



Центр научно-технической информации и библиотек
– филиал ОАО «РЖД»

Дифференцированное Обеспечение Руководства

117/2020

Применение систем накопления энергии на железнодорожном транспорте

Железные дороги традиционно считаются одним из самых экологически чистых видов транспорта. Тем не менее, в технологически развитых странах на системном уровне ведутся работы по внедрению современных операционных практик и инновационных технологий, направленных на дальнейшее повышение экологичности и энергоэффективности железнодорожного транспорта.

В настоящее время эксплуатационные и технологические меры энергоэффективности рассматриваются в комплексе и их можно разделить на пять основных направлений:

- накопление энергии рекуперативного торможения в системах накопления энергии и её повторное использование;
- повышение энергоэффективности за счёт применения методов экологичного вождения и оптимизированного управления движением;
- повышение эффективности тяги за счёт снижения потерь электроэнергии в электрических сетях, в бортовом тяговом электрооборудовании за счёт уменьшения массы подвижного состава;
- сокращение потребления электроэнергии системами, обеспечивающими требуемый уровень комфорта (контроль температуры, вентиляция и кондиционирование, отопление, кондиционирование, освещение, лифты и т. п.), а также рекуперация отработанного тепла в различных режимах работы, таких как обслуживание и остановка/стоянка;
- эффективное измерение и интеллектуальное управление потоками энергии.

При системном внедрении вышеуказанных технологий и мер, возможно уменьшения потребления энергии в существующих железнодорожных системах примерно на 25-35%, при этом следует отметить, что потенциально наибольший эффект может дать применение различных систем накопления энергии и, в первую очередь, в системах использования рекуперативной энергии торможения.

В принципе, эффективность использования энергии торможения может достигать 96%, однако, следует отметить, что при прямой передаче рекуперативной энергии торможения в сеть такой эффективности добиться крайне сложно по следующим причинам:

- если не происходит одновременного потребления передаваемой в контактную сеть энергии торможения, она превращается в тепло и рассеивается;

- с другой стороны, поток мощности рекуперативной энергии торможения ограничивается системой управления для того, чтобы избежать перенапряжения на пантографе.

Во избежание вышеуказанных ограничений в последние годы всё чаще применяют системы накопления энергии (СНЭ), где накапливается рекуперативная энергия торможения. При этом используют как стационарные (в составе электрической железнодорожной инфраструктуры), так и бортовые (на подвижном составе) СНЭ.

Опыт эксплуатации показывает, что при использовании современных методов моделирования и интегрированных алгоритмов оптимизации использование СНЭ в составе систем рекуперации энергии может быть эффективно даже при низкой частоте торможения. Это, в частности, подтверждается эксплуатацией итальянского поезда ETR 1000 (Флоренция – Рим), где восстанавливается 1/3 энергии торможения.

Бортовые системы накопления энергии

В качестве элементов СНЭ используются, в основном, аккумуляторные батареи и суперконденсаторы двойного электрического слоя (далее – суперконденсаторы), редко – маховики. Их интеграция в гибридные системы играет важную роль в обеспечении максимальной экономии энергии на железной дороге.

Применение суперконденсаторов двойного электрического слоя (EDLC) в СНЭ

Суперконденсаторы EDLC в настоящее время достаточно активно применяются в составе как бортовых, так и стационарных систем накопления энергии благодаря своим преимуществам (высокая удельная мощность

(до 50 кВт/кг), способность заряда/разряда высокими токами в короткое время, высокий КПД (до 98%), длительный срок службы (10-20 лет), широкий температурный диапазон эксплуатации, надёжная работа в условиях повышенных вибраций и ударов, компактность, необслуживаемость, экологичность.

Первые применения суперконденсаторов EDLC были осуществлены компанией Bombardier Transportation на транспортных средствах LRV, Metro-Train и Diesel Multiple Unit (DMU). Система получила название MITRAC Energy Saver.

Эксплуатация СНЭ на LRV и Metro-Train показала сокращение потребления энергии на 30%. Что касается DMU, то применение бортовой СНЭ привело к снижению затрат на энергию и выбросов на 25-40%.

Также ярким примером эффективного использования суперконденсаторов в составе СНЭ для подвижного состава может служить система SITRAS SES, разработанная инженерами компании Siemens Transportation Company, выполняющая функции как рекуперации энергии торможения, так и стабилизации напряжения в сети в диапазоне 490–520 В. причём никогда не опускается ниже критических 490 В.

В настоящее время ведутся исследования и разработки, в частности, по применению в суперконденсаторах углеродных нанотрубок.

Следует отметить, что помимо очевидных преимуществ, указанных ранее, суперконденсаторы также имеют ряд ограничений, таких как невысокая удельная энергия и относительно высокий саморазряд.

Применение аккумуляторных батарей в СНЭ

Аккумуляторные батареи являются наиболее распространёнными и повсеместно применяемыми накопителями и источниками энергии, и железнодорожный транспорт не является исключением.

К основным типам используемых на железнодорожном транспорте батарей можно отнести свинцово-кислотные, никель-кадмиевые, никель-металлогидридные и литийионные аккумуляторы.

Свинцово-кислотные батареи, не смотря на широкое разнообразие, высокую плотность мощности, низкую стоимость, не используются в составе СНЭ, в первую очередь, из-за очень ограниченной удельной энергии, малого срока службы, низкой надёжности и значительного снижения производительности при экстремальных температурах.

Никель-кадмиевые батареи, благодаря надёжности, длительному сроку службы, высокой скорости разряда, широкому температурному диапазону, хорошему удержанию заряда и возможности хранения в течение длительного

периода без ухудшения качества, широко использовались в тяговых устройствах, особенно в железнодорожных, но их применение в составе СНЭ проблематично, в первую очередь, из-за наличия кадмия и эффекта потери энергоёмкость по причине заряда после неполного разряда.

Начиная с последних десятилетий, никель-металлогидридные батареи широко применяются в стационарных промышленных установках, бытовой электронике, электроинструментах, электромобилях и гибридных транспортных средствах, а также и в железнодорожной технике благодаря высокой удельной мощности, медленному необратимому старению, низкому риску выхода из строя. Недостатки данного типа батарей, низкое номинальное напряжение 1,2 В (чтобы иметь необходимое высокое напряжение для СНЭ требуется большое количество элементов).

Литий-ионные батареи. В настоящее время литий-ионные батареи являются наиболее популярными и конкурентоспособными в части применения в составе СНЭ. Литий-ионные батареи обладают рядом существенных преимуществ. В первую очередь это высокая удельная энергия, В период с 1996 по 1999 г. удельная энергия элемента 18650 увеличивалась на 8% в год. Другой элемент, типа 26650, достиг показателя удельной энергии 354 Втч/кг. Недавно литий-ионная батарея на основе органических электродов (с новым углеродным проводником и органическим электродом без связующего) показала удельную энергию 470 Втч/кг.

В связи с изменением климата и политикой в области чистоты окружающей среды, страны ЕС имеют соглашения о сокращении выбросов CO₂ на 80% к 2050 г. и уменьшения зависимости от сжигаемого топлива. Литий-ионные батареи рассматриваются в ближайшей перспективе для применения на транспорте.

Следует также сказать, что помимо существенных преимуществ, литий-ионные батареи имеют и недостатки, такие как нестабильность в условиях эксплуатации (например, перезаряд и перегрев).

В последнее время литий-титанатные батареи активно рассматриваются для применения на железной дороге, т. к. обладают рядом преимуществ по сравнению с другими литий-ионными батареями, такими как:

- высокая мощность при низких температурах;
- длительный срок службы с очень небольшими изменениями (0,2%) в элементах во время процессов заряда разряда);
- безопасность с точки зрения термической стабильности;
- возможность работы на высоких скоростях.

С учётом указанных выше технических характеристик, общее напряжение одного блока СНЭ может варьироваться от 600В до 960 В.

Совместное применение аккумуляторных батарей и суперконденсаторов в составе «гибридных» СНЭ

Совместное применение аккумуляторных батарей и суперконденсаторов в составе «гибридных» СНЭ в настоящее время становится всё более популярным, в том числе и на железной дороге. Накопители, работая совместно, компенсируют недостатки друг друга.

В качестве одного из примеров эффективного применения «гибридных» СНЭ можно привести реализованный проект на железнодорожной сети Southeastern Pennsylvania Transportation Authority (SEPTA США). Более 80% из потребляемых 500 ГВт электроэнергии приходится на обеспечение движения по железной дороге. Рекуперация энергии торможения могла бы привести к существенной экономии потребления электроэнергии.

В результате эксплуатации «гибридной» СНЭ было подтверждено 20% сокращение потребление электроэнергии из сети. Применение СНЭ для регулирования частоты приносит более 200 тыс. долларов США выручки SEPTA ежегодно.

В развитых странах мира повышение экологичности и энергоэффективности железнодорожного электротранспорта является одной из приоритетных задач. В ЕС это обусловлено, в том числе, соглашениями о сокращении выбросов CO₂ на 80% к 2050 г. и уменьшения зависимости от сжигаемого топлива, что стимулирует применение инновационных технологий и современных методов управления.

Являясь одной из инновационных технологий, СНЭ имеют наибольший потенциал с точки зрения экономии электроэнергии на железнодорожном транспорте. Они используются для рекуперации энергии торможения, компенсации импульсной мощности, стабилизации напряжения, исключения «провалов» в сети, а так же в качестве аварийных источников энергии и регуляторов частоты. Их применение может дать экономию электроэнергии до 30%.

*Источники: Инновации транспорта. – 2020. – № 1. – с.16-21;
railway-technology.com, 24.03.2020;
bombardier.com, 12.2019;
sciencedirect.com, 12.2019;
businesswire.com, 01.2020.*