

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

УДК 621.355

А.А. Шаповало, к.т.н., ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ), A.Shapovalov@adm.gazprom.ru

Т.Ф. Коноплев, ПАО «Газпром», T.Konoplev@adm.gazprom.ru

В.Ф. Югай, к.т.н., ПАО «Газпром», V.Yugay@adm.gazprom.ru

В.Н. Толмачев, д.т.н., АО «Газпром промгаз» (Санкт-Петербург, РФ), V.Tolmachev@spb.oao-promgaz.ru

Л.А. Устименко, ООО «Системы Постоянного Тока» (Новосибирск, РФ), Larisa.Ustimenko@systemct.ru

В статье рассмотрены особенности построения и функционирования систем постоянного тока производственных объектов с использованием свинцово-кислотных аккумуляторов, имеющих ряд существенных недостатков. Приведена классификация основных типов аккумуляторов для стационарного применения. В качестве альтернативы для систем постоянного тока производственных объектов предложено использование литий-ионных аккумуляторов. Отмечены их преимущества, основные типы и характеристики. Литий-ионные аккумуляторные батареи имеют большую удельную энергоемкость и дают более высокое напряжение на одном элементе. Их недостаток – высокая цена. Проведенный анализ характеристик основных типов литий-ионных аккумуляторных батарей показал, что в системах резервного электропитания, а также в системах накопления энергии наиболее целесообразно использование батарей на основе литий-железо-фосфатных аккумуляторов. Результаты сравнительного анализа параметров свинцово-кислотной и литий-железо-фосфатной аккумуляторных батарей напряжением 220 В свидетельствуют о значительных преимуществах батареи на базе литий-ионных аккумуляторов. Выполнен анализ состояния разработки нормативно-правовых документов в области литий-ионных аккумуляторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЕМКОСТЬ, ЛИТИЙ-ИОННЫЙ АККУМУЛЯТОР, РЕСУРС, САМОРАЗРЯД, СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫЙ АККУМУЛЯТОР, СИСТЕМА ПОСТОЯННОГО ТОКА, УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГОЕМКОСТЬ.

Системы постоянного тока (СПТ) используются на производственных объектах для обеспечения питания электроприемников, относящихся по надежности электропитания к особой группе первой категории, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства в целях предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования (например, газоперекачивающих агрегатов (ГПА), автоматизированной системы управления и т.д.) [1, 2].

В настоящее время надежная работа СПТ, особенно в аварийных режимах электропитания, способствует устойчивой реализации основных технологических процессов добычи, транспорта, хранения,

переработки и использования газа, что повышает живучесть и промышленную безопасность производственных объектов в целом. Однако внедрение современного высокоэффективного технологического оборудования (энергоэффективных ГПА, современных систем автоматического мониторинга, контроля и управления, защиты, связи и т.д.) на производственных объектах Общества постоянно ужесточает требования, предъявляемые к надежности электропитания такого оборудования, а также к электропитанию потребителей особой группы первой категории надежности. В связи с этим для обеспечения непрерывно повышающегося уровня надежности электропитания современного технологического оборудования

необходимо своевременное и адекватное изменение существующих технических решений СПТ на основе высокоэффективных технологий, устройств и систем аккумулирования энергии и методических рекомендаций по их применению, а также основных положений нормативных документов и, в частности, действующего СТО Газпром 2-1.11-192-2008 «Положение о построении и организации эксплуатации систем централизованного электропитания постоянным током на объектах ОАО «Газпром» [3].

Изменение существующих технических решений СПТ обусловлено потребностью снижения затрат на электропитание ответственных потребителей и повышения показателей энергетической эффективности СПТ производственных

A.A. Shapovalov, PhD in Engineering, PJSC Gazprom (Saint Petersburg, Russian Federation), A.Shapovalov@adm.gazprom.ru

T.F. Konoplev, PJSC Gazprom, T.Konoplev@adm.gazprom.ru

V.F. Yugai, PhD in Engineering, PJSC Gazprom, V.Yugai@adm.gazprom.ru

V.N. Tolmachev, Doctor of Engineering, JSC Gazprom promgaz (Saint Petersburg, Russian Federation), V.Tolmachev@spb.oao-promgaz.ru

L.A. Ustimenko, Current Transformation Ltd. (Novosibirsk, Russian Federation), Larisa.Ustimenko@systemct.ru

Effective direct current power supply systems based on new type of batteries for industry: development prospects

The paper outlines specifics of development and operation of direct current power supply systems for industry facilities that use lead-acid batteries with serious shortcomings. The authors classify the main types of accumulators designed for stationary application. Lithium ion batteries are suggested as alternative to direct current power supply systems for industry facilities. The paper figures out their strong sides, basic types and parameters. Lithium ion batteries have big density of storage energy and provide higher voltage per one element. High price is their weak point. Performed analysis of parameters of the basic types of lithium ion batteries has indicated that it is reasonable to use lithium iron phosphate batteries in backup power supply systems and energy storage systems. Comparative analysis of lead-acid and lithium iron phosphate 220 V batteries strongly favours for batteries based on lithium ion accumulators. The authors also analyzed the current status of legislation in the field of lithium ion batteries.

KEYWORDS: ACCUMULATOR BATTERY, SAFETY, CAPACITY, LITHIUM ION BATTERY, RESOURCE, SELF DISCHARGE, LEAD-ACID ACCUMULATOR, DIRECT CURRENT SYSTEM, STORAGE ENERGY DENSITY.

объектов, в том числе за счет использования нового высокоэффективного оборудования и устройств аккумулирования энергии, а также методологически обоснованного его выбора. Перспективными направлениями применения СПТ представляются также внедрение на производственных объектах интеллектуальных систем энергоснабжения и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), эффективное использование которых невозможно без современных систем аккумулирования энергии.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СПТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В настоящее время на производственных объектах наибольшее распространение получили системы аккумулирования с применением различных типов стационарных свинцово-кислотных, никель-кадмиевых (реже встречаются системы железо-никелевого типа) и литий-ионных аккумуляторов (ЛИА).

Классификация основных типов аккумуляторов для стационарного применения приведена в табл. 1 [4–12].

Сегодня основной тип аккумуляторов, используемых для создания



Рис. 1. Внешний вид свинцово-кислотной аккумуляторной батареи напряжением 220 В
Fig. 1. Configuration of 220 V lead-acid accumulator battery

СПТ производственных объектов, – свинцово-кислотные. Внешний вид свинцово-кислотной аккумуляторной батареи (АБ) показан на рис. 1.

Функциональные схемы и структуры СПТ производственных объектов зависят от характера нагрузки, комплектации АБ и имеют много разновидностей и вариантов исполнения. Функциональные схемы подземных хранилищ газа, дожимных компрессорных станций разрабатываются индивидуально для конкретного типа ГПА с учетом состава потребителей и их технических характеристик.

В существующих централизованных СПТ, как правило, используют следующие основные уровни рабо-

чих напряжений постоянного тока: 24 (27) В, 110 (121) В и 220 (242) В.

Типовая схема централизованной СПТ напряжением постоянного тока 220 В компрессорного цеха (КЦ), представленная на рис. 2, выполнена структурно и функционально с учетом требований СТО Газпром 2-1.11-192-2008 [3].

Схемно-технические решения СПТ обеспечивают:

- сохранение питания ответственных электроприемников во всех режимах работы СПТ;
- подключение АБ к каждой из двух секций щита постоянно-го тока (ЩПТ) через отдельный аппарат защиты;
- подключение входных цепей зарядных устройств (ЗУ) к одной из секций щита собственных нужд, а цепей выхода – на разные секции ЩПТ через отдельные аппараты защиты;
- возможность вывода в режим технического обслуживания одной из секций ЩПТ для проведения безопасного проведения регламентных работ;
- питание микропроцессорных устройств управления и защиты (основных и резервных) от разных секций ЩПТ;

Таблица 1. Основные типы стационарных аккумуляторов
Table 1. Basic types of stationary accumulators

Тип аккумулятора Accumulator's type	AGM, Gel (свинцово-кислотный малообслуживаемый) AGM, Gel (lead-acid nonspillable)	NiCD (никель-кадмиевый) NiCD (nickel-cadmium)	NiMH (никель-металлогидридный) NiMH (nickel metal-hydride)	Li-Ion (литий-ионный) Li-Ion (lithium ion)	Li-Pol (литий-полимерный) Li-Pol (lithium polymer)
Напряжение на элемент, В Voltage per element, V	2,0	1,2	1,2	3,2–3,9	3,6
Удельная энергоемкость, Вт·ч/кг Storage energy density, W·h/kg	30–40	40–60	30–80	100–260	130–265
Удельная энергоплотность, Вт·ч/л Power density, W·h/l	60–75	50–150	140–300	250–360	~300
Максимальное число циклов «заряд/разряд» Maximum number of «charge/discharge» cycles	200–1200	2000–8000	500–1000	2000–30 000	1000–20 000
Самозаряд за месяц, % Self-charge per month, %	3	10–30	30	3–5	~5
Минимальное время заряда, ч Minimum charge time, h	8–16	1	2–4	2–4	2–4
Диапазон рабочих температур, °C Range of working temperatures, °C	–10...45	–50...70	–20...60	–20...60	–20...60
Пиковый ток нагрузки (в долях от емкости), С Peak point load current (in fractions of density), C	5	20	5	2...24	>2
Оптимальный ток нагрузки (в долях от емкости), С Optimum load current (in fractions of density), C	0,2	1	0,5	1...4	<1
Эффект памяти Memory effect	Отсутствует No	Присутствует Yes	Присутствует Yes	Отсутствует No	Отсутствует No
Срок службы, лет Service life, years	12–25	20	20	15–25	Нет данных No data
Устойчивость к перегреву Resistance to overheating	Очень низкая, каждые 10 °C снижают срок службы в 2 раза Very low, service life decreases by 2 times per each 10 °C	Высокая High	Высокая High	Средняя Medium	Средняя Medium
Устойчивость к глубокому разряду Resistance to overdischarging	Очень низкая Very low	Высокая High	Высокая High	Низкая low	Нет данных No data
Устойчивость к перезаряду Resistance to recharging	Низкая Low	Средняя Medium	Низкая Low	Очень низкая Very low	Очень низкая Very low

– учет требований электромагнитной совместимости за счет подключения силовых толковых нагрузок и микропроцессорных устройств управления и защиты к отдельным силовым шинам и шинам управления;

– надежное питание потребителей шин управления в СПТ уста-

новкой на вводе стабилизирующих устройств DC/DC, снижающих негативные последствия от токов короткого замыкания.

Существующие СПТ производственных объектов часто представляют собой разрозненный набор оборудования различных производителей и поставщиков:

АБ, выпрямительно-зарядных устройств, ЩПТ, конверторов и т.д.

При несомненных эксплуатационных достоинствах, таких как безотказность, длительный срок службы (при соблюдении правил эксплуатации – до 20 лет), свинцово-кислотные аккумуляторы обладают и недостатками [5, 6]:

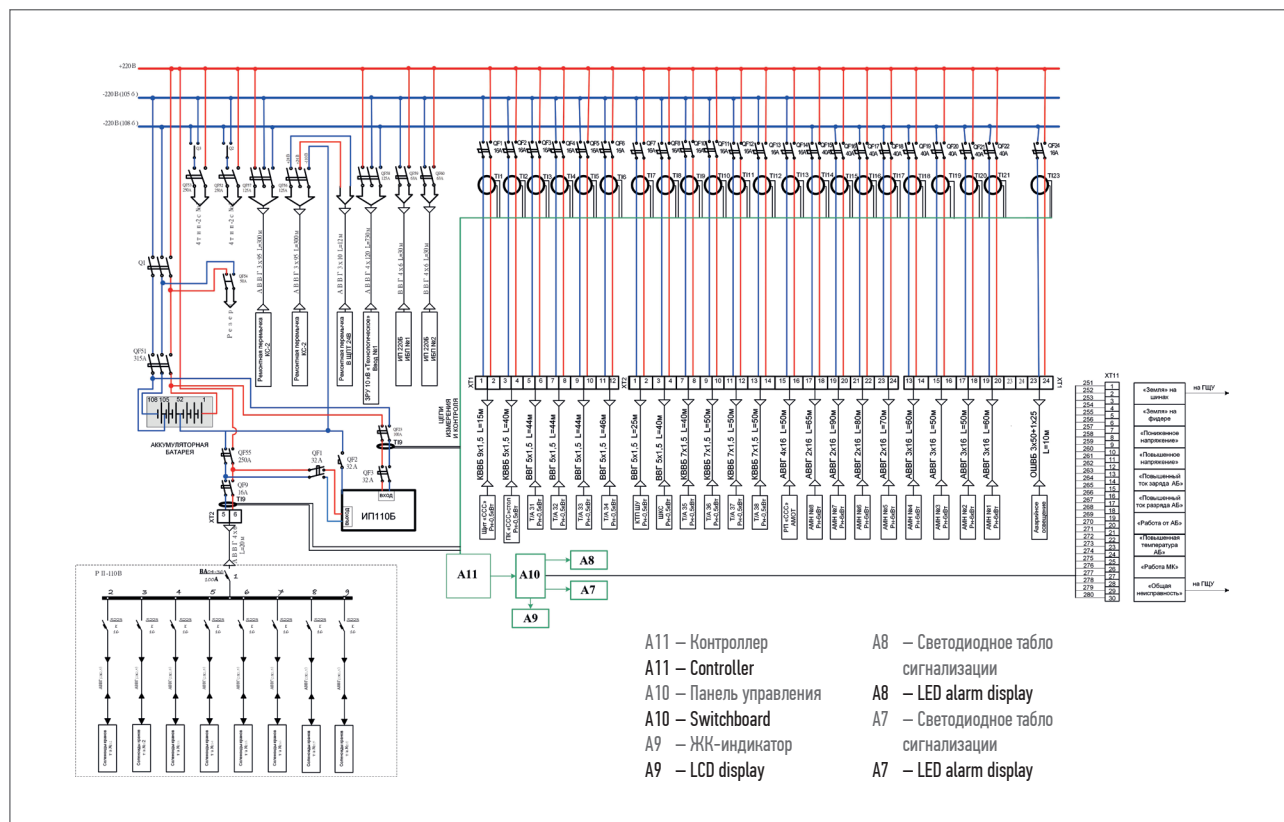


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная щита ЩПТ 220 В компрессорного цеха
Fig. 2. Electric schematic diagram. DC 220 V board in compressor room

- выделение водорода в процессе заряда аккумуляторов определяет ряд требований к размещению и обустройству соответствующей инженерной инфраструктуры специальных помещений;
- необходимость организации непрерывного контроля состояния аккумуляторов и периодического их обслуживания;
- продолжительные послеаварийные процессы восстановления емкости аккумуляторов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И БАТАРЕЙ

Альтернативой свинцово-кислотным в настоящее время становятся литий-ионные и другие современные аккумуляторы.

Основные преимущества ЛИА [13]:

- высокая удельная энергоемкость;
- отсутствие выделений вредных и пожароопасных веществ;
- низкие значения внутренних сопротивлений, обеспечивающие



Рис. 3. Внешний вид литий-ионной АБ 380 А-ч (тип LT-LYP 380–70 шт.) в составе СПТ 220 В
Fig. 3. Configuration of lithium ion accumulator battery 380 A-h (type LT-LYP 380–70 pieces) as part of 220 V DC system

прием более высоких пиковых нагрузок;

- сокращенное время послеаварийного восстановления емкости аккумуляторов;
- увеличенный ресурс (в циклах «заряд – разряд»);
- низкие значения массогабаритных показателей;
- возможность дистанционного контроля параметров аккумуляторов и увеличенные периоды межремонтного обслуживания;
- более низкие эксплуатационные затраты на обслуживание АБ;

– потенциально высокий экономический эффект от внедрения (не менее 15–18 % по сравнению с традиционной СПТ на базе свинцово-кислотных аккумуляторов).

Современные ЛИА имеют множество подтипов, основное различие которых заключается в составе катода (отрицательно заряженного электрода). Также может изменяться состав анода до полной замены графита или использования графита с добавлением других материалов.

Внешний вид литий-ионной АБ в составе СПТ 220 В продемонстрирован на рис. 3.

В табл. 2 представлены основные типы и характеристики ЛИА [5, 11–14]. Сравнение энергетических характеристик ЛИА по отношению к свинцово-кислотным (Lead acid) и никель-кадмиевым приведено на рис. 4. Из рис. 4 видно, что подавляющее большинство типов ЛИА имеет более высокие показатели энергетической эффективности.

Таблица 2. Основные характеристики ЛИА
Table 2. Main parameters of lithium ion accumulator battery

Параметр/Тип Parameter/Type	LCO (LiCoO ₂ – литий-кобальт-оксид) LCO (LiCoO ₂ – lithium-cobalt-oxide)	LMO (LiMn2O4-литий-оксид-марганец) LMO (LiMn2O4-lithium-oxide-manganese)	NMC (LiNiMnCoO ₂ – литий-никель-марганец-кобальт-оксид) NMC (LiNiMnCoO ₂ – lithium-nickel-manganese-cobalt-oxide)	LFP (LiFePO4-литий-железо-фосфат) LFP (LiFePO4-lithium-iron-phosphate)	NCA (LiNiCoAlO ₂ – литий-никель-кобальт-оксид алюминия) NCA (LiNiCoAlO ₂ – lithium-nickel-cobalt-aluminum oxide)	LTO (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ – литий-титанат) LTO (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ – lithium-titanate)
Номинальное напряжение элемента, В Nominal element voltage, V	3,7	3,9	3,7	3,2	3,6	2,4
Оптимальная глубина разряда, % Optimum depth of discharge, %	85–90	85–90	85–90	85–90	85–90	85–90
Допустимая глубина разряда, % Acceptable depth of discharge, %	100	100	100	100	100	100
Циклический ресурс, D.O.D. = 80 % Cyclic life, D.O.D. = 80 %	700–1000	1000–2000	2000–8000	2000–3000	1000–2000	3000–8000
Оптимальная температура, °C Optimum temperature, °C	20...30	20...30	20...30	20...30	20...30	20...30
Диапазон рабочих температур, °C Range of working temperatures, °C	-10...60	-10...45	-10...55	-10...60	-10...55	-10...45
Срок службы, лет, при 20 °C Service life, years, under 20 °C	5–7	10	10	20–25	20–25	18–25
Саморазряд в мес., % Self-discharge per month, %	3–5	3–5	3–5	3–5	3–5	3–5
Максимальный ток разряда, С Maximum discharge current, C	1	10	2	25–30	1	10
Максимальный ток заряда, С Maximum charge current, C	0,7–1	0,7–1	0,7–1	1	0,7	1
Минимальное время заряда, ч Minimum charging time, h	2–3	2–2,5	2–3	2–3	2–3	2–3
Требования к обслуживанию Service requirements	Нет No	Нет No	Нет No	Нет No	Нет No	Нет No
Удельная энергоемкость, Вт·ч/кг Storage density, W·h/kg	200	140	200	100	250	70
Безопасность Safety	Средняя Medium	Высокая High	Высокая High	Очень высокая Very high	Средняя Medium	Очень высокая Very high
Токсичность Toxicity	Низкая Low	Экологически чистый Eco-friendly	Низкая Low	Экологически чистый Eco-friendly	Низкая Low	Низкая Low
Область применения Application area	Для портативных приложений Pocket size applications	Электроинструмент Electric tools	ИБП, СПТ, СНЭ UPS, DCS, NEA	ИБП, СПТ, СНЭ UPS, DCS, NEA	Электрооборудование Electric equipment	ИБП, СПТ, СНЭ UPS, DCS, NEA
Уровень стоимости Cost level	Высокий High	Средний Medium	Средний Medium	Низкий Low	Средний Medium	Высокий High

Как показал проведенный анализ основных типов литий-ионных АБ, для применения в системах резервного электропитания (СПТ, источники бесперебойного питания (ИБП)), а также в системах накопления энергии (СНЭ), литий-железо-фосфатные батареи подходят наилучшим образом по большинству параметров сравнения.

Анализ параметров свинцово-кислотной и литий-железо-фосфатной АБ напряжением 220 В, обеспечивающих автономное питание нагрузки 360 А в течение не менее 30 мин, представлен в табл. 3 [14, 16].

Следует также отметить, что вопросы эффективности применения литий-железо-фосфатных АБ в системах оперативного постоянного тока (СОПТ) напряжением 110 В, 220 В распределительных подстанций электросетей подробно рассмотрены в статье [17], рекомендации по эксплуатации литий-ионных элементов в составе АБ приведены в работе [18].

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОВРЕМЕННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Основные энергетические показатели для различных типов аккумуляторов, а также сложившееся соотношение стоимости единицы накапливаемой и передаваемой энергии с учетом цен АБ различных систем и конструктивного исполнения показаны в табл. 4 [5].

Литий-ионные АБ при примерно одинаковом весе одного элемента имеют большую удельную энергоемкость, превосходя никель-кадмиевые аккумуляторы в 4–5 раз, а никель-металлогидридные – в 3–4 раза, и дают более высокое напряжение на одном элементе. Например, напряжение элемента наиболее распространенных потребительских форматов у ЛИА составляет 3,6 (3,2) В, что в три раза больше, чем у никель-кадмиевых и никель-металлогидридных элементов. Следовательно, там, где прежде требовались батареи

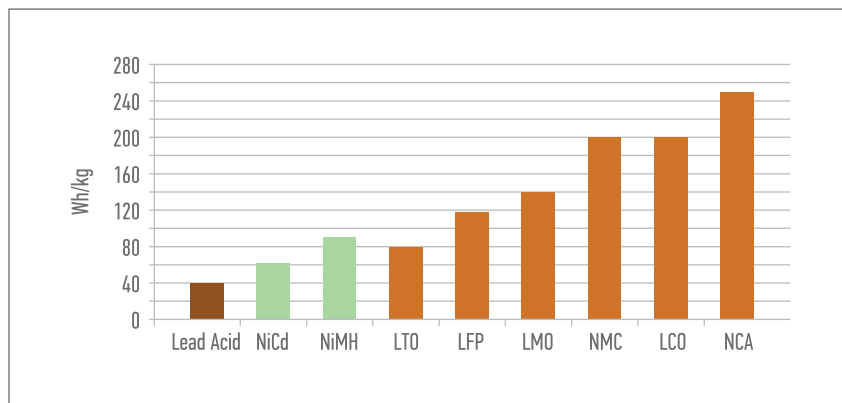


Рис. 4. Сравнение энергетических характеристик различных типов аккумуляторов [15]

Fig. 4. Comparing power parameters of different accumulators [15]

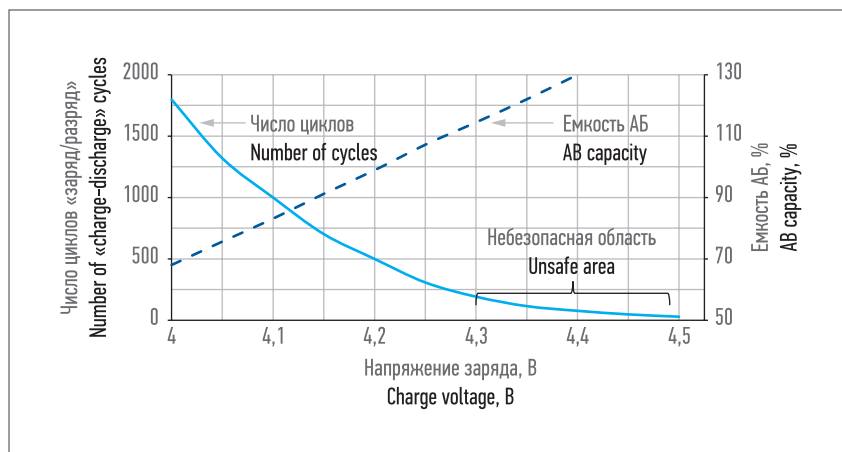


Рис. 5. Зависимость срока службы АБ в циклах «заряд/разряд» и емкости АБ от напряжения заряда

Fig. 5. Correlation between AB service life in «charge-discharge» cycles, AB capacity and charge voltage

из двух или трех элементов, теперь можно использовать только один.

Главный недостаток ЛИА – высокая цена. Однако рынок литиевых элементов и батарей малой емкости, цена которых по определению не может быть существенной, постоянно расширяется, появляются новые области их применения, поэтому ЛИА сегодня считаются одними из наиболее перспективных.

Данные о сроках службы, ресурсе и саморазряде аккумуляторов различных электрохимических систем и основных конструктивных исполнений приведены в табл. 5 [5].

В среднем ресурс работы ЛИА составляет 2000–3000 циклов при глубине разряда 80 %. Саморазряд данного типа аккумуляторов – 3–5 % в первый месяц,

затем уменьшается. За год аккумулятор теряет 5–10 % емкости. Также ЛИА имеют потери емкости в разы меньше, чем потери у никель-кадмиевых аккумуляторов.

Режим постоянного подзаряда батарей характерен для стационарных систем аварийного электроснабжения. В этом режиме использования АБ полный разряд аккумуляторов с последующим зарядом крайне редок, но батарея постоянно подзаряжается для компенсации саморазряда. Для ЛИА это самый тяжелый режим. Он требует постоянного контроля параметров и балансировки аккумуляторов в батарее.

Режим циклирования, когда АБ подвергается регулярному разряду с отбором 80–90 % емкости

Таблица 3. Сравнение свинцово-кислотной и литий-ионной АБ 220 В при токе нагрузки 360 А и времени автономной работы 30 мин

Table 3. Comparing 220 V lead-acid and lithium ion batteries for 360 A load current and 30 min autonomous operation

Параметр Parameter	Аккумуляторная батарея 220 В, 360 А, 30 мин Accumulator battery (AB) 220 V, 360 A, 30 min	
	Свинцово-кислотные элементы 8 OPzS 800 Lead-acid elements 8 OPzS 800	Литий-железо-фосфатные элементы LT-LYP 380 Lithium-iron-phosphate elements LT-LYP 380
Номинальная емкость, А·ч Nominal capacity, A·h	800	380
Количество элементов в АБ, шт. Number of elements in AB, pcs.	108	70
Отдаваемый в нагрузку ток, А/(30 мин) Current to load, A/(30 min)	376	494
Номинальное напряжение одного элемента, В Nominal voltage per one element, V	2	3,2
Внутреннее сопротивление элемента, мОм Internal element resistance, mOhm	0,34	0,23
Срок службы, лет Service life, years	20	20
Встроенная защита от нештатных режимов Built-in protection from incidents	Нет No	Есть BMS Yes BMS
Непрерывный мониторинг состояния элементов Continuous monitoring of elements» state	Нет No	Есть BMS Yes BMS
Время заряда АБ, ч AB charging time, h	8	2
Температурный диапазон, °С Temperature range, °C	От 10 до 30 From 10 to 30	От -40 до 50 From -40 to 50
Количество циклов «заряд- разряд» Number of «charge-discharge» cycles	1000	3000
Габаритные размеры элемента, мм Element dimensions, mm	210 × 191 × 695	167 × 163 × 337
Вес элемента, кг Element weight, kg	61,3	14,8
Вес батареи, кг Battery weight, kg	6620	1036
Необходимая площадь, м ² Required space, m ²	18,01	0,96
Удельная энергоемкость, Вт·ч/кг Storage density, W·h/kg	26	82
Размещение Allocation	На стеллажах в специальном помещении On shelves in a special room	В шкафах непосредственно возле нагрузки In boxes near load
Помещение для установки Room for installation	Отдельное, категория В1а Separate, category B1a	Любое, не меняет категорию Any, does not change a category

Параметр Parameter	Аккумуляторная батарея 220 В, 360 А, 30 мин Accumulator battery (AB) 220 V, 360 A, 30 min	
	Свинцово-кислотные элементы 8 OPzS 800 Lead-acid elements 8 OPzS 800	Литий-железо-фосфатные элементы LT-LYP 380 Lithium-iron-phosphate elements LT-LYP 380
Необходимая для эксплуатации инженерная инфраструктура Engineering infrastructure required for operation	Сооружение рядом с аккумуляторным помещением тамбура и кислотной, оборудование водопровода и канализации. Установка отдельной приточно-вытяжной механической системы вентиляции во взрывозащищенном исполнении. Установка взрывозащищенных светильников и обогревателей. Установка огнестойких дверей. Укладка в аккумуляторном помещении и кислотной кислотостойкой керамической плитки. Покрытие кислотостойкой краской всех поверхностей в аккумуляторном помещении и кислотной Anteroom and acid room, water lines and sewage system must be installed nearby a battery room. Separate input-outlet mechanical explosion-proof ventilation system is required as well as explosion-proof lamps and heaters, fire-proof doors. Battery and acid rooms must be floored with acid-fast ceramic tiles. All surfaces in battery and acid rooms must be coated with acid-proof paint	Нет необходимости No requirements

Таблица 4. Основные энергетические показатели для различных типов аккумуляторов
Table 4. Basic power parameters for accumulators of different types

Электрохимическая система, конструктивное исполнение аккумуляторов Electrochemical system, structural accumulator design	Удельная энергия Storage density		Характерная удельная мощность Specific power	Относительная стоимость единицы энергии, о.е. Relative cost per energy unit, relative units
	Вт·ч/кг W·h/kg	Вт·ч/л W·h/l		
Литий-ионная Lithium ion	100–260	190–490	Максимальная Maximum	2,5–4
Никель-металлогидридная Nickel-metal hydride	40–100	180–350	От умеренной до высокой From moderate to high	1,6–2,4
Никель-кадмиевая, герметичный Nickel-cadmium, nonspillable	20–55	90–200	Высокая High	1,5–2
Никель-кадмиевая, открытый Nickel-cadmium, open type				1
Свинцово-кислотная, герметичный Lead-acid, nonspillable	20–50	50–150	От умеренной до высокой From moderate to high	0,8–1,8
Свинцово-кислотная, открытый Lead-acid, open type				1,4–1,5

с последующим полным зарядом, типичен для систем электроснабжения с ВИЭ.

При выборе ЛИА следует найти оптимальное соотношение между напряжением заряда, емкостью АБ и сроком службы в циклах (рис. 5) [19]. Для рассматриваемого примера наилучший баланс между емкостью батареи и сроком службы достигается при напряжении 4,12 В на элемент. Увеличить количество циклов можно за счет уменьшения напряжения заряда, но при этом АБ заряжается не полностью и сни-

маемая (эффективная) емкость ее снижается.

Данные, характеризующие работоспособность различных типов аккумуляторов в зависимости от температурных условий, представлены в табл. 6 [5].

При оценке влияния температуры на работоспособность никель-кадмиевых и свинцово-кислотных аккумуляторов необходимо учитывать следующие факторы:

- при повышении температуры на 10 °С сверх нормальной температуры эксплуатации (25 °С) срок

службы никель-кадмиевых батарей снижается на 20 %, а свинцово-кислотных – на 50 %. При температуре эксплуатации, равной 50 °С, срок службы свинцово-кислотной батареи сокращается примерно в 7 раз по сравнению с эксплуатацией при нормальной температуре;

- при –20 °С емкость никель-кадмиевых аккумуляторов снижается до 80 % от номинальной. Свинцово-кислотные аккумуляторы при –30 °С теряют 50 % номинальной емкости;

Таблица 5. Срок службы, ресурс и саморазряд аккумуляторов различных электрохимических систем
Table 5. Service life, resource and self-discharge of different electrochemical systems

Электрохимическая система, конструктивное исполнение аккумуляторов Electrochemical system, structural accumulator design	Ресурс в стандартном режиме постоянного циклирования, циклов Resource in standard constant cycling mode, cycles	Срок службы в режиме постоянного подзаряда, лет Service life in continuous float charge mode, years	Потеря емкости при хранении в заряженном состоянии, % в мес Loss of capacity in case of storage in charged state, % per month
Литий-ионная Lithium ion	500–3000	15–25	3–5
Никель-металлогидридная Nickel-metal hydride	400–700	до 5 up to 5	15–25
Никель-кадмиевая, герметичный Nickel-cadmium, nonspillable	700–800	до 20 up to 20	до 10 up to 10
Никель-кадмиевая, открытый Nickel-cadmium, open type	1000–2500	до 25	10–15
Свинцово-кислотная, герметичный Lead-acid, nonspillable	500–1500	12–20	3–15
Свинцово-кислотная, открытый Lead-acid, open type	500–1500	15–25	3–15

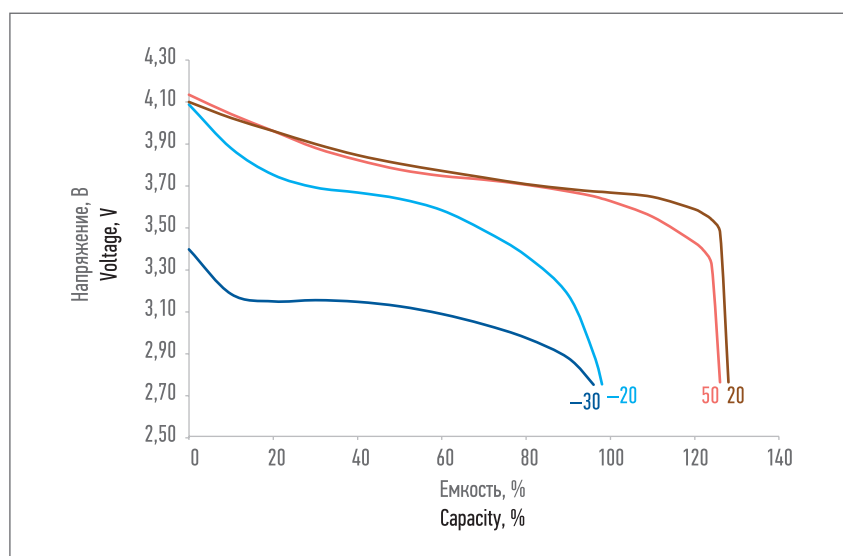


Рис. 6. Разрядные характеристики ЛИА при токе разряда 0,2 Сн при различных температурах окружающей среды, °С
Fig. 6. Discharge parameters of LIA for 0,2 Cn discharge current for different ambient temperatures, °C

– некоторые типы никель-кадмиевых аккумуляторов сохраняют более 60 % емкости при охлаждении до -40°C . Большинство свинцово-кислотных аккумуляторов при охлаждении до -40°C неработоспособны.

В настоящее время имеются ЛИА, которые могут работать и при температуре -40°C , также стало возможным расширение диапазона температур и до более низких значений, что, в свою

очередь, снижает требования к обеспечению тепловлажного режима в помещениях, где планируется размещение литий-ионных АБ. Зависимость емкости ЛИА от температуры окружающей среды (разрядные характеристики) приведена на рис. 6 [19].

Литий-ионные АБ имеют встроенные термодатчики для контроля температуры. Оптимальный вариант рабочих температур $0...40^{\circ}\text{C}$. Зависимость емкости АБ

от напряжения холостого хода и количества циклов «заряд – разряд» показана на рис. 7.

Безопасность батарей обеспечивается реализуемыми мерами как внутреннего, так и внешнего характера, исключающими воздействие на человека и окружающую среду возможных вредных факторов (электрическое напряжение, вредные выделения и др.), а также возгорание и взрыв АБ.

Одно из эффективных решений безопасности литий-ионных батарей – применение систем контроля и управления (СКУ) батареями. Данная система контролирует в батарее, в том числе по каждому аккумулятору, напряжение, токи, температуру и, при необходимости, иные параметры. Система контроля и управления способствует защите от неправильных действий, оптимальный режим заряда в сочетании с упомянутым выше автоматически управляемым ЗУ исключает глубокий разряд, выполняя необходимые коммутации внутренних соединений в батарее и внешние переключения.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА В ОБЛАСТИ СПТ НА БАЗЕ ЛИА

Научно-технический прогресс в области СПТ развивается в направлении повышения их управле-

Таблица 6. Сравнительный анализ работоспособности различных типов аккумуляторов при изменении температуры
Table 6. Comparative analysis of operability of different types of accumulators under temperature variations

Электрохимическая система, конструктивное исполнение Electrochemical system, structural accumulator design	Диапазон рабочих температур, рекомендуемый изготовителями Range of working temperatures recommended by manufacturers	Относительная работоспособность при низкой температуре Relative operability under low temperature	Относительная работоспособность при высокой температуре Relative operability under high temperature
Литий-ионная Lithium ion	-10...50	Умеренная Moderate	Умеренная Moderate
Никель-металлогидридная Nickel-metal hydride	-20...40	Низкая Low	Низкая Low
Никель-кадмиевая, герметичный Nickel-cadmium, nonspillable	-40...45	Умеренная Moderate	Умеренная Moderate
Никель-кадмиевая, открытый Nickel-cadmium, open type	-50...60	Высокая High	Высокая High
Свинцово-кислотная, герметичный Lead-acid, nonspillable	-20...40	Неработоспособен Non-operable	Низкая Low
Свинцово-кислотная, открытый Lead-acid, open type	-20...50	Неработоспособен Non-operable	Низкая или умеренная Low or moderate

мости, устойчивости и надежности при обеспечении высокого качества электроснабжения потребителей.

В последние годы как за рубежом, так и в РФ создана достаточно полная нормативно-правовая база СПТ, регламентирующая их разработку, эксплуатацию и утилизацию.

В настоящее время в РФ разработаны несколько национальных стандартов в отношении ЛИА. Вместе с тем отсутствуют международные и национальные стандарты, устанавливающие требования к ускоренной методике ресурсных испытаний ЛИА.

Около 50 % национальных стандартов в области ЛИА распространяются на аккумуляторы, предназначенные для использования на дорожных транспортных средствах на электрической тяге (гибридных или аккумуляторных электромобилей) и определяют нормы к испытаниям по определению рабочих характеристик и ресурсным испытаниям, испытаниям на надежность и эксплуатацию с нарушением нормальных режимов эксплуатации, методы подобных испытаний, требования к безопасности и пр. Данные стандарты нельзя применять к ЛИА, предназначенным для использования на стационарных производственных объектах, в том числе объектах добычи, транспортировки,

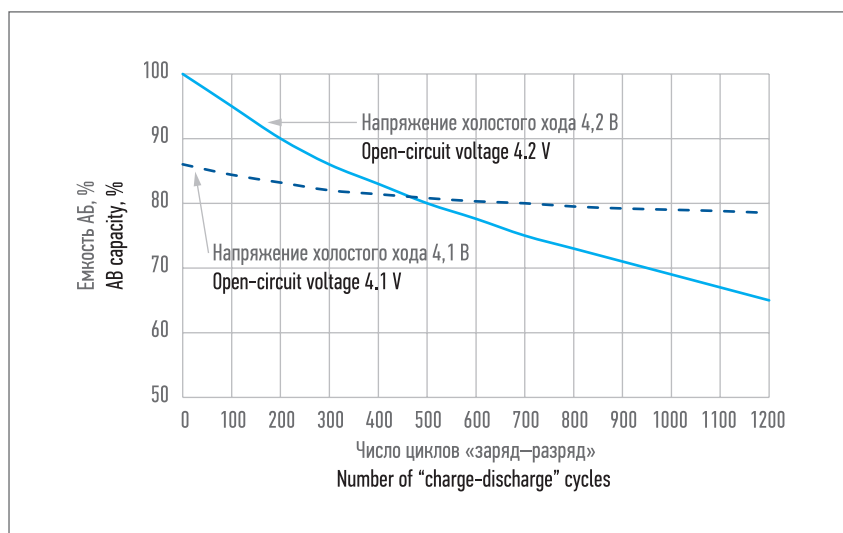


Рис. 7. Зависимость емкости литий-ионной АКБ от напряжения холостого хода и количества циклов «заряд/разряд» [20]

Fig. 7. Correlation between lithium ion AB capacity, open-circuit voltage and number of «charge-discharge» cycles

хранения, использования и переработки газа, т. к. режимы работы и требования безопасности к ЛИА, применяемым на транспорте, существенно отличаются от режимов работы и норм требований безопасности к ЛИА, применяемым на производственных объектах.

Предварительный национальный стандарт ПНСТ 214-2017 [21] устанавливает основные минимальные технические требования и методы испытаний, а также требования к маркировке, обозначению, размерам литий-ионных

железо-фосфатных аккумуляторов для формирования набора критериев, позволяющих потребителю ЛИА сравнивать продукцию различных производителей.

Предварительный национальный стандарт ПНСТ 225-2017 [22] распространяется на системы бесперебойного питания (СБП), предназначенные для использования в низковольтных системах электропитания до 1000 В сетей переменного трехфазного тока номинальным напряжением 380 В и частотой 50 Гц, использующие

в качестве накопителя энергии ЛИА с катодами из фосфата железа (LFP), оборудованные СКУ для работы во всех областях промышленности и на объектах потребителей первой категории и особой группы первой категории, не допускающих ухудшения качества электроснабжения и перерывов в электроснабжении. Стандарт распространяется на стационарные и передвижные СБП с мощностью 40 кВА и выше, размещенные в шкафах.

Заинтересованным организациям целесообразно провести разработку новых национальных стандартов на основе действующих международных стандартов, а также подготовить предложения по разработке национальных стандартов, обеспечивающих применение ЛИА в системах накопления энергии.

При разработке национальных стандартов необходимо учитывать требования пожарной безопасности и безопасной эксплуатации ЛИА в составе СПТ на опасных производственных объектах, в том числе на объектах добычи, транспортировки, хранения, использования и переработки газа, включать нормы к утилизации ЛИА. В технических условиях на оборудование разработчиков и изготовителей

ЛИА подобные требования должны присутствовать в обязательном порядке.

Таким образом, на объектах нового строительства и реконструкции представляется целесообразным использование современных типов аккумуляторных батарей, в том числе литий-ионных в составе СПТ, СОПТ станций и подстанций, ИБП.

ВЫВОДЫ

Надежная работа СПТ – необходимое условие нормального функционирования технологических процессов добычи, транспорта, переработки и хранения газа, живучести производственных объектов в аварийных и нештатных ситуациях.

В составе СПТ производственных объектов широко применяются свинцово-кислотные аккумуляторы, имеющие при достаточно высокой безотказности и длительном сроке службы ряд недостатков, в том числе связанных с дополнительными затратами на строительство соответствующих зданий и специальных помещений с обеспечением требований по безопасности.

Альтернативными существующим считаются системы аккумулирова-

ния, использующие литий-ионные и другие современные аккумуляторы. Основные преимущества ЛИА – повышенная удельная энергоемкость, увеличенный ресурс, значительно меньший саморазряд, отсутствие выделений вредных и пожароопасных веществ, автоматизированный контроль состояния элементов, увеличенный интервал обслуживания, уменьшенная масса и габариты, которые в конечном счете значительно снижают затраты на создание СПТ.

Проведенный анализ действующих нормативно-технических документов свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования нормативно-методической базы перспективных систем аккумулирования электрической энергии, в том числе ЛИА.

Внедрение СПТ на базе ЛИА в практику проектирования и эксплуатации объектов нового строительства и реконструкции представляется целесообразным, поскольку обеспечивает снижение затрат на электроснабжение ответственных потребителей и удовлетворяет основным техническим требованиям, предъявляемым к СПТ производственных объектов. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. 7-я ред. (утверждены Приказом Министерства энергетики РФ №204 от 08.07.2007).
2. СТО Газпром 2-6.2-1028-2015. Категорийность электроприемников промышленных объектов ПАО «Газпром» [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
3. СТО Газпром 2-1.11-192-2008. Положение о построении и организации эксплуатации систем централизованного электропитания постоянным током на объектах ОАО «Газпром» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://zinref.ru/000_uchebniki/01500_gaz/080_STO_Gazprom_2-1.11-192-2008/001.htm (дата обращения: 12.06.2019).
4. ГОСТ Р МЭК 60896.11-2015. Батареи свинцово-кислотные стационарные. Ч. 2. Закрытые типы. Общие требования и методы испытаний.
5. Химические источники тока: справ./под. ред. Н.В. Коровина, А.М. Скундина. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 740 с.
6. Хрусталев Д.А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003. 224 с.
7. Berndt D. Maintenance-free Batteries: Lead-acid, Nickel/cadmium, Nickel/metal Hydride: a Handbook of Battery Technology. Research studies press, 2003. 486 p.
8. Tel. X Ni-Cd batteries for telecom network. Technical manual/SAFT, 2013. 29 p.
9. Новое поколение никель-кадмиевых аккумуляторных батарей Uptimax. Каталог. 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.saftbatteries.com/products-solutions/products/new-uptimax> (дата обращения: 17.06.2019).
10. Кедринский И.А., Дмитриенко В.Е., Грудянов И.И. Литиевые источники тока. М.: Энергоатомиздат, 1992. 240 с.
11. KOKAM. Total energy storage solution provider brochure. 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://kokam.com/data/2018_Kokam_ESS_Brochure_ver_5.0.pdf (дата обращения: 17.06.2019).
12. GS YUASA. LIM Series: Industrial Lithium Ion Battery Catalog. 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.yuasa.co.uk/batteries/industrial/lim-li-ion/show/all.html> (дата обращения: 17.06.2019).
13. YUASA. Lithium Power Cabinets. Catalog. 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gsyuasa-lp.com> (дата обращения: 17.06.2019).
14. ТУ 3482-001-64366939-2011. Аккумуляторы литий-ионные. ООО «Литотех». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.liotech.ru/UserFiles/Экспертное%20заключение%20на%20соотв%20сан%20эпид%20требованиям.pdf> (дата обращения: 17.06.2019).
15. Отчет о НИР «Технические решения по построению СПТ на базе литий-ионных аккумуляторов. Рекомендации по применению СПТ на базе литий-ионных аккумуляторов на производственных объектах ПАО «Газпром». 2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
16. Стационарные свинцово-кислотные аккумуляторы OPzS, комплект документации (руководство по эксплуатации, разрядные характеристики, буклет). Hawker. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hawker.ru/product/statsionarnye-akkumulyatory/> (дата обращения: 17.06.2019).
17. Чудинов Е.А., Ворошилов А.Н., Кучак С.В. Применение литий-железо-фосфатных аккумуляторных батарей в составе СОПТ на распределительных подстанциях и электростанциях // Энергоэксперт: информационно-аналитический журнал. 2016. №2. С. 46–54.
18. Фрэн Хоффард. Правильная эксплуатация может продлить жизнь литий-ионного аккумулятора. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mobileelectronics.com.ua/uploadfiles/li-ion-battery-life-ru.pdf> (дата обращения: 17.06.2019).
19. Кедринский И.А., Яковлев В.Г. Литий-ионные аккумуляторы. Красноярск: ИПК «Планета», 2002. 266 с.
20. Ting-Feng Yi, Ying Xie, Yan-Rong Zhu, Rong-Sun Zhu, Ming-Fu Ye. High rate micron-sized niobium-doped LiMn1.5Ni0.5O4 as ultra high power positive-electrode material for lithium-ion batteries // Journal of Power Sources. 2012. Vol. 211. Pp. 59–65.

21. ПНСТ 214–2017. Аккумуляторы литий-ионные железо-фосфатные. Технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2017. 12 с.
22. ПНСТ 225–2017. Системы бесперебойного питания на основе литий-ионных железо-фосфатных аккумуляторов. Технические требования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200157427> (дата обращения: 12.06.2019).

REFERENCES

- (1) Electrical Installations Code. 7th edition (approved by the Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 204 as of 08 July 2007). (In Russian)
- (2) STO Gazprom 2–6.2–1028–2015. *Categorization of electrical receivers at Gazprom's industrial facilities*. Limited availability. (In Russian)
- (3) STO Gazprom 2–1.11–192–2008. *Regulations on development and operation of direct current centralized power supply systems at Gazprom's facilities*. Available from: https://zinref.ru/000_uchebniki/01500_gaz/080_STO_Gazprom_2-1.11-192-2008/001.htm [Accessed 12th June 2019]. (In Russian)
- (4) GOST R IEC 60896.11–2015. *Stationary lead-acid batteries. Part 2. Closed types. General requirements and test methods*. (In Russian)
- (5) Chemical current sources: reference book/under the editorship of NV Korovina, AM Skundina. Moscow: MPEI Press. 2003. (In Russian)
- (6) Khrustalev DA. *Accumulators*. Moscow: Izumrud. 2003. (In Russian)
- (7) Berndt D. *Maintenance-free Batteries: Lead-acid, Nickel/cadmium, Nickel/metal Hydride: a Handbook of Battery Technology*. Research studies press, 2003.
- (8) Tel. X Ni–Cd batteries for telecom network. Technical manual/SAFT, 2013.
- (9) New generation of nickel–cadmium accumulator batteries Uptimax. Catalogue. 2013. Available from: <https://www.saftbatteries.com/products-solutions/products/new-uptimax> [Accessed 17th June 2019]. (In Russian)
- (10) Kedrinsky IA, Dmitrienko VE, Grudyanov II. *Lithium current sources*. Moscow: Energoatomizdat. 1992. (In Russian)
- (11) KOKAM. Total energy storage solution provider brochure. 2017. Available from: http://kokam.com/data/2018_Kokam_ESS_Brochure_ver_5.0.pdf [Accessed 17th June 2019].
- (12) GS YUASA. LIM Series: Industrial Lithium Ion Battery Catalog. 2016. Available from: <https://www.yuasa.co.uk/batteries/industrial/lim-li-ion/show/all.html> [Accessed 17th June 2019].
- (13) YUASA. Lithium Power Cabinets. Catalog. 2016. Available from: <http://www.gsyuasa-lp.com> [Accessed 17th June 2019].
- (14) TU 3482–001–64366939–2011. *Lithium ion accumulators*. Liotech LLC. Available from: <http://www.liotech.ru/UserFiles/Экспертное%20заключение%20на%20соотв%20сан%20эпид%20требованиям.pdf> [Accessed 17th June 2019]. (In Russian)
- (15) Research report «Technical solutions on development of DC systems on the basis of lithium ion accumulators. Recommendations on application of DC systems on the basis of lithium ion accumulators at Gazprom's facilities». 2018. [Web resource]. Limited availability. (In Russian)
- (16) Stationary OPzS lead-acid accumulators, documentation package (maintenance guide, discharge parameters, leaflet). Hawker. Available from: <http://hawker.ru/product/statsionarnye-akkumulyatory/> [Accessed 17th June 2019]. (In Russian)
- (17) Chudinov EA, Voroshilov AN, Kuchak SV. Application of lithium ion phosphate batteries in operating DC voltage systems at distribution substations and power stations. *Energoexpert: information and analytical journal*. 2016; 2: 46–54. (In Russian)
- (18) Fran Hoffard. Proper operation may prolong service life of a lithium ion battery. Available from: <http://mobileelectronics.com.ua/uploadfiles/li-ion-battery-life-ru.pdf> [Accessed 17th June 2019]. (In Russian)
- (19) Kedrinsky IA, Yakovlev VG. *Lithium ion batteries*. Krasnoyarsk: IPK Planeta. 2002. (In Russian)
- (20) Ting-Feng Yi, Ying Xie, Yan-Rong Zhu, Rong-Sun Zhu, Ming-Fu Ye. High rate micron-sized niobium-doped LiMn1.5Ni0.5O4 as ultra high power positive-electrode material for lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. 2012; 211:59–65.
- (21) ПНСТ 214–2017. Литий-ионные железо-фосфатные аккумуляторы. Технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2017. (In Russian)
- (22) ПНСТ 225–2017. Системы бесперебойного питания на основе литий-ионных железо-фосфатных аккумуляторов. Технические требования. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200157427> [Accessed 12th June 2019]. (In Russian)



Конференции компании ЕРС в России и странах СНГ в 2019 году



**Саммит
руководителей
нефтегазовой
отрасли России
и стран СНГ**

**19–20 июня
Сочи, Горки Город**

**Неделя
нефтепереработки,
газа и нефтехимии**

Неделя включает
4-ю GTCC, 18-ю RPTC
и 19-ю RRTC
16–20 сентября, Москва

RU-CAT

**2-я конференция
России и стран СНГ
по технологиям
катализа**

18–19 ноября, Сочи

Op-Ex Russia & CIS

**6-я Конференция
по операционной
эффективности
в нефтегазохимической
промышленности
20–22 ноября, Сочи**

