

УДК 621.316.11

Н.Д. Кузнецова, С.В. МитрофановНовосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ
ТИПОВ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В АВТОНОМНЫХ
СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Рассматривается эффективность применения аккумуляторных батарей в качестве средства покрытия пиков мощности суточного графика нагрузки автономных систем электроснабжения (АСЭС). При этом источников энергии в автономной системе может быть один или несколько. При реализации автономного электроснабжения от нескольких источников питания актуальной становится задача оптимального распределения источников энергии в покрытии графика нагрузки, а также степени загрузки электростанций во времени. Максимально эффективного использования выбранных источников энергии можно добиться, применяя блок накопителей электроэнергии. Для эффективной работы АСЭС необходимо выполнение следующего условия: баланса вырабатываемой и потребляемой мощности. Однако наличие в системе блока аккумуляторных батарей приводит к тому, что генерация и потребление электроэнергии могут не совпадать. В этом случае появляется возможность запасать излишки энергии в часы, когда нагрузка уменьшается, и выдавать дополнительную энергию в сеть в периоды пика нагрузки. Такая система электроснабжения называется гибридной. Экономия топлива, уменьшение затрат на его транспортировку, увеличивающиеся с удаленностью от центральных систем энергообеспечения, снижение шума, поскольку генераторы будут включаться лишь в удобное для потребителя время и, безусловно, увеличение надежности всей системы электроснабжения – вот основные преимущества применения гибридной системы. В первой части данной статьи приведена актуальность данной проблемы и рассмотрены основные теоретические положения. Во второй части произведено сравнение вариантов различных накопителей энергии, различных по типу аккумуляторных элементов и выходному напряжению.

Ключевые слова: автономная система электроснабжения, мини-ГЭС, аккумуляторные батареи, электрохимические накопители энергии, технико-экономическое сравнение.

N.D. Kuznetsova, S.V. Mitrofanov

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF SEVERAL TYPES OF STORAGE BATTERIES IN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS

In this article, will be considered the efficiency of using battery batteries as a means of covering the peaks of the power of the daily load profile of autonomous power supply systems. However, there can be one or more sources of energy in your autonomous system. When implementing an autonomous power supply from several power supplies, the task of optimizing the distribution of energy sources in the coverage of the load schedule, as well as the degree in loading of power plants in time, becomes topical. The maximum effective using of selected energy sources can be achieved by using a power storage unit. For the effective operation of the plant it is necessary to fulfill the following condition. The balance of generated and consumed power, but the presence of a battery pack in the system leads to the fact that the generation and consumption of electricity may not coincide. In this case, it becomes possible to store excess energy in the hours when the load decreases, and provide additional energy to the network during periods of peak load. Such a power supply system is called a hybrid system. Fuel economy, reduction of transportation costs, which increase at a distance from the central power supply systems, noiselessness, since generators will be switched on only at a convenient time for the consumer and, undoubtedly, increase the reliability of the entering power supply system, are the main advantages of using the hybrid system. In the first part of this article, is given the urgency of this problem and are considered the main theoretical positions. In the second part of the article, a comparison is made of the variants of different energy storage devices, different in type of battery cells and output voltage.

Keywords: autonomous power supply system, Mini HPP, rechargeable batteries, electrochemical energy storage, feasibility comparison.

Большая часть территории России находится в зоне децентрализованного электроснабжения. Поэтому весьма актуальной является задача электроснабжения небольших населенных пунктов, особенно децентрализованных, в которых отсутствует централизованное электроснабжение [1]. Однако следует отметить, что значительная отдаленность от линий электропередачи, высокая рассредоточенность на большой территории, малая мощность делают подключение к унитарной энергосистеме неэффективным с точки зрения периода окупаемости.

Вследствие этого в значительно отдаленных поселках электроснабжение потребителей осуществляется автономными электростанциями. В настоящее время существует огромное множество вариантов реализации автономного электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Источников энергии в автономной системе может быть один или несколько [2]. Ими могут быть: жидко-топливный

генератор, фотоэлектрическая батарея, ветроэлектрическая установка или мини-ГЭС. Однако следует учитывать, что в системах на возобновляемых источниках энергии, в силу непостоянства возобновляемого ресурса, аккумуляторная батарея – необходимый элемент [3].

Задача оптимизации автономной системы электроснабжения (АСЭС), использующей ВИЭ и накопители энергии, является в настоящее время весьма актуальной. Опыт российских и зарубежных исследовательских коллективов показывает, что комбинированное применение ВИЭ и накопителей энергии в АСЭС является экономически эффективным способом энергообеспечения потребителей. В сравнении с дизельными электростанциями комбинированное применение ВИЭ и накопителей энергии в несколько раз уменьшает выбросы углекислого газа, значительно сокращает зависимость от привозного топлива, улучшает экологическую обстановку [3, 4]. Вопросам моделирования и оптимизации АСЭС, использующих ВИЭ и накопители энергии, посвящено значительное количество работ, выполненных как в нашей стране, так и за рубежом [3, 5, 6].

В данной работе будут рассмотрены электрохимические накопители энергии. Электрохимические накопители энергии, в свою очередь, бывают: натрий-серные (NaS); ванадий-редоксные (VRB); свинцово-кислотные (Pb); цинк-бромидные (ZnBr); литий-ионные (Li-ion).

В данной работе произведён анализ литий-ионных и свинцово-кислотных аккумуляторных батарей [7, 8].

Все расчеты велись для поселка Уймень (Алтайский край). Рассмотрен вариант автономного электроснабжения поселка на базе мини-ГЭС, так как рядом с поселком протекает река Уймень. Для покрытия дефицита мощности и электроэнергии в зимние месяцы, особенно в часы пиковой нагрузки, используется блок аккумуляторных батарей, а также для покрытия недостающей мощности МГЭС в часы пик в работу включается дизельная электростанция.

Отметим также, что применение АКБ совместно с дизель-генераторными установками очень эффективно. Это обеспечивает работу дизель-генераторных установок с постоянной, наиболее экономичной нагрузкой. Результаты – снижение затрат топлива в среднем на 15–20 %, улучшение экологической обстановки [9].

При реализации автономного электроснабжения от нескольких источников встаёт задача распределения режима работы и степени загрузки электростанций во времени [10].

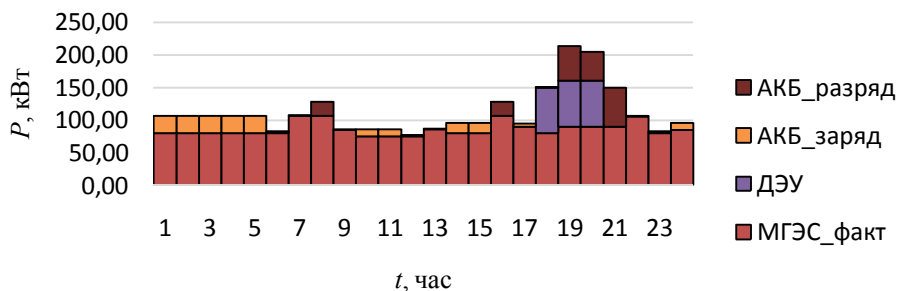


Рис. Покрытие суточного графика нагрузки поселка Уймень различными источниками электроэнергии

Как видно из рисунка, МГЭС работает в базовой части графика нагрузки с целью наибольшего вытеснения дизельной электростанции из покрытия графика нагрузки. ДЭС включается в часы максимальной нагрузки. Обычно это часы вечернего пика. ДЭС работает с высокой степенью загрузки, чтобы избежать неэффективного потребления топлива, а излишки электроэнергии расходуются на заряд аккумуляторных батарей. В периоды, когда потребление превышает мощность работы МГЭС, а включение ДЭС нецелесообразно, пики мощности покрываются с помощью аккумуляторных батарей. Суммарная недостающая мощность МГЭС и ДЭУ составила 209 кВт.

Для эффективной работы АСЭС необходимо выполнение следующего условия: баланс вырабатываемой и потребляемой мощности. Однако наличие в системе блока аккумуляторных батарей приводит к тому, что генерация и потребление электроэнергии могут не совпадать. В этом случае появляется возможность запасать излишки энергии в часы, когда нагрузка уменьшается, и выдавать дополнительную энергию в сеть в периоды пика нагрузки [11]. Это условие представлено следующим выражением:

$$0 = P_{\text{ген}} - P_{\text{нагр}} \pm P_{\text{АКБ}},$$

где $P_{\text{нагр}}$ – активная и реактивная мощность нагрузки, $P_{\text{ген}}$ – мощность генерирующих установок, $P_{\text{АКБ}}$ – активная мощность, выдаваемая или потребляемая аккумуляторными батареями [12].

Выполнение этого условия обязательно при покрытии суточного графика нагрузки. Оно выступает в роли технологического ограничения для режима работы автономной системы электроснабжения.

Расчет ёмкости аккумуляторных батарей. Требуемая емкость аккумуляторных батарей определяется по следующему выражению [13]:

$$C_{\Sigma \text{АКБ}} = \frac{W}{U \cdot k_{\text{раз}}} = \frac{209,24 \cdot 8}{24 \cdot 0,7} = 99,635 \text{ кА} \cdot \text{ч},$$

где W – объем электроэнергии, не покрываемый МГЭС, кВт·ч; U – напряжение аккумуляторной батареи, равное 12,24 или 48 В; $k_{\text{раз}}$ – коэффициент, учитывающий глубину разряда аккумуляторной батареи (принимается равным 0,7 в данной задаче).

Довольно часто для обеспечения требуемой ёмкости недостаточно одной аккумуляторной батареи. В этом случае отдельные аккумуляторы соединяются последовательно или параллельно в общий блок АКБ. Параллельное соединение аккумуляторов позволяет увеличить емкость, не изменяя напряжения на выходящих зажимах. Последовательное соединение увеличивает напряжение на зажимах аккумулятора, однако не влияет на величину емкости [14, 15]. Необходимое число аккумуляторов рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{C_{\Sigma \text{АКБ}}}{C_i} = \frac{99,635}{0,7} = 142,34 \text{ шт.},$$

где C_i – ёмкость одного аккумулятора.

Однако следует заметить, что вариант с 12 В не рассматривается, так как он не соответствует большой мощности системы. АКБ напряжением 12 В применяются для систем с мощностью не более нескольких десятков киловатт (таблица).

Технические характеристики аккумуляторных батарей

Тип аккумуляторной батареи		Li-ion (литий-ионные)	Pb (свинцово-кислотные)
Марка		LT-LFP 700P	7 GroE 700
Номинальная емкость, Ач		700,00	700,00
Номинальное напряжение, В		3,20	2,00
Количество параллельных элементов, шт	24 В	142,34	142,34
	48 В	71,17	71,17
Количество последовательных элементов, шт	24 В	7,50	12,00
	48 В	15,00	24,00
Количество циклов (заряд/разряд)		3000,00	1500,00
Обслуживаемые/Необслуживаемые		Нет	Да
Стоимость одной, руб.		49 000,00	31 350,00

По приведенным техническим характеристикам аккумуляторных батарей можно отметить следующие особенности. Литий-ионные АКБ выигрывают у свинцово-кислотных АКБ по количеству циклов, по количеству последовательных элементов, а также они не требуют обслуживания. Помимо этого, литий-ионные АКБ могут утилизироваться без предварительной переработки, и у них быстрый процесс заряда батарей – до 90 % емкости за 30–40 минут [16]. При всем при этом они не лишены недостатков. У литий-ионных АКБ достаточно быстрое старение аккумулятора – большинство аккумуляторов резко снижает свои характеристики при хранении или использовании более 5 лет; есть вероятность взрыва при механическом повреждении или перезарядке аккумулятора; для создания аккумуляторных батарей требуется сложная система управления батареями; они имеют относительно высокую стоимость. Свинцово-кислотные АКБ, в свою очередь, имеют более низкую стоимость, у них относительно простая система обслуживания, четкая отработанная технология, невысокий уровень саморазряда – 3–10 % в месяц, тогда как у литий-ионных уровень саморазряда – до 5 % в месяц. Однако к ним предъявляются жесткие требования по экологической безопасности при утилизации, у них малое количество циклов – до 2000. Исходя из рассмотренных особенностей АКБ, в рамках заданного объекта принимается решение по установлению свинцово-кислотных АКБ.

Технологии накопления энергии развиваются высокими темпами, накопители энергии находят все более широкое применение в практике регулирования и управления режимами электроэнергетических систем. Малое время отклика, значительные величины мощности и энергоемкости открывают большие возможности применения накопителей для управления как переходными, так и установившимися режимами электроэнергетической системы. По оценкам экспертов, в ближайшие 10 лет рынок накопителей энергии будет расти со среднегодовыми темпами, превышающими 30 %, с тенденцией к снижению удельной стоимости запасенной энергии. Рассмотренные в статье типы накопителей энергии не являются исчерпывающими. В процессе исследований могут появиться новые виды (технологии) накопления, также как и совершенно новые области их применения.

Библиографический список

1. Концепция развития и использования возможностей малой и нетрадиционной энергетики в энергетическом балансе России / Министерство топлива и энергетики РФ. – М., 1994. – 121 с.
2. Возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]. – URL: <http://re.energybel.by> (дата обращения: 12.12.2017).
3. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
4. Карамов Д.Н. Актуальность применения возобновляемых источников энергии в децентрализованных населенных пунктах России на примере Ленского района республики Саха (Якутия) // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 11(82). – С. 279–283.
5. Суржикова О.А., Лукутин Б.В. Возобновляемые источники энергии. – Berlin: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co, 2012. – 238 с.
6. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2008. – 186 с.
7. Каталог компании «Лиотех» энергии [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.liotech.ru/> (дата обращения: 12.12.2017).
8. Свинцово кислотные аккумуляторные батареи [Электронный ресурс]. – URL: http://www.akku-vertrieb.ru/upload/iblock/aa0/solar_may2016.pdf (дата обращения: 12.12.2017).
9. Митрофанов С.В., Зубова Н.В. Автономные системы электроснабжения: методич. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 72 с.
10. Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б. Фазорегулируемые автобалластные системы стабилизации выходных параметров микроГЭС // Известия Томск. политехн. ун-та. – 2011. – Т. 318, № 4. – С. 113–118].
11. Удалов С.Н. Возобновляемая энергетика: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 607 с.
12. Применение буферных накопителей энергии для повышения энергоэффективности ветродизельных электростанций / Б.В. Лукутин, С.Г. Обухов, Е.А. Шутов, З.П. Хошнау // Электричество. – 2012. – Вып. 6. – С. 24–29.

13. Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б. Способы снижения расхода топлива дизельных электростанций // Современные проблемы науки и образования. – 2013.

14. Электроэнергетика [Электронный ресурс]. – URL: <http://forca.com.ua/arhiv/ohorona-praci/ohrana-truda-rabotayuschih-velekt-roustanovkah-selskogo-hozyaistva.html> (дата обращения: 12.12.2017).

15. Силовые преобразователи в электроснабжении [Электронный ресурс]. – URL: http://www.aku-vertrieb.ru/upload/iblock/aa0/solar_may2016.pdf (дата обращения: 12.12.2017).

16. Справочник по проектированию электроснабжения городов / сост. В.А. Козлов. – Л.: Энергоатомиздат, 1998.

References

1. Kontseptsiiia razvitiia i ispol'zovaniia vozmozhnostei maloi i netraditsionnoi energetiki v energeticheskom balanse Rossii [The concept of development and use of small and non-conventional energy in the energy balance of Russia]. Moscow: Ministerstvo topliva i energetiki Rossiiskoi Federatsii, 1994. 121 p.

2. Vozobnovliaemye istochniki energii [Возобновляемые источники энергии], available at: <http://re.energybel.by> (accessed 12 December 2017).

3. Lukutin B.V., Surzhikova O.A., Shandarova E.B. Vozobnovliaemaia energetika v detsentralizovannom elektrosnabzhenii: monografiia [Renewable energy in decentralized electricity supply: monograph]. Moscow: Energoatomizdat, 2008. 231 p.

4. Karamov D.N. Aktual'nost' primeneniia vozobnovliaemykh istochnikov energii v detsentralizovannykh naselennykh punktakh Rossii na primere Lenskogo raiona respubliky Sakha (Iakutiia) [Karamov D.N. The relevance of the use of renewable energy sources in decentralized settlements of Russia of the example of the Lensky District of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 11(82), pp. 279-283.

5. Surzhikova O.A., Lukutin B.V. Vozobnovliaemye istochniki energii [Renewable energy sources]. Berlin: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co, 2012. 238 p.

6. Lukutin B.V. Vozobnovliaemye istochniki elektroenergii: uchebnoe posobie [Renewable energy sources: textbook]. Tomsk: Tomskii politekhnicheskii universitet, 2008. 186 p.

7. Katalog kompanii «Liotech» energii [Company catalog «Liotech» of energy], available at: <http://www.liotech.ru/> (accessed 12 December 2017).

8. Svintsovo kislotnye akkumuliatornye batarei [Lead-acid storage batteries, available at: http://www.akku-vertrieb.ru/upload/iblock/aa0/solar_may2016.pdf (accessed 12 December 2017).

9. Udalov S.N. Vozobnovliaemaia energetika: uchebnoe posobie [Renewable energy: textbook]. Novosibirsk: Novosibirskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2016. 607 p.

10. Lukutin B.V., Shandarova E.B. Fazoreguliruemye avtoballastnye sistemy stabilizatsii vykhodnykh parametrov mikroGES [Phase-regulated autoballast systems for stabilizing output parameters of micro HPPs] *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 318, no. 4, pp. 113-118].

11. Udalov S.N. Vozobnovliaemaia energetika: uchebnoe posobie [Renewable energy: textbook]. Novosibirsk: Novosibirskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2016. 607 p.

12. Lukutin B.V., Obukhov S.G., Shutov E.A., Khoshnau Z.P. Priimenenie bufernykh nakopitelei energii dlia povysheniia energoeffektivnosti vetrodizel'nykh elektrostantsii [The use of buffer energy stores to improve the energy efficiency of wind farms]. *Elektrichestvo*, 2012, iss. 6, pp. 24-29.

13. Lukutin B.V., Shandarova E.B. Sposoby snizheniia raskhoda topliva dizel'nykh elektrostantsii [Ways to reduce fuel consumption of diesel power plants]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2013, no. 2, available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=8615> (accessed 24 February 2018).

14. Elektroenergetika [Power engineering], available at: <http://forca.com.ua/arhiv/ohorona-praci/ohrana-truda-rabotayuschih-velektrostanovkah-selskogo-hozyaistva.html> (accessed 12 December 2017).

15. Kozlov V.A. Spravochnik po proektirovaniu elektrosnabzheniia gorodov [A handbook on the Design of Urban Electricity]. Leningrad: Energoatomizdat, 1998.

16. Silovye preobrazovateli v elektrosnabzhenii [Power converters in electric power supply, available at: http://www.akku-vertrieb.ru/upload/iblock/aa0/solar_may2016.pdf (accessed 12 December 2017).

Сведения об авторах

Кузнецова Наталья Дмитриевна (Новосибирск, Россия) – студентка Новосибирского государственного технического университета (630073, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, e-mail: nata.20.07@mail.ru).

Митрофанов Сергей Владимирович (Новосибирск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы электроснабжения предприятий» Новосибирского государственного технического университета (630073, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, e-mail: Metrofan_Serg@mail.ru).

Сведения об авторах

Kuznetsova Natalia Dmitrievna (Novosibirsk, Russian Federation) is a Student Novosibirsk State Technical University (630073, Novosibirsk, pr. Karl Marx, 20, e-mail: nata.20.07@mail.ru).

Mitrofanov Sergey Vladimirovich (Novosibirsk, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Power Supply Systems of Enterprises" Novosibirsk State Technical University (630073, Novosibirsk, pr. Karl Marx, 20, e-mail: Metrofan_Serg@mail.ru).

Получено 30.01.2018