

СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОПОРШНЕВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

МЕЛЬНИКОВ В.Д., ЗЫРЯНОВ В.М., Новосибирский государственный технический университет
НЕСТЕРЕНКО Г.Б., ООО «Системы накопления энергии»

В статье представлен анализ возможности использования систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) для повышения эффективности газопоршневых электростанций в автономных энергосистемах. Описаны основные особенности газопоршневых установок (ГПУ), ограничения в их режимах работы и факторы, ограничивающие их применение в автономных энергосистемах. Предложен алгоритм управления СНЭЭ для обеспечения плавного изменения мощности ГПУ и их устойчивой работы при резких сбросах и набросах мощности. Приведены результаты испытания СНЭЭ, функционирующей совместно с дизель-генераторной установкой в экспериментальной энергосистеме с коммутируемой нагрузкой. Результаты демонстрируют эффективность применения СНЭЭ для обеспечения работы электростанции при резкопеременном характере нагрузки, что достигается за счет компенсации резких отклонений нагрузки мощностью СНЭЭ.

Заинтересованность мирового сообщества в сокращении объема сжигаемого углеводородного топлива привела к расширению использования возобновляемых источников энергии (прежде всего, солнечных электростанций и ветровых электростанций) в электроэнергетических системах большинства развитых стран. Однако такие источники энергии не способны полностью заменить традиционные электростанции в связи с характерными особенностями работы, главным образом из-за стохастического характера генерации электрической энергии. Данная особенность ВИЭ стала одним из главных стимулов развития отдельного класса энергетического оборудования – систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) [1]. Развитию технологий, используемых

в СНЭЭ, способствовало распространение портативных электронных устройств и электротранспорта. Научно-технический прогресс в данных сферах привел к повышению технических характеристик и снижению себестоимости производства аккумуляторных батарей, которые составляют примерно половину стоимости СНЭЭ.

В мировой практике СНЭЭ применяют не только для повышения эффективности ВИЭ, но и для других целей: регулирование частоты и напряжения в энергосистемах, резервирование, обеспечение бесперебойного питания нагрузки, поддержание показателей качества электрической энергии и др. [2, 3].

Статистика подтверждает тот факт, что глобальное производство электроэнергии по-прежнему обеспечивается главным образом за счет сжигания

углеводородного топлива [4]. Благодаря его низкой стоимости, налаженной системе добычи, подготовки и транспортировки, а также высокому уровню развития технологий получения энергии из данных первичных источников углеводородное топливо остается основой для производства электроэнергии.

В настоящее время рано говорить о широкомасштабном применении СНЭЭ для повышения эффективности выработки электроэнергии на традиционных электростанциях, что связано с высокой стоимостью подобных проектов. В свою очередь, применение СНЭЭ в локальных изолированных энергосистемах представляется более перспективным направлением в связи с большими удельными затратами на топливо для генерирующих установок в таких энергосистемах [5].

ОСОБЕННОСТИ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ В РОССИИ

Около 65 % территории Российской Федерации располагается вне зоны централизованного энергоснабжения [6]. На данной территории находятся тысячи населенных пунктов, промышленных предприятий, а также объектов нефтегазовой отрасли (рис. 1) [7]. Для обеспечения энергоснабжения этих объектов в основном применяются дизельные или газовые электростанции.

Часто районы расположения изолированных энергообъектов характеризуются плохой транспортной доступностью. Доставка топлива на объекты, особенно расположенные на Крайнем Севере и Дальнем Востоке, сопряжена с высокими экономическими издержками. Кроме того, существует необходимость обеспечения большого запаса топлива на зимний период, а его доставка ограничена невозможностью транспортного сообщения в определенное время года.

При проектировании дизельных электростанций установленная мощность генераторных агрегатов выбирается большей, чем максимальная мощность нагрузки, что связано с необходимостью учета такого параметра агрегатов, как принятие нагрузки (load acceptance). Для дизельных агрегатов этот параметр составляет 50–60 % от номинальной мощности. В связи с этим мощность электростанции оказывается много больше мощности нагрузки, что приводит к тому, что коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) генерирующих установок часто находится на уровне 20–25 %.

Кроме того, для ряда объектов (нефтегазовых, горнодобывающих предприятий, металлургических и перерабатывающих заводов и др.) характерна резкопеременная нагрузка. Для обеспечения стабильной работы этих объектов часто выбирается большое количество генерирующих установок, чем того требует величина мощности нагрузки. Генераторы постоянно находятся в работе для обеспечения меньшего удельного значения сброса или наброса нагрузки, приходящегося на один генератор. Этот режим работы неоптимален с точки зрения расхода топлива и стоимости электроэнергии. Кроме того, при этом интенсивно снижается моторесурс агрегатов, что приводит к высоким эксплуатационным расходам.

Использование в качестве источника энергии природного газа – более привлекательный способ производства электроэнергии на изолированных удаленных объектах с точки зрения минимизации топливных издержек. Но в отличие от дизельного топлива газ труднее транспортировать, поскольку для его использования необходимо иметь доступ к месторождениям или газовым магистралям.

При этом для ряда объектов генерации существует возможность перехода на природный или попутный газ, что связано с их малой удаленностью от природных месторождений. Также этому процессу способствует развитие газотранспортной отрасли страны.

Газовые двигатели имеют гораздо более низкие значения параметра приема нагрузки, что связано с большей инерцией топливного тракта

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Ведущий рубрики



Илюшин Павел Владимирович

Проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» Минэнерго России, к.т.н., руководитель подкомитета С6 «Системы распределения электроэнергии и распределенная генерация» РНК СИГРЭ, председатель секции «Распределенные источники энергии» НП «НТС ЕЭС»

(рис. 2). Генерирующие установки на их основе с меньшей вероятностью продолжают устойчиво работать при сбросах и набросах мощности нагрузки. Если значения, указанные в таблице 1 (на примере конкретного производителя), превышены, генераторы отключаются под действием технологических защит. Отключение



Рис. 1. Электрификация России

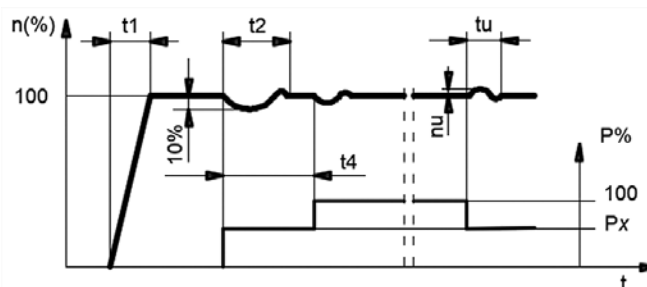


Рис. 2. Переходные параметры газопоршневого агрегата

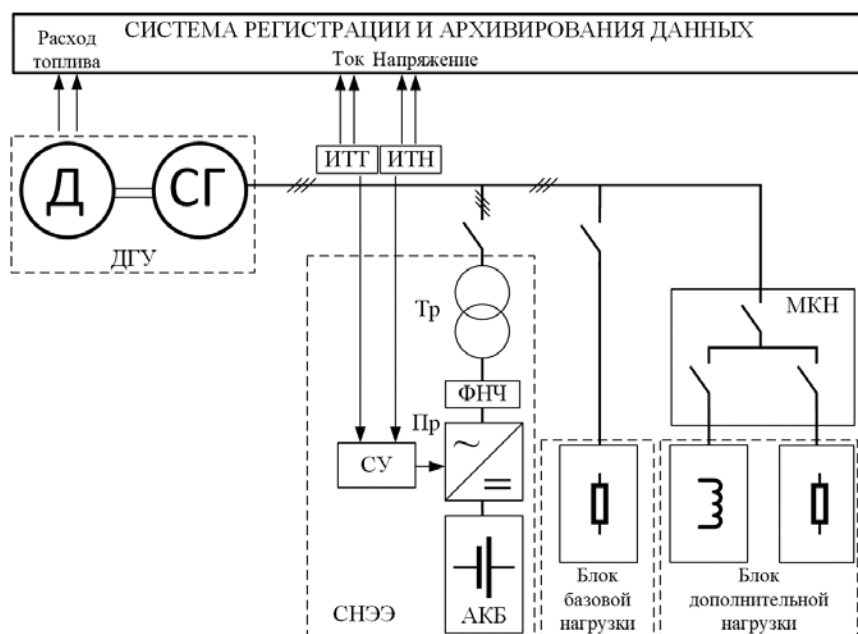


Рис. 3. Однолинейная схема экспериментальной энергосистемы: ДГУ – дизель-генераторная установка; Д – дизельный двигатель; СГ – синхронный генератор; ИТН – измерительный трансформатор напряжения; ИТТ – измерительный трансформатор тока; СНЭ – система накопления электрической энергии; СУ – система управления; Тр – согласующий трансформатор; ФНЧ – фильтр нижних частот; Пр – двунаправленный транзисторный преобразователь; АКБ – аккумуляторная батарея; МКН – модуль коммутирования нагрузки

одного агрегата влечет за собой цепную реакцию, приводящую к отключению всей электростанции. Кроме того, газопоршневые установки, как правило, сконструированы таким образом, что нормальный режим работы для них – это нагрузка в диапазоне мощности от 40 до 100 % от номинального значения [8].

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД

Компенсация отклонения мощности нагрузки за счет применения СНЭ позволит эксплуатировать газопоршневую установку (ГПУ) в зоне допустимых параметров, ука-

занных в таблице 1. Однако необходимо точно оценивать объемы требуемого воздействия. Полная компенсация отклонения нагрузки, с одной стороны, увеличивает эффективность эксплуатации генераторных агрегатов, позволяя сократить расход топлива, а с другой, приводит к необходимости увеличивать энергоемкость СНЭ. Вследствие высоких цен такой подход не является экономически оправданным. Сократить требуемую энергоемкость СНЭ возможно посредством применения предлагаемого алгоритма управления СНЭ.

Таблица 1. Значения переходных параметров газопоршневого агрегата

Параметр	Обозначение	Значение
Время переходного процесса частоты и напряжения при пуске установки	t_1	24 с
Время переходного процесса при приложении ступени нагрузки	t_2	10...12 с
Минимальное время между приложением ступеней нагрузки	t_4	15 с
Уровень ступени нагрузки P_x (% от номинала)	P_1	30 %
	P_2	55 %
	P_3	75 %
	P_4	85 %
	P_5	Шаги по 5 % до 100 %
Перерегулирование частоты при сбросе нагрузки	νu	Не более 6,5 %
Время переходного процесса при сбросе нагрузки	tu	0...13 с

Представленный метод может быть использован для ограничения скорости изменения мощности нагрузки на ГПУ. Значение скорости задается системой управления СНЭ, которая вычисляет оптимальное изменение мощности генерирующей установки. Если нагрузка увеличивается с большей скоростью, СНЭ компенсирует разницу:

$$\frac{dP_r}{dt} = \frac{d(P_n(t) - P_{СНЭ}(t))}{dt}, \quad (1)$$

где P_r – мощность генерации (ГПУ), кВт;

P_n – мощность нагрузки, кВт;

$P_{СНЭ}$ – мощность СНЭ, кВт;

t – время, ч.

Предлагаемый метод управления позволяет ГПУ работать в допустимом для нее режиме и одновременно снижает требуемое значение энергоемкости СНЭ. Энергия СНЭ, необходимая для реализации алгоритма, может быть вычислена следующим образом:

$$E_{СНЭ} = \int_{t_1}^{t_2} (P_n(t) - P_r(t)) dt, \quad (2)$$

где $E_{СНЭ}$ – энергия, выдаваемая или потребляемая СНЭ, кВт·ч;

P_n – мощность нагрузки, кВт;

P_r – мощность генерации (ГПУ), кВт;

t – время, ч;

t_1 – момент времени начала работы СНЭ, ч;

t_2 – момент времени завершения работы СНЭ, ч.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

Предложенный метод управления был опробован в экспериментальной энергосистеме, включающей дизель-генераторную установку (ДГУ) мощностью 125 кВА, модули нагрузки, имитирующие колебания мощности нагрузки, а также СНЭ мощностью 100 кВА и энергоемкостью 153 кВт·ч. На рис. 3 представлена однолинейная схема энергосистемы. На рис. 4–5 представлены экспериментальные осциллограммы, демонстрирующие работу энергосистемы при резком увеличении и резком уменьшении мощности нагрузки соответственно.

Согласно полученным результатам СНЭ успешно обеспечивает плавное изменение мощности ДГУ

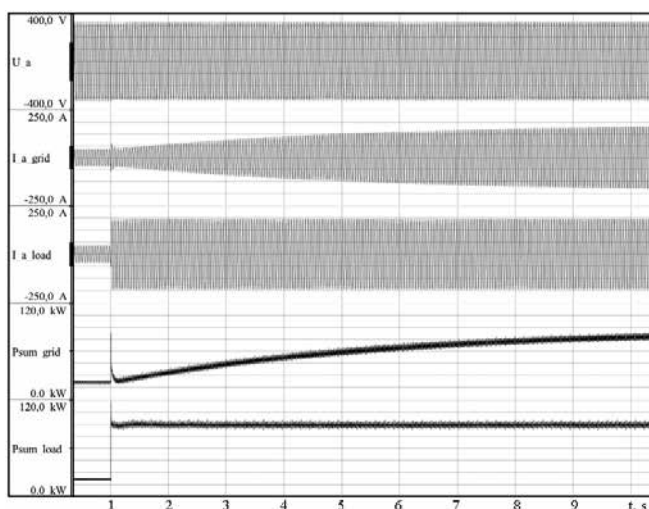


Рис. 4. Реакция генератора на увеличение мощности нагрузки при работе СНЭЭ (сверху вниз: диаграмма фазного напряжения, В; фазный ток генератора, А; фазный ток нагрузки, А; мощность генератора, кВт; мощность нагрузки, кВт)

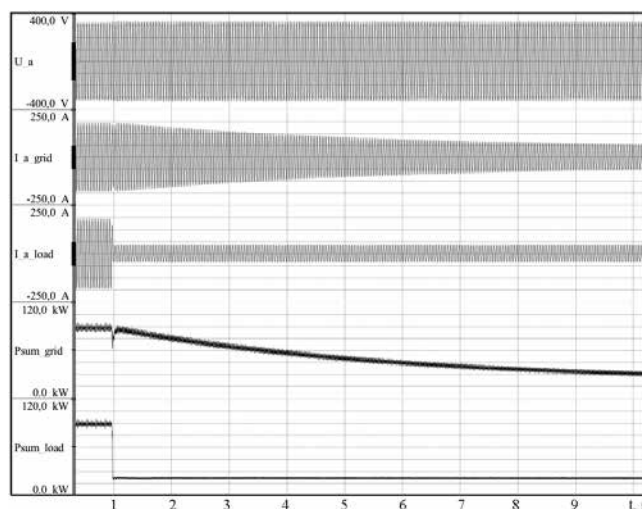


Рис. 5. Реакция генератора на снижение мощности нагрузки при работе СНЭЭ (сверху вниз: диаграмма фазного напряжения, В; фазный ток генератора, А; фазный ток нагрузки, А; мощность генератора, кВт; мощность нагрузки, кВт)

при резкопеременной нагрузке, что подтверждает эффективность предлагаемого способа управления. Кроме того, в ходе эксперимента проводились измерения расхода топлива ДГУ: использование СНЭЭ позволило сократить расход топлива на 5 % [9]. Исследование, выполненное в энергосистеме с ГПУ, также подтвердило эффективность применения СНЭЭ для сглаживания резких сбросов и набросов мощности [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы накопления электрической энергии представляют собой многофункциональные устройства, возможности применения которых достаточно обширны. Предложенный в статье метод использования СНЭЭ эффективен для обеспечения стабильной работы изолированных энергосистем и позволяет снизить требования к параметрам СНЭЭ. Учитывая тот факт, что стоимость аккумуляторных батарей по-прежнему находится на довольно высоком уровне, предлагаемый способ позволяет снизить капитальные затраты на создание изолированных энергосистем.

Также положительный эффект состоит в возможности замены дизель-генераторных установок на газопоршневые на тех объектах, где ранее это было невозможно из-за резкопеременной нагрузки и огра-

ничения режимов работы силовой установки ГПУ. Такое решение позволит значительно сократить затраты на транспортировку топлива, а также снизить выбросы токсичных веществ в атмосферу, поскольку природный газ более экологически чистый ресурс по сравнению с дизельным топливом.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 58092.1-2018 Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 54 с.
- Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры. Экспертно-аналитический отчет / Инфраструктурный центр EnergyNet, Москва, 2019. – 158 с.
- Куликов Ю.А. Накопители электроэнергии – эффективный инструмент управления режимами электроэнергетических систем / Электроэнергетика глазами молодежи – 2018: материалы 9 междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Казань, 1–5 окт. 2018 г. В 3 т. – Казань : Казан. гос. энергет. ун-т, 2018. Т. 1. С. 38–43.
- Key World Energy Statistics, International Energy Agency, 2017, p. 6.
- Energy storage device application for load oscillations damping in isolated power systems / N. G. Kiryanova, D. Y. Baluev, G. A. Prankevich, V. M. Zyryanov // Actual issues of mechanical engineering (AIME 2017): proc. of the intern.

conf., Tomsk, 27-29 July, 2017. Paris : Atlantis Press, 2017. pp. 325–330.

6. Елистратов В.В. Автономное энергоснабжение [Электронный ресурс]. 2016. Режим доступа: <https://postnauka.ru/video/62744>.

7. Централизованные и автономные системы электроснабжения на территории РФ / «Новости энергетики» [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <https://novostienergetiki.ru>.

8. Technical information from Cummins Power Generation Transient load capabilities of natural gas generator sets By Timothy A. Loehlein, Technical Advisor in Sales Application Engineering.

9. Экспериментальные исследования и испытания совместной работы системы накопления энергии и ДГУ в составе автономной энергосистемы / В. М. Зырянов, С. В. Кучак, П. А. Бачурин, С. А. Харитонов // Промышленная энергетика. 2018. № 10. С. 2–10.

10. Испытания промышленного образца системы накопления энергии СНЭ-10-1200-400 при совместной работе с ГПУ в составе экспериментальной энергосистемы + Testing of industrial design energy storage system (ESS-101200-400) and gas piston units in experimental power system / П.А. Бачурин, Д.С. Гладков, В.М. Зырянов, С.В. Кучак, Г.Б. Нестеренко, Д.Е. Лебедев, А.Н. Решетников [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 2 (59). С. 18–24.