

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТОЧНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ НА ПРИМЕРЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А. Р. Хабрат, Ю. Д. Худякова, студентки,  
anna.habr@gmail.com, nadoelwse@mail.ru  
А.Ю. Никишин, канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

Поиск нового, более действенного средства решения проблемы регулирования пиков нагрузки является актуальной научно-технической задачей, одним из вариантов решения которой является строительство аккумулирующей станции на проточных аккумуляторах. Цель работы – оценка стоимости строительства, сроков окупаемости и перспектив использования такой станции на примере Калининградской области.

*проточные аккумуляторы, станции, графики нагрузки, пики нагрузки, регулирование пиков, гидроаккумулирующие электростанции*

В ближайшем будущем энергосистема Калининградской области с большой вероятностью будет переведена в автономный режим работы, одновременно с этим ожидается значительное увеличение электропотребления, связанное с развитием экономики и приростом населения. Это приведет к росту давления на систему энергоснабжения и потребует более пристального внимания к эффективности использования энергии.

К сожалению, как показали системные аварии в энергосистеме Калининградской области 2011 и 2013 гг., существующие источники не способны осуществлять регулирование нагрузки с необходимой скоростью. Предлагаемые варианты (газотурбинные ТЭЦ, гидроаккумулирующие электростанции) имеют ряд технических проблем или будут обходиться слишком дорого.

Цель нашей работы – показать возможный альтернативный способ использования вырабатываемой электроэнергии для сглаживания пиковой части графиков нагрузки с помощью аккумулирующей станции на проточных аккумуляторах.

Цинк-бромовые батареи являются современным примером проточных батарей. Они основаны на реакции [1] между двумя доступными химическими компонентами. Батарея состоит из цинкового отрицательного и бромового положительного электродов, разделённых тонкой ионообменной мембраной (рис. 1). Водный раствор бромида цинка циркулирует через два отсека ячейки из двух отдельных резервуаров. Другой электролитный поток взаимодействует с положительным электродом.

Во время разряда химическая энергия из электролита высвобождается обратной реакцией, и электрическое напряжение может быть снято с электродов. Во время использования электролит непрерывно прокачивается между реактором и хранилищем.

В этой батарее нет циклических потерь, как в большинстве перезаряжаемых батарей, вызывающих разрушение электродов. Когда цинк-бромовая батарея полностью разряжена, весь металлический цинк с отрицательного электрода растворяется в электролите. Цинк оседает на электроде вновь при зарядке.

Высокомощные батареи создаются с помощью нескольких ячеек в биполярном соединении. Мощность системы ограничена и определяется размером и количеством электродов в наборе ячеек, поэтому большим преимуществом такой системы является возможность обеспечить огромную энергетическую вместимость, ограниченную только объёмом хранилища.

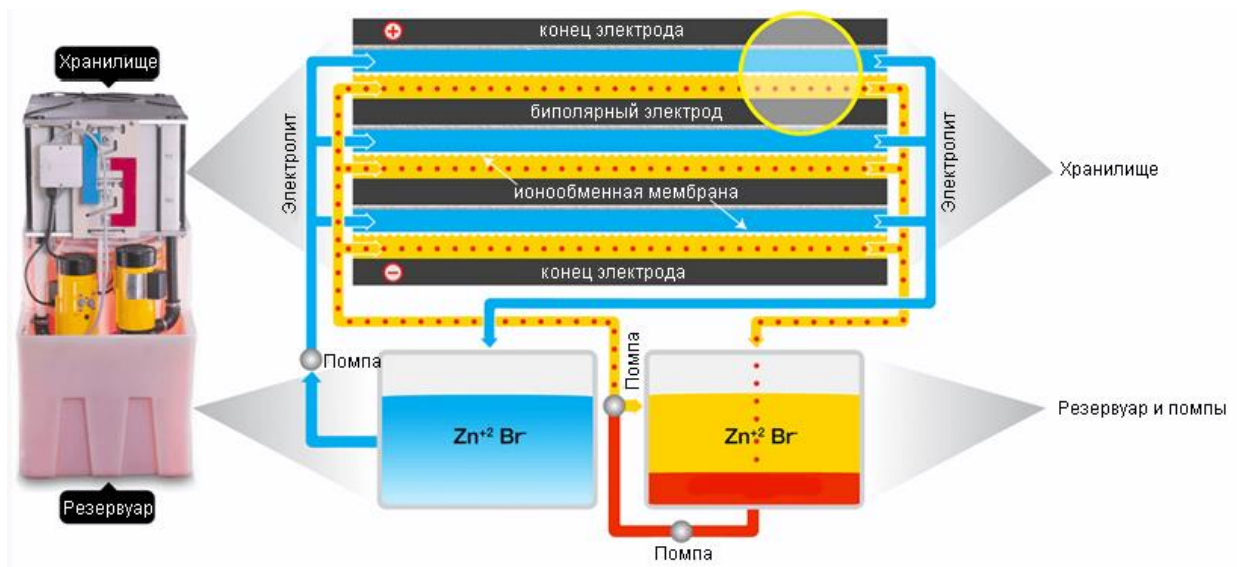


Рисунок 1 – Строение и принцип действия проточных аккумуляторов

На рис. 2 показан перспективный зимний суточный график электрической нагрузки за рабочий день Калининградской энергосистемы [2]. Пиковая часть графика составляет 44,3 МВт. Будем исходить из этой цифры, как минимально необходимой для осуществления регулирования.

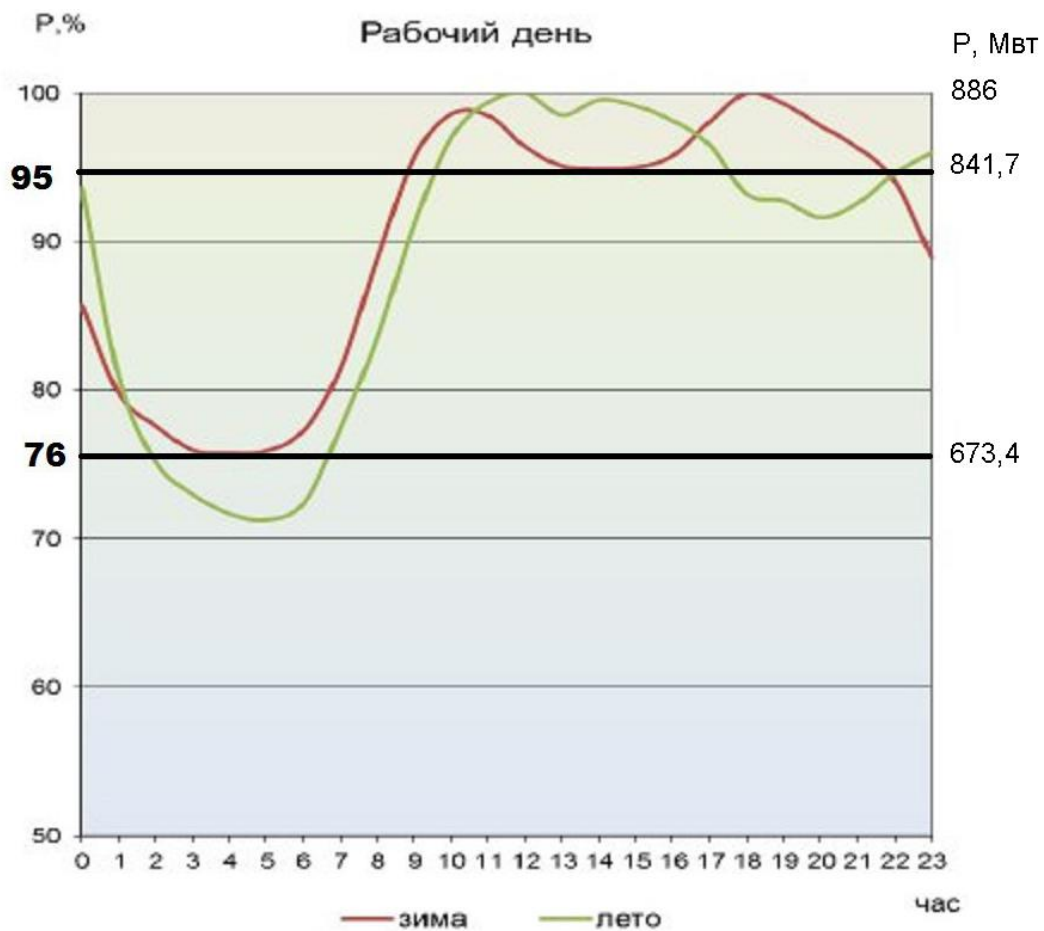


Рисунок 2 – Распределение нагрузки по частям графика

Расчет стоимости строительных работ проводился с учетом необходимого для регулирования нагрузки количества аккумуляторов, а также площади, занимаемой ими (табл. 1).

Таблица 1 – Расчет стоимости строительства аккумулирующей станции

Наименование	Расчеты	Результат
Мощность пиковой части, МВт	886 МВт – 841,7 МВт	44,3
Количество аккумуляторов, шт.	$\frac{44,3 \text{ МВт}}{3 \text{ кВт}}$	≈ 15000
Площадь под строительство, кв. м	$0,83 \text{ м} \cdot 0,405 \text{ м} \cdot 15000$	≈ 5300
Покупка земли, млн руб.	$7200 \text{ руб./кв. м} \cdot 5300 \text{ кв. м}$	38,2
Строительство ангара (теплый, арочный), млн. руб.	$6400 \text{ руб./кв. м} \cdot 5300 \text{ кв. м}$	34
Стоимость аккумуляторов, млрд руб.	$44300 \text{ кВт} \cdot 1000\$[3] \cdot 70$ (1\$ = 70 руб.)	3,11
Сети и выдача мощности, монтаж, млн руб.	Составляет 20% от стоимости аккумуляторов	622
Итого на строительство:	3804200000 руб. (3,9 млрд руб.)	

Так как площадь под строительство невелика, целесообразно будет расположить подстанцию рядом с ТЭЦ-2 (рис. 3), что потребует минимум затрат на модернизацию сетей и снизит потери электрической мощности при эксплуатации батарей.



Рисунок 3 – Месторасположение подстанции

Подстанция возмещает затраты (табл. 2) за счет разницы в стоимости покупки и продажи электроэнергии. Заряд аккумуляторов можно осуществлять ночью при стоимости электроэнергии 0,97 руб./кВт·ч, выдачу мощности в часы пик при стоимости электроэнергии – 3,25 руб./кВт·ч. Срок окупаемости в таких условиях оценивается в 7 лет.

Таблица 2 – Расчет окупаемости

Наименование	Расчеты	Результат
Будут построены две ЭС: Прегольская КЭС и Приморская ТЭС, 440 МВт и 150 МВт соответственно; при этом отключается один энергоблок ТЭЦ-2. В итоге вырабатываемая мощность составит 1040 МВт в день.		
Аккумуляторы заряжаются ночью с 23–00 до 7–00 (8 часов). Себестоимость 1 кВт·ч на ТЭЦ-2 в ночное время – 0,97 руб. (без НДС)		
Общая стоимость зарядки, руб.	0,97 руб. · 8 ч · 3[4] · 15000	349200
Себестоимость 1 кВт·ч в часы пик – 3,25. Суммарное время пик – 13 ч.		
Стоимость в часы пик, руб.	3,25 руб. · 13 ч · 44300 кВт	1871675
Разница между стоимостью в часы пик и стоимостью зарядки, руб.	1871675–349200	1522475
Окупаемость ПС, лет	$\frac{3804200000 \text{ р}}{1522475 \text{ руб.} \cdot 365 \text{ дней}}$	6,8

В довоенный период на территории региона было более 30 малых гидроэлектростанций (ГЭС), которые работали в основном на изолированных потребителей [5]. В настоящее время в условиях отсутствия в энергосистеме ГЭС достаточной мощности регулирование пиков предлагается осуществлять с помощью гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) (табл. 3). Сейчас такие электростанции отсутствуют. Это связано с тем, что кроме чисто технических проблем, таких как просадка грунта под водохранилищем, гидропотенциал рек Калининградской области очень мал (25 МВт), также малы перепады высот, и практически не имеется удачных мест для строительства ГАЭС.

Таблица 3 – Сравнение ГАЭС и подстанции на проточных аккумуляторах

Параметры	ГАЭС	Проточные аккумуляторы
Загорская ГАЭС-2, мощностью 840 МВт, оценивается в 70 млрд руб. [6] , $\frac{50 \text{ МВт} \cdot 70 \text{ млрд. руб}}{840 \text{ МВт}}$ – формула для оценки стоимости ГАЭС на 50 МВт		
Строительство, млрд руб.	4,2	4,2
Площадь верхнего бассейна Круонисской ГАЭС[7] той же мощности, что и Загорской ГАЭС-2, составляет 3,06 кв. км $\frac{50 \text{ МВт} \cdot 3,06 \text{ кв. км}}{840 \text{ МВт}}$ – формула для оценки площади ГАЭС на 50 МВт		
Площадь, кв. м	180000	5600
Экологический аспект	Этим станциям свойственна просадка грунта под водохранилищем	Экологически безопасны и нетоксичны

В условиях Калининградской области предлагается осуществлять регулирование пиков нагрузки с помощью газотурбинных электростанций (табл. 4), которые имеют самую высокую себестоимость вырабатываемой электроэнергии среди традиционных источников.

Таблица 4 – Сравнение газотурбинной ТЭЦ и подстанции на проточных аккумуляторах

Параметры	Газотурбинные ТЭЦ	Проточные аккумуляторы
Стоимость 1 кВт установленной мощности, \$	1000–1400	700–2800
Себестоимость 1 кВт·ч произведенной электроэнергии у газотурбинных ТЭЦ – 30 руб. Но так как эти ЭС используются для покрытия пиков нагрузки, то потребитель будет покупать электроэнергию дороже, чем 3, 25 руб. (см. ТЭЦ-2)		
Площадь газотурбинной мини-ТЭЦ [8] «Северная» на о. Русский составляет 3649 кв. м при установленной мощности 3,6 МВт.		
Площадь на 50 МВт, кв. м	50680 (с текущим оборудованием мини-ТЭЦ)	5600
Экологический аспект	Не вредны для окружающей среды	Экологически безопасны и нетоксичны

### Заключение

Подводя итоги, мы можем сделать несколько выводов относительно строительства аккумулирующей станции на проточных аккумуляторах.

Во-первых, они, заряжаясь ночью, способны в часы пик сглаживать графики нагрузок.

Во-вторых, проточные аккумуляторы обладают хорошими эксплуатационными свойствами, поэтому при правильном обслуживании могут длительное время (10–20 лет) сохранять свои технические характеристики.

В-третьих, такие подстанции требуют в 30 и 10 раз меньшую площадь под строительство, чем ГАЭС и газотурбинные ТЭЦ соответственно, а, следовательно – меньшее количество рабочего и обслуживающего персонала.

В-четвертых, за счет разницы стоимости выработки и потребления электроэнергии данная подстанция достаточно быстро окупится.

В-пятых, важно отметить экологический аспект. Проточные аккумуляторы являются безопасными и нетоксичными накопителями электрической энергии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поточные/проточные батареи [Электронный ресурс] // Аккумуляторы и батареи [Офиц. сайт]. – URL: <http://battery-info.ru/flow> (дата обращения: 30.03.2016)
2. Распоряжение губернатора Калининградской области «об утверждении схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Калининградской области на 2016–2020 годы» / под ред. Н.Н. Цуканова. – Калининград, 2015. – 244 с.
3. Накопители энергии – недостающее звено возобновляемой энергетики [Электронный ресурс] // Интелион. Интеграция литий-ионных технологий. – URL: [http://www.rushydro.ru/upload/iblock/dac/Sergey-Oleynik\\_Intelion.pdf](http://www.rushydro.ru/upload/iblock/dac/Sergey-Oleynik_Intelion.pdf) (дата обращения: 30.03.2016)
4. Новый тип аккумуляторов – поточные цинк-бромидные [Электронный ресурс] // Домашняя энергетика [Офиц. сайт]. – URL: <http://www.joule-watt.com/energy-news/novy-j-tip-akkumulyatorov-potochny-e-tsin/> (дата обращения: 30.03.2016)
5. Белей, В.Ф. Электроэнергетика Калининградской области и стран Балтии: анализ вариантов развития / В.Ф. Белей // Электрика. – 2009. – № 12. – С. 3–7.
6. РусГидро завершило строительство первой очереди Загорской ГАЭС-2 (Московская обл.) [Электронный ресурс] // Сделано у нас [Офиц. сайт]. – URL: <http://sdelanounas.ru/blogs/27026/> (дата обращения: 31.03.2016)

7. Круонисская ГАЭС [Электронный ресурс] // Википедия [Официальный сайт]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Круонисская\\_ГАЭС](https://ru.wikipedia.org/wiki/Круонисская_ГАЭС) (дата обращения: 31.03.2016)
8. Мини-ТЭЦ на острове Русский [Электронный ресурс] // ООО «Компания Рианко» [Официальный сайт]. – URL: <http://battery-info.ru/flow> (дата обращения: 30.03.2016)

THE PERSPECTIVES OF FLOW BATTERIES USAGE  
FOR LOAD PEAK ADJUSTMENT BY THE EXAMPLE OF KALININGRAD REGION

A.R. Khabrat, Yu.D. Khudyakova, Students, Kaliningrad State Technical University  
[annya.habr@gmail.com](mailto:annya.habr@gmail.com), [nadoelwse@mail.ru](mailto:nadoelwse@mail.ru)

A.Yu. Nikishin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Kaliningrad State Technical University

The search of brand new and efficient methods of load peak adjustment is one of the most actual scientific and technological problem, and one of the solutions is building of accumulating station with redox-flow batteries. Our purpose is to estimate costs of construction, payback period and usage perspectives of such station by the example of Kaliningrad region.

*flow battery, station, power-time diagram, load peak, load peak control, pumped storage power station*