Обзор конструкций тяговых аккумуляторных батарей, применяемых на шахтных электровозах

Гутаревич В. О.¹, Рябко К. А.^{2*}, Рябко Е. В.², Захаров В. А.²

¹ Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

² Донецкий институт железнодорожного транспорта, г. Донецк

*e-mail: railroader@yandex.ru

Реферат

Введение. Актуальным в настоящее время является использование щелочных и свинцово-кислотных аккумуляторных батарей на электровозах, применяемых на горнодобывающих предприятиях. Возникает необходимость в изучении требований к шахтным электровозам, выявлении преимуществ и недостатков электрохимических систем.

Цель работы. Провести сравнительный анализ используемых электрохимических систем шахтных локомотивов. Рассмотреть преимущества и недостатки аккумуляторных батарей, применяемых на шахтных электровозах. Изучить процессы, протекающие при зарядке-разрядке аккумуляторов.

Методология. Выполняется обзор существующих электрохимических систем, применяемых на электроподвижном составе в условиях горных выработок. Рассматриваются процессы заряда-разряда щелочных и свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

Результаты. В данной статье выполнен анализ электрохимических систем, применяемых на шахтных электровозах. Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи имеют ряд существенных недостатков, которые ограничивают условия их эксплуатации. Щелочные аккумуляторные батареи получили более широкое распространение в качестве источника энергии для шахтных электровозов.

Выводы. Выделены основные виды электрохимических систем, применяемые на шахтных локомотивах. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Определено, что данные виды аккумуляторных батарей работают с использованием едких веществ, что требует дополнительных мер по обеспечению безопасности эксплуатации.

Ключевые слова: электровоз; аккумуляторная батарея; параметры; цикл; заряд; взрывобезопасность.

Введение. Как известно, аккумуляторные электровозы предназначены для транспортировки вагонеток с полезными ископаемыми, породой, вспомогательными материалами, а также для перевозки людей по главным и вспомогательным откаточным горным выработкам шахт, опасных по газу или пыли. К аккумуляторным электровозам предъявляются требования *Правил безопасности по применению электровозов повышенной надежности (РП) или взрывобезопасных (РВ)*. Одним из дорогостоящих узлов шахтного локомотива являются аккумуляторные батареи, которые имеют ограничения циклов заряда-разряда их элементов [1].

Особую актуальность представляют исследования, направленные на повышение нормативного срока службы аккумуляторных батарей и их взрывобезопасность. Шахтные аккумуляторные электровозы, как правило, комплектуются электрооборудованием с уровнем взрывозащищенности РВ (рудничное взрывобезопасное), однако из-за применения аккумуляторной батареи данные электровозы относят к классу безопасности РП (рудничные повышенной надежности) [2].

Шахтные аккумуляторные электровозы (рис. 1) в исполнении РП применяются [3]:

– в откаточных выработках шахт I и II категорий по газу или опасных по пыли;

– в откаточных выработках со свежей струей воздуха шахт III категории и сверхкатегорийных по газу;

– в откаточных выработках со свежей струей воздуха на пластах, не опасных по внезапным выбросам, и на шахтах, опасных по внезапным выбросам.

Шахтные аккумуляторные электровозы в исполнении РВ применяются:

– в откаточных выработках шахт, опасных по газу или пыли;

– в выработках шахт с исходящей струей воздуха и тупиковых, проветриваемых вентиляторами местного проветривания;

– на шахтах III категории, сверхкатегорийных по газу и опасных по внезапным выбросам.

a

б

Рис. 1. Шахтные аккумуляторные локомотивы:

a – АРП14; *б* – АРП7

Fig. 1. Mine battery locomotives:

a – ARP14; *б* – ARP7

Задачи исследования. Провести сравнительный анализ применяемых электрохимических систем шахтных локомотивов. Рассмотреть преимущества и недостатки аккумуляторных батарей, применяемых на шахтных электровозах. Рассмотреть процессы, протекающие при зарядке-разрядке аккумуляторов.

Основной материал исследования. Как правило, все электрооборудование аккумуляторных электровозов, за исключением аккумуляторных батарей, имеет взрывобезопасное исполнение, что определяется *Нормами безопасности на основное горнотранспортное оборудование для угольных шахт РД 05-325-99* и должно соответствовать их требованиям. При наличии в оборудовании узлов, выделяющих при работе тепло, должны предусматриваться средства, исключающие нагрев наружных поверхностей сверх допустимой температуры. Предельно допустимая температура наружных частей оборудования в нормальном режиме работы не должна превышать 150 °С.

Уровень нагрева частей оборудования, соприкасающихся с горючими смазочными и рабочими жидкостями, не должен превышать 80 % температуры самовоспламенения применяемых жидкостей. Более детально требования к электрическому оборудованию электровозов рассматриваются в *Нормах безопасности на основное горнотранспортное оборудование для угольных шахт РД 05-325-99*.

Все электрооборудование электровозов в исполнении РП и РВ должно изготавливаться в соответствии с действующими нормативно-техническими документами на рудничное взрывозащищенное электрооборудование. Вновь создаваемые электровозы в исполнении РВ должны иметь автоматическую газовую защиту, а конструкция батарейных ящиков и аккумуляторных батарей должна отвечать требованиям действующей нормативно-технической документации, а также выдерживать испытания, предусмотренные РТМ *Оборудование электро-*

техническое взрывозащищенное и рудничное. Методы испытаний (ОАА.638.013-71). По согласованию с испытательной организацией допускается в отсеках батарейных ящиков напряжение свыше 40 В, если приняты дополнительные меры по обеспечению высокого сопротивления изоляции аккумуляторных батарей относительно корпуса ящика. Схема расстановки аккумуляторов должна быть такой, чтобы исключалась возможность прикосновения человека к токопроводящим частям с напряжением свыше 40 В. Батарейные ящики должны изготавливаться с учетом возможности снятия их с электровоза на зарядный стол и обратно кранбалкой, а электровозы сцепной массой до 5,09 т должны оборудоваться приспособлениями для механического скатывания батарейных ящиков с электровоза на зарядный стол и обратно (*Нормы безопасности на основное горнотранспортное оборудование для угольных шахт РД 05-325-99*). Соединение аккумуляторов в батарею должно выполняться с помощью гибких изолированных перемычек, последние не должны нести никакой механической нагрузки.

Рис. 2. Монорельсовые аккумуляторные локомотивы

a – DLZA90F; *б* – LZH 120 D5.1

Fig. 2. Monorail battery locomotives

a – DLZA90F; *б* – LZH 120 D5.1

На данный момент широко распространены электровозы со сцепной массой 7,1; 10,19; 14,27; 28,5 т, имеющие обозначения АРП7; АРВ; АРП10; АРП; АРП14; АРП28; АРП8 [4]. Также на горнодобывающих предприятиях применяются локомотивы серии 4,5АРП; 5АРВ; АМ8Д; 2АМ8Д; АК2У [5].

Учитывая динамику развития подвесных монорельсовых дорог [6], необходимо выделить шахтные монорельсовые подвесные аккумуляторные локомотивы, служащие для перевозки как людей, так и грузов – Scharf, DLZA90F, LZH 120 D5.1 [7, 8] (рис. 2). На данных локомотивах применяются аккумуляторы типа TZH4/8F-ZA.

Проанализировав эксплуатируемый в горнодобывающих условиях подвижной состав, выявили, что существует большое количество шахтных локомотивов с применением на электроподвижных рудничных электровозах [3] аккумуляторных батарей 36ТНЖ-300; 66ТНЖШ-350; 88ТНЖ-400-У5; 90ТНЖК-55-У5; 154ТНЖШ-550У5; 7 PzS 420-4b; 7 PzS 630-4b; 8 PzS 720-4b; TZH4/8F-ZA и других, в которых используются две основные электрохимические системы, а именно: батареи могут быть щелочными и свинцово-кислотными [9] (рис. 3).

Рассмотрим основные процессы, протекающие в свинцово-кислотных аккумуляторных батареях. Во время химической реакции положительные электроды используют в 1,6 раза больше кислоты, чем отрицательные. Когда аккумулятор разряжается, объем электролита растет, а при зарядке наоборот – уменьшается.

Таким образом, идет химическая реакция, и аккумулятор принимает, а потом отдает электрическую энергию.

При заряде щелочного аккумулятора под действием электрической энергии, подводимой от внешнего источника тока, происходит окисление активной массы положительных пластин, сопровождаемое переходом гидрооксида никеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$ в NiOOH .

В то же время активная масса отрицательных пластин восстанавливается с образованием железа Fe или кадмия Cd . Электрохимические реакции при разряде и заряде никель-железного аккумулятора могут быть выражены уравнением:

для никель-кадмиевого:

Электрохимические реакции при заряде свинцово-кислотной аккумуляторной батареи:

для катода

для анода

Читая это уравнение слева направо, получаем процесс разряда, справа налево – процесс заряда.

Положительным качеством щелочного аккумулятора является то, что все компоненты, образующиеся в процессе заряда и разряда, практически нерастворимы в электролите и не вступают в какие-либо химические реакции. Электролит в процессе электрохимических реакций не расходуется, поэтому плотность его не изменяется. Это позволяет сократить количество электролита, что влияет на компактность аккумуляторов по сравнению с кислотными.

Рассмотрим преимущества и недостатки применяемых электрохимических систем.

Основные преимущества свинцово-кислотной аккумуляторной батареи:

- сравнительно небольшая стоимость ввиду простоты технологии изготовления (согласно расчету себестоимости 1 Вт/ч), что делает их экономически выгодными;

- надежность и простота в обслуживании;

- малая саморазрядность, более низкая по сравнению с другими типами батарей;

- не требуют постоянной доливки электролита;

- обеспечение сравнительно высокого тока разряда.

Наряду с преимуществами свинцово-кислотные аккумуляторные батареи имеют следующие недостатки:

- хранение батарей осуществляется в заряженном состоянии;

- большой удельный вес элементов аккумуляторной батареи;

- ограниченное количество циклов полного разряда;

- негативное влияние кислотного электролита на окружающую среду;

- перегрев батареи при неправильной зарядке;
- необходимость специальных условий для утилизации аккумуляторных батарей.

Исходя из сказанного можно сделать вывод, что свинцово-кислотные аккумуляторы имеют ряд преимуществ, однако из-за специфики работы на горнодобывающих предприятиях и существующих недостатков свинцово-кислотной электролитической системы ввиду требований РД 05-325-99 [10] применение аккумуляторных батарей с данной электрохимической системой затруднено.

Щелочные аккумуляторные батареи [11] получили широкое распространение на отечественных шахтных электровозах. Распространены железо-никелевые аккумуляторы, преимуществами которых являются:

- длительный срок службы при правильной эксплуатации;
- возможность глубокого разряда;
- работа при низких температурах без потери свойств;
- небольшой саморазряд;
- небольшой удельный вес.

а *б*

Рис. 3. Общий вид элементов аккумуляторных батарей:

а – щелочные; *б* – свинцово-кислотные
Fig. 3. General view of the battery cells:
а – alkaline; *б* – lead acid

Наряду с преимуществами данная электрохимическая система имеет такие недостатки:

- цена на щелочной аккумулятор гораздо выше, чем на аналогичный кислотный;
- стоимость зарядного устройства для таких батарей превышает стоимость зарядного устройства для кислотных аккумуляторов;
- в процессе зарядки могут выделяться едкие пары, которые нарушают работу зарядного устройства, если оно расположено близко к заряжаемой батарее (для зарядки необходимо выделять хорошо проветриваемое помещение, а расстояние между зарядным устройством и аккумулятором должно быть не менее пяти метров);
- меньшая ЭДС.

Также на данный момент в роли тяговых аккумуляторов электроподвижного состава актуальным является применение новых электрохимических систем, а именно литий-ионных, фторид-ионных, полимерных и других.

Наибольшее распространение получили литий-ионные аккумуляторные батареи, которые уже были испытаны на горнодобывающих предприятиях. На руднике «Интернациональный», принадлежащем компании «АЛРОСА», в течение полугода проводились промышленные испытания уникального шахтного электровоза на аккумуляторах компании РОСНАНО «Лиотех», после чего было принято решение о переходе другого оборудования на электротягу. При этом компании «Лиотех» и «БелАЗ» подписали меморандум о сотрудничестве, в рамках которого новосибирская компания примет участие в создании тяговых батарей для карьерной и горнорудной техники. В частности, будут разработаны аккумуляторные троллейбусы и подземные погрузочно-доставочные машины для угольных разрезов, рудников и шахт.

Как и все электрические батареи, литий-ионная состоит из анода (отрицательного электрода) и катода (положительного электрода) и электролита в качестве проводника. Катод представляет собой оксид металла (литий-переходный материал: оксид лития-кобальта или литий-оксид марганца), а анод состоит из пористого углерода. Во время разряда ионы движутся от анода к катоду через электролит и сепаратор, при заряде процесс меняет направление на противоположное [12]. Выбор данной электрохимической системы обусловлен ее характеристиками, емкость литий-ионных аккумуляторных батарей составляет 100–180 Вт · ч/кг и 250–400 Вт · ч/л, рабочее напряжение 3,5–3,7 В и нижний порог напряжения единичного элемента 2,5–2,0 В, при этом мощные литий-ионные аккумуляторные батареи работоспособны при токах разряда до 10–20 °С, интервал рабочих температур составляет от –20 до +60 °С. Саморазряд данных аккумуляторов составляет 4–6 % за первый месяц, а затем существенно снижается до 10–20 % в год, при этом аккумуляторы имеют ресурс 500–1000 циклов.

Рассмотрим электрохимические реакции, протекающие в литий-ионных аккумуляторных батареях, которые могут быть выражены уравнениями: на положительном электроде

на отрицательном электроде

суммарная реакция

Преимущества литий-ионных аккумуляторных батарей [13]:

- высокая плотность накапливаемой энергии и разрядных токов;
- выдача более высокого напряжения (по сравнению с аккумуляторами типов NiCd и NiMH);
- постоянная готовность к эффективной эксплуатации;
- минимальный саморазряд – 4–6 % за месяц, 10–20 % за год;
- отсутствие «эффекта памяти» – возможность регулярной небольшой подзарядки;
- отсутствие необходимости в «тренировке»;
- широкий диапазон рабочих температур – от –20 до +50 °С;
- эффективное сохранение накопленной энергии, потеря не более 5 % накопленной емкости в месяц;

- возможность создания Li-Ion аккумуляторов различных форм и размеров;
- легкий вес;
- возможность длительного хранения в условиях, рекомендованных производителем;
- незначительное старение без регулярной эксплуатации – до 20 % в год;
- большой эксплуатационный ресурс – около 10 лет;
- существенный запас рабочих циклов разряд-заряд – более 1000;
- простота в уходе и использовании.

Однако данная электротехническая система не лишена недостатков [14]:

- относительная дороговизна;
- низкая устойчивость к избыточному заряду и полному разряду, поэтому «умные» Li-Ion батареи оснащаются встроенными системами автоматического отключения;
- ограниченный диапазон рабочих температур (от -20 до $+60^{\circ}\text{C}$), ухудшение работы при высоких температурах, снижение емкости при использовании в отрицательных температурах;
- затрудненность зарядки при отрицательных температурах;
- взрывоопасность при повреждении корпуса (проколе или другом нарушении герметичности);
- зависимость срока службы от времени, а не от числа циклов разрядки и зарядки, с течением времени происходит постепенная потеря емкости.

При применении жидкостных электрохимических систем в качестве тяговых аккумуляторных батарей возникает задача отвода выделяемых газов в процессе зарядки. В режиме торможения аккумуляторного электровоза электрический привод переводится в генераторный режим, т. е. выполняется рекуперация и аккумуляторная батарея переходит в режим зарядки. Как описано ранее, в процессе зарядки свинцово-кислотных и щелочных батарей происходит выделение водорода. Водородно-воздушная смесь является взрывоопасной, что требует дополнительной взрывозащищенности аккумуляторного отсека и его вентиляции. Таким образом, проблема взрывозащищенного исполнения аккумуляторных батарей [15, 16] является актуальной и требует дальнейших исследований.

На данный момент вопрос экологичности и стоимости играет важную роль в машиностроении и уже ведутся разработки по применению нетрадиционных возобновляемых источников энергии и суперконденсаторов [17, 18]. Однако данные исследования не достигли момента массового внедрения. Аналогично не получили внедрение на рельсовом транспорте комбинированные [13] дизель-аккумуляторные локомотивы, имеющие возможность перехода с одного вида энергии на другой и одновременной работы на двух видах энергии, что в свою очередь снижает расход топлива дизельной силовой установки локомотива и сокращает количество выхлопных газов таких локомотивов.

Выводы. Выполнен анализ электрохимических систем, применяемых в качестве тяговых аккумуляторных батарей шахтных электровозов, который свидетельствует, что свинцово-кислотные аккумуляторные батареи имеют ряд существенных недостатков, которые ограничивают условия их эксплуатации. Щелочные аккумуляторные батареи получили более широкое распространение в качестве источника энергии для шахтных электровозов. Однако применение едких веществ в рассмотренных электрохимических системах свидетельствует об актуальности повышения безопасности данного узла по требованиям, предъявляемым к электровозам, эксплуатируемым на горнодобывающих предприятиях. На данный момент появилась возможность применения новых литий-ионных

электрохимических систем, лишенных недостатка выделения водорода, существует опытный образец аккумуляторного электровоза, на котором применены аккумуляторы «Лиотех». Однако проблема взрывобезопасности при повреждении корпуса литий-ионных аккумуляторных батарей остается нерешенной, данный вопрос требует детального анализа, который будет выполнен в дальнейших исследованиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев К. А., Николаев А. К., Сазонов К. Г. Транспортные машины и оборудование шахт и рудников. Санкт-Петербург: Лань, 2012. 544 с.
2. Шахтный подземный транспорт: в 2 т. Т 1. Шахтный локомотивный и рельсовый транспорт / под общ. ред. Б. А. Грядущего; Науч.-исслед. ин-т горн. механики им. М. М. Федорова. Донецк: ВИК, 2011. 481 с.
3. Электровоз аккумуляторный АПП-14. URL: <http://rudf.ru/oborudovanie/raznoe/53-oborud/shakhtnyj-transport/elektrovozy/335-elektrovoz-akkumulyatornyj-arp-14.html> (дата обращения: 16.09.2019).
4. Производство электровозов. ООО «Амплитуда», 1993–2018. URL: <http://amplituda.com.ua/index.php?id=15982&show=4nalbum&do=showgall&gid=27896> (дата обращения: 16.09.2019).
5. Сафонов Г. Н. Машинист шахтного электровоза. М.: Недра, 1991. 351 с.
6. Гутаревич В. О. Динамика шахтных подвесных монорельсовых дорог. Донецк: ЛАНДОН-XXI, 2014. 205 с.
7. Локомотивы LZH. URL: <https://www.ortas-mining.ru/locomotivi-lzh/> (дата обращения: 16.09.2019).
8. DLZA30F. URL: <http://ferrit.cz/ru/produkty/podvesnoj-transport/lokomotivy-akkumulatornyj-dlza30f> (дата обращения: 16.09.2019).
9. АКБ для шахтных электровозов. ООО «СЛ-ЭНЕРГИЯ», 2019. URL: <https://www.sl-energy.com.ua/produkcija/traction-batteries/akb-dlja-shahtnih-jelektrovozov/> (дата обращения: 19.09.2019).
10. Драчев Г. Г. Аккумуляторы подвижного состава. М.: Транспорт, 1970. С. 1–160.
11. «Лиотех» принял участие в создании энергоэффективного электровоза для алмазной шахты. URL: <https://www.rusnano.com/about/press-centre/news/20190418-rosnano-liotekh-prinyal-uchastie-v-sozdani-energoeffektivnogo-elektrovoza-dlya-almaznoy-shakhty> (дата обращения: 19.09.2019).
12. Плюсы и минусы литий-ионных аккумуляторов. URL: <https://www.voltbikes.ru/blog/electro/pljusy-i-minusy-litij-ionnyh-akkumuljatorov/> (дата обращения: 19.09.2019).
13. Степаненко В. П. Пути повышения энергоэффективности и ресурсосбережения горного локомотивного транспорта // ГИАБ. 2016. № 9. С. 128–137.
14. Буряк А. Д. Исследование процессов и обоснование системы автоматизированного электропривода шахтного электровоза на основе использования вентильного двигателя. URL: <http://www.masters.donntu.org/2006/fema/buryak/diss/index.htm> (дата обращения: 19.09.2019).
15. Гордеев И. П. Повышение надежности изоляции тяговых силовых цепей локомотивов: дис. ... канд. техн. наук. Самара, 2006. 305 с.
16. Чаплинский С. И. Совершенствование системы технической эксплуатации локомотивов: дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2009. 158 с.
17. Степаненко В. П. Анализ перспектив применения в горной промышленности нетрадиционных возобновляемых источников энергии и суперконденсаторов // ГИАБ. 2017. № 1. С. 185–194.
18. Степаненко В. П. Применение комбинированных (гибридных) энергосиловых установок в горной промышленности. М.: МИСиС, 2014. С. 322–328.

Поступила в редакцию 11 октября 2019 года

Сведения об авторах:

Гутаревич Виктор Олегович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры транспортных систем и логистики Донецкого национального технического университета. E-mail: viktor.gutarevich@mail.ru

Рябко Константин Александрович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета управления на железнодорожном транспорте Донецкого института железнодорожного транспорта. E-mail: railroader@yandex.ru

Рябко Евгения Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры подвижного состава железных дорог Донецкого института железнодорожного транспорта. E-mail: evgeniya.ryabko@gmail.com

Захаров Владимир Александрович – аспирант кафедры подвижного состава железных дорог Донецкого института железнодорожного транспорта. E-mail: zaharov21996@mail.ru

Review of structural battery designs used on mine electric locomotives

Viktor O. Gutarevich¹, Konstantin A. Riabko², Evgeniia V. Riabko², Vladimir A. Zakharov²

¹ Donetsk National Technical University, Donetsk.

² Donetsk Institute of Railway Transport, Donetsk.

Abstract

Introduction. The use of alkaline and lead-acid batteries in electric locomotives of mining enterprises is currently relevant. There is a need to study the requirements for mine electric locomotives and identify the advantages and disadvantages of electrochemical systems.

Research aim is to conduct a comparative analysis of the applied electrochemical systems of mine locomotives, consider the advantages and disadvantages of batteries used in mine electric locomotives, and consider the processes that occur when charging and discharging batteries.

Methodology. A review of existing electrochemical systems used on electric rolling stock in the conditions of mine workings is carried out. The processes of charge-discharge of alkaline and lead-acid batteries are considered.

Results. This article analyzes the electrochemical systems used in mine electric locomotives, of which two can be distinguished. Lead-acid batteries have a number of significant drawbacks that limit their operating conditions. Alkaline batteries are more widely used as an energy source for mine electric locomotives.

Findings. The main types of electrochemical systems used in mine locomotives are highlighted. Their main advantages and disadvantages are examined, from which it follows that the data on the type of batteries operate using caustic substances, which requires additional measures to ensure safe operation.

Key words: electric locomotive; battery; parameters; cycle; charge; explosion safety.

REFERENCES

1. Vasiliev K. A., Nikolaev A. K., Sazonov K. G. *Transport machines and equipment of shafts and mines*. St. Petersburg: Lan Publishing; 2012. (In Russ).
2. Griadushchii B. A. (ed.). *Mine underground transport. In 2 vol. Vol. 1. Mine locomotive and rail transport*. Donetsk: VIK Publishing; 2011. (In Russ).
3. *Battery locomotive ARP-14*. Available from: <http://rudf.ru/oborudovanie/raznoe/53-oborud/shakhtnyj-transport/elektrovoz/335-elektrovoz-akkumulyatornyj-arp-14.html> [Accessed 16 September 2019]. (In Russ.)
4. Production of electric locomotives. LLC Plant "Amplitude". 1993–2018. Available from: <http://amplituda.com.ua/index.php?id=15982&show=4album&do=showgall&gid=27896> [Accessed 16 September 2019]. (In Russ.)
5. Safonov G. N. *The driver of a mine electric locomotive*. Moscow: Nedra Publishing; 1991. (In Russ).
6. Gutarevich V. O. *Dynamics of mine suspended monorail*. Donetsk: LANDON-XXI Publishing; 2014: 205. (In Russ).
7. *Locomotives LZH*. Available from: <https://www.ortas-mining.ru/locomotivi-lzh> [Accessed 16 September 2019]. (In Russ.)
8. *DLZA30F*. Available from: <http://ferrit.cz/eng/produkty/podvesnoj-transport/lokomotivy-akkumulatorye/dlza30f> [Accessed 16 September 2019]. (In Russ.)
9. *Battery for mine electric locomotives*. LLC SL-ENERGY; 2019. Available from: <https://www.sl-energy.com.ua/produkcija/traction-batteries/akb-dlja-shahtnih-jelektrovozov> [Accessed 19 September 2019]. (In Russ.)
10. Drachev G. G. *Rolling stock batteries*. Moscow: Transport Publishing; 1970. (In Russ).
11. *Liotech participated in the creation of an energy-efficient electric locomotive for a diamond mine*. Available from: <https://www.rusnano.com/about/press-centre/news/20190418-rosnano-liotech-prinyal-uchastie-v-sozdanii-energoeffektivnogo-elektrovoza-dlya-almaznoy-shakhty> [Accessed 19 September 2019]. (In Russ.)
12. *Pros and cons of lithium-ion batteries*. Available from: <https://www.voltbikes.ru/blog/electro/pljusy-i-minusy-litij-ionnyh-akkumuljatorov> [Accessed 19 September 2019]. (In Russ.)
13. Stepanenko V. P. Ways to improve energy efficiency of resource-saving mountain locomotive transport. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016; 9: 128–137. (In Russ).
14. Buriak A. D. *Study of processes and justification of the automated electric drive system for a mine electric locomotive based on the use of a valve motor*. Available from: <http://www.masters.donntu.org/2006/fema/buryak/diss/index.htm> [Accessed 19 September 2019].
15. Gordeev I. P. *Improving the reliability of isolation of traction power circuits of locomotives: diss. PhD in Engineering*. Samara; 2006. (In Russ).
16. Chaplinskii S. I. *Improving the system of technical operation of locomotives: diss. PhD in Engineering*. St. Petersburg; 2009. (In Russ).
17. Stepanenko V. P. Analysis of application prospects in the mining industry renewable and combined energy storage. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 1: 185–194. (In Russ).

18. Stepanenko V. P. *The use of combined (hybrid) power plants in the mining industry*. Moscow: MISiS Publishing; 2014. (In Russ).

Received 11 October 2019

Information about authors:

Viktor O. Gutarevich – DSc (Engineering), Associate professor, professor of the Department of Transport Systems and Logistics, Donetsk National Technical University. E-mail: viktor.gutarevich@mail.ru.

Konstantin A. Riabko – PhD (Engineering), Associate professor, Dean of the Faculty of Management of Railway Transport, Donetsk Institute of Railway Transport. E-mail: railroader@yandex.ru.

Evgeniia V. Riabko – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Rolling Stock of Railways, Donetsk Institute of Railway Transport. E-mail: evgeniya.ryabko@gmail.com.

Vladimir A. Zakharov – PhD student, Department of Rolling Stock of Railways, Donetsk Institute of Railway Transport. E-mail: zaxarov21996@mail.ru.

Для цитирования: Гутаревич В. О., Рябко К. А., Рябко Е. В., Захаров В. А. Обзор конструкций тяговых аккумуляторных батарей, применяемых на шахтных электровозах // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 2. С. 109–118. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-109-118

For citation: Gutarevich V. O., Riabko K. A., Riabko E. V., Zakharov V. A. Review of structural battery designs used on mine electric locomotives. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 2: 109–118 (In Russ). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-109-118