



НОВЫЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗД ЭТ4А

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОПОЕЗДЕ

Электропоезд ЭТ4А модели 62-9003 с максимальной скоростью в эксплуатации 120 км/ч предназначен для обеспечения пригородных пассажирских перевозок на электрифицированных участках железных дорог колеи 1520 мм, оснащенных высокими и низкими платформами (соответственно 1100 и 200 мм), с питанием от контактной сети постоянного тока с номинальным напряжением 3000 В.

Электропоезд разработан для замены устаревшей серии ЭТ2М с коллекторным тяговым приводом. Обозначение ЭТ4А означает «Электропоезд Торжковский, 4-й модификации, Асинхронный».

ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ

В 1994 г. специалисты ОАО «ТорВЗ» совместно с ЗАО «ЦНИИ «ТЭП»» начали работы по созданию пригородного электропоезда серии ЭТ2А с асинхронным тяговым приводом. Опытный четырехвагонный электропоезд, состоящий из двух головных и двух моторных вагонов, был построен в Торжке в 1999 г.

В 2002 г. были проведены его приемочные испытания. Результаты испытаний были рассмотрены в январе 2003 г. приемочной комиссией МПС России. По итогам работы комиссия рекомендовала руководителям завода ОАО «ТорВЗ» доработать и представить электропоезд на контрольные испытания. Однако из-за низкой надежности тяговых электродвигателей и ряда других показателей электропоезд ЭТ2А в серийное производство запущен не был.

В 2000 г. ОАО «ДМЗ» (г. Демидов) разработало и изготовило экспериментальный электропоезд нового поколения ЭД6 с тяговым преобразователем фирмы «Hitachi» (Япония), унифицированным асинхронным тяговым приводом и микропроцессорной системой управления. Электропоезд предназначался для перевозки пассажиров в пригородном сообщении на электрифицированных участках дорог колеи 1520 мм с напряжением в контактной сети 3000 В. К сожалению, в ходе испытаний были выявлены серьезные недостатки, которые не позволи-

Для совершенствования и повышения качества пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте была принята Федеральная целевая программа «Разработка и производство пассажирского подвижного состава нового поколения на предприятиях России». В соответствии с ней специалисты отечественных предприятий ОАО «ТорВЗ» (г. Торжок), ЗАО «ЦНИИ «ТЭП»» (г. Санкт-Петербург), ОАО НПП «Дальняя связь» (г. Санкт-Петербург), ОАО «Электроаппарат» (г. Малая Вишера) спроектировали и построили опытный электропоезд нового поколения серии ЭТ4А с асинхронным тяговым приводом, отвечающий современным требованиям по безопасности и комфорту пассажиров.

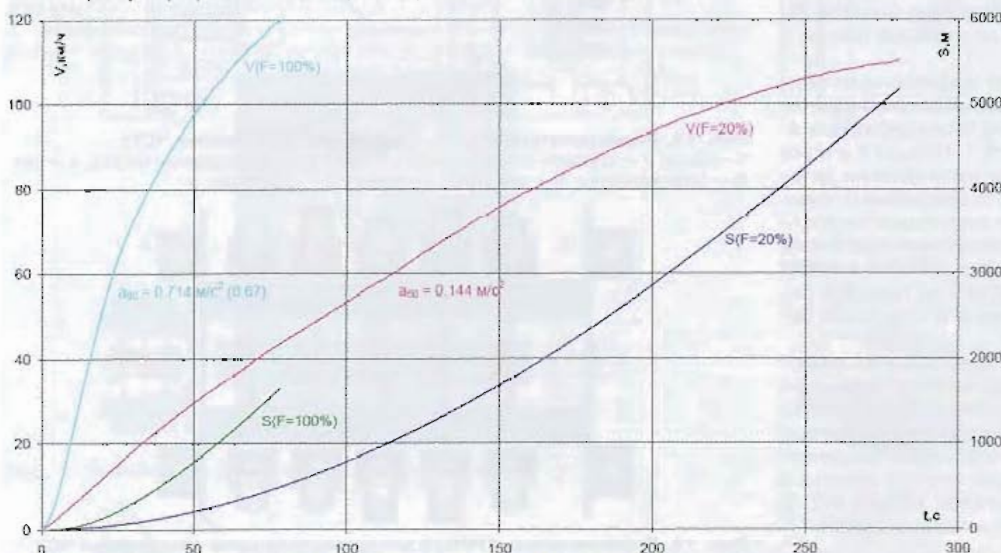


Рис. 1. Разгонные характеристики электропоезда ЭТ4А

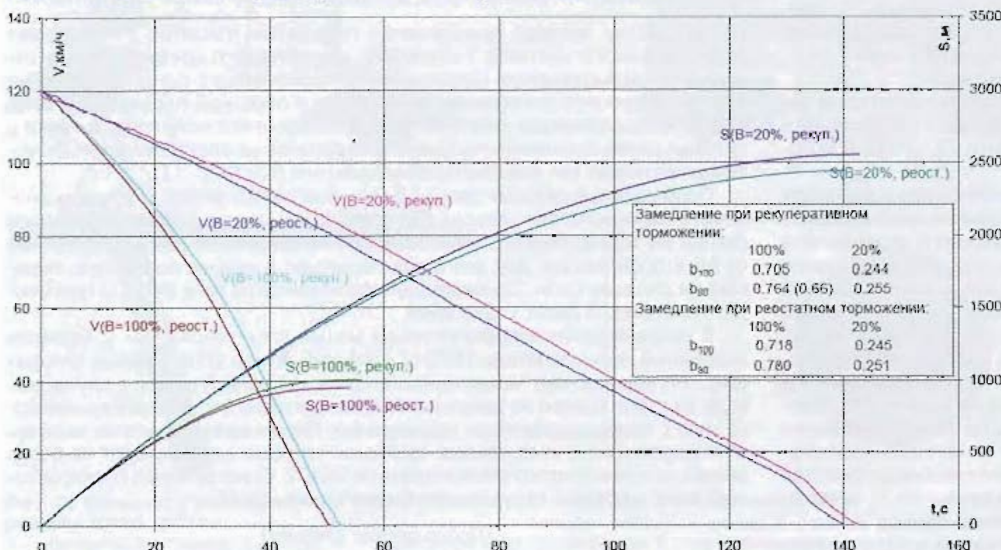


Рис. 2. Тормозные характеристики электропоезда ЭТ4А

ли организовать серийное производство электропоездов. В настоящее время опытный образец электропоезда ЭД6 находится на полигоне ОмГУПС.

В 2005 г. руководством ОАО «РЖД» на основе опыта создания электропоездов ЭТ2А и ЭД6 было утверждено решение «О порядке организации работ по созданию перспективного пригородного электропоезда с асинхронным тяговым приводом», а в июле 2008 г. согласовано техническое задание на поезд ЭТ4А.

При проектировании специалисты ЗАО «ЦНИИ «ТЭП»» решали задачи создания современного пригородного электропоезда с уменьшенным временем разгона и торможения, увеличенной скоростью движения, пониженным расходом электроэнергии, низкими эксплуатационными затратами. По завершению проектирования в 2010 г. руководство ОАО «РЖД» заключило с ОАО «ТорВЗ» договор на поставку шестивагонного электропоезда ЭТ4А с асинхронным тяговым приводом.

В апреле 2011 г. поезд был готов к проведению испытаний, и 11 мая того же года состоялась первая пробная поездка по Экспериментальному кольцу ОАО «ВНИИЖТ» (г. Щербинка). ЭТ4А успешно совершил предварительный контрольный пробег протяженностью 5000 км. В июле 2011 г. электропоезд был отправлен на специальный скоростной испытательный полигон Северо-Кавказской железной дороги (ст. Белореченская — ст. Майкоп) для проведения комплекса приемочных и сертификационных испытаний. В течение 2011 г. специалистами испытательных центров ОАО «ВНИИЖТ» и ФГУП «ВНИИЖГ» были проведены все необходимые испытания, в том числе динамические, по воздействию на путь, тягово-энергетические, тепловые, динамико-прочностные, тормозные и др.

На рис. 1 и 2 представлены разгонные и тормозные характеристики электропоезда с максимальной (100 %) и пониженной (20 %) уставками сил тяги и электрического торможения. На рис. 3 и 4 показаны сила тяги моторного вагона с расчетным ограничением по сцеплению и силы торможения при реостатном и рекуперативном торможениях. На рис. 5 приведен коэффициент полезного действия тягового преобразователя в режимах тяги и рекуперативного торможения.

В октябре 2011 г. шестивагонный электропоезд ЭТ4А, состоящий из двух головных, трех моторных и одного прицепного вагонов, успешно прошел ходовые испытания на участке Москва — Тула. По результатам сертификационных испытаний 25 апреля 2012 г. ФБУ «Регистр сертификации на федеральном железнодорожном транспорте» выдал сертификат соответствия электропоездам серии ЭТ4А.

ЭТ4А стал первым электропоездом постоянного тока с асинхронным тяговым приводом отечественной разработки.

22 мая 2012 г. ЭТ4А-001 был передан в локомотивное депо Санкт-Петербург-Балтийский (ТЧ-15) для проведения подконтрольной эксплуатации. 8 июня состоялась его презентация, а 9 июня

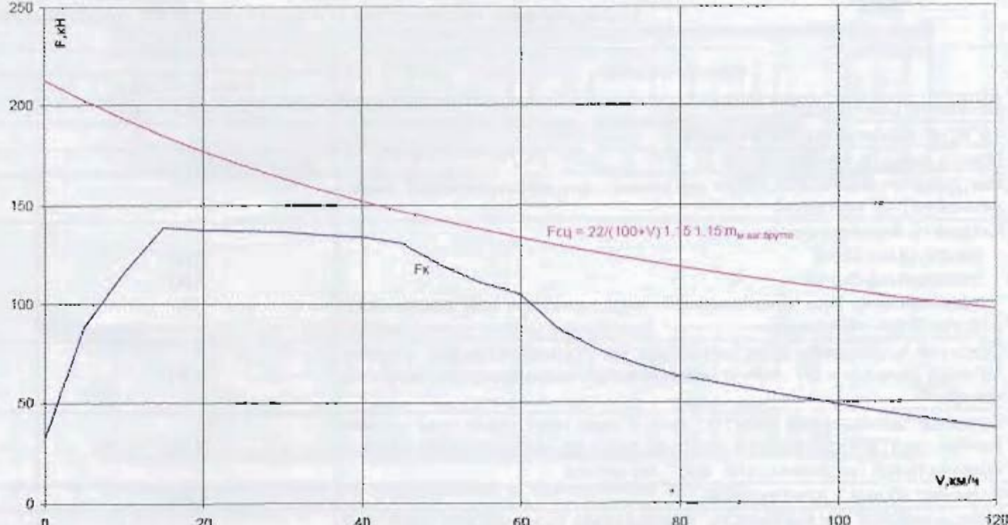


Рис. 3. Сила тяги моторного вагона и расчетное ограничение по сцеплению

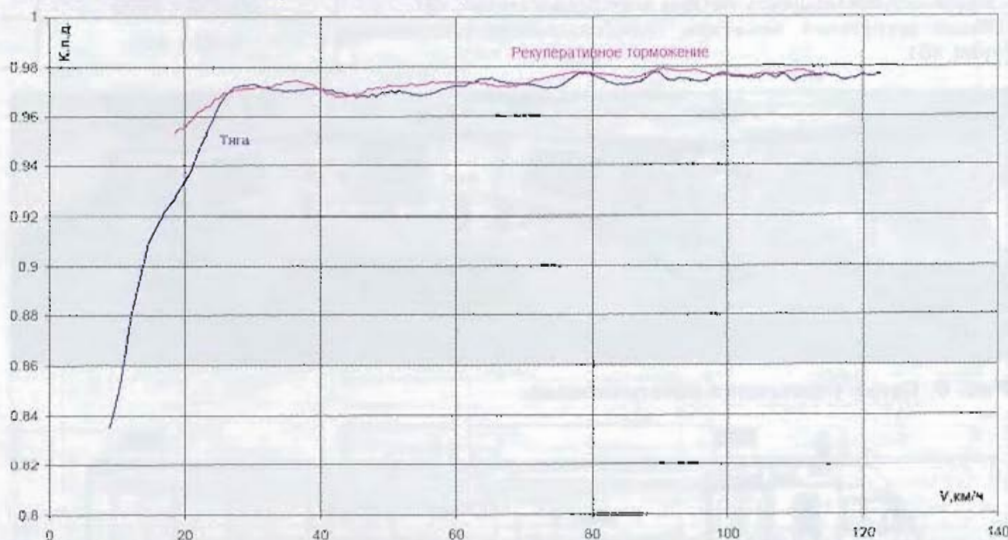


Рис. 4. Сила торможения моторного вагона при реостатном и рекуперативном торможениях

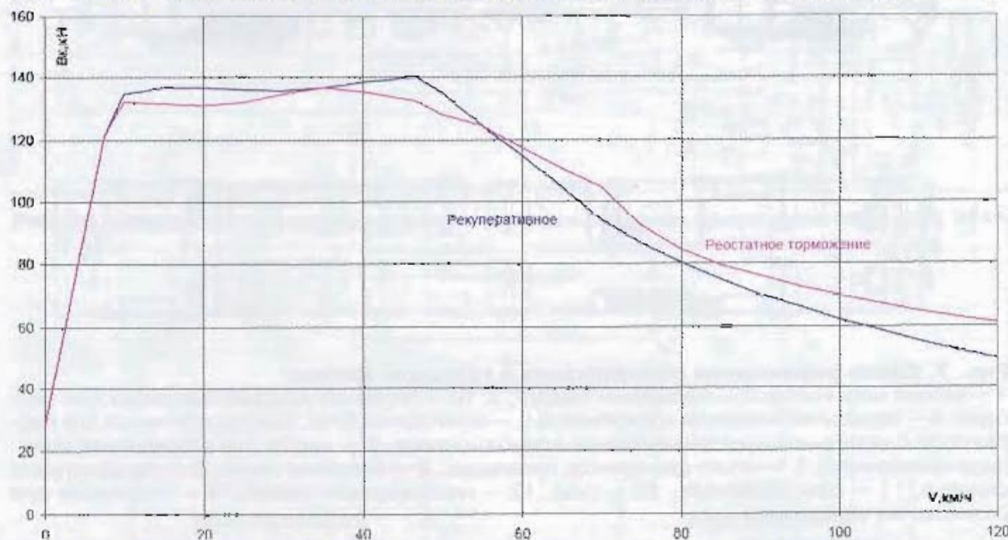


Рис. 5. Коэффициент полезного действия тягового преобразователя

2012 г. ЭТ4А-001 совершил свою первую поездку с пассажирами. В настоящее время электропоезд эксплуатируется на участке Санкт-Петербург — Луга.

КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

Основные параметры и характеристики электропоезда ЭТ4А приведены в таблице.

Составность электропоезда (основная) — 11 вагонов (Г+М+П+М+П+М+М+П+П+М+Г, где Г — головной вагон, М — моторный, П — прицепной).

Допускается формирование поезда из двенадцати, десяти, девяти, восьми,

семи, шести, пяти и четырех вагонов по следующим схемам:

- ◆ 12 вагонов — (Г+М)+(П+М)+(П+М)+(М+П)+(М+П)+(М+Г) или (Г+М)+(П+П+М)+(М+П+П)+(М+П)+(М+Г);
- ◆ 10 вагонов — (Г+М)+(П+М)+(М+П)+(М+П)+(М+Г) или (Г+М)+(П+П+М)+(М+П+П)+(М+Г);
- ◆ 9 вагонов — (Г+М)+(М+П)+(М+П+П)+(М+Г);
- ◆ 8 вагонов — (Г+М)+(П+М)+(М+П)+(М+Г);
- ◆ 7 вагонов — (Г+М)+(М+П+П)+(М+Г);
- ◆ 6 вагонов — (Г+М)+(П+М)+(М+Г);
- ◆ 5 вагонов — (Г+М)+(М+П+Г);
- ◆ 4 вагона — (Г+М)+(М+Г).

Наименование	Значение			
	Электропоезд (2Г)+(5М)+(4П)	Вагоны		
Основная составность		Г	М	П
Габарит вагонов по ГОСТ—9238		Т с верхним очертанием «а»		
Масса тары, т, не более	607,2	51	63,2	47,4
Нагрузка от колесной пары на рельс при максимальной населенности, тс, не более	—	17,5	21,5	17
Скорость электропоезда, км/ч:				
конструкционная	120	—	—	—
эксплуатационная	120	—	—	—
техническая, при номинальной населенности для расчетного участка 3 км, не менее	75	—	—	—
Среднее ускорение электропоезда на горизонтальном участке пути до скорости 60 км/ч и номинальной населенности, м/с ² , не менее	0,71	—	—	—
Среднее замедление электропоезда при электрическом торможении на горизонтальном участке пути со скорости 80 км/ч и номинальной населенности, м/с ² , не менее	0,76	—	—	—
Количество мест для сидения	1092	60	108	
Максимальная населенность, пассажиров (количество мест для сидения плюс 7 пассажиров на 1 м ² свободной площади)	3200	250	300	
Общая часовая мощность тяговых электродвигателей, кВт	20×450 = 9000	—	4×450 = 1800	—
Общая длительная мощность преобразователя собственных нужд, кВт	6×80 = 480	80	—	80



Рис. 6. Пульт управления электропоезда

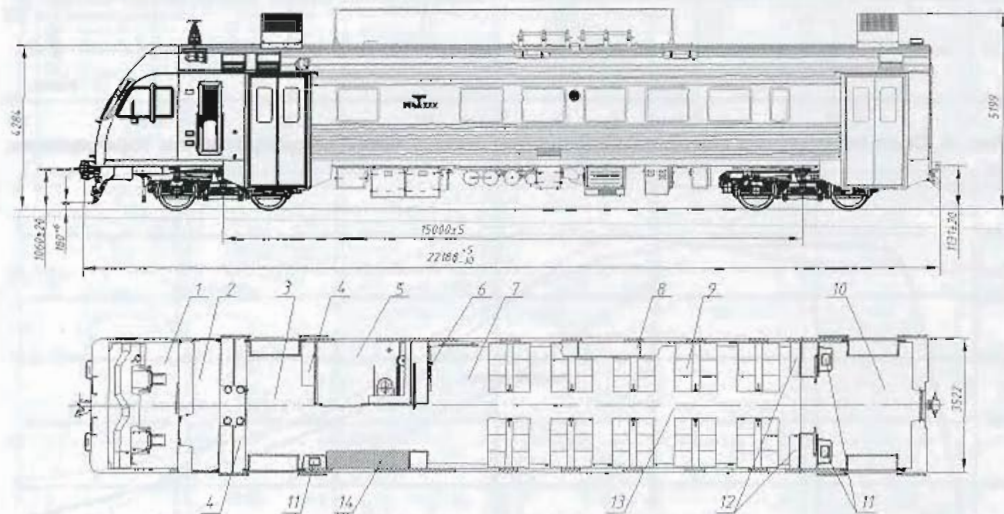


Рис. 7. Схема размещения оборудования в головном вагоне:

1 — кабина машиниста; 2 — служебный тамбур; 3, 10 — передний и задний пассажирские тамбуры; 4 — подъемник инвалида-колясочника; 5 — санитарный блок, приспособленный для пассажиров с ограниченными физическими возможностями; 6 — место для размещения инвалида-колясочника; 7 — место для колясок инвалидов; 8 — багажная полка; 9 — пассажирское сиденье; 11 — мусоросборник; 12 — стол; 13 — пассажирский салон; 14 — отделение для размещения велосипеда

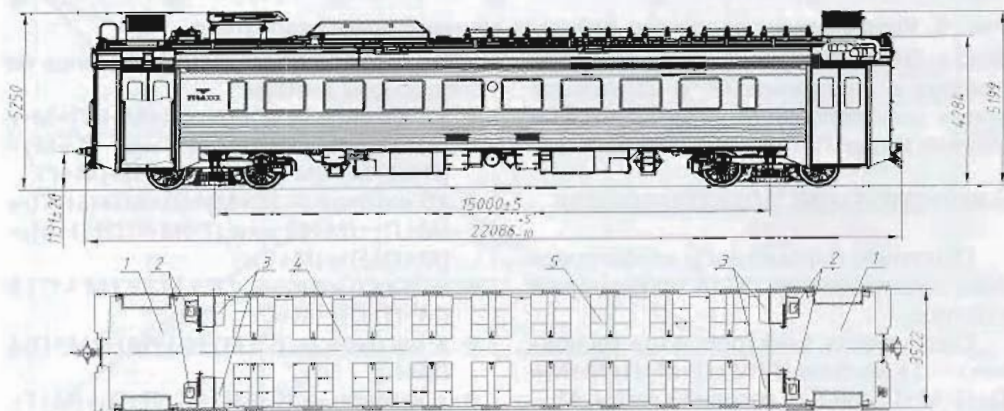


Рис. 8. Схема размещения оборудования в моторном вагоне:

1 — пассажирский тамбур; 2 — мусоросборник; 3 — стол; 4 — пассажирский салон; 5 — пассажирское сиденье

Электропоезда возможно эксплуатировать по системе многих единиц, при этом максимальное количество вагонов не должно превышать четырнадцати. Управление сдвоенным поездом осуществляется из кабины машиниста первого по ходу движения головного вагона.

Главной особенностью электропоезда является тяговый электропривод с асинхронными тяговыми двигателями с питанием от силовых тяговых преобразователей по блочной схеме: каждый тяговый двигатель питается от индивидуального тягового преобразователя. Тяговый преобразователь представляет собой трехуровневый автономный инвертор напряжения на силовых высоковольтных IGBT-транзисторах.

Система управления тягового преобразователя обеспечивает его работу в тяговом и рекуперативном режимах. Кроме того, дополнительно встроенный тормозной преобразователь (чопер на IGBT-транзисторах) обеспечивает реализацию реостатного торможения с гашением мощности на тормозных резисторах, установленных на крыше моторного вагона.

Охлаждение тяговых двигателей, тяговых и тормозных преобразователей — воздушно-принудительное. Охлаждение дросселей энергетического фильтра — естественное, набегающим потоком воздуха. Для питания потребителей системы собственных нужд в головных и прицепных вагонах установлены специальные статические преобразователи на IGBT-транзисторах.

Применение асинхронного тягового привода позволяет управлять тяговым усилием каждой оси колесной пары в отдельности, улучшая плавность хода поезда во всем диапазоне скоростей (от нуля до максимальной скорости 120 км/ч и обратно) и комфорт проезда пассажиров, обеспечивает высокие тягово-энергетические характеристики электропоезда, способствует снижению эксплуатационных расходов.

В конструкции электропоезда ЭТ4А применены:

- автоматическое управление тягой и электрическим торможением;

- система автоматического поддержания скорости;
- асимметричный токоприемник;
- промежуточная жесткая беззазорная автосцепка;
- система обеспечения микроклимата в cabinaх машиниста и пассажирских салонах;
- вентиляция тамбуров;
- освещение салонов энергосберегающими светодиодными световыми линиями;
- светодиодный прожектор;
- система видеонаблюдения салонов и тамбуров вагонов;
- система видеоконтроля посадки и высадки пассажиров.

На рис. 6 — 10 показаны пульт управления, схемы размещения оборудования на головном, моторном и прицепном вагонах, электрическая схема силовых и вспомогательных цепей ЭТ4А.

Силовая схема моторного вагона электропоезда (рис. 11) включает в себя:

- токоприемник типа ЛА-160-800 производства ЗАО «Селена Электро-транспорт», предназначенный для движения со скоростями до 160 км/ч, рассчитанный при движении на длительный ток 800 А;
- высоковольтный разъединитель RS 03 10 фирмы «Secheron» (Швейцария) с электрическим приводом. Номинальное коммутируемое напряжение — 3,6 кВ постоянного тока, длительный термический ток контактов — 1000 А. В выключенном состоянии разъединитель обеспечивает заземление всех высоковольтных цепей электропоезда;
- быстродействующий выключатель UR 26 64 фирмы «Secheron» (Швейцария) с номинальным напряжением 3,6 кВ, током 2,6 кА и регулируемым мгновенным расцеплением прямого действия по токовой перегрузке 1,4 — 2,7 кА;

Высоковольтный разъединитель и быстродействующий выключатель, изготовленные в специальном транспортном исполнении, испытаны в России и имеют соответствующие сертификаты.

- автономный инвертор напряжения (разработка ЗАО «ЦНИИ «ТЭП»), выполненный на IGBT-транзисторах. Для формирования трехфазного синусоидального напряжения питания асинхронных тяговых двигателей применяется высокочастотная широтно-импульсная модуляция. Инвертор сохраняет работоспособность при возникновении переходных режимов вследствие изменения напряжения на контактом про-воде в пределах 2200 — 4100 В, обеспечивает автоматическое повторное включение при восстановлении входного напряжения после его снятия. В инверторе реализованы следующие виды защит и диагностики:

- защита от превышения выходного тока;
- защита от превышения входного напряжения;
- защита от выхода напряжения цепей питания за допустимые пределы;
- защита от превышения температуры охладителей силовых приборов;
- защита от выхода из строя датчика скорости ротора двигателя;

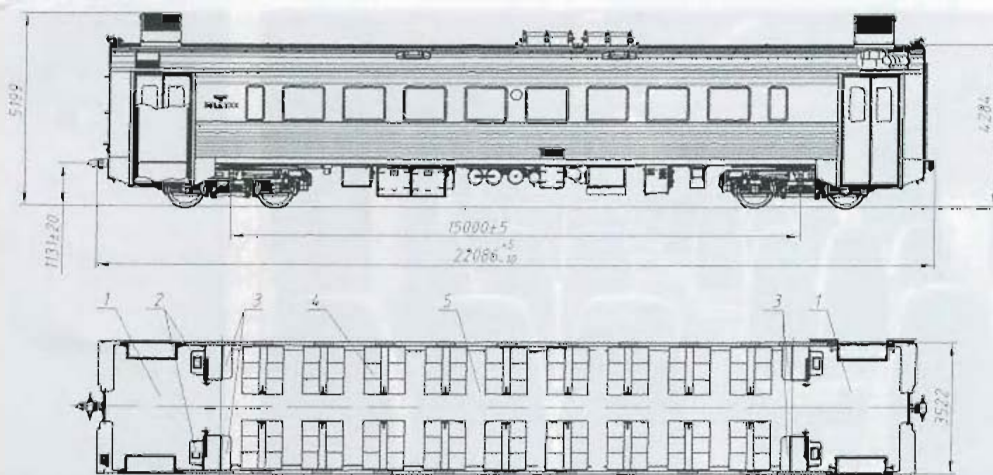


Рис. 9. Схема размещения оборудования в прицепном вагоне: 1 — пассажирский тамбур; 2 — мусоросборник; 3 — стол; 4 — пассажирское сиденье; 5 — пассажирский салон

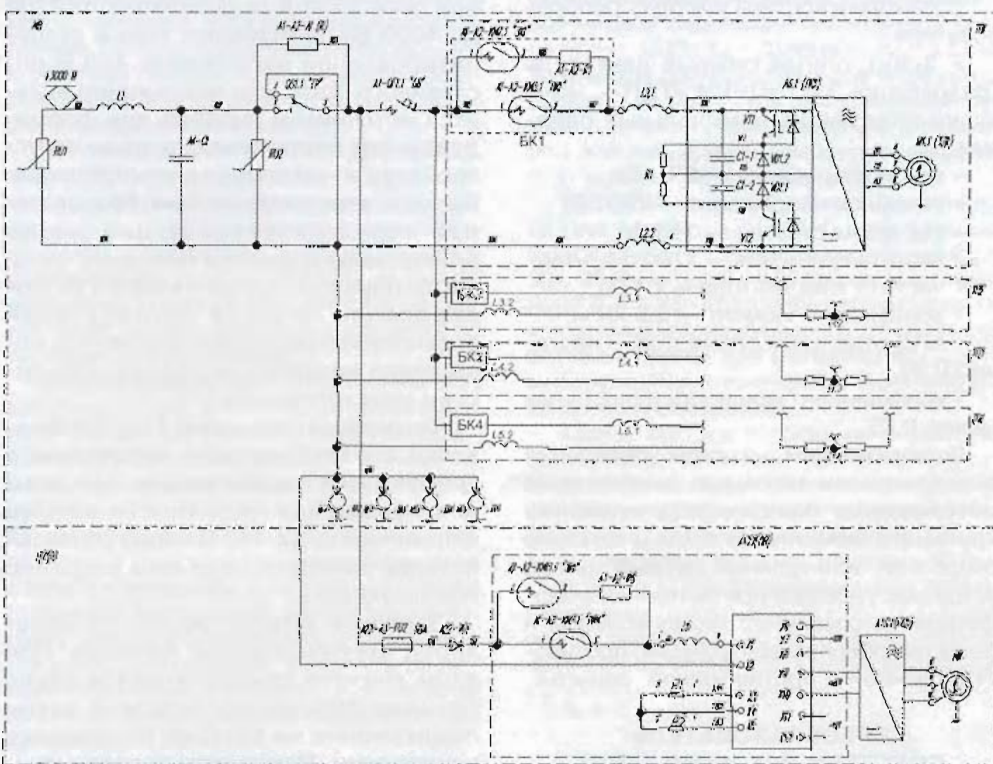


Рис. 10. Электрическая схема силовых и вспомогательных цепей электропоезда ЭТ4А



Рис. 11. Принципиальная силовая схема моторного вагона электропоезда



Рис. 12. Пассажирский салон электропоезда



Рис. 13. Санитарный блок, приспособленный для пассажиров с ограниченными физическими возможностями

• самодиагностика систем преобразователя.

➤ асинхронный тяговый двигатель (разработка ЗАО «ЦНИИ «ТЭП»), имеющий следующие номинальные параметры:

- мощность на валу — 450 кВт;
- линейное напряжение — 2200 В;
- ток фазы статора — 153 А;
- частота вращения — 1100 об./мин;
- частота тока статора — 61 Гц;
- вращающий момент — 3,9 кН·м;
- КПД отдельных элементов — не менее 0,93;
- коэффициент мощности ($\cos \varphi$) — не менее 0,83.

Реализованный алгоритм управления асинхронными тяговыми двигателями обеспечивает плавное регулирование крутящего момента во всем диапазоне скоростей, асинхронный тяговый привод устойчиво работает при различных коэффициентах сцепления между колесом и рельсом, обеспечивая функцию противобоксовочной и противоюзной защиты.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СОБСТВЕННЫХ НУЖД (ПСН)

Питание цепей собственных нужд электропоезда осуществляется от статического ПСН (разработка ЗАО «ЦНИИ «ТЭП») мощностью 80 кВт, работающего на секцию (головной + моторный или прицепной + моторный вагоны). Мощность ПСН не затрачивается на питание цепей возбуждения тяговых двигателей при торможении, что обеспечивает устойчивый баланс мощности цепей собственных нужд. Преобразователь выполнен по блочной схеме и состоит из следующих элементов:

- входной преобразователь;
- формирователь цепей 110 В постоянного тока;
- формирователь цепей 220 В переменного тока частотой 50 Гц;
- зарядное устройство аккумуляторной батареи;
- инвертор компрессора;
- стабилизатор напряжения 110 В постоянного тока.

Входной преобразователь выполнен на IGBT-транзисторах, имеет гальваническую развязку между входным и выходным напряжениями и служит для преобразования напряжения контакт-

ной сети 3000 В (в диапазоне от 2200 до 4000 В) постоянного тока в стабилизированное напряжение 450 В постоянного тока. Это напряжение является источником питания для формирователей напряжений, зарядного устройства и инверторов компрессора. Выходы всех входных преобразователей через развязывающие диоды объединены в единую поездную сеть. Таким образом, осуществляется резервирование питания потребителей электроэнергии и, соответственно, повышение надежности работы всех систем электропоезда.

Формирователи цепей 110/220 В создают соответствующие напряжения с требуемыми параметрами, при этом для повышения надежности выходы формирователей 110 В через развязывающие диоды объединены в единую поездную сеть.

Зарядное устройство обеспечивает заряд аккумуляторной батареи. При этом вначале осуществляется заряд батареи постоянным током, а затем поддержание на батарее постоянного напряжения. Параметры заряда меняются в зависимости от температуры окружающей среды.

Инверторы системы собственных нужд обеспечивают плавный пуск приводов винтовых компрессоров пневмосистемы поезда и компрессоров климатической установки, тем самым повышая их надежность.

Система управления и диагностирования электропоезда (разработка ЗАО «ЦНИИ «ТЭП») реализует функции управления движением, защиты, информации, диагностики, охраны и мониторинга ремонтных работ.

Функция управления движением включает в себя управление движением электропоезда, тяговым и вспомогательным оборудованием поезда.

Функция защиты определяет для всех систем управление граничными по безопасности режимами и предотвращает выход их параметров за допустимые пределы.

Функция информации включает в себя сбор и хранение параметров движения электропоезда, параметров состояния систем и оборудования.

Функция диагностики и мониторинга ремонтных работ позволяет обслуживать

и ремонтировать электропоезд по фактическому состоянию.

ОСНАЩЕНИЕ ПАССАЖИРСКОГО САЛОНА

Для повышения качества обслуживания пассажиров в конструкцию электропоезда внесены множество изменений. На рис. 12 представлен пассажирский салон. Для обеспечения быстрой и безопасной посадки и высадки пассажиров на высокие и низкие платформы установлены широкие прислонно-сдвижные двери, увеличен дверной проем входных дверей до 1250 мм, увеличена площадь тамбура.

Система микроклимата электропоезда позволяет выдерживать требуемые санитарно-эпидемиологические параметры микроклимата во всем диапазоне рабочих температур окружающей среды.

При проектировании были учтены требования для беспрепятственного пользования электропоездом пассажирами с ограниченными физическими возможностями. Головные вагоны электропоезда оснащены устройствами для подъема людей в инвалидных колясках с низких платформ, местами для размещения и закрепления инвалидных колясок, специальными санитарными блоками, адаптированными для данной категории пассажиров (рис. 13).

ПЕРСПЕКТИВЫ

Электропоезд ЭТ4А является базовой переходной моделью для проверки в эксплуатации разработанного и изготовленного предприятиями России асинхронного тягового привода. Ближайшей перспективой является создание подвижного состава отечественного производства с асинхронным тяговым приводом с максимальной скоростью 160 км/ч.

Е.Г. ЯНЧЕНКО,

начальник отдела Департамента технической политики ОАО «РЖД»,

Д.Е. КИРЮШИН,

канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Электропоезда» ОАО «ВНИИЖТ»,

В.П. ШИЛКИН,

доктор техн. наук, заместитель директора

Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства ОАО «РЖД»