

Эффекты применения накопителей энергии в изолированных энергосистемах России

В. Ю. Кононенко¹, кандидат технических наук, О. В. Вещунов²
ООО «Литий-ионные технологии»

В. П. Билашенко³, кандидат технических наук, Д. О. Смоленцев⁴
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН

Представлена оценка технико-экономических эффектов применения накопителей энергии в комплексе с моногенерирующими объектами (на примере дизельных электростанций) в изолированных энергосистемах, являющихся отличительной особенностью энергетики Арктической зоны России. Рассмотрены эффекты высвобождения генерирующих мощностей и снижения удельного расхода топлива при полном или частичном переносе функций суточного маневрирования на накопитель энергии, позволяющем эксплуатировать электростанцию в режимах, близких к номинальному.

Ключевые слова: дизельные электростанции, изолированные энергосистемы, коэффициент использования установленной мощности, накопители энергии, экономическая эффективность.

Отличительной особенностью экономической сферы Арктической зоны Российской Федерации является неразвитость энергетической системы, заключающаяся в наличии множества обособленных энергоузлов с нерациональной структурой генерирующих мощностей [7]. В отличие от крупных энергосистем локальные энергообъединения арктических территорий обладают значительно меньшим потенциалом регулирования за счет изменения мощности генерирующих объектов и межсистемных перетоков. Изолированные энергосистемы характеризуются весьма ограниченным количеством генерирующих объектов и групп потребителей. Основу нагрузки таких энергосистем составляют единичные потребители, такие как промышленные предприятия, горно-

обогатительные комбинаты, морские порты, базы Военно-Морского Флота, месторождения углеводородов, нефтяные платформы и население городов и рабочих поселков. Наличие крупных единичных промышленных потребителей является причиной высокого коэффициента неравномерности (отношения максимальной нагрузки к минимальной) суточных графиков нагрузки.

Существенную роль в энергоснабжении изолированных энергосистем имеют дизельные электростанции (ДЭС) [8]. Их широкое распространение связано с относительной простотой транспортировки и технического обслуживания, а также с невысокими удельными капиталовложениями. В то же время эксплуатация ДЭС сопряжена с необходимостью постоянной доставки дизельного топлива и его сезонного хранения, а также с необходимостью работы в непостоянных режимах следования за нагрузкой потребителей, что увеличивает расход топлива и способствует ускоренной выработке технического ресурса электростанции. В условиях экстремальных климатических условий Арктики процедура северного завоза топлива является технически сложной

¹ e-mail: Vyuk1969@gmail.com.

² e-mail: O.Veschunov@gmail.com.

³ e-mail: Bilvp@ibrae.ac.ru.

⁴ e-mail: Dsmol@ibrae.ac.ru.

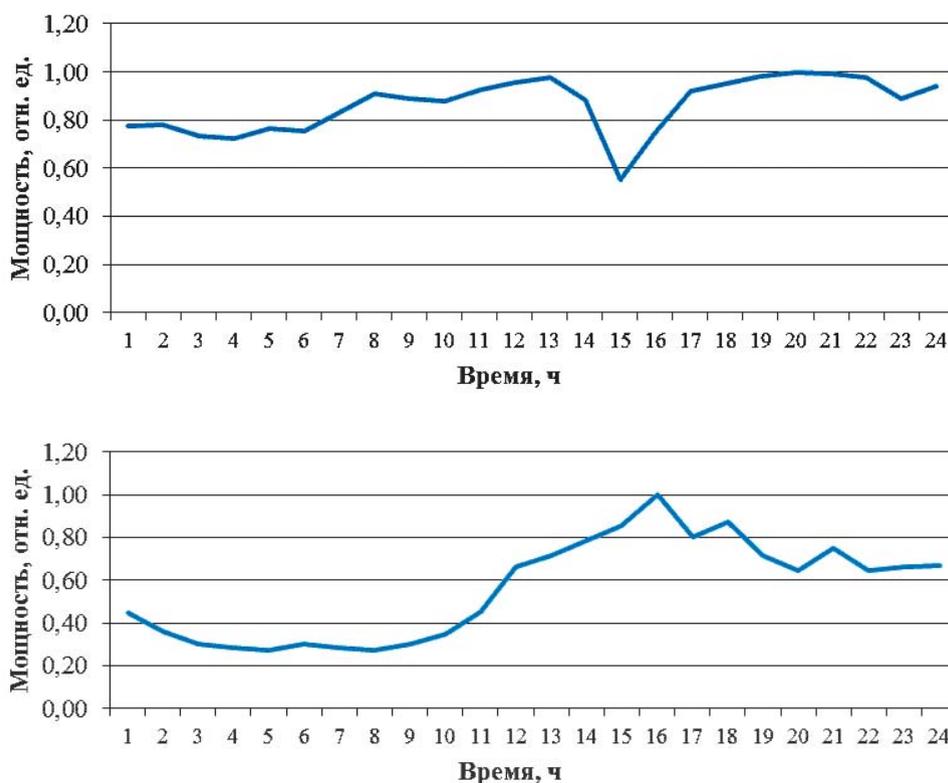


Рис. 1. Типовые графики потребления мощности в изолированных энергосистемах

и затратной операцией, при реализации которой доля транспортной составляющей в стоимости топлива может достигать 70%.

«Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» [7] предусматривает реализацию мероприятий по повышению энергоэффективности, обеспечению энергонезависимости удаленных малых населенных пунктов и дифференциации схем электроснабжения.

Таким образом, оптимизация изолированных энергосистем на сегодня является актуальной задачей и будет оставаться ею в ближайшее десятилетие ввиду отсутствия реальных, готовых к внедрению энергетических альтернатив. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) и атомные станции малой мощности (АСММ) рассматриваются как одни из возможных путей решения энергетических проблем изолированных энергосистем, но из-за зависимости мощности ВИЭ от метеоусловий и низкой маневренности АСММ оставляют вопрос суточного и сезонного регулирования мощности открытым.

Решение описанных проблем и общее повышение эффективности функционирования замкнутых энергосистем возможно посредством совместного использования с существующими генерирующими установками дополнительного независимого аккумулирующего оборудования, а также учета при

планировании развития электросетевого хозяйства данных районов возможностей применения накопителей энергии (НЭ). Накопитель энергии — многофункциональное устройство, представляющее собой двунаправленный инвертор, аккумуляторную батарею и многоуровневую автоматизированную систему интеллектуального управления, которая определяет функционал НЭ в зависимости от решаемых задач.

НЭ при комплексном внедрении в изолированных энергосистемах могут одновременно выполнять следующие функции:

- регулирование частоты;
- регулирование напряжения;
- регулирование реактивной мощности;
- увеличение номинальной мощности генерации при пиках нагрузки;
- накопление электрической энергии в периоды низкого потребления;
- резервирование электроснабжения определенных категорий потребителей.

В США компания «AES Energy Storage» реализовала более пяти проектов сетевых НЭ суммарной мощностью более 170 МВт [9; 10]. Основными задачами реализуемых проектов является повышение коэффициента использования установленной мощности объектов генерации, обеспечение резервного энергоснабжения, регулирование параметров

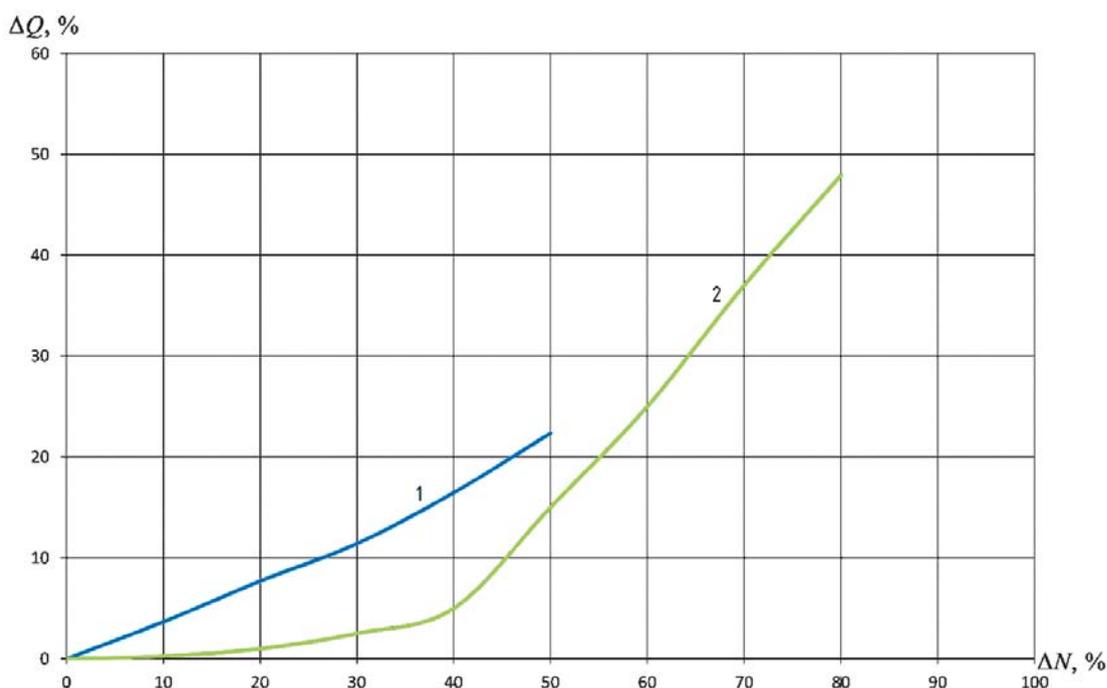


Рис. 2. Типовые зависимости прироста удельного расхода топлива ΔQ от отклонения мощности от номинального значения ΔN : 1 – ГТУ, 2 – ДЭС

энергосетей и интеграция различных типов генерирующих установок, в том числе и ВЭИ, в энергосистемах. Испытания подобных комплексов проводятся также в Великобритании. Зарубежный опыт применения НЭ в основном базируется на использовании серно-натриевых и литий-ионных аккумуляторов, совокупная мощность которых по данным 2010 г. [9] составляла 320 и 20 МВт соответственно.

Одной из особенностей электрохимических накопителей энергии, обуславливающей возможность их применения в изолированных энергосистемах, является минимальное время реализации необходимой первичной мощности, что предоставляет возможность объекту генерации в комплексе с НЭ следовать графику нагрузки без изменения режимов работы. Для оптимизации режимов работы изолированных энергосистем возможны следующие варианты применения НЭ:

- совместная работа НЭ с объектами генерации различного типа для частичного или полного переноса функций по суточному маневрированию на НЭ, снижения установленной мощности генерации, необходимой для покрытия пиков потребления, а также сокращения темпов износа генерирующего оборудования и общего повышения надежности энергоснабжения;
- обеспечение бесперебойного и аварийного энергоснабжения критически важных и социально значимых объектов;

- выполнение функций источника бесперебойного питания большой мощности на распределительных станциях и в диспетчерских пунктах;
- организация системы оперативного постоянного тока и электропитания средств автоматики и защиты на промышленных и стратегических объектах;
- совместное использование НЭ в комплексе с ВИЭ.

Для оценки эффектов применения накопителей энергии в изолированных энергосистемах рассмотрим типовые графики суточного потребления мощности, характеризующие изолированную энергосистему. Эти графики имеют сильно выраженный неравномерный характер (рис. 1). Далее в расчетах используется верхний график суточного потребления.

В изолированных энергосистемах с подобным графиком нагрузки установленная мощность генерирующих установок используется крайне нерационально. Средний коэффициент использования установленной мощности составляет 50—60%.

Выходы на различные мощностные режимы в соответствии с графиком нагрузки, связанные с необходимостью участия генерирующих установок в суточном маневрировании, сопровождаются ростом удельного расхода топлива [2—6] (рис. 2). Номинальный режим работы энергоустановок (без отклонения мощности) характеризуется минимальным потреблением топлива (нулевым приростом удельного расхода). Для ДЭС при уменьшении мощности

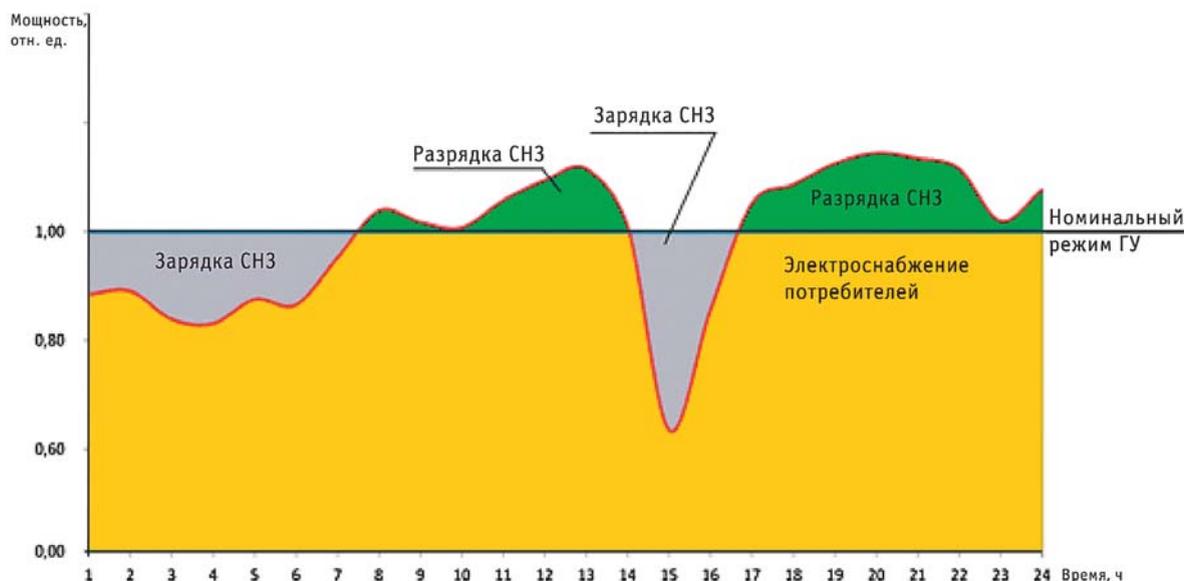


Рис. 3. Схема совместной работы НЭ и объекта генерации с покрытием за счет НЭ пиковых часов потребления электроэнергии

наблюдается сначала незначительное, а при снижении мощности более чем на 40% — резкое увеличение удельного расхода топлива.

Применение НЭ в комплексе с объектами генерации возможно по двум принципиальным сценариям. Первый заключается в переводе генерирующей установки в номинальный (близкий к номинальному) режим работы в течение суток, что обеспечивает уменьшение удельного расхода топлива (рис. 3) и высвобождение пиковой генерирующей мощности. Второй сценарий состоит в снижении времени работы объектов генерации до 60% (в зависимости от конкретного графика суточной нагрузки) за счет ее отключения в наименее эффективные часы, что позволит увеличить срок между сервисными и ремонтными интервалами за счет снижения темпов выработки моторесурса.

Оценка экономических эффектов применения НЭ в изолированных энергосистемах проведена на примере совместного использования ДЭС и НЭ. Для оценки эффектов была рассмотрена условная энергосистема, в которой ДЭС установленной мощностью 1 МВт вынуждена работать в соответствии с графиком потребления мощности. Максимальная мощность ДЭС соответствует пику суточного потребления.

Экономический эффект применения НЭ в комплексе с ДЭС рассчитан для трех сценариев: 1 — мощность НЭ составляет 10% мощности ДЭС, что позволяет сгладить суточный график следования за нагрузкой ДЭС; 2 — мощность НЭ подобрана таким образом, что позволяет ДЭС работать в течение

суток в постоянном режиме; 3 — мощность НЭ позволяет ДЭС работать лишь часть суток в номинальном режиме. На рис. 4—6 представлены графики работы ДЭС по этим сценариям.

Сводные данные по расчету эффектов применения НЭ приведены в табл. 1. При расчете экономии капиталовложений учитывалось снижение максимальной мощности ДЭС, необходимой для покрытия суточных пиков нагрузки, вследствие сглаживания графика следования за нагрузкой ДЭС за счет применения НЭ. Удельные капиталовложения для ДЭС приняты равными 30 тыс. руб./кВт, срок службы — 20 лет. Для каждого сценария рассмотрены три варианта стоимости дизельного топлива.

Как видно из табл. 1, максимальный удельный (по отношению к емкости НЭ) годовой экономический эффект при рассмотренном графике суточной нагрузки достигается в сценарии 1 (мощность НЭ — 10% мощности ДЭС). Стоит отметить, что в сценарии 3 ввиду недостатка данных не было учтено снижение затрат на ремонт ДЭС за счет снижения темпов выработки моторесурса.

Удельная стоимость электрохимических НЭ в настоящее время варьируется в среднем в пределах 20—45 тыс. руб./кВт·ч. При этом простая окупаемость по сценарию 1 при стоимости дизельного топлива 45 тыс. руб./т условного топлива будет достигаться за два-три года.

Также эффект от применения НЭ будет заключаться в сокращении северного завоза топлива на 175, 195 и 230 т ежегодно соответственно по сценариям 1, 2 и 3.

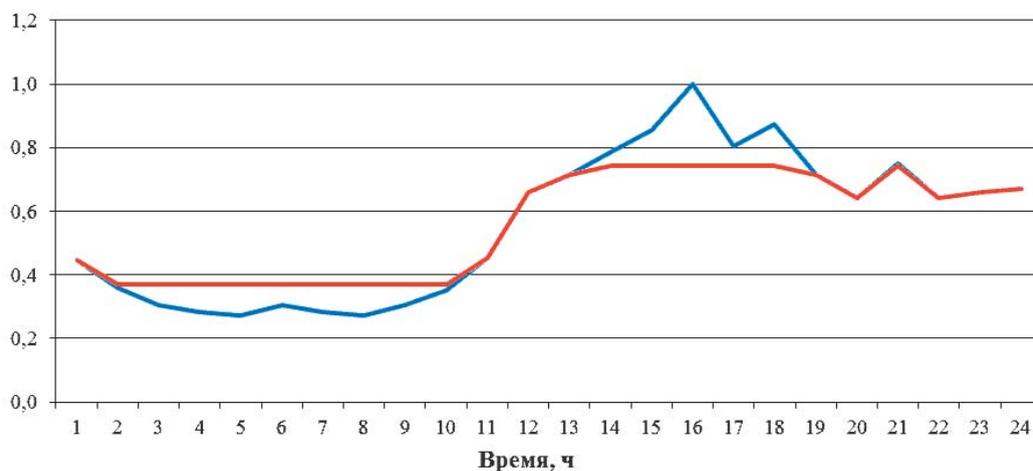


Рис. 4. Графики работы ДЭС в комплексе с НЭ (красный) и без НЭ (синий). Сценарий 1

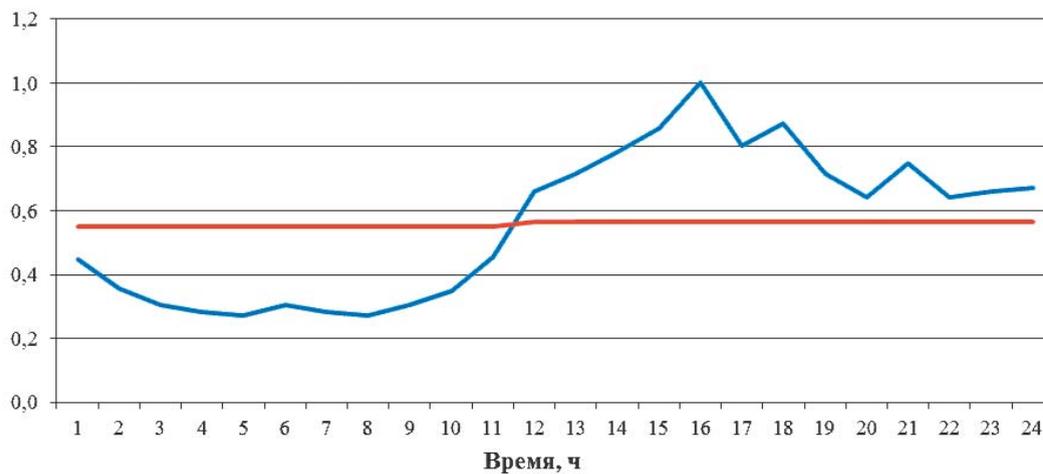


Рис. 5. Графики работы ДЭС в комплексе с НЭ (красный) и без НЭ (синий). Сценарий 2

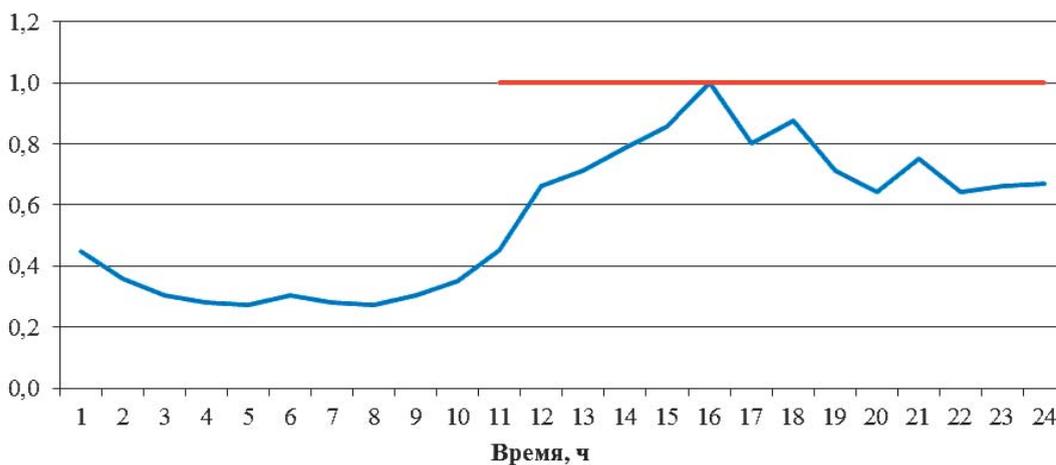


Рис. 6. Графики работы ДЭС в комплексе с НЭ (красный) и без НЭ (синий). Сценарий 3

Таблица 1. Эффекты применения НЭ в комплексе с ДЭС

Показатель	Сценарий 1 (мощность НЭ — 10% мощности ДЭС)			Сценарий 2 (работа ДЭС в постоянном режиме)			Сценарий 3 (работа ДЭС в номинальном режиме неполные сутки)		
Мощность НЭ, кВт	100			280			450		
Емкость НЭ, кВт·ч	620			2440			3170		
Снижение удельного расхода топлива, %	12,56			14,15			16,48		
Удельная цена на топливо, тыс. руб./т условного топлива	30	45	65	30	45	65	30	45	65
Экономия топлива, млн руб./год	7,58	11,37	16,42	8,54	12,81	18,50	9,95	14,92	21,55
Экономия капитальных вложений, млн руб.	8,26			13,94			—		
Удельный годовой экономический эффект, тыс. руб./кВт·ч	12,89	19,00	27,15	3,79	5,54	7,87	3,14	4,71	6,80

Массогабаритные характеристики НЭ на литий-ионных аккумуляторах с параметрами по рассмотренным сценариям составляют соответственно 14 т и 8 м³, 53 т и 29 м³, 66 т и 36 м³. Предполагаемый срок службы НЭ — 20 лет.

Описанные эффекты в той или иной степени характерны для всех энергоисточников, использующих углеводородное топливо. Таким образом, полученные удельные эффекты от применения НЭ в комплексе с ДЭС свидетельствуют об экономической эффективности и целесообразности применения НЭ в изолированных энергосистемах Арктической зоны и других удаленных и труднодоступных районах России. Внедрение НЭ будет способствовать дифференциации схем электроснабжения и общему повышению энергоэффективности.

Литература

1. Артюхов И. И., Ербаев Е. Т. Варианты построения схем автономных ветродизельных установок // Новые технологии и технические средства в АПК: Материалы Международной конференции, посвященной 105-летию со дня рождения профессора Красникова Владимира Васильевича. — Саратов: КУБиК, 2013.
2. Дьяков А. Ф. Энергетика России и мира в 21-м веке // Энергетик. — 2000. — № 11. — С. 2—9.

3. Завалишин В. В. Улучшение эксплуатационных характеристик дизельной электростанции при работе на изменяющуюся нагрузку: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Саратов. гос. техн. ун-т. — Саратов, 2010.

4. Лукутин Б. В., Шандарова Е. Б. Способы снижения расхода топлива дизельных электростанций // Современ. проблемы науки и образования. — 2013. — № 2.

5. Матиевский Г. Д., Кулманов С. П. Анализ показателей работы дизеля по характеристике постоянной мощности // Ползунов. вестн. — 2010. — № 1.

6. Об основных положениях Энергетической стратегии России на период до 2020 г. // Энергетик. — 2000. — № 9. — С. 2—6.

7. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. Утверждена президентом РФ 8 февраля 2013 г. № Пр-232.

8. Филиппов С. П. Перспективы применения электрогенерирующих установок малой мощности // Атом. энергия. — 2011. — Т. 111, вып. 5. — С. 255—261.

9. Electricity Energy Storage Technology Options: A White Paper Primer on Applications, Costs, and Benefits. Technical Update, December 2010.

10. <http://www.aesenergystorage.com>.