

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ БУФЕРНОЙ ГИБРИДНОЙ БАТАРЕИ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПАО «ГАЗПРОМ»

УДК 541.136.88

И.С. Токарев, к.т.н., ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ), i.tokarev@adm.gazprom.ru

А.А. Шаповало, к.т.н., ПАО «Газпром», a.shapovalov@adm.gazprom.ru

Т.Ф. Коноплев, ПАО «Газпром», t.konoplev@adm.gazprom.ru

Для обеспечения электроснабжения таких объектов, как крановые узлы, станции катодной защиты, радиорелейные станции, при отсутствии внешней сети используются автономные источники электроснабжения малой мощности, к которым относятся возобновляемые источники энергии, теплоэлектрогенераторы, микротурбинные установки и др. Мощностной ряд этих источников составляет от единицы до десятков кВт. Специфика их эксплуатации обусловлена наличием буферной аккумуляторной батареи, обеспечивающей бесперебойное электроснабжение потребителей при резких сбросах и набросах нагрузки, пока источник не войдет в установившийся режим.

Основной недостаток буферных аккумуляторов – относительно небольшой срок службы (около двух–трех лет), вне зависимости от указываемого в паспортных данных (до 15 лет), из-за ограниченного числа циклов разрядов/зарядов (не более 1 тыс.).

В статье описаны результаты всех этапов работы по внедрению суперконденсаторных накопителей в буферных батареях: моделирование буферной гибридной батареи, лабораторные исследования, создание опытного образца, опытно-промышленная эксплуатация и внедрение разработки на существующих объектах газотранспортной инфраструктуры. Применение суперконденсаторных накопителей в системе гибридной буферной батареи автономных источников электроснабжения целесообразно ввиду их технических характеристик, которые снимают ограничения на количество циклов заряда/разряда за период эксплуатации.

В результате получен положительный эффект от применения разработки на реальных объектах, удалось повысить надежность функционирования автономных источников, увеличить срок службы аккумуляторных батарей в 3–4 раза и значительно сэкономить материальные ресурсы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БУФЕРНАЯ АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ, СУПЕРКОНДЕНСАТОРНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ, АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.

При отсутствии внешних источников электроснабжения в качестве основных применяют автономные источники большой и малой мощности. Автономные источники большой мощности (от нескольких сотен до тысяч кВт) – это электростанции собственных нужд, они используются на крупных производственных объектах (компрессорных станциях, промышленных площадках и др.). Для обеспечения электроснабжения таких объектов, как крановые узлы, станции катодной защиты, радиорелейные станции, используются автономные источники малой мощности (1–100 кВт), к которым относятся

возобновляемые источники энергии, теплоэлектрогенераторы, электрохимические источники, микротурбинные установки и др. Специфика их эксплуатации обусловлена наличием буферной аккумуляторной батареи. Буферная батарея необходима для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей при резких сбросах и набросах нагрузки, пока источник не войдет в установившийся режим.

Основной недостаток буферных аккумуляторов – это относительно небольшой срок службы (около двух–трех лет) из-за ограниченного количества циклов их разрядов/за-

рядов (не более 1 тыс.), а также падение емкости при отрицательных температурах. Кроме того, промышленные аккумуляторы отличаются относительно высокой стоимостью.

Для определенного вида оборудования возможно использовать только конкретный тип аккумуляторных батарей. Рассмотрим в качестве примера автономную микротурбинную установку (МТУ) производства Capstone Turbine Corporation (США) мощностью 65 кВт. Буферная батарея МТУ состоит из 24 аккумуляторов и требует замены каждые 2–3 г. Регламентированный заводом-

I.S. Tokarev, PhD in engineering, PJSC Gazprom (Saint Petersburg, Russian Federation),

i.tokarev@adm.gazprom.ru

A.A. Shapovalov, PhD in engineering, PJSC Gazprom, a.shapovalov@adm.gazprom.ru

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

Development and implementation of a hybrid buffer battery in autonomous power supply systems of PJSC Gazprom production facilities

Autonomous low-power sources are used for power supply to such facilities as block valve stations, cathodic protection stations, radio-relay stations when there is no external grid. These sources include renewable energy sources, heat generators, micro-turbine plants, and more. The power range of low-power sources is from one to tens kW. The specific character of their operation is due to buffer rechargeable battery that ensures uninterrupted power supply to consumers in case of sharp load shedding or rise until the source recovers to the set mode.

The main shortcoming of buffer batteries is a quite small service life – about 2–4 years, regardless of service life according to their specification (up to 15 years), which is because of the limited number of discharge/charge cycles (maximum of 1000).

The article summarizes each stage of implementing the supercapacitor storages in buffer batteries: modeling of hybrid battery, laboratory research, prototype development, pilot operation, and implementation at the existing gas transport infrastructure facilities. Using supercapacitor storages in a hybrid buffer battery system of autonomous energy source is also feasible due to their technical characteristics that remove constraints on charge/discharge cycles during the life cycle.

Implementation of the project at existing facilities has shown good results: operation reliability of autonomous sources improved, the service life of rechargeable batteries increased by 3–4 times, and a considerable amount of material resources was saved.

KEYWORDS: BUFFER RECHARGEABLE BATTERY, SUPERCAPACITOR STORAGE, AUTONOMOUS POWER SUPPLY SOURCE.

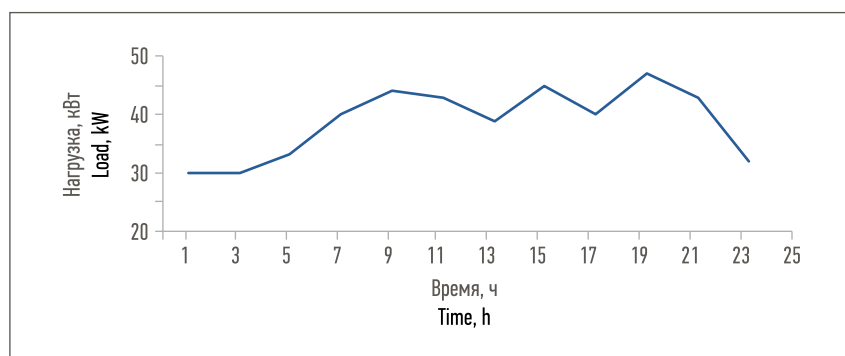


Рис. 1. Суточный график нагрузки микротурбинной установки Capstone аварийно-восстановительного поезда Селихино Амурского линейного производственного управления магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Томск»
Fig. 1. Daily load diagram for Capstone micro-turbine plant of Selikhino rescue-and-recovery train at Amur Linear Production Department of Main Gas Pipelines of Gazprom transgaz Tomsk

изготовителем срок службы таких аккумуляторов не в составе буферной батареи – до 15 лет.

Энергоустановки Capstone, как и другие автономные источники, в качестве основного источника энергии используются в тех местах, где отсутствует централизованное электроснабжение. В таких условиях особое значение приобретает задача по обеспечению их бесперебойной работы, для чего необходимо решить проблемы, связанные с небольшим сроком службы, высокой стоимо-

стью и отсутствием отечественных аналогов батарей.

Частые выходы из строя буферной батареи обусловлены тем, что все сбросы и набросы нагрузки принимают на себя аккумуляторы во избежание резкого изменения частоты вращения турбины. На рис. 1 показан суточный график нагрузки, полученный на реальном объекте, где в качестве основного источника используется микротурбина Capstone. Хорошо видно, что в течение суток нагрузка меняется довольно часто.

Решением проблемы может стать применение устройств аккумулирования электрической энергии с неограниченным количеством циклов – накопителей электроэнергии суперконденсаторов (ионисторов) [1–3]. В таблице перечислены основные преимущества суперконденсаторов перед аккумуляторами. Единственный их недостаток – невысокая емкость, поэтому буферную гибридную батарею рационально разрабатывать с учетом существующих аккумуляторов. Достаточная емкость суперконденсаторного накопителя в системе буферной батареи определяется временем выхода на установившийся режим работы турбины МТУ Capstone после сбросов/набросов нагрузки, которое может составлять 1–5 с в зависимости от изменяемой мощности нагрузки. В соответствии с этими параметрами работы следует выбирать технические характеристики суперконденсатора.

Суперконденсаторный накопитель обладает всеми необходимыми характеристиками благодаря своей конструктивной особенности. Если сравнить электричество с водой, то обычный конденсатор

Сравнение характеристик аккумуляторов и суперконденсаторов
Comparison of accumulators and supercapacitors

Характеристика Parameter	Гелиевая аккумуляторная батарея Helium rechargeable battery	Накопитель (суперконденсатор) Storage (supercapacitor)
Время заряда Charging time	1–5 ч (h)	0,3–30 с (s)
Время разряда Discharging time	0,3–3 ч (h)	0,3–30 с (s)
Количество циклов Number of cycles	< 1 тыс. (thous.)	> 500 тыс. (thous.)
Срок службы Service life	3 г. (years)	10 лет (years)
Диапазон рабочих температур, °C Operating temperature range, °C	От –5 до 45 From –5 to 45	От –60 до 85 From –60 to 85

похож на ткань, которая может поглотить небольшое количество влаги, а пористые пластины суперконденсаторов – на губку, способную впитать намного больше воды. Это сравнение достаточно наглядно, поскольку пластины суперконденсаторов действительно похожи на пористую губку, «пропитанную» электроэнергией. Суперконденсаторы могут хранить больше энергии, чем обычные батареи и конденсаторы, создавая

двойной слой зарядов, разделенных между двумя пластинами из пористых углеродных материалов [4]. Уже сейчас они используются на железнодорожном транспорте, в электромобилях и других автономных системах [5].

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве научного обоснования применения накопителей был проведен теоретический анализ разработанной гибридной буферной батареи.

На чертеже (рис. 2) суперконденсаторный накопитель представлен в виде номинальной емкости и эквивалентного сопротивления, аккумуляторная батарея смоделирована в виде идеального источника напряжения и внутреннего сопротивления. Для данной схемы были рассчитаны основные электрические параметры и получены положительные характеристики совместной работы аккумуляторных батарей и суперконденсаторов в составе буферной батареи МТУ Capstone. Один из основных параметров гибридной батареи – это доля тока нагрузки на суперконденсаторе, которая составила 75–85%. На смоделированном графике распределения тока нагрузки между накопителем и аккумулятором (рис. 3) хорошо видно, что ток нагрузки компенсирует

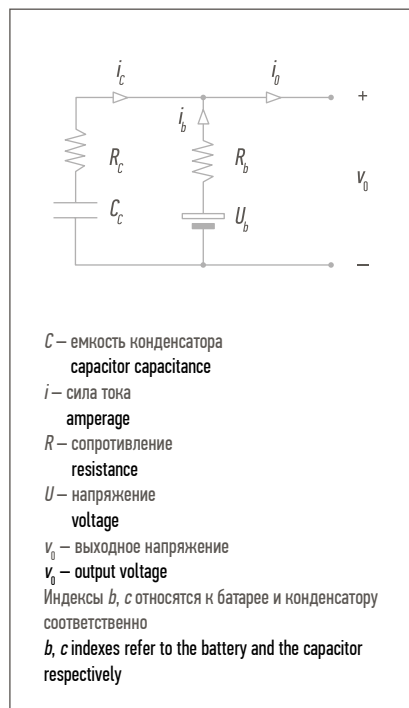


Рис. 2. Электрическая схема модели гибридной буферной батареи
Fig. 2. Electric circuit of a hybrid buffer battery model

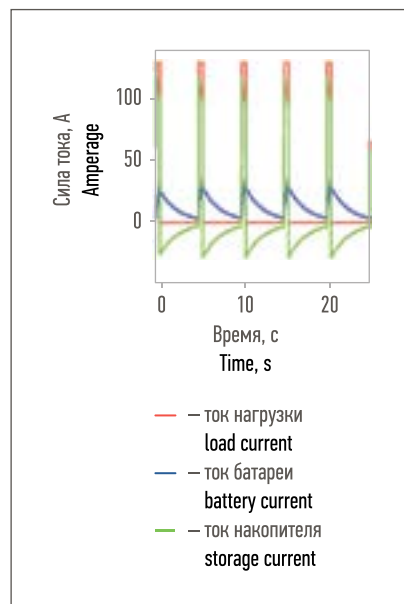


Рис. 3. График распределения тока нагрузки в гибридной буферной батарее
Fig. 3. Distribution diagram for load current in hybrid buffer battery

накопитель, а аккумулятор работает в щадящем режиме.

На базе проведенных расчетов была спроектирована гибридная буферная батарея (рис. 4) для МТУ Capstone. Ее работа построена таким образом, что все перепады нагрузки принимает на себя накопитель, поскольку ток протекает через меньшее сопротивление, которым он обладает. Такое техническое решение позволяет собственными силами решить проблему малого срока службы аккумуляторов, исключив

фактор постоянной зависимости от зарубежных производителей, и повысить надежность работы энергоустановки Capstone.

Согласно результатам математического анализа суперконденсаторы напряжением 384 В и емкостью 11 Ф отечественного производства будут эквивалентны существующим аккумуляторам в количестве 24 шт. напряжением 12 В и емкостью 26 А/ч производства США. Использование суперконденсаторов в данной схеме работы предполагает создание гибридной буферной батареи, в которую войдут существующие аккумуляторные кислотные батареи, накопители и система контроля.

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

После теоретической разработки были проведены необходимые лабораторные исследования для подготовки к созданию опытного образца гибридной буферной батареи. В лабораторных условиях была собрана масштабная модель гибридной батареи, состоящая из одного аккумулятора, накопителя, зарядного и нагрузочного устройств.

На снятых с опытного образца графиках переходного процесса (рис. 5) видно, что ток аккумулятора остается практически неизменным, а суперконденсатор компенсирует все колебания нагрузки. При его совместной работе с аккумулятором воздействие тока нагрузки на последний минимизировано, соответственно, количество циклов заряда/разряда сведено к минимуму.

При лабораторных исследованиях получены положительные результаты по снижению количества циклов заряда/разряда батареи, качеству электроэнергии и сохранению заряда.

В 2017 г. головной опытный образец суперконденсаторного накопителя емкостью 11 Ф и напряжением 384 В для гибридной буферной батареи МТУ Capstone был произведен и направлен для установки

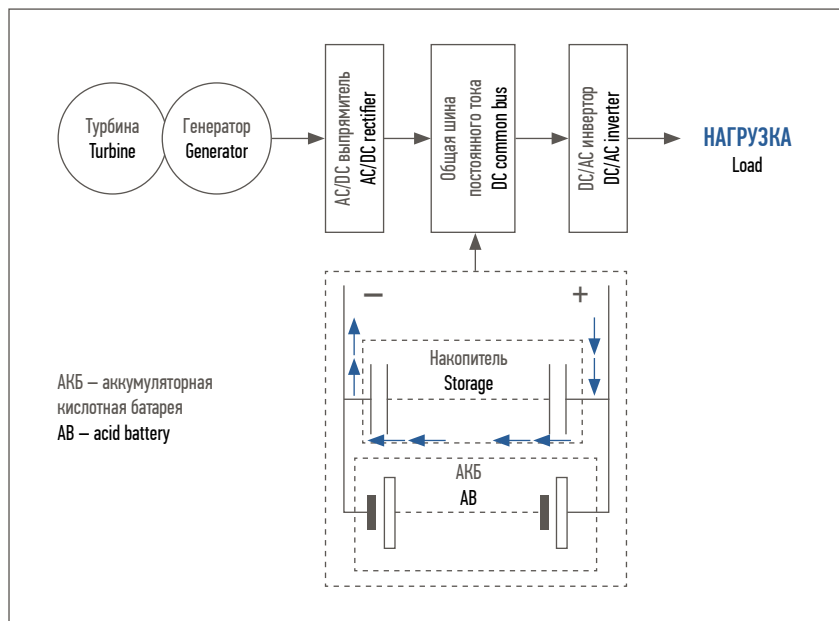


Рис. 4. Схема работы гибридной буферной батареи
Fig. 4. Operating diagram of hybrid buffer battery

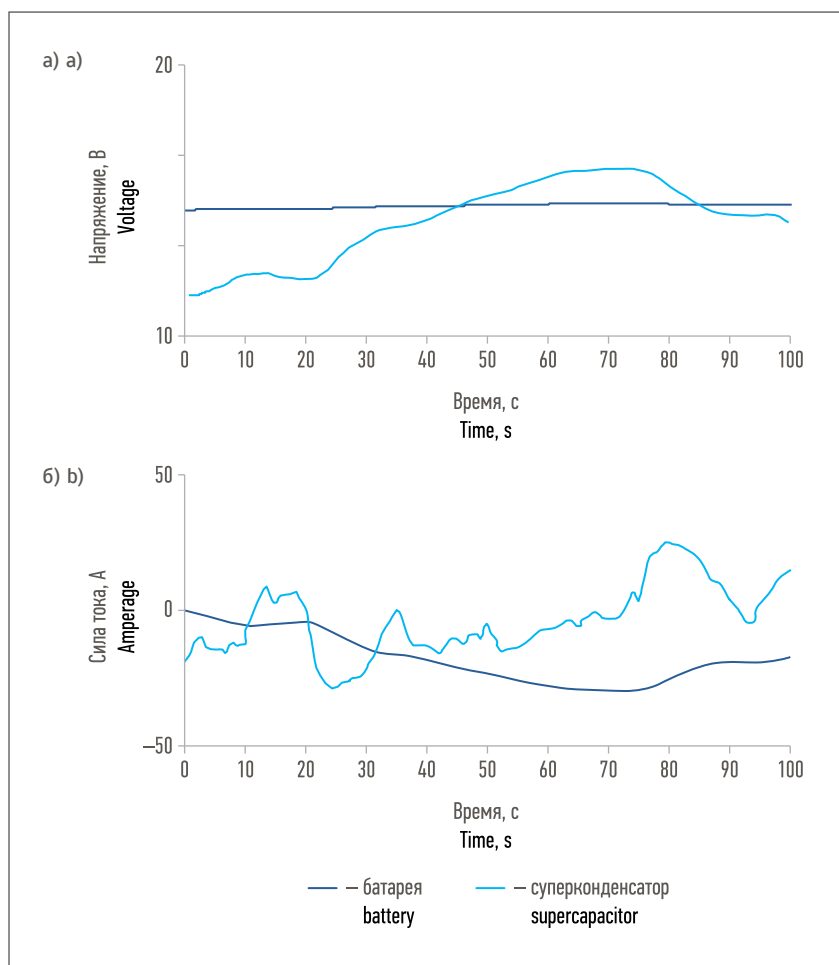


Рис. 5. Графики переходного процесса при разряде масштабной гибридной буферной батареи: а) напряжения; б) тока
Fig. 5. Transient curves for scaled hybrid buffer battery discharge: a) voltage; b) amperage



Рис. 6. Суперконденсаторный накопитель гибридной буферной батареи

Fig. 6. Supercapacitor storage of hybrid buffer battery

на АВП КС-4 Амурского линейного производственного управления магистральных газопроводов (ЛПУМГ) ООО «Газпром трансгаз Томск» для тестирования в реальных условиях. За год опытно-промышленной эксплуатации никаких нареканий в работе гибридной батареи не выявлено. В завершение проведены измерения остаточной емкости обычной буферной батареи и гибридной методом глубокого разряда. Оказалось, что за 1 г. работы аккумуляторы гибридной батареи после 6 ч разряда имеют остаточную емкость 90–94 %, а работавшие без накопителей аккумуляторы – 50–56 %.

По итогам опытно-промышленной эксплуатации в 2018 г. еще две гибридные батареи были установлены на МТУ Capstone опорного пункта Де-Кастри Амурского ЛПУМГ ООО «Газпром трансгаз Томск» (рис. 6). На сегодняшний день все оборудование работает в штатном режиме и без замечаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

На основании результатов эксплуатации буферной гибридной батареи можно утверждать, что срок службы аккумуляторных батарей при самых пессимистичных прогнозах увеличится в четыре раза. Кроме того, появилась возможность сохранения заряда для запуска энергоустановки Capstone при отрицательных температурах.

Одна гибридная батарея окупится уже на 3-й г. эксплуатации, а на 9-й г. экономия составит около 1,5 млн руб. Поскольку стоимость суперконденсаторного накопителя эквивалентна стоимости аккумуляторной батареи, а срок службы батареи увеличивается в 3–4 раза, приобретение аккумуляторов в течение 12–15 лет паспортного срока службы не требуется. При внедрении накопителей на всех энергоустановках Capstone в ПАО «Газпром» экономический эффект может превысить 100 млн руб.

В настоящее время подана заявка на получение патента.

Гибридные батареи с накопителями электрической энергии могут найти применение в буферных системах других автономных энергоустановок, которые эксплуатируются в ПАО «Газпром». В 2018 г. была разработана гибридная буферная батарея для преобразователей энергии Ormat (Ormat Technologies Inc.) и установлена для проведения опытно-промышленной эксплуатации на крановом узле КУ-257 Амурского ЛПУМГ. Ведется подконтрольная опытно-

промышленная эксплуатация, оборудование работает без замечаний.

Помимо использования гибридных батарей на автономных источниках Capstone и Ormat, данная разработка может найти применение в аналогичных установках, которые только начинают использоваться в инвестиционных проектах ПАО «Газпром», таких как автономные источники «АПЭ-4.48» и установка на базе двигателя Стирлинга, что позволит значительно продлить срок эксплуатации аккумуляторов и снизить затраты.

Также применение суперконденсаторных накопителей возможно в системах стартерных батарей дизельных и газопоршневых электростанций. В ближайшее время планируется проведение заводских испытаний гибридных стартерных батарей.

Разработанная гибридная батарея позволит значительно повысить надежность работы автономных систем электроснабжения и качество электроэнергии буферной батареи, увеличить ее коэффициент полезного действия, заметно продлить срок эксплуатации огромного парка аккумуляторов, тем самым существенно сэкономят материальные ресурсы. Эта разработка – хороший пример интеграции отечественного высокотехнологичного оборудования в импортные энергоустановки для обеспечения их надежной работы без дорогостоящих комплектующих в рамках программы импортозамещения в ПАО «Газпром». ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Conway B.E. *Electrochemical supercapacitors: Scientific fundamentals and technological applications*. NY (NY, USA): Springer, 1999.
2. E. Journal. *Technologies for tomorrow // IEEE Power Engineering Review*. 1998. Vol. 18. No. 9. P. 5–8.
3. European Technology Platform SmartGrids. *Vision and strategy for Europe's electricity networks of the future* [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf (дата обращения: 30.01.2020).
4. Кашкаров А.П. *Занимательная энциклопедия электроники*. М.: Феникс, 2015.
5. Аверин А.И. Суперконденсаторы и их применение в блоках рекуперации энергии в производстве современных лифтов // *Современные научные исследования и инновации*. 2015. № 6-2 (50). С. 41–45.

REFERENCES

- (1) Conway B.E. *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications*. New York: Springer; 1999.
- (2) Journal E. *Technologies for tomorrow. IEEE Power Engineering Review*. 1998; 18(9): 5–8.
- (3) European Technology Platform SmartGrids. *Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future*. Available from: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf [Accessed: 30th January 2020].
- (4) Kashkarov A.P. *Recreational Electronics Encyclopedia*. Moscow: Phoenix; 2015. (In Russian)
- (5) Averin A.I. Supercapacitors and their use in energy recovery units in the production of modern lifts. *Modern scientific researches and innovations = Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. 2015; 50(6/2): 41–45. (In Russian)