

СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ ПОДСТАНЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ. КОМПЛЕКСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА

АВТОРЫ:

Д.Е. ЛЕБЕДЕВ,
А.М. ПОТАПЕНКО,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

С.С. ИВАНИЦКИЙ,
АО «ГАЗПРОМ ПРОМГАЗ»

А.С. СЕМЯГИН,
ООО «СПТ»

В статье продолжается начатое в [1] рассмотрение опыта разработки и апробации новых технических решений для системы оперативного постоянного тока электрических подстанций. Приведены результаты комплексных

испытаний опытного образца системы обеспечения резервного питания с литий-ионными аккумуляторными батареями на объекте внедрения. Рассмотрены результаты опытно-промышленной эксплуатации опытного образца за шесть месяцев.

Ключевые слова: система оперативного постоянного тока (СОПТ); система обеспечения резервного питания (СОРП); литий-ионная аккумуляторная батарея; аккумулятор; источник бесперебойного питания; испытание; опытно-промышленная эксплуатация.



Современные системы накопителей электроэнергии, основанные на аккумуляторных батареях, обеспечивают надежную, бесперебойную работу подстанций

ВВЕДЕНИЕ

С целью апробации технических решений в части инновационных элементов системы резервного питания, на подстанции 220 кВ ПАО «Россети», проведены комплексные испытания и опытно-промышленная эксплуатация опытного образца системы обеспечения резервного питания (СОРП) на базе литий-ионной аккумуляторной батареи (ЛИАБ). Работы были выполнены в рамках НИОКР, результаты которой позволят повысить надежность и наблюдаемость оборудования, снизить эксплуатационные расходы, а также капитальные вложения при новом строительстве и реконструкции подстанций.

Проведению комплексных испытаний и опытно-промышленной эксплуатации на объекте внедрения предшествовали:

- разработка и обоснование технических требований к опытному образцу;

- разработка технического задания на опытный образец;
- разработка комплекта конструкторской и эксплуатационной документации;
- изготовление опытного образца;
- проведение заводских испытаний;
- проведение строительно-монтажных и пусконаладочных работ на объекте внедрения.

СОСТАВ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА СОРП

Опытный образец СОРП состоит:

- из одной ЛИАБ в шкафом исполнении, состоящей из аккумуляторов LT-LFP 170 (70+12 элементов) с номинальной емкостью 170 А·ч в комплекте с системой контроля и управления;
- двух зарядно-выпрямительных устройств (ЗВУ) типа НРТМ 60.220+40.48;

- одного шкафа коммутации типа ЩПТ, включающего защитно-коммутационные аппараты, блок заряда, систему контроля и управления ЛИАБ, систему мониторинга.

Внешний вид СОРП, смонтированной на объекте внедрения, представлен на рис. 1.

С более подробным описанием назначения и технических характеристик опытного образца СОРП можно ознакомиться в [1].

ОПИСАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СОРП

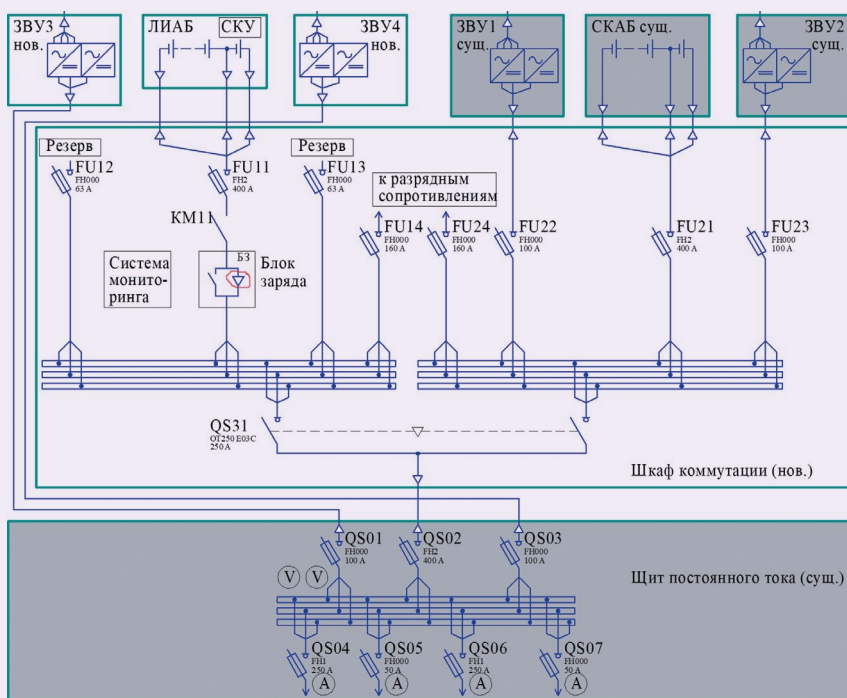
Структурная схема включения СОРП в систему оперативного постоянного тока ПС приведена на рис. 2.

1. В нормальном режиме работы существующая свинцово-кислотная аккумуляторная батарея (СКАБ)



Рис. 1. Внешний вид СОРП. Слева направо: зарядно-выпрямительное устройство, шкаф коммутации, литий-ионная аккумуляторная батарея, зарядно-выпрямительное устройство

СХЕМА СТРУКТУРНАЯ СОПТ С СОРП



Обозначения: ЗВУ3 нов., ЗВУ4 нов. — ЗВУ, вновь устанавливаемые зарядно-выпрямительные устройства, входящие в состав СОРП; ЗВУ1 сущ., ЗВУ2 сущ. — существующие зарядно-выпрямительные устройства, установленные на объекте; ЛИАБ — литий ионная аккумуляторная батарея; СКАБ сущ. — существующая свинцово-кислотная аккумуляторная батарея, установленная на объекте; Шкаф коммутации нов. — вновь устанавливаемый шкаф коммутации, входящий в состав СОРП; ЩПТ сущ. — существующий щит постоянного тока, установленный на объекте; FU — предохранительный выключатель нагрузки, КМ11 — контактор аварийного отключения ЛИАБ (аварийный контактор), БЗ — блок заряда, рассчитанный на ЛИАБ не менее 170 А·ч, QS31 — реверсивный рубильник; QS01–QS07 — установленные в ЩПТ предохранительные выключатели нагрузки.

Рис. 2

содержится в режиме подзаряда от ЗВУ1 и ЗВУ2. Реверсивный рубильник QS31 переведен в режим питания от ЛИАБ. ЛИАБ заряжена и отключена от ЗВУ блоком заряда (БЗ). ЩПТ получает питание от ЗВУ3 и ЗВУ4.

2. При возникновении импульсной нагрузки напряжение на выходе ЗВУ3 и ЗВУ4 уменьшается, ЗВУ3 и ЗВУ4 переходят в режим источников тока, БЗ подключает ЛИАБ к ЩПТ для питания импульсной нагрузки без возникновения бестоковой паузы. При исчезновении импульсной нагрузки система возвращается в исходное состояние по п. 1).

3. При пропадании напряжения на выходе ЗВУ3 и ЗВУ4 нагрузка подключается к ЛИАБ через БЗ. Происходит аварийный разряд ЛИАБ с возможностью обеспечения питания импульсной нагрузки в конце разряда.

4. При критическом разряде ЛИАБ (ниже 2,8 В/элемент) система контроля и управления (СКУ) отключает ЛИАБ от нагрузки аварийным контактором КМ11.

5. После восстановления напряжения на выходе ЗВУ3 и ЗВУ4 ЛИАБ подключается на заряд через БЗ, нагрузка получает питание от ЗВУ.

6. Для заряда и балансировки ЛИАБ (при разряде до остаточной емкости 80% или периодически 1 раз в месяц) СКУ дает команду на подключение ЛИАБ на заряд и балансировку через БЗ.

7. При достижении полного заряда и балансировки ЛИАБ схема возвращается в исходное состояние по п. 1).

8. В шкафу коммутации установлена система мониторинга (СМ), предназначенная для контроля за состоянием установленной системы.

9. Для перевода питания ЩПТ от существующих ЗВУ1, ЗВУ2 и СКАБ при невозможности продолжения эксплуатации ЛИАБ предусмотрен реверсивный рубильник QS31, переключающий питание ЩПТ на сборные шины СКАБ; ЗВУ3 и ЗВУ4 при этом отключаются.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СОРП

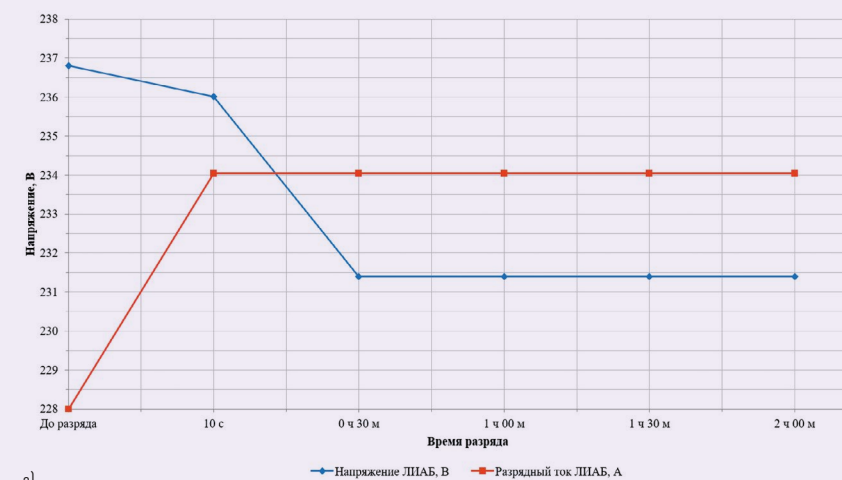
Перед проведением опытно-промышленной эксплуатации опытный образец СОРП подвергли комплексным испытаниям.

Комплексные испытания проведены при участии специалистов завода — изготовителя опытного образца и представителей эксплуатирующей организации.

Комплексные испытания включали в себя в том числе:

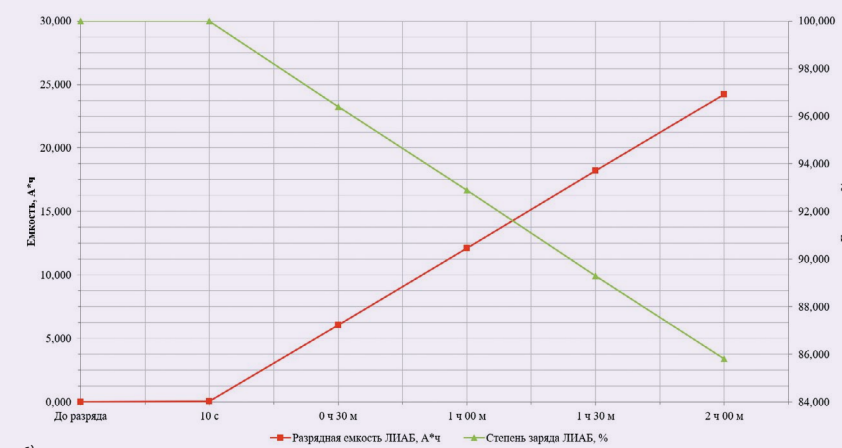
- проверку функционирования СОРП;
- проверку продолжительности автономной работы СОРП на нагрузку;
- проверку эффективной емкости ЛИАБ;

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ АВТОНОМНОЙ РАБОТЫ СОРП НА НАГРУЗКУ



а)

А) ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА ЛИАБ



б)

Б) РАЗРЯДНАЯ ЕМКОСТЬ ЛИАБ

Рис. 3

- через 10 секунд после начала аварийного разряда;
- через каждые 30 минут до конца двухчасового разряда.

Результаты проверки продолжительности автономной работы СОРП на нагрузку приведены на рис. 3. По результатам испытания степень заряда ЛИАБ после двухчасового

- сравнение потерь энергии на цикл разряд–заряд для ЛИАБ и СКАБ.

В рамках проверки функционирования система обеспечения резервного питания испытана во всех возможных режимах работы:

- в нормальном режиме;
- при пропадании сети на входе одного из ЗВУ;
- в аварийном режиме (режим разряда ЛИАБ на расчетную нагрузку при отключенных ЗВУ);
- при восстановлении нормального режима работы после появления сети на одном или двух ЗВУ;
- при функционировании СКУ, СМ, БЗ при разряде, заряде и балансировке ЛИАБ.

Во всех перечисленных режимах работы СОРП подтвердила соответствие техническим требованиям.

Перед выполнением проверки продолжительности автономной работы СОРП (аварийный режим) проведены заряд и балансировка ЛИАБ. В течение двух часов осуществляли разряд на нагрузку.

В процессе разряда контролировали и фиксировали следующие параметры:

- длительность автономной работы;
- напряжение ЛИАБ ($U_{\text{ЛИАБ}}$);
- ток разряда ЛИАБ ($I_{\text{разр.ЛИАБ}}$);
- разрядная емкость ЛИАБ ($C_{\text{разр.ЛИАБ}}$).

Замеры в процессе разряда выполнены в следующем порядке:

- перед началом проведения разряда;

разряда (в соответствии с требованиями по обеспечению питания всех подключенных к СОПТ электроприемников в режиме аварийного разряда) составила 86 %.

Перед проверкой эффективной емкости ЛИАБ выполнены заряд и балансировка ЛИАБ. Разряд ЛИАБ выполняли с помощью разрядного сопротивления током 34 А (соответствует $0,2 \cdot C_{ном}$) при температуре окружающей среды 20 °С до достижения любым из элементов напряжения 2,8 В в соответствии с эксплуатационной документацией завода-изготовителя.

Внешний вид ЛИАБ приведен на рис. 4.

В процессе разряда в том числе контролировали и фиксировали следующие параметры:

- минимальное ($U_{мин.эл.ЛИАБ}$), максимальное ($U_{макс.эл.ЛИАБ}$) и среднее ($U_{среднее.эл.ЛИАБ}$) напряжение единичных аккумуляторов;
 - общее напряжение ЛИАБ ($U_{разр.ЛИАБ}$);
 - ток разряда ЛИАБ ($I_{разр.ЛИАБ}$);
 - разрядная емкость ЛИАБ ($C_{разр.ЛИАБ}$);
- Замеры в процессе разряда выполняют в следующем порядке:
- перед началом проведения разряда;
 - через 10 секунд после включения;
 - через каждые 60 минут.



Рис. 4. Внешний вид ЛИАБ

Результаты проверки эффективной емкости ЛИАБ приведены на рис. 5. По результатам пятичасового разряда током 34 А разрядная емкость ЛИАБ составила 170 А·ч.

Во время проведения испытаний отклонений в работе СОРП не выявлено. Подтверждены соответствие СОРП заявленным техническим характеристикам и готовность к проведению опытно-промышленной эксплуатации.

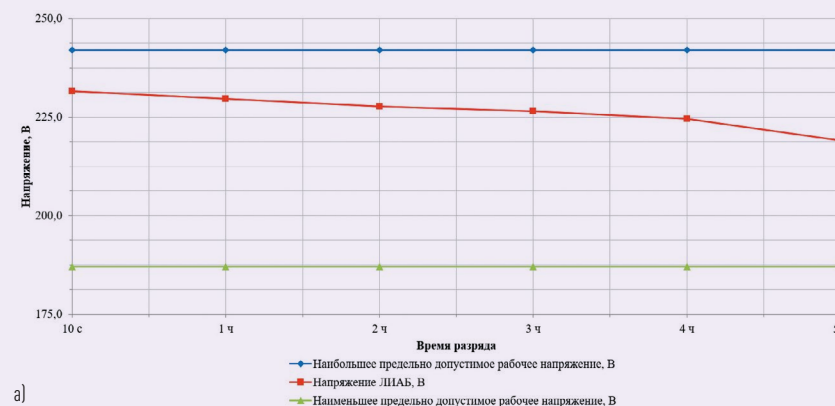
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Для подтверждения работоспособности системы в реальных условиях с целью принятия решения о возможности применения оборудования на вновь строящихся и реконструируемых объектах ПАО «Россети», проведена опытно-промышленная эксплуатация СОРП длительностью шесть месяцев.

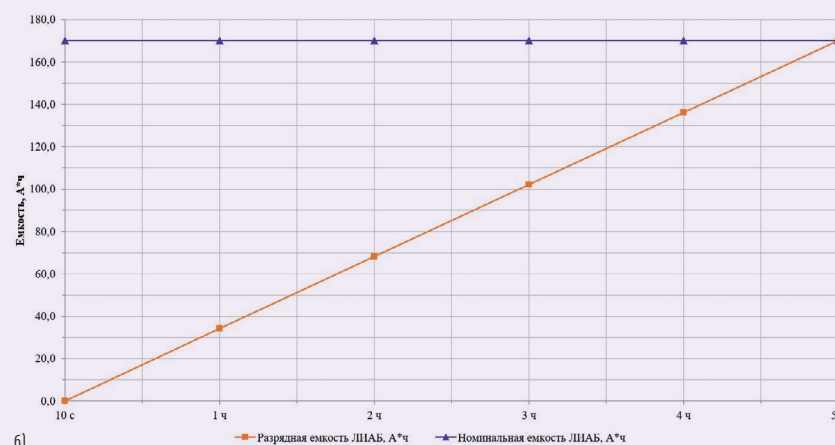
Задачи, решаемые в ходе опытно-промышленной эксплуатации:

- контроль работоспособности СОРП;
- оценка энергоэффективности предложенного решения по сравнению с традиционной системой оперативного постоянного тока на базе свинцово-кислотных аккумуляторов;
- фиксация сбоев, ошибок, недостатков, возникающих и выявленных в ходе опытно-промышленной эксплуатации, и их устранение;
- при необходимости внесение изменений в техническую и эксплуатационную документацию.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗРЯДНОЙ ЕМКОСТИ ЛИАБ



а) ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЛИАБ



б) РАЗРЯДНАЯ ЕМКОСТЬ ЛИАБ

Рис. 5

Основные результаты опытно-промышленной эксплуатации:

- наработка СОРП на момент завершения опытно-промышленной эксплуатации составила 4378 часов;
- отказов не зафиксировано;
- напряжение ЛИАБ стабильно (отклонения не превышают допустимых значений) и состав-

ляет ~279 В для полной батареи и ~238 В для основной части батареи;

- потери ЛИАБ при цикле разряд-заряд в три раза меньше, чем для СКАБ (1,9 А·ч у ЛИАБ против 5,81 А·ч у СКАБ).

Таким образом, на основе данных, полученных с установленного прибора для измерения расхода элек-

троэнергии на объекте внедрения, опытный образец разработанной системы обеспечения резервного электропитания позволяет сократить энергопотребление на собственные нужды до 36 956 кВт·ч в год.

Это происходит благодаря тому, что снижается количество энергии для поддержания требуемых условий эксплуатации аккумуляторов — температуры, влажности, освещения, а также в связи с отсутствием необходимости размещения аккумуляторных батарей в специальном аккумуляторном помещении с соответствующей инженерной инфраструктурой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опытный образец системы обеспечения резервного питания на базе ЛИАБ успешно выдержал комплексные испытания на объекте внедрения. В период опытно-промышленной эксплуатации СОРП на базе литий-ионных аккумуляторов отказов оборудования не выявлено.

Таким образом, подтверждается перспективность применения литий-ионных аккумуляторных батарей в системах оперативного постоянного тока электрических подстанций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев Д.Е., Потапенко А.М., Иванецкий С.С. Система обеспечения резервного питания подстанции с помощью литий-ионных батарей. Испытания опытного образца//Энергия единой сети. 2021. № 5-6 (60-61). С. 34-40.
2. СТО 56947007-29.120.40.041-2010. Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования. Стандарт организации.