пассажирам на платформе, используются наружные динамики, смонтированные с обеих сторон на крыше поезда.

Видеоконтроль. Вагоны поезда оборудованы видеустановкой для наблюдения за пассажирскими салонами. На потолке каждого пассажирского салона установлены четыре цветные аналоговые видеокамеры. В каждом вагоне информация с камер поступает на устройства сжатия данных (ENCODER), размещенные в зоне дверей, а оттуда на центральный блок вывода изображений.

Автоматическая локомотивная сигнализация. Локомотивная сигнализация EBI Cab 500 PZB разработана компанией Bombardier для использования на подвижном составе сети железных дорог Германии. С помощью этой системы покрывается полный объем функций точечной АЛС типа PZB 90. Система контролирует в непрерывном режиме допустимую скорость поезда и в случае ее превышения включает принудительное торможение. В систему EBI Cab 500 PZB интегрировано устройство, записывающее на магнитную ленту проходящую информацию. Ввод данных,

необходимых для работы PZB, осуществляется с помощью терминала, смонтированного на пульте. Ввод и вывод на экран диагностической информации во время поездки производится с помощью соответствующих кнопок и переключателей, а также с использованием терминала машиниста. Основой системы является 19-дюймовая стойка с выдвигаемыми блоками, смонтированная в шкафу на задней стенке кабины. В системе использовано максимальное количество блоков и устройств, разработанных компанией Bombardier ранее и уже допущенных к эксплуатации.

Система EBI Cab 500 PZB подключена к многофункциональной шине MVB. При создании ее антенны использовался опыт, накопленный при разработке системы EBI Cab 2000 DES PZB STM. При этом модифицированы были лишь механические детали крепления.

Заключение и выводы

Первые поезда серии 422 появились в ноябре 2008 г. К моменту перехода на зимний график движения в декабре этого же года эксплуатация линий S2 и S7 городских железных дорог региона Рейн-Рур была полностью переведена на поезда этой серии. По состоянию на конец 2008 г. отделение компании DB Regio в земле Северный Рейн-Вестфалия имело уже 23 поезда серии 422. Завершение поставок было запланировано на осень 2010 г. Контрактом предусмотрен также опцион на поставку этих поездов.

A. Brüggemann et al. ZEVrail, 2009, № 3, S. 84–99; материалы компаний Alstom и Bombardier; www.bahn.de