

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В СИСТЕМАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА (220 В) ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПАО «ГАЗПРОМ»

УДК 621.355

А.А. Шаповало, к.т.н., ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ),

A.Shapovalo@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 описан опыт применения литий-ионных аккумуляторов в системах постоянного тока напряжением 220 В на объектах ПАО «Газпром». Приведены основные характеристики системы постоянного тока Комсомольского линейно-производственного управления магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск». Представлены результаты контроля параметров литий-ионной аккумуляторной батареи в процессе эксплуатации системы постоянного тока компрессорного цеха. Материал проиллюстрирован графиками зависимости максимальной температуры, максимального и минимального напряжения аккумуляторов и напряжения батареи от тока нагрузки в различных режимах работы. Рассмотрены особенности автоматической балансировки литий-ионной аккумуляторной батареи, реализуемой системой контроля и управления; отмечена высокая стабильность основных параметров батареи после балансировки. Приведена сравнительная характеристика технико-экономических показателей эксплуатации аккумуляторных батарей на основе свинцово-кислотных и литий-ионных аккумуляторов для системы постоянного тока компрессорного цеха. Установлено, что литий-ионные аккумуляторы типа LT-LYP380AH имеют ряд существенных преимуществ по сравнению со свинцово-кислотными типа VARTA 6 OPzS 600 при практически одинаковых значениях напряжения батареи. Из недостатков аккумуляторных батарей на базе литий-ионных аккумуляторов отмечена необходимость ежегодных контрольных разрядов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОМАТИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА, ЗАРЯД, ЗАРЯДНО-ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ПОДЗАРЯД, РАЗРЯД, СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ.

Компрессорные станции (КС) – один из важнейших элементов Единой системы газоснабжения России, обеспечивающий надежность поставок природного газа потребителям. Как правило, они включают несколько компрессорных цехов (КЦ). Электроприемники КС относятся по надежности электроснабжения к особой группе первой категории; их бесперебойная работа необходима для безаварийной остановки производства в целях предотвращения нештатных

ситуаций. Обеспечение питанием электроприемников КС осуществляется с помощью системы постоянного тока (СПТ). Функциональные и структурные схемы СПТ для КС и КЦ разрабатываются индивидуально с учетом их технических характеристик, типа газоперекачивающих агрегатов и состава потребителей.

Известно, что СПТ КС на базе свинцово-кислотных (СК) аккумуляторных батарей (АБ) имеют ряд существенных недостатков:

– помещения аккумуляторной большинства таких объектов относятся к взрывоопасным (класс В-1а), что увеличивает капитальные затраты на выполнение строительной, санитарно-технической и электротехнической частей проекта;

– наличие в составе электролита серной кислоты обуславливает необходимость применения устойчивых к воздействию агрессивной среды материалов и оборудования и ужесточает требования к техни-

A.A. Shapovalo, PhD in Engineering, PJSC Gazprom (Saint-Petersburg, the Russian Federation),

A.Shapovalo@adm.gazprom.ru

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

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

V.N. Tolmachev, PhD in Engineering, JSC Gazprom Promgaz (Saint-Petersburg, the Russian Federation),

V.Tolmachev@spb.oao-promgaz.ru

L.A. Ustimenko, Direct Current Systems LLC (Novosibirsk, the Russian Federation), Larisa.Ustimenko@systemct.ru

Lithium-ion cells in direct current systems (220 V): application experience at PJSC Gazprom's process facilities

The article specifies the experience of application of lithium-ion cells in 220 voltage direct current systems at PJSC Gazprom's facilities. The paper describes the main parameters of the direct current system of Komsomolsky line pipe operation center at Gazprom transgaz Yugorsk LLC. The authors present results of lithium-ion cell parameter control during operation of a direct current system at compressor shop, illustrated by dependency cross-plots of maximum temperature, maximum and minimum accumulator voltage and battery voltage from a load current at different operation modes. Specific features of lithium-ion cell automatic balancing implemented by management and control system are as well covered in the paper. The main cell parameters maintain high stability after balancing. The authors provide comparative analysis of performance indicators of batteries based on lead-acid and lithium-ion cells for a direct current system of the compressor shop. It has been established that lithium-ion cells of LT-LYP380AH type had significant advantages as compared to lead-acid cells of VARTA 6 OPzS 600 type for almost the same battery voltages. The authors state that one of the shortcomings of lithium-ion cell batteries is the need to perform check discharges annually.

KEYWORDS: AUTOMATIC BALANCING, CHARGE, RECTIFIER CHARGER, PILOT OPERATION, FLOATING CHARGE, DISCHARGE, MANAGEMENT AND CONTROL SYSTEM.

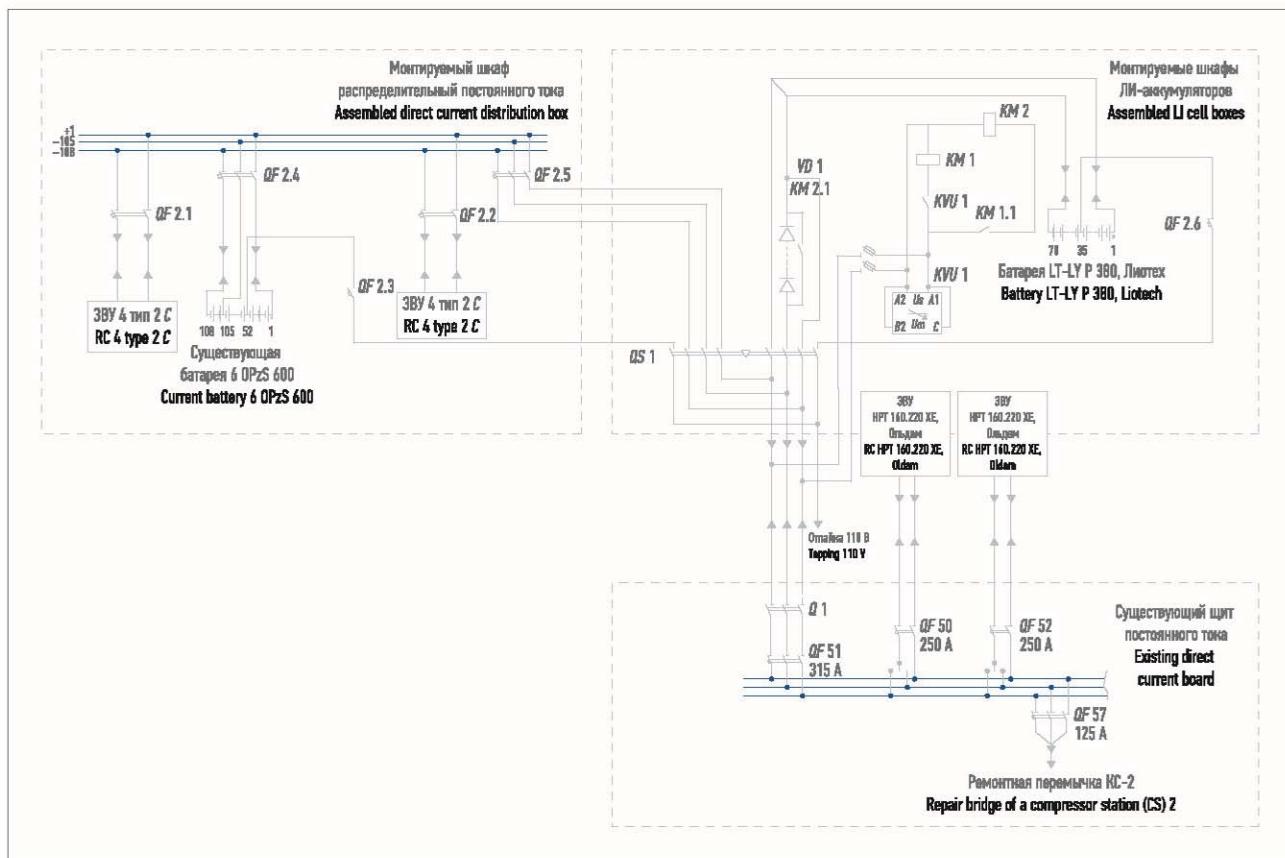


Рис. 1. Структурно-принципиальная схема СПТ для КЦ Комсомольского ЛПУ МГ 000 «Газпром трансгаз Югорск»

Fig. 1. DCS structure circuit layout for a compressor shop (CSh) of Komsomolsky line pipe operation center (LPOC) of Gazprom transgaz Yugorsk LLC



Рис. 2. Внешний вид СПТ на базе ЛИ-аккумуляторов КЦ Комсомольского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск»
Fig. 2. DCS configuration on the basis of Li cells at Komsomolsky LPOC of Gazprom transgaz Yugorsk LLC

ке безопасности обслуживания батарей;

– для размещения всех компонентов СПТ необходимо большое пространство.

Снижение затрат на электроснабжение ответственных потребителей и существенное повышение показателей энергетической эффективности СПТ производственных объектов ПАО «Газпром» обеспечивается, в том числе, за счет использования нового эффективного надежного оборудования и устройств аккумулирования энергии. В соответствии с решением совместного совещания ОАО «Газпром» и ОАО «РОСНАНО» от 27.11.2013 [1], с учетом нормативных и технических требований [2–10] в ООО «Ольдам» была разработана СПТ КЦ напряжением 220 В на базе литий-ионных (ЛИ) аккумуляторов.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПТ 220 В

В состав разработанной СПТ входят:

- аккумуляторная батарея напряжением 220 В, состоящая из 70 ЛИ-аккумуляторов типа LT-LYP380AH;
- батарейные шкафы с системой контроля и мониторинга АБ;
- два зарядно-выпрямительных устройства (ЗВУ) типа НРТ 160.220 XE;
- шкаф распределения постоянного тока.

Таблица 1. Паспортные данные СПТ 220 В на базе ЛИ-аккумуляторов [11]
Table 1. Passport data of 220 V direct current system (DCS) based on lithium-ion (Li) cells [11]

Наименование параметра/характеристики Name of the parameter/property	Значение параметра/характеристики Parameter/property value
Тип элемента Cell type	LT-LYP380AH
Номинальная емкость, А·ч Rated capacity, A·h	380
Напряжение постоянного подзаряда при 20 °С, В Continuous float charge voltage at 20 °C, V	3,34
Количество элементов, шт. Number of cells, pcs	70
Способ установки Installation method	В батарейном шкафу In a cell box
Расстояние до отопительных приборов, м Distance to heating units, m	>1
Объем помещения, м ³ Room space, m ³	300
Тип вентиляции Ventilation type	Естественная Natural
Тип зарядного устройства Charger type	HPT 160.220 XE
Номинальный ток нагрузки, А Rated load current, A	100
Ток аварийного режима, А Emergency mode current, A	260
Номинальное время работы нагрузки от АБ, мин Rated load operating time from the secondary battery (SB), min	30
Наличие защиты от глубокого разряда Deep discharge protection	Нет No
Наличие термокомпенсации Thermal compensation	Нет No
Температура окружающей среды, °С Ambient temperature, °C	15–26

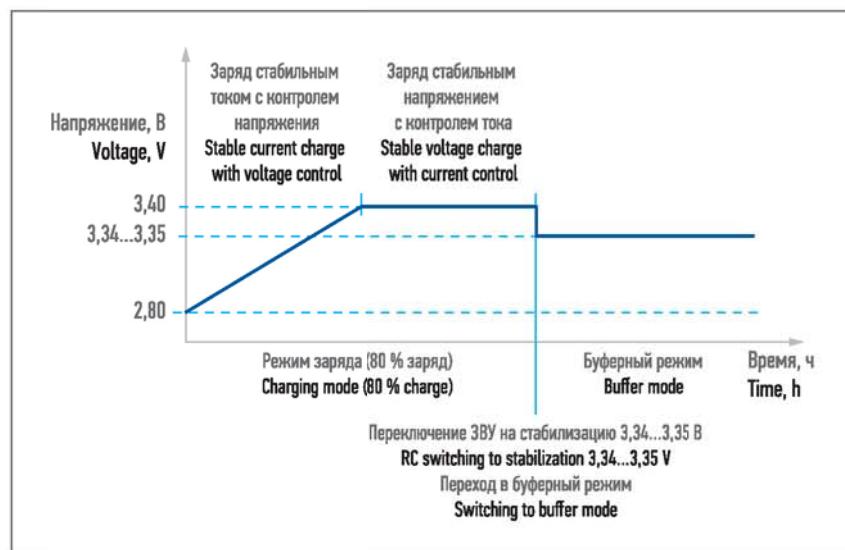


Рис. 3. График работы ЛИ-аккумулятора в режиме постоянного подзаряда [14]
Fig. 3. Li cell operation cross-plot in a float charge mode [14]

Паспортные данные СПТ 220 В для КЦ Комсомольского линейно-производственного управления магистральных газопроводов (ППУ МГ) ООО «Газпром трансгаз Югорск» приведены в табл. 1. Ее структурно-принципиальная схема и внешний вид представлены на рис. 1, 2.

Учитывая отсутствие достаточного опыта эксплуатации ЛИ АБ на производственных объектах ПАО «Газпром», для апробации разработанная система была подключена параллельно к существующей СПТ на основе СК-аккумуляторов. С октября 2013 г. по июль 2016 г. на предприятии-изготовителе (ООО «Системы Постоянного Тока», г. Новосибирск) проведены заводские, предварительные, приемочные и приемо-сдаточные испытания на объекте, по итогам которых разработаны рекомендации по подбору отдельных аккумуляторов для работы в составе батареи. Дополнительно с использованием результатов опытных заводских испытаний определены значения напряжения подзаряда ЛИ-аккумуляторов для работы в составе АБ в режиме постоянного подзаряда, выбрано необходимое значение напряжения, разработаны и внедрены технические решения по автоматической балансировке элементов [12, 13].

График работы ЛИ-аккумуляторов при постоянном подзаряде приведен на рис. 3. Рекомендуются следующие параметры их эксплуатации: двухступенчатый режим заряда с профилем IU , величина тока 20 %, рабочий диапазон 10–90 % от номинальной емкости.

Результаты проведенных испытаний показали, что, в отличие от СК и щелочных аккумуляторов, для обеспечения длительных (не менее 20 лет) сроков работы ЛИ-аккумуляторы не следует заряжать до 100 % от номинальной емкости. Во избежание увеличения разброса степени заряда элементов вследствие неравномерности скорости их саморазряда необ-

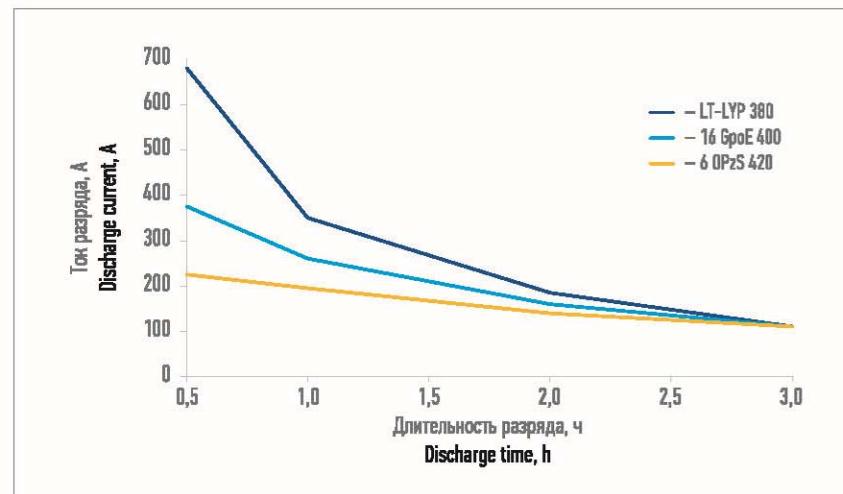


Рис. 4. Зависимость тока разряда от времени разряда для различных типов аккумуляторов [16]

Fig. 4. Discharge current to discharge time cross-plot for different accumulator types [16]

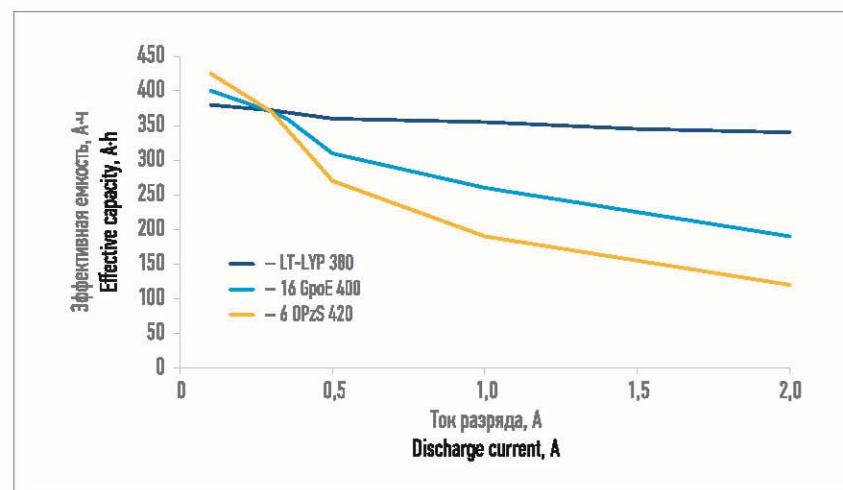


Рис. 5. Зависимость эффективной емкости от тока разряда для различных типов аккумуляторов [16]

Fig. 5. Effective capacity to discharge current cross-plot for different accumulator types [16]

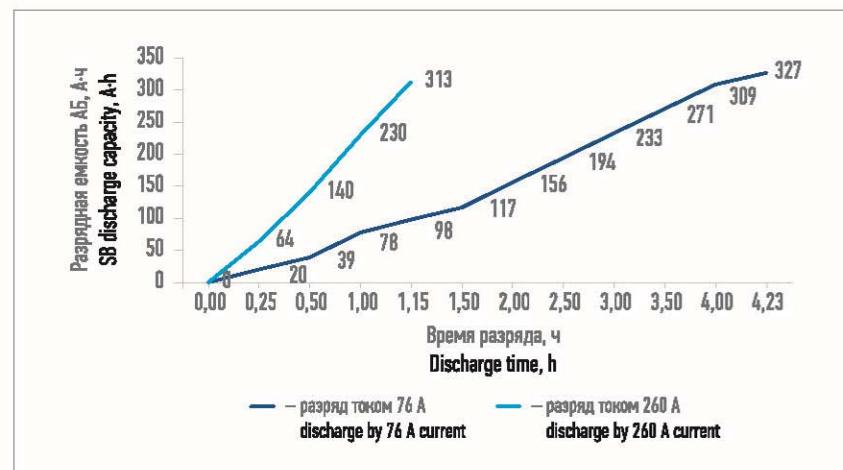


Рис. 6. Результаты разрядов ЛИ АБ 220 В (LT-LYP380AH) [17]

Fig. 6. 220 V LI SB (LT-LYP380AH) discharge results [17]

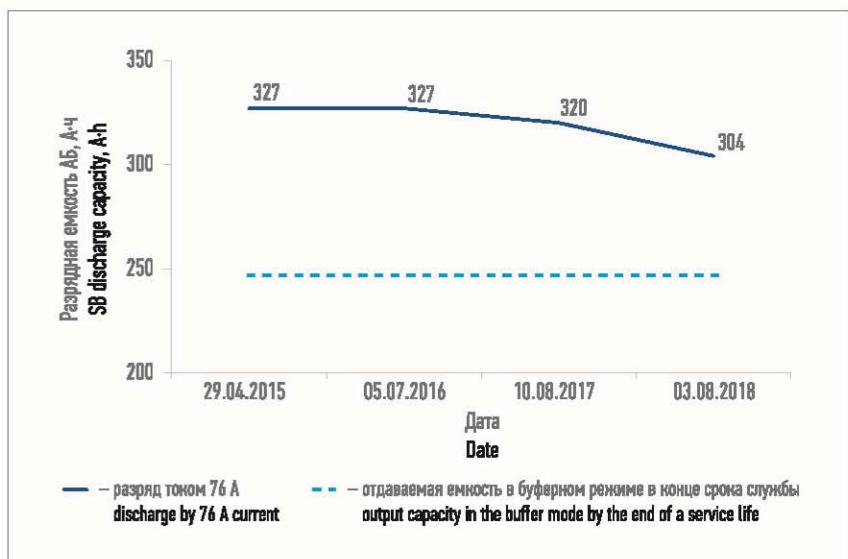


Рис. 7. Результаты контрольных разрядов ЛИАБ 220 В (LT-LYP380AH)
Fig. 7. 220 V Li SB (LT-LYP380AH) check discharge results

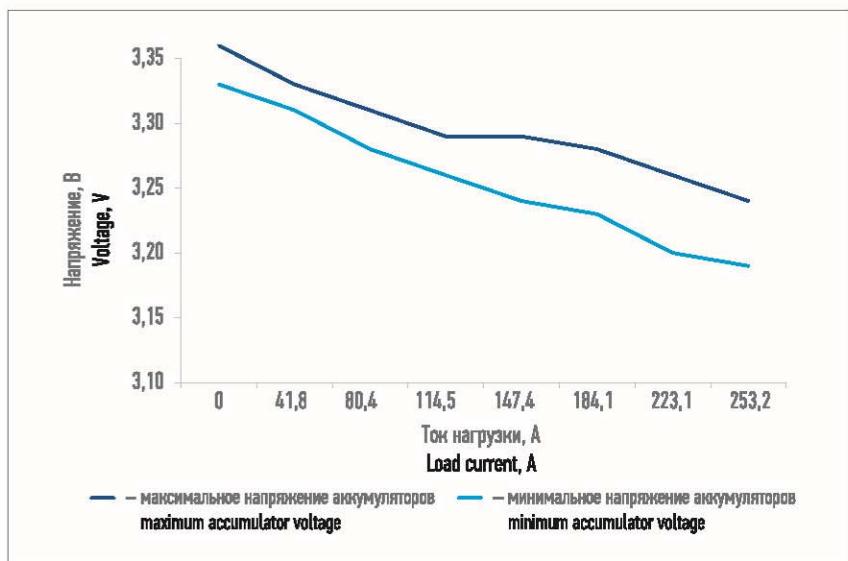


Рис. 8. Зависимость экстремальных значений напряжения аккумуляторов от нагрузки в процессе разряда АБ (повышение нагрузки, резервные масляные насосы (РМН) № 1–6 газоперекачивающих агрегатов, аварийное освещение)
Fig. 8. Cross-plot of extreme values of accumulator voltage and load in the process of SB discharge (load increase, backup oil pumps (BOP) No. 1–6 of gas compressor units, emergency light)

ходима периодическая балансировка аккумуляторов между собой. С этой целью в состав ЛИ АБ включена система контроля и управления (СКУ). В процессе опытно-промышленной эксплуатации установлена необходимость использования аккумуляторов с минимальным разбросом по внутреннему сопротивлению и емкости, и соответствующие нормативы внесены в техническую документа-

цию [14, 15]. Это требование особенно важно соблюдать для работающих в режиме постоянного подзаряда батарей напряжением 110–220 В и выше.

Согласно техническому заданию на разработку СПТ 220 В на базе ЛИ-аккумуляторов с учетом [7], время автономной работы системы составляет 30 мин. Следует отметить значительно более высокую эффективность ЛИ-аккумуляторов

по сравнению с СК-аккумуляторами при быстрых разрядах (30 мин и менее) (рис. 4, 5). На графиках наглядно показано, что для установленного времени разряда необходимая номинальная емкость ЛИ АБ в 1,5–2,3 раза ниже, чем у СК АБ даже с учетом того, что степень заряда ЛИ-аккумуляторов в буферном режиме не должна превышать 90 %.

В процессе опытно-промышленной эксплуатации в ООО «Ольдам» совместно с производителями оборудования СПТ (ООО «Системы Постоянного Тока» и ООО «Лиотех-инновации») разработаны и внедрены следующие технические решения:

- автоматическая балансировка элементов с помощью автоматической СКУ ЛИ АБ;
- система мониторинга ЛИ АБ с непрерывным поэлементным контролем напряжения, температуры, силы тока;
- создан интернет-сайт в корпоративной сети подразделения предприятия, содержащий актуальную информацию по текущим и зарегистрированным данным и обеспечивающий графический интерфейс.

Емкость АБ после 3,5 лет работы находится в рамках установленных нормативов [14]. Наработка СПТ 220 В с момента ввода в опытно-промышленную эксплуатацию составляет более 36 тыс. ч.

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ АБ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СПТ

При аprobации СПТ ежедневно контролировали основные показатели системы: напряжение, ток нагрузки, стабильность выходных параметров, рабочую температуру оборудования и др. с обязательной фиксацией результатов в эксплуатационном журнале [18]. Регулярно проводили автоматическую балансировку ЛИ АБ и контрольные разряды (рис. 6, 7).

Информация об изменении экстремальных значений параметров аккумуляторов и АБ при повышении нагрузки на СПТ от 0 до 253,2 А

Таблица 2. Изменение максимальной температуры, максимального и минимального напряжения аккумуляторов и напряжения АБ при повышении нагрузки на СПТ

Table 2. Variation of maximum temperature, maximum and minimum accumulator voltage and SB voltage in case of DCS load increase

Ток нагрузки, А Load current, A	Максимальная температура аккумуляторов, °C Maximum accumulator temperature, °C	Максимальное напряжение аккумуляторов, В Maximum accumulator voltage, V	Минимальное напряжение аккумуляторов, В Minimum accumulator voltage, V	Напряжение АБ, В SB voltage, V
0	22	3,36	3,33	233,7
41,8	22	3,33	3,31	232,7
80,4	22	3,31	3,28	230,5
114,5	22	3,29	3,26	229,6
147,4	22	3,29	3,24	228,6
184,1	22	3,28	3,23	227,6
223,1	23	3,26	3,20	226,5
253,2	24	3,24	3,19	225,5

Таблица 3. Изменение максимальной температуры, максимального и минимального напряжения аккумуляторов и напряжения АБ при снижении нагрузки на СПТ

Table 2. Variation of maximum temperature, maximum and minimum accumulator voltage and SB voltage in case of DCS load reduction

Ток нагрузки, А Load current, A	Максимальная температура аккумуляторов, °C Maximum accumulator temperature, °C	Максимальное напряжение аккумуляторов, В Maximum accumulator voltage, V	Минимальное напряжение аккумуляторов, В Minimum accumulator voltage, V	Напряжение АБ, В SB voltage, V
251,7	24	3,24	3,18	225,1
223,3	25	3,24	3,19	225,2
192,2	26	3,25	3,19	225,9
156,7	26	3,26	3,21	226,6
122,1	26	3,27	3,23	227,3
83,0	26	3,28	3,24	228,4
39,9	26	3,29	3,27	229,8
6,3	26	3,31	3,29	230,6

Таблица 4. Изменение токов ЗВУ, максимального и минимального напряжения аккумуляторов и напряжения АБ в процессе заряда АБ

Table 4. Variation of the rectifier charge (RC) currents, maximum and minimum accumulator voltage and SB voltage in the process of SB charging

Ток АБ, А SB current, A	Ток ЗВУ № 1, А RC current No. 1, A	Ток ЗВУ № 2, А RC charge No. 2, A	Максимальное напряжение аккумуляторов, В Maximum accumulator voltage, V	Минимальное напряжение аккумуляторов, В Minimum accumulator voltage, V	Напряжение АБ, В SB voltage, V
134,7	76,8	56,6	3,36	3,33	234,1
120,2	70,8	50,6	3,38	3,35	235,3
94,1	58,1	36,3	3,38	3,35	235,6
73,0	48,0	27,7	3,38	3,35	236,1
64,2	39,0	27,1	3,39	3,36	236,4

и отключенных ЗВУ представлена в табл. 2 и на рис. 8, 9 [18]. Значения параметров в среднем снижаются на величины:

– 3,6 % (максимальное напряжение аккумуляторов);

– 4,2 % (минимальное напряжение аккумуляторов);

– 3,5 % (напряжение АБ).

Максимальная температура аккумуляторов при нагрузке на СПТ до 75 % от номинальной остается

стабильной (22 °C); при увеличении нагрузки она повышается до 24 °C.

Аналогичные данные, полученные при снижении нагрузки на СПТ от 251,7 до 6,3 А и отключенных ЗВУ, суммированы в табл. 3

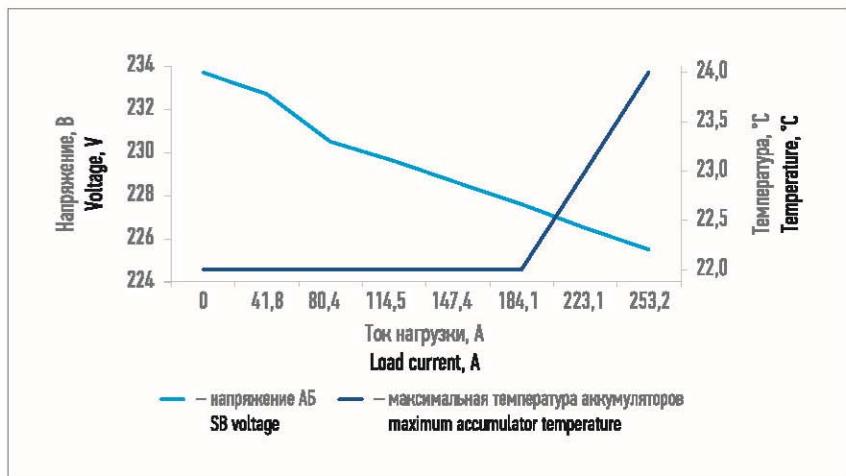


Рис. 9. Зависимость напряжения АБ и максимальной температуры аккумуляторов от нагрузки в процессе разряда АБ (повышение нагрузки, РМН № 1–6, аварийное освещение)

Fig. 9. Cross-plot of SB voltage, maximum accumulator temperature and load in the process of SB discharge (load increase, BOP No. 1-6, emergency light)

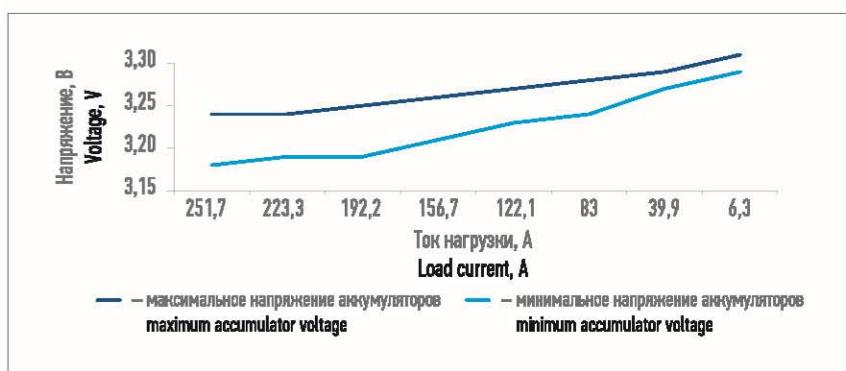


Рис. 10. Зависимость экстремальных значений напряжения аккумуляторов от нагрузки в процессе разряда АБ (снижение нагрузки, РМН № 1–6 газоперекачивающих агрегатов, аварийное освещение)

Fig. 10. Cross-plot of extreme values of accumulator voltage and load in the process of SB discharge (load increase, BOP No. 1-6 of gas compressor units, emergency light)

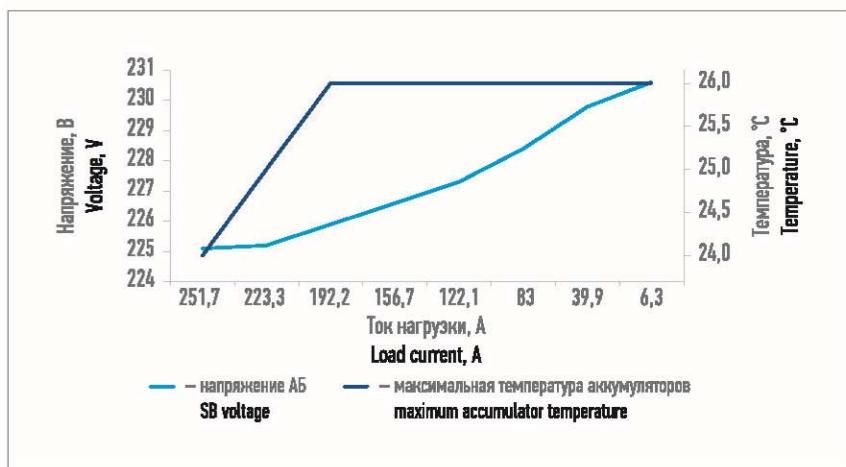


Рис. 11. Зависимость напряжения АБ и максимальной температуры аккумуляторов от нагрузки в процессе разряда АБ (снижение нагрузки, РМН № 1–6, аварийное освещение)

Fig. 11. Cross-plot of SB voltage, maximum accumulator temperature and load in the process of SB discharge (load increase, BOP No. 1-6, emergency light)

и на рис. 10, 11 [19]. В этом случае напряжение на аккумуляторах и АБ в среднем растет на величины:

- 2,2 % (максимальное напряжение аккумуляторов);
- 3,5 % (минимальное напряжение аккумуляторов);
- 2,4 % (напряжение АБ).

Максимальная температура аккумуляторов при снижении нагрузки на СПТ до 75 % повышается от 24 до 26 °C и далее стабилизируется на этом уровне. После отключения нагрузки и включения в работу ЗВУ №1 и 2 в течение 60 мин максимальная температура повышается с 22 до 26 °C, растет напряжение аккумуляторов (табл. 4, рис. 12–14) [18].

АВТОМАТИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА АБ

В соответствии с алгоритмом функционирования СКУ ежемесячно проводится автоматическая балансировка АБ. В табл. 5, 6 выборочно представлены результаты измерений параметров батареи в процессе балансировки в режиме заряда [19] и после балансировки в режиме разряда [20].

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АБ НА ОСНОВЕ СК-АККУМУЛЯТОРОВ И ЛИ-АККУМУЛЯТОРОВ

Данные о технико-экономических показателях эксплуатации АБ с аккумуляторами разного типа СПТ КЦ Комсомольского ЛПУ МГ 000 «Газпром трансгаз Югорск» суммированы в табл. 7 [16, 21]. Их анализ показывает, что использование ЛИ-аккумуляторов типа LT-LYP380AH вместо СК-аккумуляторов типа VARTA 6 OPzS 600 при практически одинаковых значениях напряжения АБ более рационально по следующим причинам:

- номинальная емкость АБ понижается в 1,58 раза;
- необходимое количество элементов АБ сокращается в 1,54 раза;
- объем оборудования уменьшается в 4,26 раза;

Таблица 5. Результаты измерений параметров батареи в процессе балансировки (режим заряда, 21 °C)
Table 5. Results of measurements of battery parameters in the process of balancing (charging mode, 21 °C)

Текущее время Running time	Минимальное напряжение аккумуляторов, В Minimum accumulator voltage, V	Максимальное напряжение аккумуляторов, В Maximum accumulator voltage, V	Максимальная температура аккумуляторов, °C Maximum accumulator temperature, °C	Напряжение АБ, В SB voltage, V	Ток АБ, А SB current, A	Количество балансирующих элементов Number of balancing cells	Ток наиболее активно балансирующегося элемента, А Current of the most active balancing cell, A
09:00	3,33	3,36	21	234,2	0,2	0	0
09:14	3,38	3,41	3	237,84	51,0	6	3,92
10:15	3,38	3,42	41	237,83	48,6	8	3,61
11:16	3,37	3,76	45	238,33	18,4	19	4,90
12:17	3,36	3,83	46	238,53	7,1	20	4,90
13:18	3,36	3,89	50	238,49	4,9	28	4,28
14:19	3,36	3,80	48	238,55	3,8	42	4,22
14:35	3,36	3,48	44	239,99	-3,0	9	4,90



Таблица 6. Результаты измерений параметров батареи после балансировки (режим разряда, 21 °C)
Table 6. Results of measurements of battery parameters after balancing (discharging mode, 21 °C)

Текущее время Running time	Минимальное напряжение аккумуляторов, В Minimum accumulator voltage, V	Максимальное напряжение аккумуляторов, В Maximum accumulator voltage, V	Максимальная температура аккумуляторов, °C Maximum accumulator temperature, °C	Напряжение АБ, В SB voltage, V	Ток АБ, А SB current, A
15:27	3,34	3,41	34	237,76	-2,2
17:24	3,33	3,36	24	234,22	-0,8
19:26	3,33	3,36	23	234,22	-0,3
21:27	3,33	3,36	21	234,22	-0,2
23:29	3,33	3,36	20	234,23	0,0
01:31	3,33	3,36	18	234,26	0,0

– заявленный срок службы АБ увеличивается в 1,33 раза;
– сокращаются расходы на соблюдение установленных для работы с агрессивными средами требований к размещению АБ и организации работы персонала.

Вместе с тем затраты на диагностику ЛИ АБ в три раза возрастают, поскольку контрольные разряды СК-аккумуляторов проводятся один раз в три года.

На момент ввода в эксплуатацию (июль 2016 г.) АБ LT-LYP380AH прошла пять циклов балансировки

«заряд–разряд» в автоматическом режиме [16]; по состоянию на 01.04.2019 – более 20 циклов.

Сбор и накопление информации о параметрах ЛИ АБ и отдельных аккумуляторов в ее составе производится СКУ. Напряжение, сила тока и температура измеряются

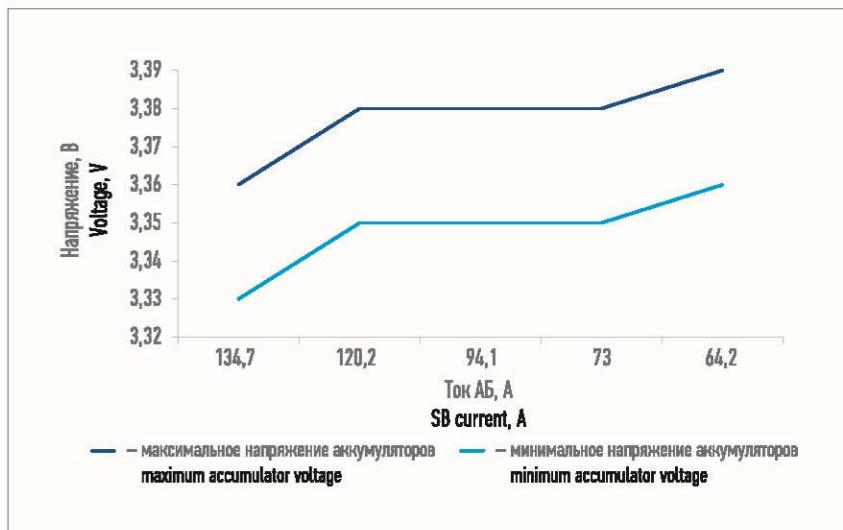


Рис. 12. Изменение экстремальных значений напряжения аккумуляторов в процессе заряда АБ

Fig. 12. Changes in extreme values of accumulator voltage in the process of SB charging

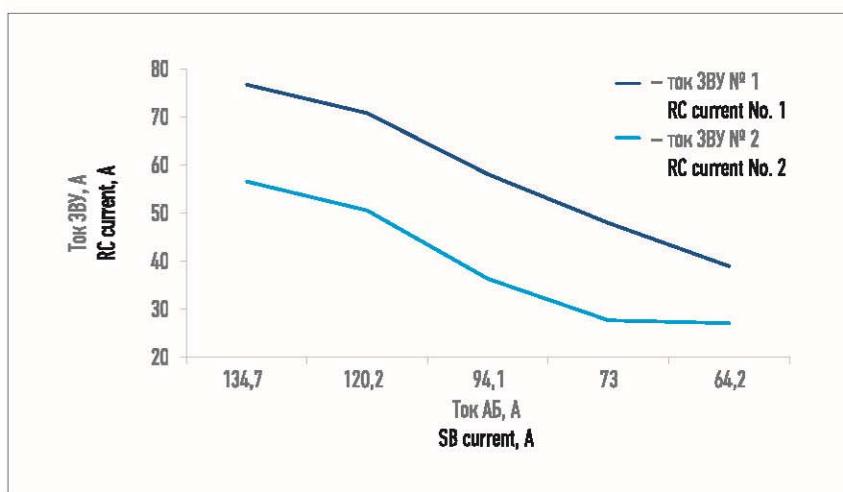


Рис. 13. Изменение токов ЗВУ в процессе заряда АБ в автоматическом режиме без регулирования тока заряда

Fig. 13. RC current changes in the process of SB charging in automatic mode without adjusting charge current

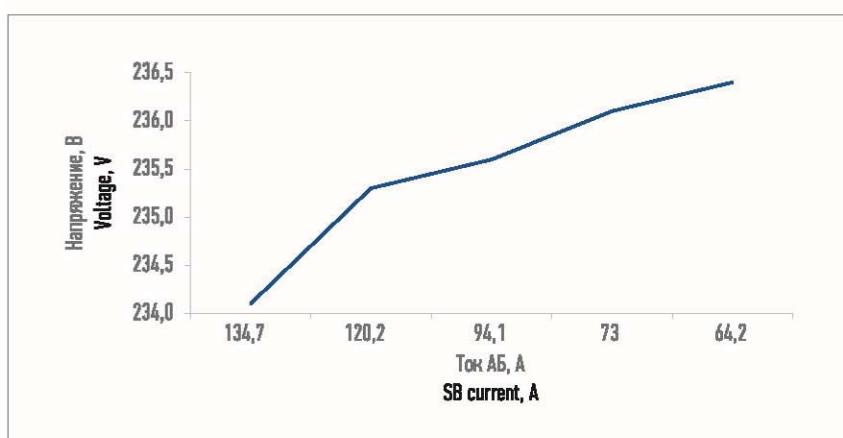


Рис. 14. Изменение напряжения АБ в процессе заряда

Fig. 14. SB voltage change in the process of charging

с периодичностью 10 с. Параметры АБ на базе ЛИ-аккумуляторов LT-LYP380AH фиксируют при помощи подключенного к контроллеру ноутбука. Система мониторинга реализована на базе промышленного компьютера типа NISE, подключенного к локальной вычислительной сети автоматизированной системы управления технологическим процессом Комсомольского ЛПУ МГ.

ВЫВОДЫ

Ниже сформулированы наиболее важные факты, подтвержденные полученным в процессе эксплуатации СПТ с ЛИ АБ КЦ Комсомольского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск» в период 2016–2019 гг. опытом.

Оборудование СПТ 220 В характеризуется высоким уровнем надежности. С момента его приемки в эксплуатацию по настоящее время отказов не выявлено.

Основные параметры АБ достаточно стабильны. Напряжение в режиме постоянного подзаряда составляет 233,8 В, минимальное напряжение на элементе аккумуляторной батареи – 3,33 В, его максимальная величина – 3,36 В.

Снижаются затраты на создание и эксплуатацию СПТ КЦ при замене в АБ СК-аккумуляторов на ЛИ-аккумуляторы.

Положительный опыт промышленной эксплуатации СПТ КЦ Комсомольского ЛПУ МГ подтверждает рациональность выбора направления совершенствования СПТ производственных объектов ПАО «Газпром» на базе ЛИ и других современных аккумуляторов, имеющих более высокие технико-экономические показатели по сравнению с традиционными системами. Внедрение СПТ на базе ЛИ-аккумуляторов в практику проектирования и эксплуатации обеспечит существенное снижение затрат на электроснабжение ответственных потребителей и повышение показателей энергетической эффективности СПТ производственных объектов ПАО «Газпром». ■

Таблица 7. Характеристики технико-экономических показателей эксплуатации АБ на основе СК-аккумуляторов и ЛИ-аккумуляторов

Table 7. Performance indicators of SB operation based on lead-acid (LA) cells and Li cells

Параметры Parameters	СК АБ LA SB	ЛИ АБ Li SB
Тип АБ SB type	VARTA 6 OPzS 600	LT-LYP380AH
Номинальная емкость, А·ч Rated capacity, A·h	600	380
Количество элементов, шт. Number of cells, pcs	108	70
Минимальное напряжение АБ, В Minimum SB voltage, V	194,4	196
Максимальное напряжение АБ, В Maximum SB voltage, V	240,84	238
Специальные требования к помещению (окраска конструкций кислотостойкой краской, взрывозащищенное электрооборудование и др.) Special facility requirements (acid-proof paint on structures, explosion-proof electric equipment, etc.)	Да Yes	Нет No
Наличие вентиляции в помещении Room ventilation	Да Yes	Нет No
Наличие обслуживающего персонала Presence of service personnel	Да Yes	Нет No
Габаритные размеры (Д×Ш×В), м Overall dimensions (L×W×H), m	15,66×0,206×0,7	9,583×0,163×0,337
Заявленный срок службы, лет Claimed service life, years	15	20
Использование специальных средств индивидуальной защиты при обслуживании АБ Use of special personnel protective equipment during SB maintenance	Да Yes	Нет No
Затраты на проведение диагностики АБ, чел·ч/г. Expenses for SB diagnostics, man h/year	10,7	32
Суммарные затраты на содержание одного аккумуляторщика, тыс. руб./г. Total expenses per one battery assembler, thous. Rub/year	144,096	0
Норматив времени на техническое обслуживание системы вентиляции (ремонтный персонал) согласно расчету трудозатрат, норматива численности на рабочее место электромонтера, чел·ч/г. Standard time for technical maintenance of the ventilation system (repair personnel) according to estimation of working hours, staff number standard per wireman workplace, man h/year	16,8	0
Затраты на техническое обслуживание системы вентиляции (ремонтный персонал) для электромонтера, тыс. руб./г. Expenses for technical maintenance of the ventilation system (repair personnel) for a wireman, thous. Rub/year	4,58	0
Затраты на уборку помещения уборщиком производственных помещений, чел·ч/г. Expenses for housekeeping by industrial premises cleaner, man h/year	2,376	0
Затраты на уборку производственных помещений, тыс. руб./г. Expenses for industrial premises cleaning, thous. Rub/year	0,498	0

ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол совместного совещания Председателя Правления ПАО «Газпром» А.Б. Миллера и Председателя Правления АО «РОСНАНО» А.Б. Чубайса от 27.11.2013 [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
2. ГОСТ Р МЭК 62485-2-2011. Батареи аккумуляторные и установки батарейные. Требования безопасности. Часть 2. Стационарные батареи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200091386> (дата обращения: 07.11.2019).
3. ГОСТ Р МЭК 62620-2016. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной или другие некислотные электролиты. Аккумуляторы и батареи литиевые для промышленных применений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200140416> (дата обращения: 07.11.2019).
4. Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (с изм. на 15.11.2018) (утв. приказом Минтруда РФ от 24.07.2013 № 328н) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499037306> (дата обращения: 07.11.2019).

5. Министерство энергетики Российской Федерации. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (с изм. на 13.09.2018) (утв. приказом Минэнерго РФ от 13.01.2003 № 6) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901839683> (дата обращения: 07.11.2019).
6. Министерство энергетики Российской Федерации. Правила устройства электроустановок (издание 7) (утв. приказом Минэнерго РФ от 08.07.2007 № 204) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98464/ (дата обращения: 07.11.2019).
7. ПАО «Газпром». 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: ограниченный.
8. ПАО «Газпром». СТО Газпром 2-1.11-290-2009. Положение по обеспечению электромагнитной совместимости производственных объектов ОАО «Газпром» [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
9. ПАО «Газпром». СТО Газпром 2-6.2-1028-2015. Категорийность электроприемников промышленных объектов ПАО «Газпром» [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
10. 000 «Газпром трансгаз Югорск». Технические требования на систему постоянного тока с применением литий-ионной аккумуляторной батареи для Комсомольского ЛПУ МГ [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
11. 000 «Системы Постоянного Тока». ПТГН.656454.3132.Р3. Система постоянного тока с применением литий-ионной аккумуляторной батареи [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
12. 000 «Системы Постоянного Тока». ПТГН.656454.3132.Д. Система контроля батареи. Техническое описание [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
13. 000 «Лиотех». Справка об алгоритмах балансировки ЛИАБ в режиме подзаряда № 01-03/382 от 26.11.2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
14. 000 «Лиотех». LT.64366939.3482.001-2013РЭ-ЛУ. Руководство по эксплуатации аккумуляторов литий-ионных LT-LYP200AH, LT-LYP240AH, LT-LYP300AH, LT-LYP380AH, LT-LYP700AH и LT-LYP770AH номинальной емкостью 200 А·ч, 240 А·ч, 300 А·ч, 380 А·ч, 700 А·ч и 770 А·ч [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
15. 000 «Литий-ионные технологии». ТУ 3482-001-64366939-2011. Аккумуляторы литий-ионные [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
16. Технические решения по построению СПТ на базе литий-ионных аккумуляторов. Рекомендации по применению СПТ на базе литий-ионных аккумуляторов на производственных объектах ПАО «Газпром» / Москва: 000 «Ольдам», 2018.
17. 000 «Ольдам». Протоколы приемо-сдаточных испытаний № 0407/1 от 04.07.2016 и № 0507/1 от 05.07.2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
18. 000 «Газпром трансгаз Югорск». Эксплуатационный журнал ЛИА. Контроль параметров АБ в процессе эксплуатации СПТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
19. 000 «Ольдам». Протокол испытаний № 1/1 от 29.03.2016. Результаты измерений в процессе балансировки батареи [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
20. 000 «Ольдам». Протокол испытаний № 1/2 от 29.03.2016. Результаты измерений разряда после балансировки батареи [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.
21. 000 «Ольдам». Система постоянного тока ГКС-11 Комсомольского ЛПУ МГ КС-3 с использованием литий-ионных аккумуляторных батарей. Технико-коммерческое сравнение [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.

REFERENCES

- (1) Minutes of the joint meeting between PJSC Gazprom's Chairman of the Management Committee A.B. Miller and RUSNANO Chairman of the Management Committee A.B. Chubais as of 27th November 2013. [Access restricted]. (In Russian)
- (2) Federal Agency on Technical Regulating and Metrology (Rosstandart). State standard GOST R IEC 62485-2-2011. Secondary batteries and battery installations. Safety requirements. Part 2. Stationary batteries. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200091386> [Accessed: 07th November 2019]. (In Russian)
- (3) Rosstandart. State standard GOST R IEC 62620-2016. Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes. Secondary lithium cells and batteries for use in industrial applications. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200140416> [Accessed: 07th November 2019]. (In Russian)
- (4) Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation. Occupational safety rules for operation of electric installations (as amended on 15th November 2018) (approved by the order of the Ministry of Labour of the RF as of 24th July 2013 No. 328n). Available from: <http://docs.cntd.ru/document/499037306> [Accessed: 07th November 2019]. (In Russian)
- (5) Ministry of Energy of the Russian Federation. Operating regulations for consumers' electric installations (as amended on 13th September 2018) (approved by the order of the Ministry of Energy of the RF as of 13th January 2003 No. 6). Available from: <http://docs.cntd.ru/document/901839683> [Accessed: 07th November 2019]. (In Russian)
- (6) Ministry of Energy of the Russian Federation. Design rules for electric installations (edition 7) (approved by the order of the Ministry of Energy of the RF as of 08th July 2007 No. 204). Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98464/ [Accessed: 07th November 2019]. (In Russian)
- (7) PJSC Gazprom. СТО Gazprom 2-1.11-192-2008. Provision on composition and organization of operation of the systems of centralized direct current power supplies at PJSC Gazprom's facilities. [Access restricted]. (In Russian)
- (8) PJSC Gazprom. СТО Gazprom 2-1.11-290-2009. Provision on maintenance of electromagnetic compatibility of PJSC Gazprom's industrial facilities. [Access restricted]. (In Russian)
- (9) PJSC Gazprom. СТО Gazprom 2-6.2-1028-2015. Classification of electric receivers of PJSC Gazprom's industrial facilities. [Access restricted]. (In Russian)
- (10) Gazprom transgaz Yugorsk LLC. Specifications for lithium-ion cell direct current systems for Komsomolsky line pipe operation center. [Access restricted]. (In Russian)
- (11) Direct Current Systems LLC. PTGN.656454.3132.RE. Direct current system with application of lithium-ion cells. [Access restricted]. (In Russian)
- (12) Direct Current Systems LLC. PTGN.656454.3132.D. Battery control system. Technical description. [Access restricted]. (In Russian)
- (13) Liotech LLC. Reference note on lithium-ion cell balancing algorithms in the floating charge mode No. 01-03/382 as of 26th November 2015. [Access restricted]. (In Russian).
- (14) Liotech LLC. LT.64366939.3482.001-2013RE-LU. Operation manual for lithium-ion cells LT-LYP200AH, LT-LYP240AH, LT-LYP300AH, LT-LYP380AH, LT-LYP700AH and LT-LYP770AH with the rated capacity of 200 A·h, 240 A·h, 300 A·h, 380 A·h, 700 A·h and 770 A·h. [Access restricted]. (In Russian)
- (15) Lithium-ion technologies LLC. TU 3482-001-64366939-2011. Lithium-ion cells. [Access restricted]. (In Russian)
- (16) Engineering solutions on direct current system design on the basis of lithium-ion cells. Recommendations on application of direct current systems based on lithium-ion cells at PJSC Gazprom's industrial facilities. Moscow: Oldam LLC, 2018.
- (17) Oldam LLC. Acceptance test protocols № 0407/1 as of 04th July 2016 and № 0507/1 as of 05th July 2016. [Access restricted]. (In Russian)
- (18) Gazprom transgaz Yugorsk LLC. Lithium-ion cell operating log. Secondary battery parameters control in the process of direct current system operation. [Access restricted]. (In Russian)
- (19) Oldam LLC. Test protocol №. 1/1 as of 29th March 2016. Measurement results in the process of battery balancing. [Access restricted]. (In Russian)
- (20) Oldam LLC. Test protocol №. 1/2 as of 29th March 2016. Results of discharge measurements after battery balancing. [Access restricted]. (In Russian)
- (21) Oldam LLC. GCS-11 direct current system of Komsomolsky line pipe operation center CS-3 with application of lithium-ion cells. Feasibility comparison. [Access restricted]. (In Russian)