УДК 629.592

ТОРМОЗНАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЭКР1

Сафронов А. М., Крамаренко М.В, Лутонин С.В., Водянников Ю. Я.

BRAKE SYSTEM OF HIGH-SPEED ELECTRIC TRAIN EKR1

Safronov O.M., Kramarenko M.V., Lutonin S.V., Vodyannikov Yu. Ya.

В статье приведено описание тормозной системы двухсистемного электропоезда ЭКР1 для движения со скоростями 200 км/ч. Показаны основные комплектующие, а также принципиальные схемы тормоза. Анализ показал, что тормозная система отвечает лучшим мировым аналогам.

***Ключевые слова**. Электропоезд, тормозная система, противоюзная защита, электронный блок, принципиальная схема.*

Постановка проблемы. Дальнейшее развитие железнодорожного транспорта предусматривает существенное качественное изменение автотормозной техники, связанное с необходимостью повышения удельной тормозной силы поездов, особенно в диапазоне высоких скоростей, и улучшением управляемости поездами при движении их в тормозных режимах. Создание высокоскоростного пассажирского движения в одну из основных выдвигает задачи создания высоконадежных и эффективных тормозных систем. От свойств и состояния тормозного оборудования подвижного состава в значительной степени зависит безопасность движения. Особую актуальность для высокоскоростного подвижного состава приобретают задачи снижения человеческого фактора как управлением движения, так тормозным процессом. Для реализации высокоскоростного движения требуется решение ряда проблем, к числу наиболее важных из которых относятся: информативность о состоянии тормозной системы и ее способности выполнять свои функции, вопросы безопасности при возникновении нештатных ситуаций, защита поверхности колесных пар от повреждений в процессе торможения (юз колесных пар) при неблагоприятных погодных условиях и др. Поэтому для высокоскоростного подвижного состава должны быть наиболее тщательно проработаны все компоненты тормозной системы.

Целью работы является описание тормозной системы и ее особенностей для высокоскоростного электропоезда.

Изложение основного материала. Крюковским вагоностроительным заводом совместно с отечественными и зарубежными компаниями был создан электропоезд ЭКР1 с конструктивной скоростью 200 км/ч, который преимущественно состоит из комплектующих отечественного производства: ходовые части, внутренний интерьер, системы жизнеобеспечения, вентиляции, отопления и кондиционирования, оборудование контроля и диагностики. Разработка “КВСЗ” позволит в дальнейшем обеспечить качественный скачок, позволяющий перейти в скором будущем к организации сети высокоскоростного железнодорожного транспорта на Украине.

Электропоезд состоит из девяти жестко соединенных между собой вагонов (рис. 1) и предназначении для одновременной перевозки 609 пассажиров на расстояние 700 км со скоростью до 200 км/ч и может эксплуатироваться на электрифицированных участках железнодорожного пути как с постоянным, так и с переменным напряжением сети [1].

Головной и хвостовой вагоны – моторные, средние 7 вагонов – прицепные (промежуточные), которые выполнены на базе вагонов улучшенной комфортностью. Стоимость комфортабельного девятивагонного двухсистемного электропоезда на 30% дешевле корейского. В его конструкции были реализованы все требования заказчика, оговоренные техническим заданием. Конструкторы максимально учли действующие нормативные требования, специфику и опыт эксплуатации электропоездов в Украине, а также максимально эффективно осуществить его интеграцию в существующую инфраструктуру железных дорог.

Электропоезд обладает современным дизайном внешнего вида (рис.2,) и кабины машиниста (рис. 3), а также системой управления и диагностики (рис. 4).

Система контроля и диагностики электропоезда обеспечивает запись его основных параметров, их архивирование и, при необходимости, вывод параметров на дисплей, расположенный на пульте управления (рис. 5).

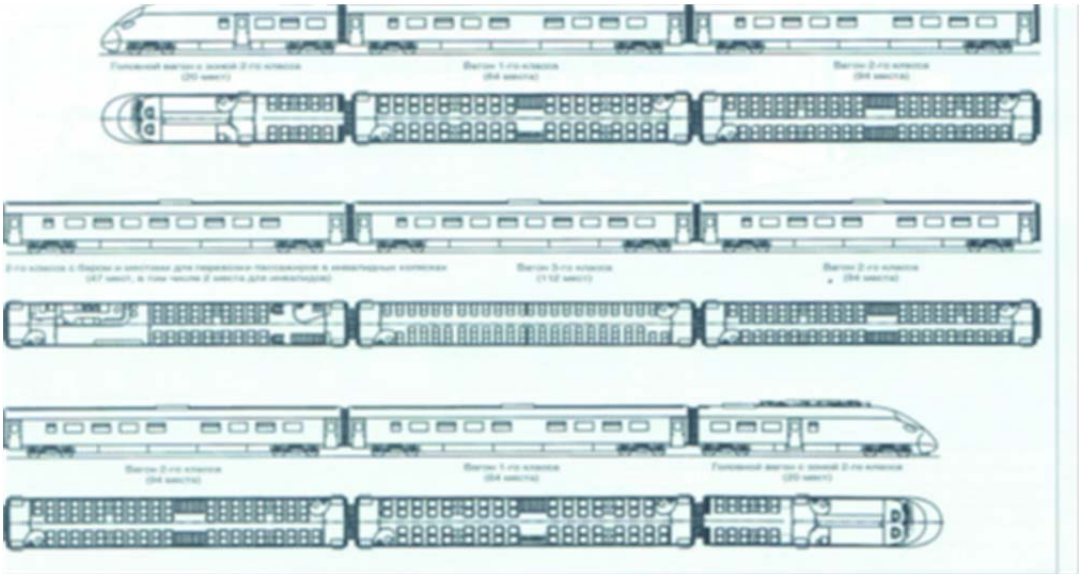

Рис. 1. Схема двухсистемного электропоезда для межрегионального сообщения

Рис. 2. Внешний вид электропоезда

Рис. 3. Внешний вид кабины машиниста

Рис. 4. Рукоятки и кнопки управления, а также дисплеи отображения диагностической информации

Электропоезд на 70 % является национальным продуктом, а ряд комплектующих (тяговые двигатели, редукторы, компоненты тормозной системы) закупаются у иностранных фирм (в основном австрийских и немецких). В разработке и постройке электропоезда принимали участие, кроме ПАО «КВСЗ», фирмы «Knorr-Bremse», «STEMMANN» (Германия), «MEDCOM» (Польша), «Хартрон-Экспресс» (Харьков), «МДС» (Днепропетровск), и др.

Рис. .5. Дисплей отображения диагностической информации

Так как электропоезд спроектирован для скорости движения 200 км/ч, то на осях немоторных вагонов были установлены по три тормозных диска (рис. 6), диски на моторных вагонах - на колесном центре (рис. 7).

Важнейшей составной частью электропоезда является тормозная система, которая обеспечивает безопасность движения и пассажиров. Поэтому для указанной системы были наиболее тщательно проработаны все ее компоненты. Следует отметить, что применение на электропоезде элементов тормозного оборудования производства компании «Knorr-Bremse» (Германия) послужило основой для создания тормозной системы с достаточно высокой эффективностью и надежностью (рис. 8).

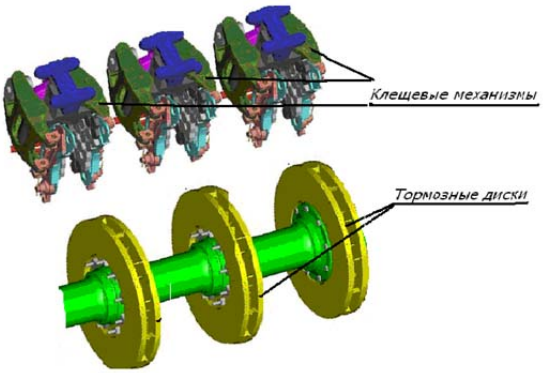

Рис. 6. Тормозные диски на оси промежуточных вагонах электропоезда

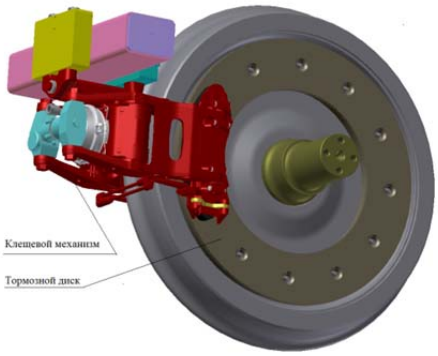

Рис. 7. Дисковый тормоз, установленный на моторных вагонах электропоезда

Тормозная система электропоезда оснащена следующими видами тормозов [9]:

- рекуперативно-реостатным электродинамическим тормозом (только для головных моторных вагонов);
- электропневматическим прямодействующим фрикционным дисковым тормозом, который является основным - рабочим;
- пневматическим не прямодействующим фрикционным дисковым тормозом (резервный, автоматический);
- автоматическим стояночным тормозом с пружинным аккумулятором, который воздействует на накладки фрикционного дискового тормоза вагона.

Пневматическое оборудования тормозной системы электропоезда (рис. 9 и 11) по своему функциональному назначению может быть представлена в виде следующих составных частей:

✓ - <u>приборы питания</u> тормоза сжатым воздухом (компрессорные безмасляные агрегаты, предохранительные клапаны, воздухоосушительные установки и др.);

✓ - <u>приборы управления и контроля</u> (мастер-контроллер, в котором совмещены функции прибора для обеспечения тяги и торможения электропневматическим тормозом; резервный тормозной контроллер, предназначенный для управления пневматическим тормозом; панель системы управления тормозной магистралью; блокировочное устройство; манометры; приборы системы контроля и диагностики, др.);

✓ - <u>приборы безопасности</u> (автостоп; система КЛУБ; скоростемер; аварийная кнопка, др);

✓ - <u>приборы торможения и отпуска</u> (контейнер тормозного оборудования; запасные и питательные резервуары);

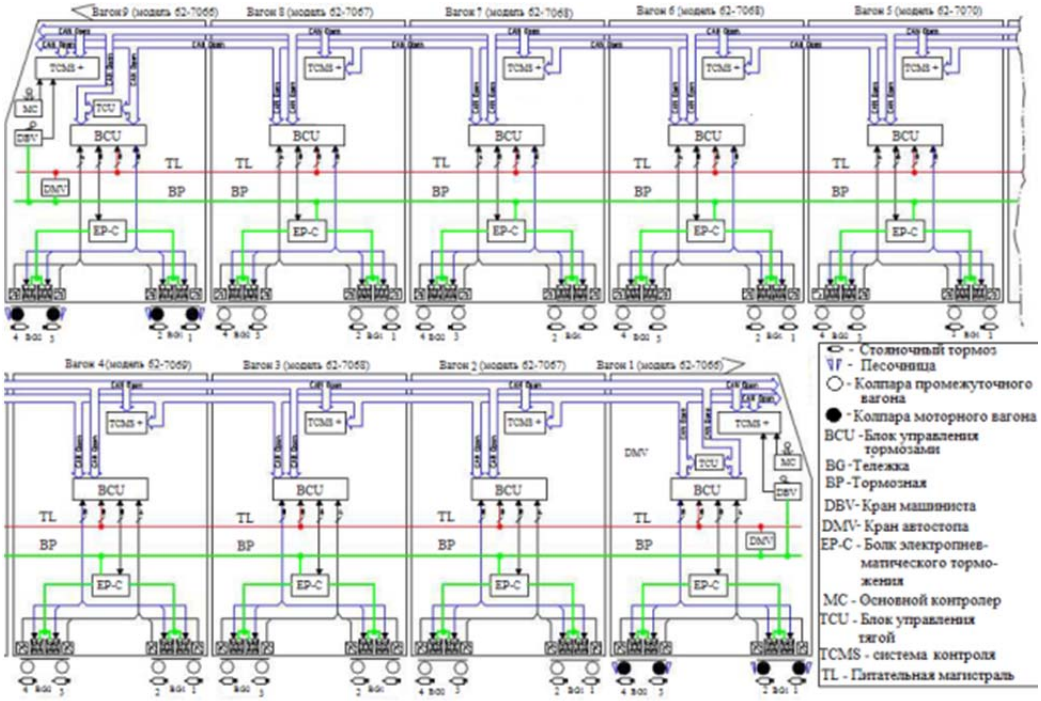

Рис. 8. Схема тормозной системы

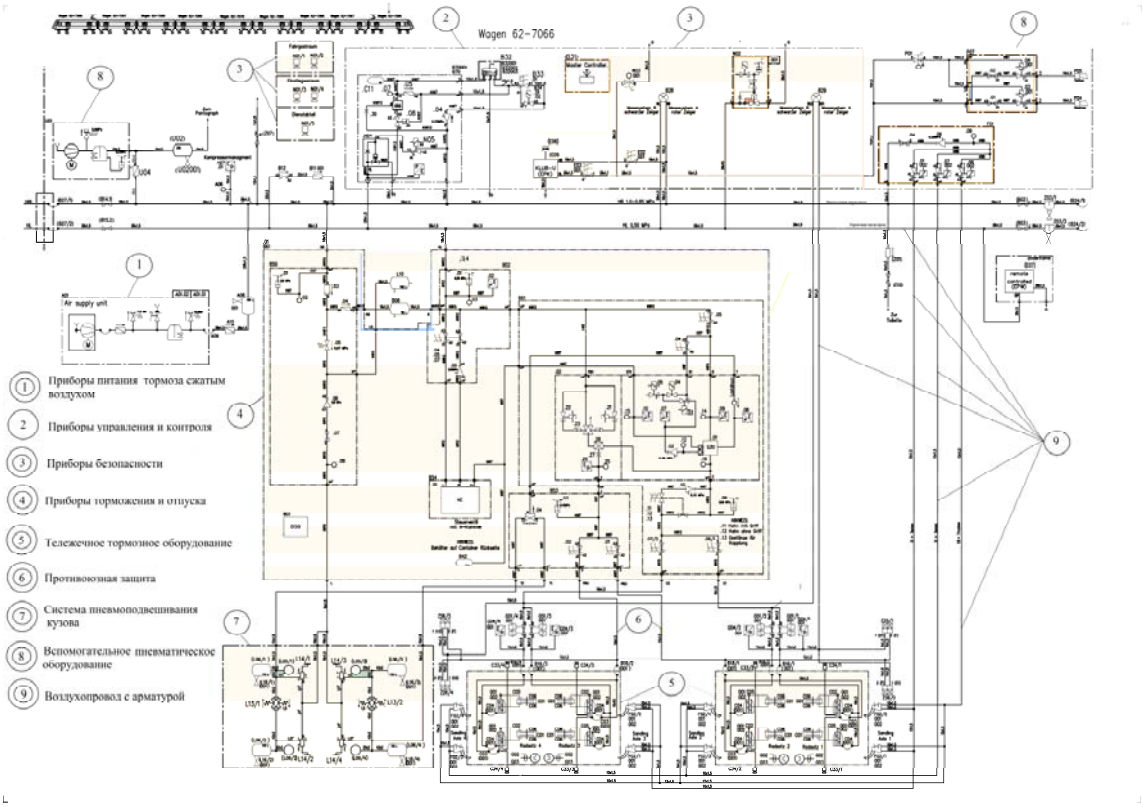

Рис. 9. Схема пневматического оборудования тормозной системы головного вагона электропоезда

✓ - <u>тележечное тормозное оборудование</u> (колесные и осевые тормозные диски; клещевые механизмы, в т. ч. с пружинными аккумуляторами для автоматического стояночного тормоза);

✓ - <u>противоюзная система</u> (противоюзные датчики; клапаны противоюзной защиты и др.);

✓ - <u>система пневмоподвешивания кузова</u> (пневмоподушки; клапаны высоторегулирования; перепускные клапана и резервуары дополнительной жесткости);

✓ <u>- вспомогательное пневматическое оборудование</u> (приборы пескоподачи; тифоны; приборы управления пантографами и др.)

✓ <u>- воздухопровод с арматурой</u> (трубопроводы тормозной, питательной и др. магистралей; разъединительные краны; концевые краны; краны экстренного торможения; соединительные рукава, и др.).

Энергоносителем тормозной системы является сжатый воздух, который подается системой подачи сжатого воздуха, с использованием безмасляных поршневых компрессорных агрегатов (рис. 10) в количестве 2 штук, установленных вместе с осушителями воздуха в подвагонном пространстве головных вагонах.

Компрессоры обеспечивают воздухом, наряду с тормозной, и другие системы: пневмоподвешивания вагона, устройство управления микроклиматом, управления дверьми, стеклоочистители, токоприемники, тифон. Управление компрессорами производится при помощи системы управления поездом. При зарядке тормозной системы оба компрессора работают параллельно, а в диапазоне от 8,5 до 10 кгс/см^2 используется один из компрессоров. При выходе из строя одного из компрессоров, другой включается автоматически. В этом случае математически рассчитанное время его работы при 9-вагонном электропоезде составляет 91%. т. е., в аварийном режиме с помощью одного компрессора обеспечивается работа всего пневматического оборудования электропоезда. Включение и выключение компрессоров осуществляется датчиками давления в пределах от 8,5 до 10 кгс/см^2. Поддержание давления в питательной магистрали в таких пределах гарантировано обеспечивает надежную работу всего пневмооборудования электропоезда, в т. ч. противоюзной системы и системы пневмоподвешивания.

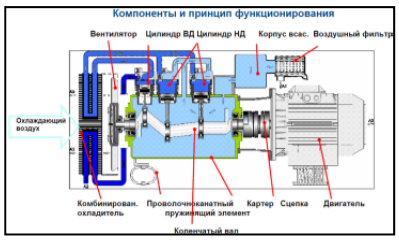

Рис. 10. Безмасляный компрессорный агрегат типа «W-180T»

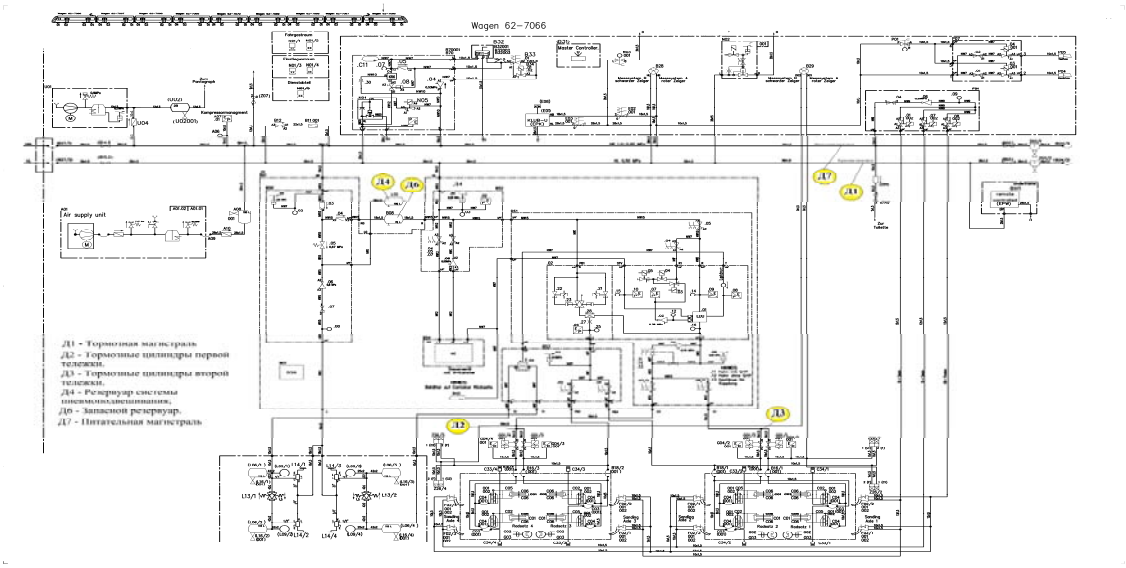

Рис. 11. Схема пневматического оборудования тормозной системы промежуточного вагона электропоезда

Управление тормозами осуществляется контейнерным блоком (рис. 12), который располагается в подвагонном пространстве и содержит функционально увязанные между собой блоки (модули), представленные на рис. 13.

Рис. 12. Контейнерный блок

Каждый из блоков в свою очередь может состоять из набора электропневматических и др. пневматических приборов, призванных выполнять определенные функции, например, таких как:

- электропневматические клапаны;
- редукционные, обратные клапаны;
- датчики давления;
- реле давления;
- фильтры;
- разъединительные краны пр.

Кроме того, в контейнере находится воздухораспределитель типа КЕ и оборудование прямодействующего электропневматического тормоза.

Тормозная система поезда в рабочем (штатном) режиме управляется органами управления расположенными на пульте машиниста в кабинах управления головных вагонов при помощи мастер-контроллера (для управления электропневматическим тормозом) и краном машиниста – для управления пневматическим тормозом. При этом управляющие сигналы направляются в бортовой компьютер системы контроля, диагностики и управления.

Сигналы на торможение, поступающие с пульта управления в бортовой компьютер блока управления торможением, обрабатываются с помощью специальной программы, а затем поступают в блоке электропневматического торможения (EP Compact) для реализации тормозной силы (давления в тормозных цилиндрах) в зависимости от загрузки вагона (давления в баллонах пневмоподвешивания).

При служебном торможении активируется электродинамический тормоз двигателями, работающими в генераторном режиме на моторных вагонах, и одновременно пневматическое фрикционное торможение прямодействующим тормозом на немоторных вагонах. В случае недостаточной эффективности электродинамического тормоза для остановки поезда, электродинамический тормоз на приводных вагонах дополняется прямодействующим пневматическим фрикционным тормозом.

После остановки поезда, для обеспечения его удержания, рабочий пневматический тормоз замещается 70% усилием автоматического стояночного тормоза.

В аварийном режиме работы тормозной системы поезда (саморасцепление поезда, по командам системы безопасности и т.д.), торможение выполняется резервным пневматическим непрямодействующим тормозом.

Кроме того, одной из функций тормозной системы является возможность перераспределять тормозную эффективность поезда, с учетом выхода из строя (отказа тормоза) одного или нескольких вагонов поезда. В этой ситуации, автоматически повышается тормозная сила пропорционально тормозной массы вагонов, на которых зафиксирован отказ.

Тормозная система вагонов оснащена электронной системой противоюзной защиты (рис. 14), в состав которой входят блок управления и сигнализатор давления, расположенные в тормозном контейнере, клапаны противоскольжения, установленные в подвагонном пространстве в непосредственной близости от тележки, датчики скорости и полюсные колеса, установленные в буксовых узлах тележек.

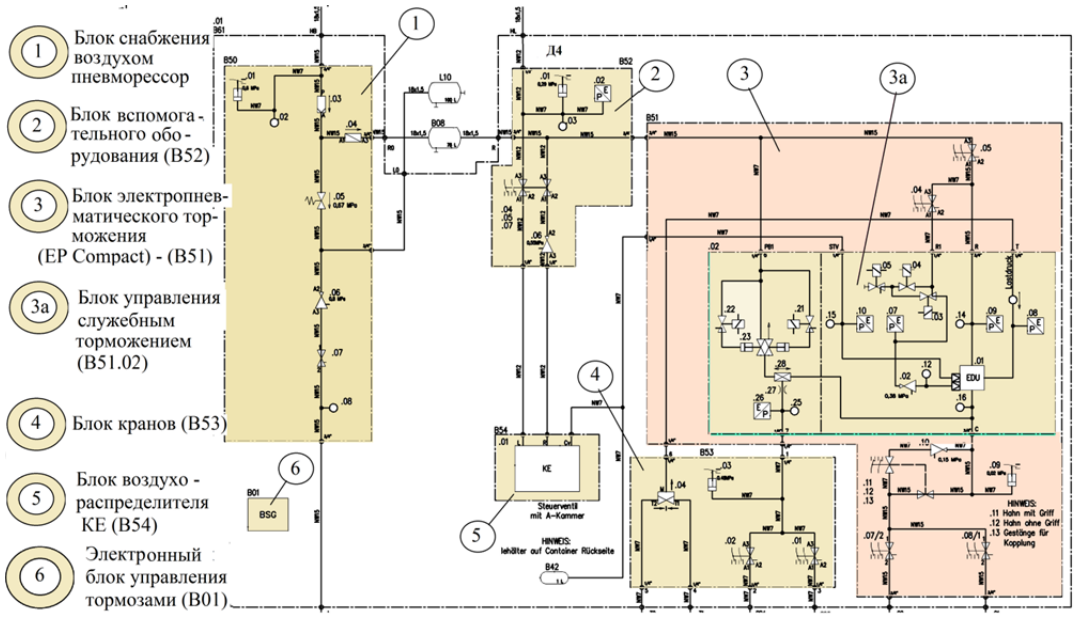

Рис. 13. Пневматическая схема контейнерного блока тормозного оборудования

Рис. 14. Электронная система противоюзной защиты

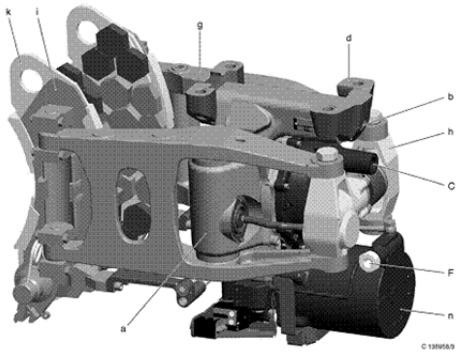

Рис. 15. Стояночный тормоз:
(a- корпус; b- болт кронштейн; d- опора кронштейна; e- мембранный цилиндр; g- рычаг клещевого механизма; h- регулятор с нажимной штангой; i - держатель накладки; k- тормозная накладка; n- пружинный аккумулятор с аварийным устройством отпуска; C- патрубок сжатого воздуха для служебного тормоза; F- патрубок сжатого воздуха для стояночного тормоза)

Принцип действия электронной системы противоюзной защиты заключается в том, что при помощи полюсных колес и датчиков скорости, блок управления определяет базовую скорость каждого вагона и угловую скорость каждой оси в отдельности. В случае отклонения в угловой скорости одной или нескольких осей от базовой скорости вагона, блок управления подает команду на соответствующие клапаны противоскольжения, обеспечивая кратковременное снижение давления в тормозных цилиндрах соответствующих осей, тем самым выравнивая угловую скорость начинающих скольжение колесных пар.

Все вагоны электропоезда оборудованы автоматическими пневмопружинными стояночными тормозами (рис. 15).

Тормозная сила стояночного тормоза обеспечивается за счет пружинного аккумулятора, интегрированного в тормозные клещевые механизмы. Принцип действия автоматического стояночного тормоза основан на том, что при отсутствии давления сжатого воздуха в тормозной магистрали, а также в полости соответствующего тормозного цилиндра, пружина прижимает тормозные накладки к тормозным дискам.

Для отпуска автоматического стояночного тормоза необходимо подать давление сжатого воздуха в соответствующую полость тормозного цилиндра, для обеспечения сжатия пружинного аккумулятора, что в свою очередь обеспечит отвод тормозных накладок от тормозного диска.

Для аварийного отпуска стояночного тормоза, при отсутствии возможности подачи сжатого воздуха в тормозные цилиндры, имеется механизм аварийного отпуска, рукоятки которого расположены по обеим сторонам каждой тележки.

Тормозная накладка, создающая силу нажатия на диск при торможении, выполнена из органического, не содержащего асбеста, материала Becorit 984, с допустимой максимальной температурой на поверхности не выше 400°С, толщина новой накладки 35 мм, минимально допустимая в эксплуатации – 5 мм.

Тормозная система скоростного межрегионального двухсистемного электропоезда постройки Крюковского вагоностроительного завода обладает существенными отличиями от пассажирских вагонов:

✓ применена система подачи сжатого воздуха, с использованием безмасляных поршневых компрессорных агрегатов, установленных вместе с осушителями воздуха в подвагонном пространстве головных вагонов;

✓ при электропневматическом и пневматическом торможениях тормоз является практически неистощимым, т. к. давление в тормозных цилиндрах поддерживается за счет подпитки из запасных резервуаров, в которые через обратные клапана постоянно поступает воздух из питательной магистрали;

✓ использованы тормозные исполнительные приборы (дисковый тормоз с клещевыми механизмами и противоюзной защитой фирмы «Knorr-Bremse»), ранее опробованные и доказавшие высокую надежность и эффективность при эксплуатации пассажирских вагонов серийного ряда 788 на безлюлечных тележках с пневмоподвешиванием;

✓ Управления тормозом осуществляется по заранее настраиваемой компьютерной программе, в которой задаются опорные параметры для выработки требуемого действия, с учетом поступающего сигнала из пульта управления.

✓ контейнерный блок, содержащий электронный блок с процессором, функционально объединен с блоком электро-пневматического торможения (EP Compact);

✓ система контроля и диагностики электропоезда обеспечивает запись его основных параметров, их архивирование и, при необходимости, вывод на дисплей, расположенный на пульте управления;

✓ Тормозная сила, реализуемая на тормозных дисках, регулируется за счет давления в тормозных цилиндрах в зависимости от загрузки вагона, задаваемым параметром для которой является давление в баллонах пневмоподвешивания;

✓ поезд оборудован автоматическим пневмопружинным стояночным тормозом. После остановки поезда, для обеспечения его удержания, рабочий пневматический тормоз замещается 70% усилием автоматического стояночного тормоза;

✓ тормоз обладает возможностью сохранения тормозной эффективности при отказе тормоза на одном или нескольких вагонах путем распределения недостающей тормозной силы между вагонами сохранившими работоспособность тормозных систем;

✓ тормозная система обладает высокой степенью неистощимости, так как давление в тормозных приборов поддерживается через питательный резервуар объемом 150 л, связанным с питательной магистралью, давление в которой составляет (8,5-10) кгс/см^2.

Выводы

1 Тормозная система электропоезда ЭКР1 отвечает лучшим мировым аналогам, а ее эффективность должна быть подтверждена экспериментальными исследованиями;

2 Дальнейшее повышение тормозной эффективности требует применения тормоза, не зависящего от сил сцепления колес с рельсами. Таким тормозом является магнитно-рельсовый, в котором на каждой тележке между колесными парами установлены два тормозных электромагнитных башмака, что позволит повысить скорость до 250 км/ч.

Литература

1. Пятаков О.О. Особенности тормозной системы электропоезда / О.О. Пятаков, Ю. Я. Водянніков, А.В.Гречко, С.М. Свистун - збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад”, вип. 7, видавник ДП „УкрНДІВ”, м. Кременчук 2012, - 59-70 с.

References

1. Pyatakov O.O. Features of the brake system of electric train / O.O. Pyatakov, Yu. Ya. VodyannIkov, A.V.Grechko, S.M. Svistun - collection of scientific works «Rolling stock ”, p. 7, publisher SE „UkrNDIV”, Kremenchuk 2012, - 59-70p.

Сафронов О. М., Крамаренко М.В., Лутонін С.В., Водянніков Ю. Я. Гальмівна система високошвидкісного електропоїзди ЕКР1

У статті наведено опис гальмівної системи двосистемних електропоїзди екр1 для руху зі швидкостями 200 км/ч. Показані основні комплектуючі, а також принципові схеми гальма. Аналіз показав, що гальмівна система відповідає кращим світовим аналогам.

***Ключові слова**. Електропоїзд, гальмівна система, протиюзний захист, електронний блок, принципова схема.*

Safronov O.M., Kramarenko M.V., Lutonin S.V., Vodyannikov Yu. Ya. Brake system of a high-speed electric train EKP1

The article describes the braking system of the two-system electric train EKR1 for driving at speeds of 200 km / h. The main components are shown, as well as the brake circuit concepts. The analysis showed that the brake system meets the best world analogues.

***Keywords.** Electric train, brake system, electronic unit, basic scheme.*

Сафронов Олександр Михайлович – к.т.н., директор Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ».

Крамаренко Максим Вікторвич – технічний директор Публічного акціонерного товариства «Крюківський вагонобудівний завод».

Лутонін Сергій Віталійович – заступник технічного директора Публічного акціонерного товариства «Крюківський вагонобудівний завод».

Водянніков Юрій Якович – к. т. н, с. н. с., провідний науковий співробітник лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

Рецензент: д.т.н., проф. ***Стенцель Й. І.***

Стаття подана: 14.11.2018.