

УДК 629.4.08

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛОКОМОТИВОВ**А. В. Устенко, О. В. Пасько**Украинская государственная академия железнодорожного транспорта
пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, 61050, Украина. E-mail: zamdek@kart.edu.ua

Рассмотрены технические характеристики, эксплуатационные показатели существующих и перспективных типов аккумуляторных батарей для подвижного состава железных дорог Украины. Определены принципы эффективной и безопасной эксплуатации, обслуживания и ремонта аккумуляторных батарей.

Ключевые слова: аккумуляторы, накопители энергии, суперконденсаторы.**ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛОКОМОТИВІВ****О. В. Устенко, О. В. Пасько**Українська державна академія залізничного транспорту
пл. Фейербаха, 7, м. Харків, 61050, Україна. E-mail: zamdek@kart.edu.ua

Розглянуто устрій, технічні характеристики, експлуатаційні показники існуючих та перспективних типів акумуляторних батарей для рухомого складу залізниць України. Визначено принципи ефективної та безпечної експлуатації, обслуговування та ремонту акумуляторних батарей.

Ключові слова: акумулятори, накопичувачі енергії, суперконденсатори.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В настоящее время на железнодорожном транспорте основным автономным источником питания электрических цепей управления и пуска дизелей, а также резервным источником питания являются аккумуляторы и аккумуляторные батареи. На железнодорожном транспорте, как и в других отраслях промышленности, используются аккумуляторы трех классов: быстрого (Н), среднего (М) и длительного разряда (L).

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Аккумуляторы быстрого разряда применяются как стартерные, т.е. служат для пуска двигателей внутреннего сгорания тепловозов, рефрижераторных вагонов, дизель-поездов и стационарных электроагрегатов. Аккумуляторы среднего класса широко используются в качестве основного источника энергии на пассажирских вагонах и рефрижераторных секциях при низких скоростях движения и на стоянках. Аккумуляторы длительного разряда применяются как резервный источник в агрегатах бесперебойного питания при основной сети переменного тока или в буфере с основным энергоисточником постоянного тока в устройствах СЦБ и связи, а также во вспомогательных низковольтных цепях электроподстанций и других стационарных установок железнодорожного транспорта.

Все аккумуляторы подразделяются также по типу используемой электрохимической системы, которая в основном бывает щелочной или кислотной. Основными типами выпускаемых аккумуляторов для подвижного состава являются свинцово-кислотные и щелочные аккумуляторы. Применяемые на подвижном составе аккумуляторные батареи по ряду технических и эксплуатационных показателей имеют существенные различия. По своему функциональному назначению аккумуляторные батареи подразделяются на тяговые (для питания тяговых двигателей) и стартерные (для питания устройств при запуске двигателей внутреннего сгорания и дизелей). В качестве стартерных (быстрого разряда) эффективнее использовать мощные кислотные аккумуляторы, в качестве тяговых (средне-

го разряда) – щелочные, особенно никель-кадмиевые аккумуляторы, которые лучше работают при низких температурах наружного воздуха и обладают большим сроком службы. В то же время при одинаковых массогабаритных и мощностных показателях свинцово-кислотные аккумуляторы значительно дешевле щелочных.

Аккумуляторы для тепловозов

Аккумуляторные батареи для тепловозов используются для питания тягового генератора при запуске дизеля, а также для освещения тепловоза и низковольтного питания цепей управления при неработающем дизеле. Тяговый генератор с пусковой обмоткой последовательного возбуждения при электрическом пуске дизеля подключается к аккумуляторной батарее.

Основными типами выпускаемых аккумуляторных батарей для тепловозов являются свинцово-кислотные 32ТН–450У2, 48ТН–450У2, 48ТН–350У2 и щелочные 46ТПНЖ–550У2, 46ТПНК–550Т2. Входящие в обозначения типов батарей цифры и буквы характеризуют следующие технические данные батареи: 32, 46, 48 – количество последовательно соединенных аккумуляторов в батарее, шт.; 350, 450, 550 – номинальная емкость входящих в батарею аккумуляторов при определенном режиме разряда, А·ч; Т, ТП – назначение аккумулятора – тепловозный (пусковой); Н – вид электродных пластин аккумулятора по способу нанесения на свинцовую решетку рабочего вещества – намазные; НЖ, НК – электрохимическая система аккумулятора: никель-железный, никель-кадмиевый; У2, Т2 – для умеренного и тропического климата с размещением в шкафу, кожухе.

Аккумуляторы для электровозов

На электровозах и электропоездах аккумуляторные батареи предназначены для питания низковольтных цепей управления, защит, сигнализации, дежурного освещения при неработающих генераторах управления или неработающем блоке питания. Также батареи служат для питания мотор-компрессора, подающего сжатый воздух для подъе-

ма токоприемника при отсутствии сжатого воздуха в главных резервуарах. В случае выхода из строя генератора управления в пути или подготовке локомотива к эксплуатации аккумуляторная батарея служит резервным источником питания.

В условиях эксплуатации на железнодорожном транспорте аккумуляторным батареям присущ общий недостаток, который проявляется в существенном уменьшении емкости при низких наружных температурах. Это обуславливает необходимость долива дистиллированной воды в жаркое время и периодического проведения восстановительных зарядных циклов со снятием батарей с подвижного состава, что значительно увеличивает эксплуатационные расходы.

Разработка надежных и экономичных автономных источников питания электроустановок, в том числе и для подвижного состава, всегда является актуальной задачей. Продолжаются поиски эффективных технических решений по топливо- и энергосберегающим технологиям для остановки и пуска тепловозных дизелей, разработке новых вспомогательных источников питания для управления работой дизеля на холостом ходу и т.д. Создаются гибридные маневровые тепловозы, в которых при модернизации дизель-генераторная установка локомотива заменяется аккумуляторной батареей и дизель-генераторной установкой значительно меньшей мощности. Тяговые двигатели модернизированного локомотива питаются от аккумуляторных батарей, а дизель-генераторная установка используется только для постоянного подзаряда батарей.

Благодаря эксплуатации в указанном режиме дизель работает с постоянной частотой вращения, а уровень заряда батарей не понижается ниже 80 %.

Проводятся работы по агрегатной компоновке аккумуляторных батарей. Аккумуляторы собраны в виде отдельного компактного блока с выдвигаемыми модулями. Централизованная система контроля и ухода за аккумуляторами обеспечивает их повышенную надежность, готовность к работе и снижает расходы по их обслуживанию. Подобные интегрированные аккумуляторы уже начали поставяться на железные дороги Франции, Германии, Швеции и других европейских стран, а также и России. Новые аккумуляторы не требуют больших затрат по уходу. Дистиллированную воду в них нужно заливать лишь один раз в два года. Корпуса аккумуляторов выполняются из полипропилена, огнестойкого полиамида, легко демонтируются и выкатываются из-под локомотива. После выработки срока эксплуатации аккумуляторы отправляют на заводы-изготовители для утилизации. Подобные наработки имеются и в автомобильной промышленности при разработке электромобилей. Процесс выкатки и замены разряженной аккумуляторной батареи на свежезаряженные для электромобилей полностью роботизирован и занимает считанные минуты.

Другим направлением повышения надежности аккумуляторной батареи локомотива является автоматизированное диагностирование и мониторинг параметров ее технического состояния при обслуживании. Это достигается применением специаль-

ных устройств и технологии диагностирования параметров аккумуляторной батареи, возможностью восстановления изношенных аккумуляторов и использованием программных средств автоматизации диагностирования и мониторинга технического состояния аккумуляторных батарей локомотивов.

Широко применяемые щелочные аккумуляторы имеют неоспоримое преимущество перед кислотными аккумуляторами, однако содержат в своем составе сильно ядовитые вещества, каким является кадмий. Кадмий способен накапливаться в организме человека и приводит к серьезным заболеваниям. Кроме того, кадмий и его соединения экологически опасны. При эксплуатации аккумуляторов образуется аэрозоль гидроксида кадмия, которая осаждается на поверхности аккумуляторных батарей, аккумуляторных ящиков и загрязняет окружающую среду. Поэтому активизируются работы по разработке обслуживаемых гелевых аккумуляторов.

Проблемы аккумулирования энергии при автономной тяге рассматривались специалистами и ранее, однако до недавнего времени практическое решение этого вопроса было сопряжено с рядом технических трудностей, состоящих главным образом в отсутствии технологий и материалов для создания эффективных преобразователей и накопителей энергии повышенной энергоемкости, обладающих к тому же достаточно высокой надежностью. Применение подобных систем часто оказывалось экономически нецелесообразным из-за их высокой стоимости, в связи с чем затраты на внедрение этих систем перекрывали ожидаемую экономию топлива от их использования.

Последние достижения науки и техники позволяют взглянуть по-новому на рассматриваемую проблему.

В современных условиях, наряду с повышением производительности локомотивов, все большую важность приобретает экономия топливно-энергетических ресурсов, повышение надежности и экологической эффективности. В настоящее время на сети железных дорог России эксплуатируется значительное количество локомотивов, выработавших свой ресурс. Разработка нового подвижного состава и замена им устаревших локомотивов связана со значительными материальными затратами, поэтому особое значение приобретает совершенствование существующих локомотивов. Основной целью модернизации эксплуатируемых и создания новых локомотивов является повышение их производительности и/или энергетической эффективности, способствующих сокращению расхода топлива на тягу поездов и при простое с работающей силовой установкой.

Одним из перспективных и кардинально новых направлений являются молекулярные накопители электрической энергии (НЭ), или иначе суперконденсаторы. Они обладают емкостью от единиц до тысячи фарад.

Молекулярные НЭ уже освоены промышленностью и имеют высокие технико-экономические характеристики. Они могут применяться в импульсном кратковременном режиме и в режиме длитель-

ного заряда. В молекулярных НЭ не происходят внутренние химические реакции, малы потери и поэтому коэффициент отдачи таких НЭ близок к единице. Существующие образцы НЭ имеют ресурс более $10^4 \dots 10^7$ циклов и срок службы 12 лет. Выпускаемые НЭ имеют закрытую конструкцию и не требуют обслуживания в течение всего срока эксплуатации. Накопители можно разделить на несколько основных групп. Накопители серии ПП являются низковольтными, до 24 вольт, но при этом имеют высокую емкость и малое внутреннее сопротивление. Накопители ИКЭ рассчитаны на большое напряжение, но при этом имеют емкость 1...2 Ф и достаточно большое внутреннее сопротивление.

Накопители ЭК по своей конструкции занимают промежуточное положение между молекулярными НЭ и аккумуляторами. Их энергоемкость на порядок больше, чем у накопителей других серий. Однако НЭ серии ЭК не допускают изменения полярности подведенного напряжения. Как и аккумуляторы, их нельзя разряжать полностью.

На железнодорожном транспорте накопители энергии уже нашли применение. Их устанавливают на некоторых тепловозах, где они обеспечивают надежный запуск дизеля при низких температурах и при разряженной аккумуляторной батарее. При этом накопитель значительно продлевает срок службы батареи и позволяет использовать более дешевую батарею меньшей емкости.

На электроподвижном составе накопители энергии пока не применяются.

Основные параметры некоторых отечественных молекулярных накопителей энергии указаны в табл. 1.

Конденсаторные накопители большой емкости подключаются параллельно обмотке возбуждения каждого тягового двигателя тепловоза. При этом улучшаются противобуксовочные свойства двигателя последовательного возбуждения и сохраняются его мягкие характеристики.

Конденсаторы большой емкости также начинают применяться для конденсаторных систем пуска (КСП) дизелей локомотивов, особенно при изношенных аккумуляторных батареях и пониженных температурах окружающей среды.

КСП с молекулярными наполнителями энергии (МНЭ), используемыми в составе системы пуска дизелей локомотивов, позволяют преодолеть механическое сопротивление на стартовое раскручивание коленчатого вала (1.5–2 сек), и КСП практически на порядок снижают токовую нагрузку батареи в момент запуска дизеля. КСП предназначены для

повышения надежности, увеличения ресурса систем запуска дизелей, улучшения условий эксплуатации и обслуживания локомотивов и обладают следующими достоинствами: запуск дизеля производится даже при снижении напряжения батареи до 40–30 вольт; стартовая мощность КСП в 10 раз превышает мощность штатных аккумуляторных батарей; гарантированный быстрый запуск дизеля, в т.ч. в условиях низких температур, позволяет добиваться значительной экономии топлива, особенно на предприятиях промышленного транспорта с циклическим характером технологических перевозок; позволяет значительно сократить требуемую емкость аккумуляторных батарей и заменить их на более дешевые; срок службы КСП – до 15 лет; количество зарядно-разрядных циклов – 2 млн; МНЭ пожаро-, взрывобезопасны, не содержат токсичных веществ; КСП исключительно надежна и не требует специального ухода.

Конденсаторные системы пуска подключаются к штатным системам пуска дизелей локомотивов.

Штатная система пуска дизеля включает в себя стартер-генератор или тяговой генератор, работающий в стартерном режиме, аккумуляторную батарею (АБ) с номинальным напряжением 64 В или 96 В, систему прокачки масла и коммутационную аппаратуру в виде пусковых контакторов.

Конденсаторная система КСП–75 с накопителями энергии МНЭ–25/75 предназначена для использования в составе системы пуска дизелей локомотивов с напряжением цепей управления 75 В и номинальным напряжением аккумуляторной батареи 64 В. Конденсаторная система КСП–9/110 предназначена для использования в составе системы пуска дизелей локомотивов с напряжением цепей управления 110 В и номинальным напряжением аккумуляторной батареи 96 В.

Для железных дорог применяются накопители пяти видов, основные параметры которых указаны в табл. 2.

Емкостные накопители бывают двух типов – традиционные и суперконденсаторы.

Использование традиционного емкостного накопителя энергии для тяговых сетей исключается из-за ограниченной удельной энергоемкости конденсаторов. В настоящее время более интенсивно ведутся работы по созданию и внедрению электрохимических конденсаторов. Эти конденсаторы реализуют процесс накопления заряда в двойном электрическом слое на поверхности контакта электрода и электролита.

Таблица 1 – Основные параметры молекулярных накопителей энергии

Параметр	24ПП 30/0,003	12ПП 4/0,003	30ЭК404Н	ИЭК 1,5/300	ИЭК 20/150
Диапазон рабочих напряжений, В	0...24	0...12	27...45	0...300	0...150
Энергоемкость, кДж	30	4	450	70	20
Емкость, Ф	104,2	55,6	530	1,55	1,78
Внутреннее сопротивление, Ом	0,003	0,003	0,012	0,3	0,18

Таблица 2 – Основные параметры накопителей

Показатели	Тип накопителя энергии				
	Электрохимический	Емкостный		Электромеханический	Сверхпроводящий
		традиционный	суперконденсатор		
Весовой, Дж/кг	$5,7 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^4$
Объемный, Дж/м ³	$14 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^6$	$0,26 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$
КПД	0,6...0,8	0,9	0,85...0,95	0,7...0,9	0,89
Количество циклов	10^3	10^5	10^5	10^5	10^6
Длительность циклов	мин-час	мс	мс-мин	с-час	с-час
Потери энергии за час, %	4...6	3	0,02	6...17	0,15...0,4
Доля энергии обмена, %	87	95	–	92	98

Они имеют такие преимущества, как наибольшая из всех разновидностей аккумуляторов объемная и весовая плотность мощности, долговечность свыше 10 лет и 100 000 циклов заряда–разряда, низкий показатель саморазряда – до 10 % в месяц, высокий КПД – более 95 %.

В настоящее время разработан и создан ряд промышленных накопителей энергии на базе электрохимических конденсаторов с запаасаемой энергией 48 и 112 кДж, напряжением – 30 и 45 В, емкостью – 300 и 240 Ф, массой – 18 и 27 кг соответственно. Благодаря высокому току и короткому времени разряда они в настоящее время нашли применение в транспорте для запуска двигателей.

Однако электрохимическим конденсаторам свойственны такие недостатки, как меньшая по сравнению с обычными аккумуляторами удельная энергия, зависимость напряжения от степени заряда, низкое напряжение, малый срок службы на предельных напряжениях заряда, длительный процесс заряда до 100 % емкости (15...40 мин.).

Высокая удельная энергия и мощность электрохимических конденсаторов позволили создать накопитель энергии, который по многим параметрам превосходит традиционные стартерные батареи.

Электрохимические конденсаторы могут эффективно применяться для пуска больших дизельных двигателей, накопители энергии на основе конденсаторов оптимальны для реализации процессов, требующих высоких мощностей, таких, как прокрутка вала двигателя в начальный момент пуска.

Примером маневрово-вывозного тепловоза с гибридной силовой установкой является тепловоз ТЭМ9Н SinaraHybrid. Он представляет собой четырехосный локомотив с электрической передачей переменного тока, индивидуальным приводом колесных пар с суммарной мощностью 1200 л.с. Локомотив оборудован литий-ионными накопителями энергии и суперконденсаторами.

Новый тепловоз способен на 40 % сократить потребление дизельного топлива. Серийное производство таких локомотивов запланировано для РЖД в 2013 году.

Применение накопителей энергии, способных воспринимать резко переменные нагрузки при одновременной стабилизации режима работы теплового двигателя, позволит повысить его надежность и экологические показатели и улучшить экономические показатели работы силовой установки тепловоза с сохранением его тяговой характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов Л.Г. Электромонтер-аккумуляторщик. – М.: Высшая школа, 1973.
2. Драчев Г.Г. Аккумуляторы подвижного состава. – М.: Транспорт, 1970.
3. Дасоян М.А., Новодережкин В.В., Томашевский Ф.Ф. Производство электрических аккумуляторов. – М.: Высшая школа, 1970.
4. Иванова Е.А., Бельков В.М. Эксплуатация и утилизация никель-кадмиевых аккумуляторов // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 2. – С. 32–34.

USE OF ENERGY STORAGE DEVICES PARAMETERS TO IMPROVE LOCOMOTIVES

A. Ustenko, O. Pasko

Ukrainian State Academy of Railway Transport
pl. Feyerbacha, 7, Kharkov, 61050, Ukraine. E-mail: zamdek@kart.edu.ua

The article describes the technical specifications, operational performance of existing and promising types of batteries for railway rolling Ukraine. The principles of safe and efficient operation, maintenance and repair of batteries.

Key words: batteries, energy storage, supercapacitors.

REFERENCES

1. Semenov L.G. *Electrician-akkumulyatorschik*. – М.: Vysshaya shkola, 1973. [in Russian]
2. Drachev G.G. *Batteries rolling stock*. – М.: Transport, 1970. [in Russian]
3. Dasoyan M.A., Novoderezhkin V.V., Thomashovsky F.F. *Manufacture of electric accumulators*. – М.: Vysshaya shkola, 1970. [in Russian]
4. Ivanova E.A., Bel'kov V.M. Operation and disposal of nickel-cadmium batteries // *Bulletin of VNIIZhT*. – 2011. – № 2. – PP. 32–34. [in Russian]

Стаття надійшла 1.06.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Клепиковим В.Б.