



Оригинальная статья / Original article

УДК 621.311

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2018-5-105-114>

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ НАГРУЗОЧНЫМ ДИАГРАММАМ

© Д.Ю. Балув¹, В.М. Зырянов², Н.Г. Кирьянова³, Г.А. Пранкевич⁴

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Российская Федерация, г. Новосибирск, пр-кт К. Маркса, 20.

РЕЗЮМЕ. ЦЕЛЬ. Разработать методику расчета основных параметров (мощность и обменная энергоёмкость) накопителя энергии по результатам анализа экспериментальных нагрузочных диаграмм с учетом его назначения. Проиллюстрировать эффективность методики на конкретных практических примерах. **МЕТОДЫ.** При выполнении работы использовались методы математического моделирования (с использованием ПК MATLAB Simulink) и пассивного натурального эксперимента в энергосистеме (для получения нагрузочных диаграмм). Частотный анализ экспериментальных нагрузочных диаграмм проводился методом быстрого преобразования Фурье. **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.** Предложен алгоритм и разработана процедура выбора основных параметров накопителя энергии, основывающаяся на гармоническом анализе нагрузочной диаграммы. В зависимости от назначения накопителя разрабатывается соответствующая стратегия его использования. В статье рассматриваются два примера применения накопителя энергии. Для каждого из них на основе анализа результатов натурных экспериментов определены амплитудно-частотные характеристики нагрузочных диаграмм и по разработанной процедуре выполнен выбор параметров накопителя. **ВЫВОДЫ.** Предложенная в статье методика позволяет на основании анализа экспериментальной нагрузочной диаграммы выделять нежелательные частоты колебаний мощности нагрузки и производить выбор параметров накопителя энергии для их подавления. Нежелательными могут быть любые отклонения мощности от заданного значения, диапазон частот или отдельные частоты. Выбранный по описанной в статье методике накопитель энергии обладает достаточной мощностью и энергоёмкостью для достижения поставленной цели.

Ключевые слова: накопитель энергии, основные параметры накопителя, нагрузочная диаграмма, амплитудно-частотная характеристика, автономная электростанция, изолированная система электроснабжения, резко-переменная нагрузка, низкочастотные колебания режимных параметров.

Информация о статье. Дата поступления 07 марта 2018 г.; дата принятия к печати 18 мая 2018 г.; дата онлайн-размещения 31 мая 2018 г.

Формат цитирования. Балув Д.Ю., Зырянов В.М., Кирьянова Н.Г., Пранкевич Г.А. Методика расчета основных параметров накопителя энергии по экспериментальным нагрузочным диаграммам // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 5. С. 105–114. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-5-105-114.

EXPERIMENTAL LOAD DIAGRAM-BASED METHODS OF CALCULATING MAIN PARAMETERS OF ENERGY STORAGE DEVICES

D.Yu. Baluev, V.M. Zyryanov, N.G. Kiryanova, G.A. Prankevich

Novosibirsk State Technical University,
20, K. Marks pr., Novosibirsk, 630073, Russian Federation

¹Балув Дмитрий Юрьевич, магистрант, e-mail: baluev.dy@gmail.com
Dmitriy Yu. Baluev, Master's degree student, e-mail: baluev.dy@gmail.com

²Зырянов Вячеслав Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных электроэнергетических систем, e-mail: zvmov@ngs.ru
Vyacheslav M. Zyryanov, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Automated Electrical Power Systems, e-mail: zvmov@ngs.ru

³Кирьянова Наталья Геннадьевна, аспирант, e-mail: kiryanova-ng@ya.ru
Natalya G. Kiryanova, Post-graduate student, e-mail: kiryanova-ng@ya.ru

⁴Пранкевич Глеб Александрович, аспирант, e-mail: prankevich.gleb@mail.ru
Gleb A. Prankevich, Post-graduate student, e-mail: prankevich.gleb@mail.ru



ABSTRACT. The **PURPOSE** of the paper is to develop a methodology for calculating the main parameters (power and energy capacity) of an energy storage device based on the analysis of experimental load diagrams and taking into account its purpose as well as to illustrate methodology efficiency on specific practical examples. **METHODS.** The study uses the methods of mathematical modeling (using MATLAB/Simulink) and a passive full-scale experiment in the power system (for obtaining load diagrams). The Fourier method is used to perform the frequency analysis of the experimental load diagrams. **RESULTS AND THEIR DISCUSSION.** The paper proposes an algorithm and a procedure based on the harmonic analysis of the load diagram in order to select the main parameters of the energy storage device. The purpose of the storage device determines its application strategy. The article deals with two examples of energy storage device use. Based on the analysis of the results of the full-scale experiments the amplitude frequency response characteristics of load diagrams have been determined for each case and storage device parameters have been selected according to the developed procedure. **CONCLUSIONS.** The methodology proposed in the article allows to identify extraneous frequencies of load power oscillations based on the analysis of the experimental load diagram and select the energy storage device parameters for their suppression. Any power deviations from the given value, frequency range or individual frequencies can be extraneous. The energy storage device chosen by the method described in the article has sufficient power and energy capacity to achieve the set goal.

Keywords: *energy storage device, main parameters of energy storage device, load diagram, amplitude frequency response characteristic, stand-alone power station, isolated power supply system, abruptly variable load, low-frequency oscillations of mode parameters*

Information about the article. Received March 7, 2018; accepted for publication May 18, 2018; available online May 31, 2018.

For citation. Baluev D.Yu., Zyryanov V.M., Kiryanova N.G., Prankevich G.A. Experimental load diagram-based methods of calculating main parameters of energy storage devices. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Proceedings of Irkutsk State Technical University, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 105–114. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-5-105-114. (In Russian).

Введение

Технологии накопления энергии сегодня достигли уровня практического внедрения в электроэнергетику [1]. Быстродействующие накопители энергии позволяют комплексно и более эффективно, чем это делается традиционными методами, решать ряд сложных задач электроэнергетики [2–5]. Являясь многофункциональным элементом энергосистемы, накопитель энергии (НЭ) способен, кроме управления активной мощностью, одновременно выполнять функции устройства управления реактивной мощностью, активного фильтра высших гармоник, а также устройства компенсации несимметрии трехфазного напряжения.

Наиболее эффективно применение НЭ в узлах с резкопеременным характером нагрузки, в изолированных системах электроснабжения, в микроэнергосистемах с нетрадиционными источниками энергии и на автономных электростанциях нефтегазового сектора, где преобладают потребители со стохастической или периодически изменяющейся нагрузкой, мощность которой соизмерима с мощностью генератор-

ных агрегатов. В последнем случае преобладающая доля выработки электроэнергии производится дизель-генераторными, газопоршневыми и газотурбинными агрегатами, совместная работа которых с НЭ существенно повышает их технико-экономические показатели. При этом требования к НЭ по мощности и энергоёмкости достаточно скромные, вполне реализуемые в настоящее время. Это дает возможность накопить опыт эксплуатации НЭ, отработать системы, алгоритмы и законы управления ими.

К потребителям, имеющим периодический или резкопеременный характер потребления мощности, относятся потребители нефтегазовой отрасли (буровые установки, станки-качалки), металлургии и машиностроения (двигатели для механизмов, работающих в широком диапазоне скоростей с частыми пусками и остановами), а также электродуговые печи, мощные подъемно-транспортные механизмы и ряд других.

Авторами настоящей статьи предлагается методика расчета основных пара-

метров НЭ и ее реализация для двух характерных случаев: выравнивания графика нагрузки автономной электростанции и подавления и локализации низкочастотных

колебаний (НЧК) режимных параметров в узлах нагрузки с резкопеременным характером изменения мощности.

Выбор параметров накопителя энергии для автономной электростанции

Общепринятый подход при проектировании автономной электростанции заключается в выборе генераторного агрегата (ГА) на расчетную мощность, которая, как правило, значительно превышает среднюю мощность нагрузки. При низком значении коэффициента использования установленной мощности ГА значительно возрастает удельный расход топлива, что существенно снижает экономические показатели автономной электростанции. Применение НЭ в такой системе электроснабжения позволяет значительно повысить ее технико-экономические показатели.

На рис. 1 приведен характерный фрагмент нагрузочной диаграммы автономной электростанции плавкрана, полученной в ходе пассивного эксперимента в нормальном технологическом режиме работы – при перегрузке сыпучего груза [6]. При номинальной мощности электростанции 300 кВт средняя мощность нагрузки составляет 66 кВт (22% номинальной мощности станции). Подобный характер нагрузки является обычным для всех подъемно-транспортных механизмов циклического действия. Кроме снижения качества электроэнергии работа энергосистемы в таком режиме сопровождается значительным увеличением удельного расхода топлива (на 45% относительно номинального режи-

ма) [6].

Включение в состав энергосистемы НЭ позволяет кардинально пересмотреть параметры, характеристики и режимы работы ее основного силового оборудования, в том числе ее состав и структуру [7]. Основным при этом является вопрос выбора параметров НЭ: мощности и энергоемкости [8]. Выбор этот должен основываться, прежде всего, на формулировании цели применения НЭ.

Одна из перспективных стратегий применения накопителя энергии в составе автономной электростанции – заменить «штатный» ГА, выбранный по традиционной методике, на агрегат мощностью, близкой к среднему значению мощности нагрузочной диаграммы. Регулирование переменной части нагрузочной диаграммы должно выполняться с помощью накопителя. ГА в этом случае работает с постоянной мощностью, равной средней мощности нагрузки за рабочий цикл. При этом достигается комплексный эффект: минимальный удельный расход топлива; минимальная стоимость ГА и минимальные издержки на его обслуживание; увеличение моторесурса приводного двигателя; снижение потерь в генераторе от переходных процессов, обусловленных резкопеременной нагрузкой [9, 10].

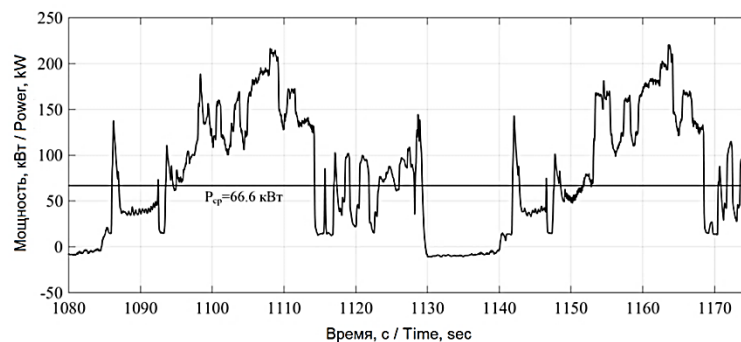


Рис. 1. Фрагмент нагрузочной диаграммы автономной электростанции плавкрана
Fig. 1. Fragment of the load diagram of a stand-alone power station of a crane vessel

В случае же применения ГА с газопоршневыми приводными двигателями, которые не допускают резких изменений нагрузки, применение накопителей могло бы дать наибольший эффект.

Гармонический анализ нагрузочной диаграммы, выполненный методом быстрого преобразования Фурье для непериодической функции, дает бесконечный ряд гармоник. Наиболее значимые гармоники этого ряда сосредоточены в частотном диапазоне от 0,1 до 0,8 Гц (рис. 2), что подтверждается нагрузочной диаграммой без учета гармоник выше 0,8 Гц (рис. 3). Эта

диаграмма в основном повторяет абрис исходной нагрузочной диаграммы, в которой присутствует полный спектр гармоник.

Результаты гармонического анализа нагрузочной диаграммы позволяют рассчитать параметры накопителя энергии в зависимости от амплитуды и частоты тех гармоник, которые подлежат подавлению.

В рассматриваемом примере минимально необходимая мощность накопителя $P_{\text{нак}}$ определяется из нагрузочной диаграммы как наибольшее отклонение мощности от среднего значения – $P_{\text{нак}} = 160$ кВт (см. рис. 1).

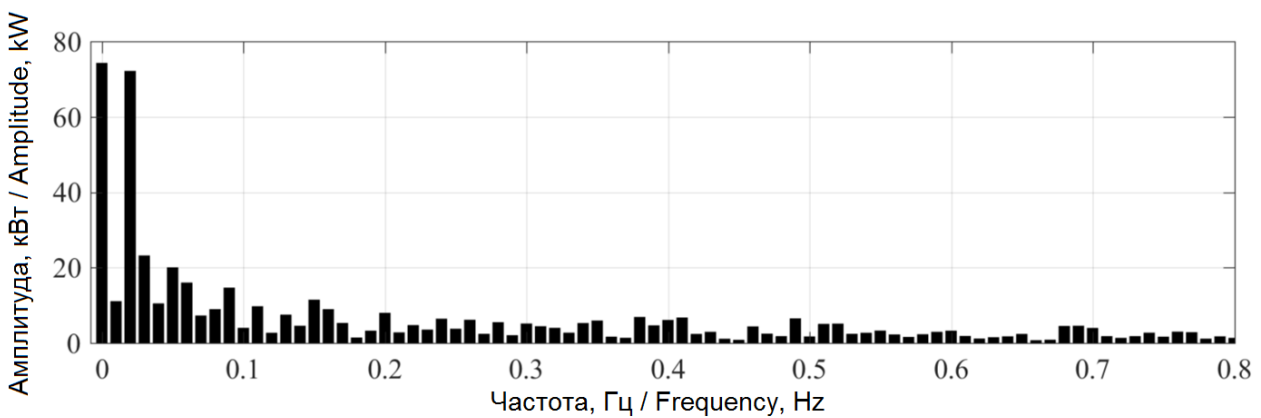


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика нагрузочной диаграммы плавкрана
Fig. 2. Amplitude frequency response of the crane vessel load diagram

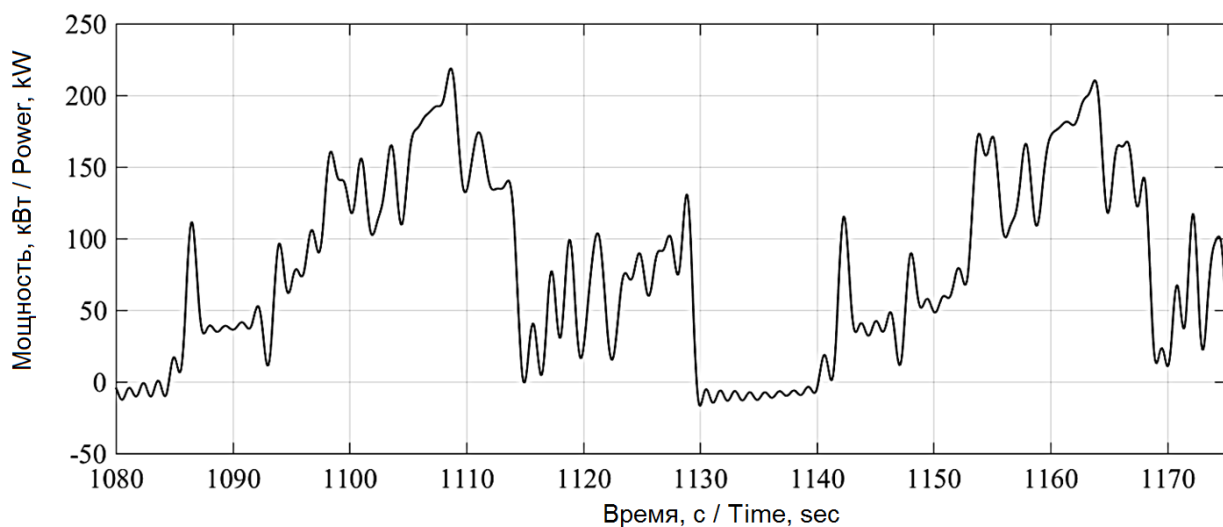


Рис. 3. Нагрузочная диаграмма без учета гармоник выше 0,8 Гц
Fig. 3. Load diagram without reference to harmonics above 0.8 Hz

Для определения энергоемкости по нагрузочной диаграмме строится диаграмма изменения энергии НЭ, которой он должен обмениваться с энергосистемой для поддержания постоянства мощности генератора (рис. 4). Максимальный размах кривой энергии показывает минимально необходимую величину обменной энергоемкости $W_{обм}$, то есть той энергии, которой накопитель обменивается с энергосистемой в процессе управления. Определить

полную энергоемкость накопителя W_n возможно только после выбора типа накопителя, учитывая особенности конкретной технологии накопления энергии, которая определяет допустимую степень заряда/разряда накопительного элемента при сохранении достаточной величины располагаемой мощности. Обменная энергоемкость накопителя $W_{обм}$ должна быть не менее 0,8 кВт·ч или 2,88 МДж (см. рис. 4).

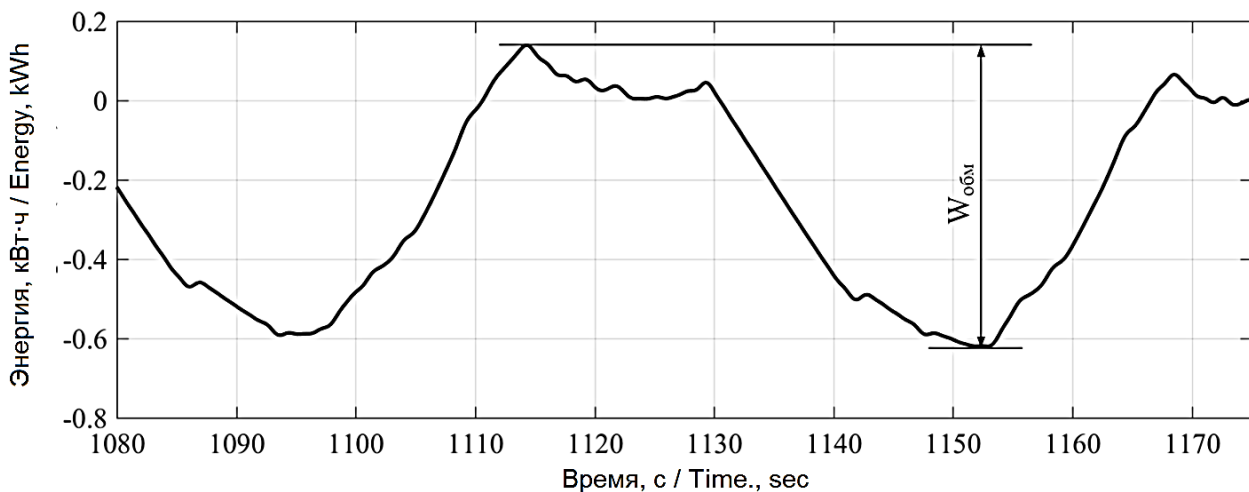


Рис. 4. Диаграмма изменения энергии накопителя в процессе управления
Fig. 4. Diagram of storage device energy variation under control process

Выбор параметров накопителя энергии для демпфирования низкочастотных колебаний в узлах нагрузки с резкопеременным характером потребления

В объединенных энергосистемах резкопеременная нагрузка способна провоцировать и усиливать низкочастотные колебания (НЧК) режимных параметров [11, 12]. Одним из наиболее негативных последствий развития НЧК является нарушение колебательной устойчивости энергосистемы [13]. В связи с этим уменьшение влияния НЧК на энергосистему является важной задачей, которая может быть решена, в том числе с помощью НЭ.

На рис. 5 приведен фрагмент нагрузочной диаграммы одного из каменноугольных разрезов Новосибирской области, полученной в процессе пассивного эксперимента в нормальном технологическом

режиме работы. Основные потребители электроэнергии – карьерные экскаваторы с электроприводом, которые получают питание от энергосистемы через подстанцию 35/6 кВ.

На рис. 6 приведены результаты гармонического анализа нагрузочной диаграммы без учета постоянной составляющей. Наиболее значимые гармоники амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) сосредоточены в частотном диапазоне от 0,1 до 2,0 Гц, что подтверждается нагрузочной диаграммой без учета гармоник выше 2,0 Гц., приведенной на рис. 7. Эта диаграмма в основном повторяет исходную нагрузочную диаграмму.

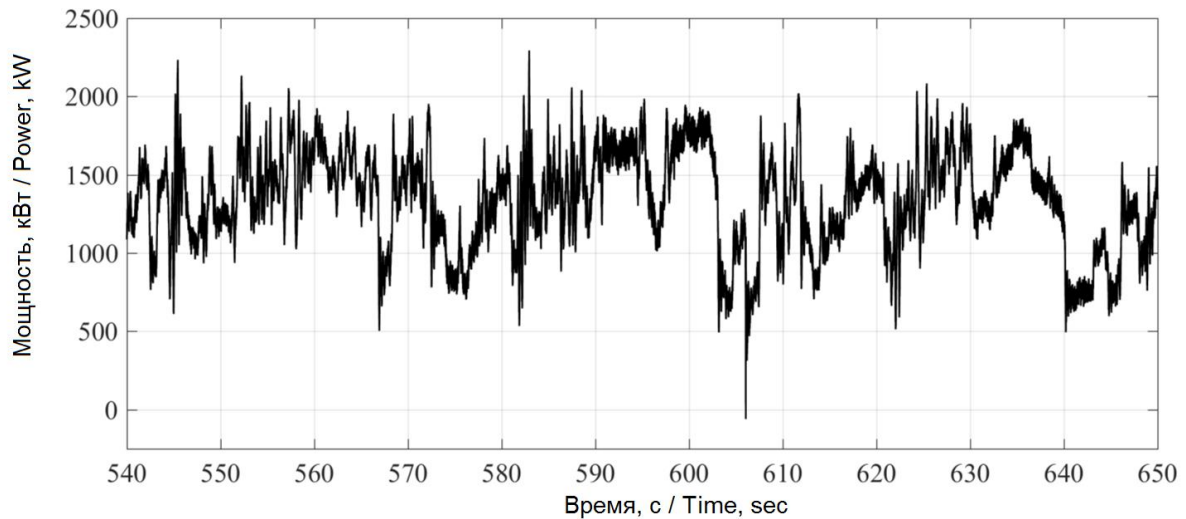


Рис. 5. Фрагмент нагрузочной диаграммы каменноугольного разреза
Fig. 5. Fragment of the load diagram of the open-pit coal mine

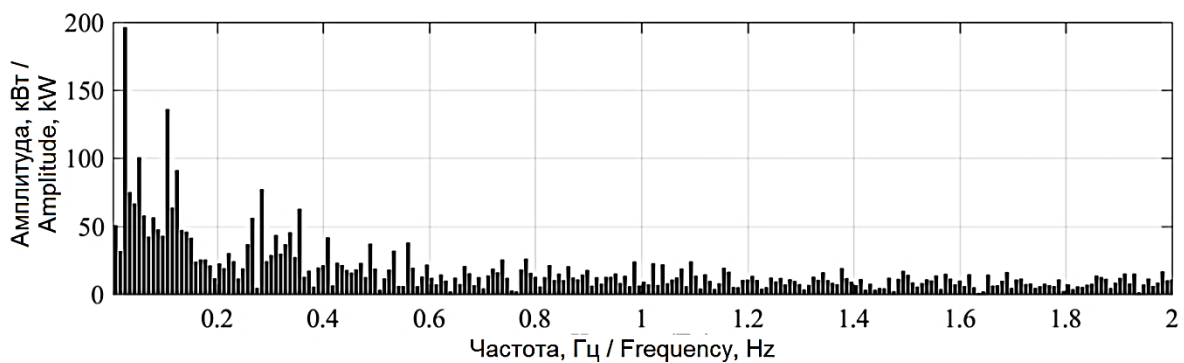


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика нагрузочной диаграммы каменноугольного разреза
(без постоянной составляющей)
Fig. 6. Amplitude frequency response of the open-pit coal mine load diagram (without the constant component)

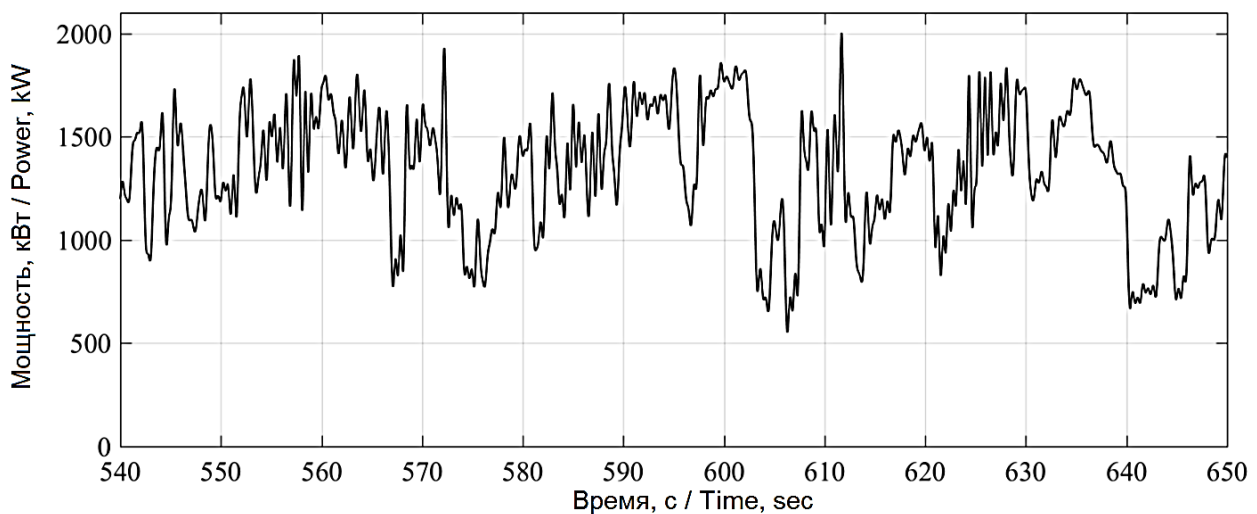


Рис. 7. Нагрузочная диаграмма без учета гармоник выше 2,0 Гц
Fig. 7. Load diagram without reference to harmonics above 2.0 Hz



На рис. 8 представлена суммарная диаграмма мощности гармоник в диапазоне 0,1–2,0 Гц, полученная из нагрузочной диаграммы каменноугольного разреза путем фильтрации указанных гармоник. Эту диаграмму должен «отрабатывать» накопитель в процессе подавления гармоник.

Минимально необходимая мощность НЭ определяется по наибольшему отклонению кривой мощности от нулевого значе-

ния и составляет $P_{\text{нак}} = 720$ кВт (см. рис. 8).

Для определения энергоемкости по диаграмме мощности строится диаграмма изменения энергии накопителя, которой он должен обмениваться с энергосистемой для подавления гармоник диапазона 0,1–2,0 Гц (рис. 9). Максимальный размах диаграммы энергии показывает минимально необходимую величину обменной энергоемкости – $W_{\text{обм}} = 0,66$ кВт·ч (2,38 МДж).

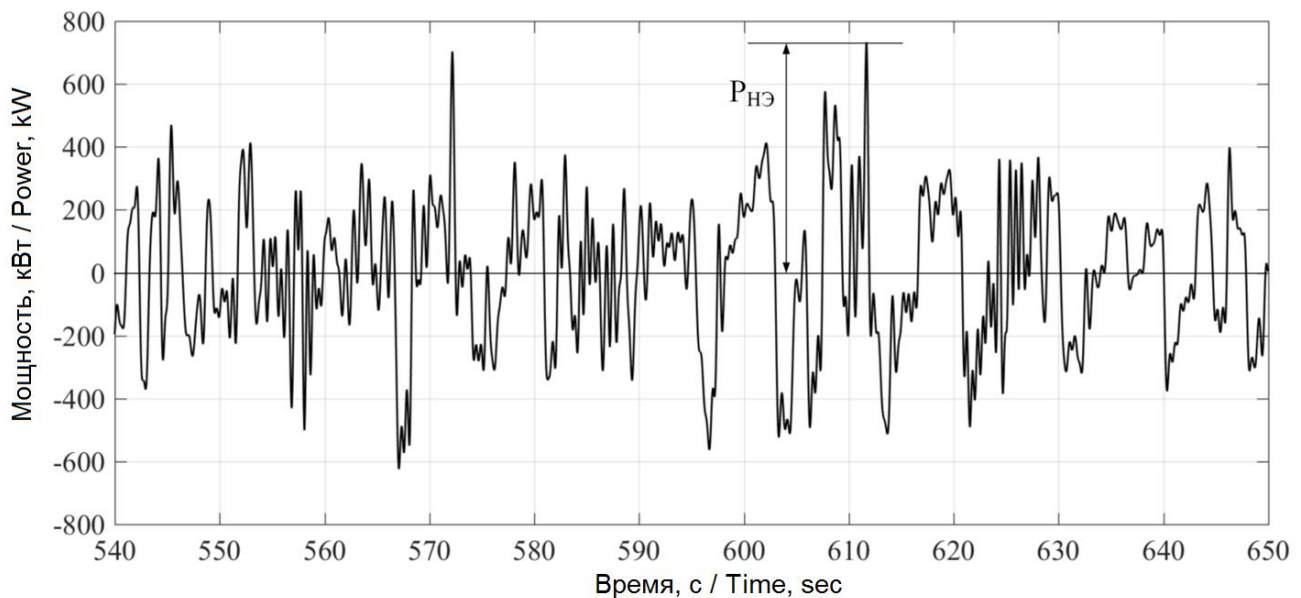


Рис. 8. Диаграмма мощности накопителя с учетом гармоник 0,1–2,0 Гц
Fig. 8. Diagram of storage device power with regard to harmonics from 0.1 to 2.0 Hz

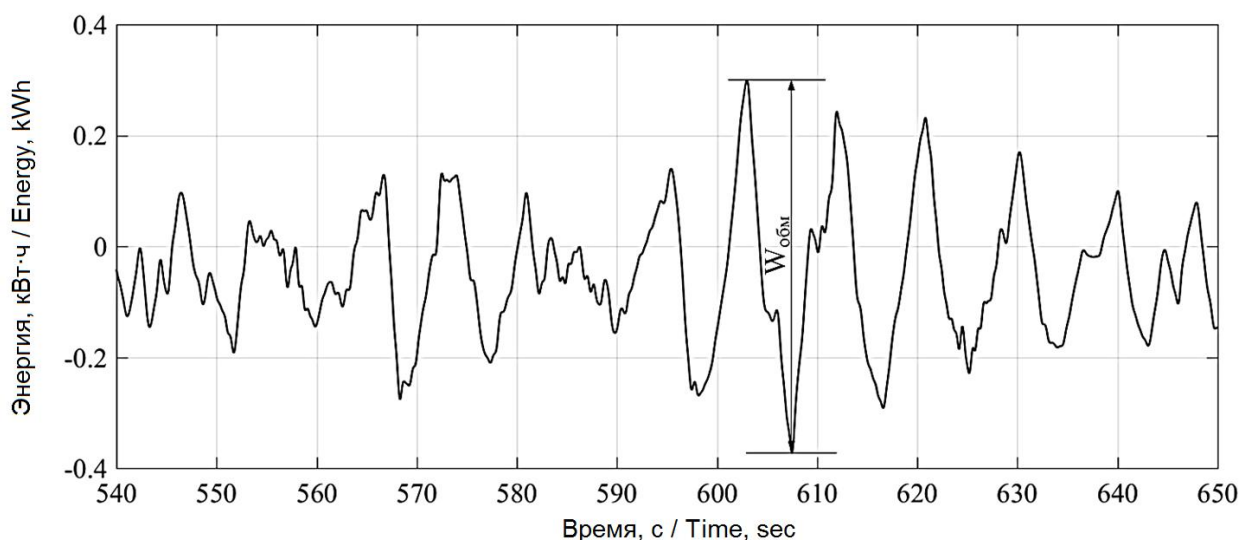


Рис. 9. Диаграмма изменения энергии накопителя в процессе управления
Fig. 9. Diagram of storage device energy variation under the control process

На рис. 10 показан переток мощности по линии электропередачи от энергосистемы к каменноугольному разрезу с учетом действия накопителя энергии. В этом перетоке присутствуют гармоники нагрузочной диаграммы с частотами менее 0,1 и более 2,0 Гц. Частоты менее 0,1 Гц «отра-

батываются» регуляторами энергосистемы, а более 2,0 Гц – «фильтруются» ее инерционностью.

Таким образом, накопитель энергии решает задачу локализации НЧК режимных параметров в узле нагрузки, не позволяя им «раскачивать» энергосистему в целом.

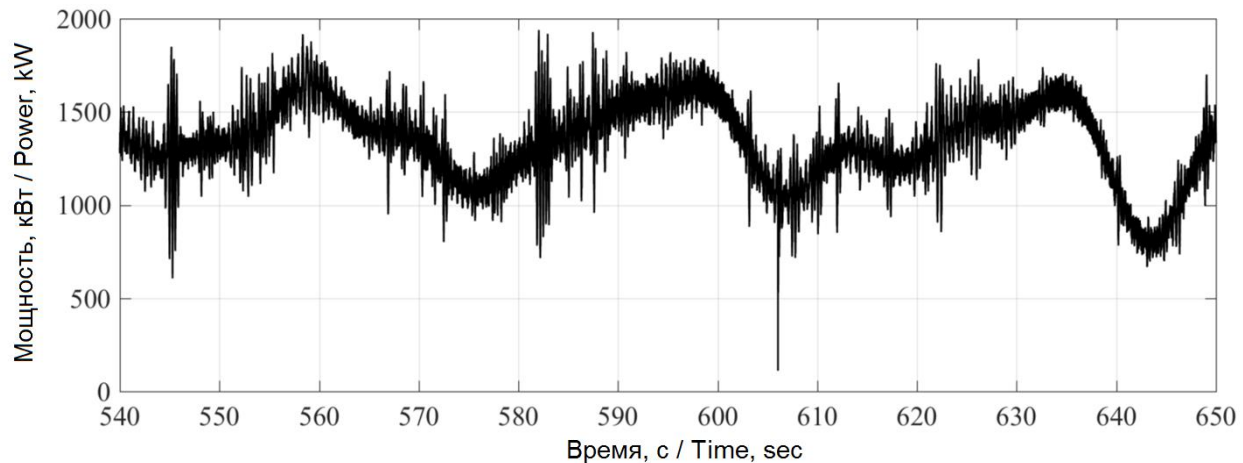


Рис. 10. Переток мощности по линии электропередачи от энергосистемы к каменноугольному разрезу с учетом действия накопителя энергии

Fig. 10. Power flow through transmission line from the power system to the open-pit coal mine taking into account the effect of the ESD

Процедура выбора мощности и энергоемкости НЭ

В формализованном виде описанная выше методика выбора мощности и энергоемкости НЭ сводится к следующей процедуре:

1. Провести экспериментальное исследование нагрузочной диаграммы ГА (или узла нагрузки) в расчетном рабочем режиме.
2. Провести гармонический анализ нагрузочной диаграммы.
3. Выявить гармоники, подлежащие подавлению.
4. Построить диаграмму мощности

подлежащих подавлению гармоник.

5. По диаграмме (п. 4) по максимальному отклонению диаграммы от среднего (или нулевого – в зависимости от решаемой задачи) значения определить минимально необходимую мощность накопителя $P_{\text{нак}}$.

6. По диаграмме (п. 4) построить диаграмму изменения энергии накопителя.

7. По наибольшей разности между максимальным и минимальным значениями энергии по диаграмме (п. 6) определить энергоемкость накопителя $W_{\text{обм}}$.

Заключение

Предложенная методика расчета параметров накопителя позволяет, основываясь на результатах инструментального мониторинга нагрузочной диаграммы объекта обследования, формализовать проце-

дуру определения мощности и обменной энергоемкости НЭ.

Методика апробирована на примере двух объектов, по каждому из которых она позволила сделать выбор параметров



накопителей.

Для автономной электростанции плавкрана выбранный по предложенной методике НЭ позволяет значительно уменьшить установленную мощность генераторного агрегата и снизить расход топлива

Для узла нагрузки с резкопеременным характером потребления методика дает возможность рассчитать параметры НЭ, позволяющие демпфировать НЧК режимных параметров.

Важной является задача синтеза адекватной потенциальным возможностям НЭ системы управления и разработки эффективных алгоритмов и законов управления активной и реактивной мощностью. Особый практический интерес представля-

ет тот факт, что НЭ является многофункциональным элементом энергосистемы, способным кроме управления активной мощностью выполнять функции устройства управления реактивной мощностью, активного фильтра гармоник, а также компенсировать несимметрию напряжений трехфазной сети. Одновременное выполнение НЭ всех этих функций – задача настолько же важная, насколько и сложная.

Актуальными являются вопросы применения НЭ в энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии. В этом случае на НЭ ложится задача согласования двух стохастических графиков – нагрузки и генерации, и в этом случае может быть применена предложенная методика, но с незначительными изменениями.

Библиографический список

1. Концепция развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации [Электронный ресурс]. Министерство энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/9013/74739> (05.03.2018).
2. Бердников Р.Н., Фортов В.Е., Шакарян Ю.Г., Деньщиков К.К. Гибридный накопитель энергии для ЕНЭС на базе аккумуляторов и суперконденсаторов // Энергия единой сети. 2013. № 1. С. 40–51.
3. Zobaа A.F. Energy storage technologies and applications. Rijeka, Croatia: Intech, 2013. 328 p.
4. Глушкин И.З., Ефремов Д.Г., Ефремова И.Ю. Применение накопителей в энергосистеме для целей противоаварийной автоматики // Евразийский научный журнал. 2015. № 11. С. 80–86.
5. Арестова А.Ю., Горте О.И., Хмелик М.С., Кирьянова Н.Г., Гробовой А.А. Накопитель энергии как средство противоаварийного управления на примере сети электроснабжения о. Русский // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2016. № 5 (82). С. 15–22.
6. Алемасов В.А., Борисов А.А., Зырянов В.М. Оценка перспектив снижения расхода топлива в судовой энергосистеме с накопителем энергии // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2011. № 2. С. 215–217.
7. Кононенко В.Ю., Вещунов О.В., Билашенко В.П., Смоленцев Д.О. Эффекты применения накопителей энергии в изолированных энергосистемах России // Арктика: экология и экономика. 2014. № 2 (14). С. 61–66.
8. Горте О.И., Зырянов В.М., Кирьянова Н.Г., Пранкевич Г.А. Метод выбора параметров накопителя энергии при резкопеременной нагрузке // Энергетика глазами молодежи – 2017: материалы VIII Междунар. молодежной науч.-практ. конф. (Самара, 02–06 октября 2017 г.); в 3 т. Самара: Изд-во Самарского государственного технического университета, 2017. Т. 3. С. 135–138.
9. Балуев Д.Ю., Зырянов В.М., Кирьянова Н.Г., Пранкевич Г.А. Применение накопителя энергии для демпфирования колебаний мощности в автономных энергосистемах // Инфраструктурные отрасли экономики: проблемы и перспективы развития: материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 12 мая – 06 июня 2017 г.). Новосибирск: Изд-во ООО «Центр развития научного сотрудничества», 2017. С. 181–187.
10. Kiryanova N.G., Baluev D.Y., Prankevich G.A., Zyryanov V.M. Energy storage device application for load oscillations damping in isolated power systems // Advances in Engineering Research (Actual issues of mechanical engineering (AIME 2017): proceedings of the international conference. 2017. Vol. 133. P. 325–330. DOI: <https://doi.org/10.2991/aime-17.2017.53>.
11. Смоленцев Н.И. Накопители энергии в локальных электрических сетях // Ползуновский вестник. 2013. № 4-2. С. 176–181.
12. Климова Т.Г., Савватин М.В. Анализ влияния периодически меняющейся нагрузки на возникновение низкочастотных колебаний // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем: сборник докладов V Междунар. науч.-техн. конф. (Сочи, 01–05 июня 2015 г.). Сочи, 2015.
13. Литкенс И.В., Пуго В.И. Колебательные свойства электрических систем. М.: Энергоатомиздат, 1988. 216 с.



References

1. *Konceptsiya razvitiya rynka sistem khraneniya elektroenergii v Rossiiskoi Federatsii* [Development concept of the electric energy storage system market in the Russian Federation]. Ministry of Energy of the Russian Federation. Available at: <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/9013/74739> (accessed 5 March 2018).
2. Berdnikov R.N., Fortov V.E., Shakaryan Yu.G., Den'shchikov K.K. Hybrid energy storage for Federal Grid Company based on batteries and supercapacitors. *Energiya edinoi seti* [Energy of Unified Grid]. 2013, no. 1, pp. 40–51. (In Russian).
3. Zoba A.F. Energy storage technologies and applications. Rijeka, Croatia: Intech, 2013, 328 p.
4. Gluskin I.Z., Efremov D.G., Efremova I.Yu. Use of energy storage units for emergency control in the power system. *Evrasiiskii nauchnyi zhurnal* [Eurasian scientific journal]. 2015, no. 11, pp. 80–86. (In Russian).
5. Arestova A.Yu., Gorte O.I., Khmelik M.S., Kir'yanova N.G., Grobovoi A.A. Energy storage devices as a means of emergency control on example of Russky island power supply network. *Avtomatizatsiya i IT v energetike* [Automation and IT in Power Engineering]. 2016, no. 5 (82), pp. 15–22. (In Russian).
6. Alemasov V.A., Borisov A.A., Zyryanov V.M. Evaluation of prospects to reduce fuel consumption in the ship power system with an energy storage unit. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Scientific Problems of Transportation in Siberia and the Far East]. 2011, no. 2, pp. 215–217. (In Russian).
7. Kononenko V.Yu., Veshchunov O.V., Bilashenko V.P., Smolentsev D.O. Effects of energy storage unit application in isolated power systems in Russia. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economy]. 2014, no. 2 (14), pp. 61–66. (In Russian).
8. Gorte O.I., Zyryanov V.M., Kir'yanova N.G., Prankevich G.A. *Metod vybora parametrov nakopitelya energii pri rezkoperemnoy nagruzke* [Selection method of energy storage device parameters under abruptly variable load]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Elektroenergetika glazami molodezhi – 2017"* [Proceedings of VIII International Youth Scientific and Practical Conference "Power Industry: Viewpoint of the Youth- 2017"]. Samara: Samara state technical university Publ., 2017, vol. 3, pp. 135–138. (In Russian).
9. Baluev D.Yu., Zyryanov V.M., Kir'yanova N.G., Prankevich G.A. *Primenenie nakopitelya energii dlya dempfirovaniya kolebaniy moshchnosti v avtonomnykh energosistemakh* [Use of energy storage device to damp power fluctuations in stand-alone power systems]. *Materialy XVIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Infrastrukturnye otrasli ekonomiki: problemy i perspektivy razvitiya"* [Proceedings of XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference "Infrastructural branches of economy: problems and development prospects"]. Novosibirsk: Development Centre of Scientific Collaboration Publ., 2017, pp. 181–187. (In Russian).
10. Kiryanova N.G., Baluev D.Y., Prankevich G.A., Zyryanov V.M. Energy storage device application for load oscillations damping in isolated power systems. *Advances in Engineering Research (Actual issues of mechanical engineering (AIME 2017): proceedings of the international conference. 2017, vol. 133, pp. 325–330. DOI: <https://doi.org/10.2991/aime-17.2017.53>*
11. Smolencev N.I. *Nakopiteli energii v lokal'nykh elektricheskikh setyakh* [Energy storage devices in local power systems]. *Polzunovskii vestnik* [Polzunovsky vestnik]. 2013, no. 4-2, pp. 176–181. (In Russian).
12. Klimova T.G., Savvatina M.V. Analiz vliyaniya periodicheski menyayushcheysya nagruzki na vozniknovenie nizkochastotnykh kolebaniy [Analysis of the effect of periodically changing load on the occurrence of low-frequency oscillations]. *Sbornik dokladov V Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Sovremennye napravleniya razvitiya sistem relejnoi zashchity i avtomatiki energosistem"* [Proceedings of the 5th International Scientific and Technical Conference "Modern Development Trends of Power Network Relay Protection and Automation Systems"]. Sochi, 2015. (In Russian).
13. Litkens I.V., Pugo V.I. *Kolebatel'nye svoystva elektricheskikh sistem* [Oscillatory properties of electrical systems]. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1988, 216 p. (In Russian).

Критерии авторства

Авторы заявляют о равном участии в получении и оформлении научных результатов и в равной мере несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authorship criteria

The authors declare equal participation in obtaining and formalization of scientific results and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article