

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 621.311

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_64

Разработка электрической схемы подключения системы накопления энергии к воздушной линии 0,38 кВ

Евгений Александрович Извеков^{1✉}, Игорь Вячеславович Лакомов²,
Сергей Николаевич Сазонов³

^{1, 2}Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия

¹izvek@yandex.ru[✉]

Аннотация. Современное развитие системы электроснабжения потребителей неразрывно связано с применением систем накопления энергии (СНЭ). Возможны различные варианты применения таких систем, одним из которых является использование для резервирования социально значимых объектов в сельской местности, характеризующейся низким уровнем надежности электроснабжения. Сетевые организации обычно решают вопрос обеспечения резервного источника питания таких потребителей с помощью строительства второй, резервной, линии электропередачи либо с помощью дизель-генераторов. Альтернативным вариантом решения является применение накопителя энергии в качестве резервного источника питания. Рассмотрены варианты резервирования питания, применяемые сетевыми организациями для повышения надежности электроснабжения социально значимых объектов в сельской местности, их недостатки. Предложен альтернативный вариант резервирования питания с применением СНЭ. Разработана электрическая схема подключения СНЭ на параллельную работу к воздушной линии 0,38 кВ. Описаны: элементный состав предложенной электрической схемы, распределительного щита, контейнера системы накопления энергии; варианты и режимы работы предложенной электрической схемы при питании потребителя только от ВЛ 0,38 кВ, от ВЛ 0,38 кВ с подпиткой от СНЭ, только от СНЭ и в режиме зарядки батареи. Предложены мероприятия по защите схемы от токов короткого замыкания и перегрузки. Установлено, что применение системы накопления энергии, подключенной к ВЛ 0,38 кВ по представленной схеме, является реальной альтернативой строительства дополнительной линии электропередачи или применения дизель-генератора в качестве резервного источника питания социально значимого потребителя, расположенного в сельской местности. Также установлено, что применение систем накопления энергии в сельских распределительных сетях открывает новые возможности повышения надежности и качества управления режимами, а также улучшения технико-экономических показателей их функционирования.

Ключевые слова: электрическая схема, электрическая сеть, система накопления электрической энергии (СНЭ), воздушная линия (ВЛ), режим работы, резервное питание

Для цитирования: Извеков Е.А., Лакомов И.В., Сазонов С.Н. Разработка электрической схемы подключения системы накопления энергии к воздушной линии 0,38 кВ // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 2 (73). С. 64–70. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_64-70.

ELECTROTECHNOLOGIES AND ELECTRIC EQUIPMENT IN AGRICULTURE (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Electrical circuit design for coupling an energy storage system to a 0.38 kV overhead line

Evgeniy A. Izvekov^{1✉}, Irog V. Lakomov², Sergey N. Sazonov³

^{1, 2} Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

³All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia

¹izvek@yandex.ru[✉]

Abstract. Modern development of the power supply system for consumers is inextricably linked with the use of electric energy storage systems (EESS). Various applications of such systems are possible, one of which is the use for reserving socially significant objects in rural areas due to low level of reliability of power supply. Network organizations usually solve the issue of providing reserve power source for such consumers by building a second, reserve power transmission line, or using diesel generators. An alternative solution is to use an energy storage device as reserve power source. The authors considered options of power reservation used by network organizations to improve the reliability of power supply to socially significant objects in rural areas, their disadvantages; proposed an alternative option of power reserve with the use of EESS; developed an electrical

circuit for connecting a EESS for parallel operation to an overhead line of 0.38 kV; described: elemental composition of the proposed electrical circuit, a switchboard, and an energy storage system container, patterns and modes of operation of the proposed electrical circuit when the consumer is supplied only from the 0.38 kV overhead line, from the 0.38 kV overhead line with injection from EESS, only from EESS, and in battery charging mode. Measures to protect the circuit from short-circuit and overload currents are proposed. It is established that the use of an energy storage system connected to a 0.38 kV overhead line according to the presented scheme is a real alternative to the construction of an additional power transmission line or the use of a diesel generator as a backup reserve power source for a socially significant consumer located in rural areas. It is also established that the use of energy storage systems in rural distribution networks opens up new opportunities to improve the reliability and quality of regime management, as well as technical and economic indicators of their functioning.

Keywords: electrical diagram, electric network, electric energy storage system (EESS), operating mode, reserve power

For citation: Izvekov E.A., Lakomov I.V., Sazonov S.N. Electrical circuit design for coupling an energy storage system to a 0.38 kV overhead line. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15 (2):64-70. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_64-70.

Современное развитие системы электроснабжения потребителей неразрывно связано с применением систем накопления энергии (СНЭ) [3, 4], при этом возможны самые различные варианты применения таких систем [5, 7, 8], одним из них является использование для резервирования социально значимых объектов в сельской местности, характеризующейся низким уровнем надежности электроснабжения. Социально значимыми объектами являются учреждения, которые не относятся к I или II категории надежности, но которые нуждаются в обеспечении дополнительным резервным источником питания [1]. Это, например, школы, сельские медицинские учреждения, избирательные участки, детские сады.

Сетевые организации обычно решают вопрос обеспечения резервного источника питания таких потребителей с помощью строительства второй, резервной линии электропередачи, либо с помощью дизель-генераторов. Зачастую строительство второй линии очень затратно, а дизель-генератор – это производство электроэнергии, требующее первичного ресурса – топлива, что тоже недешево, а также неэкологично [9, 10].

Одним из вариантов решения этой проблемы является применение накопителя энергии в качестве резервного источника питания. Накопитель в ночные часы будет потреблять электроэнергию из сети, а в дневные при отключении основного питания отдавать. В итоге количество электроэнергии на счетчике у потребителя останется неизменным, и сетевая организация не понесет никаких дополнительных затрат [6].

Ниже на рисунке представлен разработанный вариант электрической схемы подключения СНЭ на параллельную работу к ВЛ 0,38 кВ, предназначенный для резервного питания социально значимого потребителя в сельской местности.

Схема состоит из:

- распределительного щита DQ1N, устанавливаемого на ближайшей к потребителю опоре в непосредственной близости от существующего шкафа учета;
- комплектного контейнера СНЭ, устанавливаемого на некотором отдалении от опоры, в месте, доступном для свободного подъезда и подхода для проведения беспрепятственного технического обслуживания и ремонта СНЭ.

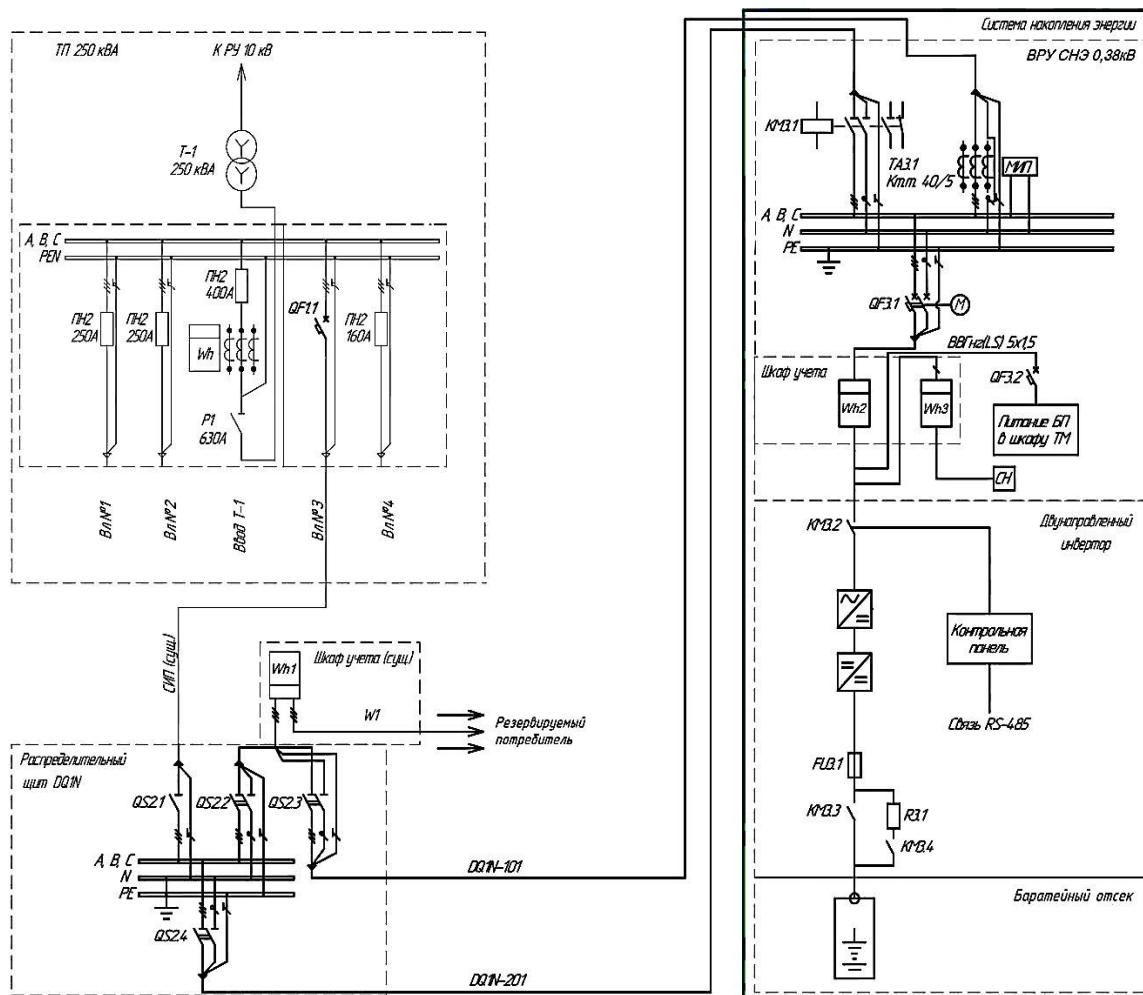
Существующий спуск от магистрального провода типа СИП-2 заводится в распределительный щит DQ1N, устанавливаемый на существующую опору. Подключается СНЭ к распределительному щиту (РЩ) двумя кабельными линиями ~380 В через развилку выключателей нагрузки.

Для обеспечения требований быстрodeйствия, чувствительности, надежности и селективности защиты в соответствующий фидер ТП устанавливается трехполюсный автоматический выключатель с электронным расцепителем QF1.1.

В распределительном щите DQ1N установлены четыре выключателя нагрузки QS2.1, QS2.2, QS2.3 и QS2.4, предназначенные для ручного (силами оперативного персонала) включения/отключения СНЭ.

Коммутация выключателей позволяет переводить схему в один из следующих вариантов работы:

- 1) потребитель подключен только к ВЛ 0,38;
- 2) потребитель одновременно подключен к ВЛ 0,38 кВ и к системе накопления энергии (СНЭ).



Электрическая схема подключения СНЭ

Для приведения схемы в первый вариант работы необходимо включить выключатели QS2.1, QS2.2 и отключить выключатели QS2.3 и QS2.4. При этом СНЭ будет отключена, а питание потребителя будет осуществляться от ВЛ 0,38 кВ. Этот вариант используется в ремонтном режиме (при работе в этом режиме осуществляется ремонт и техническое обслуживание СНЭ).

Для приведения схемы во второй вариант работы необходимо включить выключатели QS2.1, QS2.3, QS2.4 и отключить выключатель QS2.2. При этом СНЭ будет включена в работу, питание потребителя будет осуществляться как от ВЛ 0,38 кВ, так и (при необходимости) от СНЭ. Этот режим следует рассматривать как основной рабочий, когда СНЭ выполняет свои основные функции по поддержанию качественного и бесперебойного электроснабжения резервируемого потребителя.

К распределительному щиту DQ1N подключены четыре линии электропередач: питающая ВЛ 0,38 кВ, выполненная проводом СИП-2 3хXX+1хXX, две кабельные линии DQ1N-101 и DQ1N-201, соединяющие распределительный щит с СНЭ, линия W1, питающая через шкаф учета, выполненная проводом СИП-2 4хXX+1хXX.

В состав контейнера системы накопления энергии входит:

- вводно-распределительное устройство ВРУ СНЭ 0,38 кВ;
- двунаправленный инвертор;
- батарейный кабинет;
- шкаф телеметрии.

Вводно-распределительное устройство предназначено для приема электроэнергии от питающей ВЛ 0,38 кВ и выдачи мощности СНЭ потребителю. В состав устройства входят шины А, В, С, N, PE, контактор КМ3.1, три трансформатора тока ТА3.1 с коэффициентом трансформации 40/5, предназначенные для подключения многофункционального измерительного преобразователя МИП, автоматический выключатель с моторным приводом QF3.1, шкаф учета с двумя счетчиками электроэнергии Wh2 и Wh3. Для учета электроэнергии, потребляемой СНЭ, в шкафу учета устанавливается микропроцессорный счетчик прямого включения Меркурий 236 ART-01 PQRS, а для учета электроэнергии, потребляемой системой собственных нужд, – микропроцессорный счетчик прямого включения Меркурий 203.2Т RBO, измеряющий активную, реактивную электроэнергию и мощность в одном направлении.

Двунаправленный инвертор включает в себя непосредственно инверторно-выпрямительное электронное устройство, выполненное на силовых IGBT транзисторах, устройство DC/DC преобразования, контакторы КМ3.2, КМ3.3, КМ3.4, резистор ограничения тока заряда батареи R3.1, предохранитель FU3.1, предназначенный для защиты батареи от токов короткого замыкания, контрольную панель для контроля и программирования режимов и параметров работы инвертора.

Батарейный отсек представляет собой отдельное помещение, в котором расположена литий-ионная аккумуляторная батарея.

В шкафу телемеханики размещается программно-технический комплекс системы телемеханики (ТМ), включающий в себя контроллеры сбора, обработки, хранения и передачи сигналов телеуправления и телеизмерения, а также кабельные связи, измерительные преобразователи и модули контроля состояния и управления оборудованием.

Для защиты цепей инверторно-выпрямительного преобразователя, цепей шкафа учета и цепей собственных нужд от токов короткого замыкания и перегрузки предназначен автоматический выключатель QF3.1, для защиты аккумуляторной батареи от токов короткого замыкания – предохранитель FU3.1.

Для работы контейнера СНЭ требуются расходы на собственные нужды, а именно – на освещение, отопление и вентиляцию контейнера. Учет электроэнергии, потребленной на собственные нужды, осуществляется счетчиком Wh3.

Схема предусматривает четыре режима работы:

- 1) питание потребителя только от ВЛ 0,38 кВ;
- 2) совместный режим питания потребителя от ВЛ 0,38 кВ с подпиткой от СНЭ;
- 3) питание потребителя от СНЭ;
- 4) режим зарядки батареи.

В первом режиме работы электроэнергия от питающей ВЛ 0,38 кВ через включенные выключатели QS2.1, QS2.2 попадает в шкаф учета, проходит через счетчик электроэнергии Wh1, линию электропередач W1 и далее поступает к потребителю. В этом режиме СНЭ отключена выключателями QS2.3, QS2.4. Так как питание потребителя осуществляется только от ВЛ 0,38 кВ, этот режим является ремонтным (при работе в этом режиме проводится ремонт и техническое обслуживание СНЭ). Включение этого режима производится вручную силами оперативного персонала путем коммутации выключателей в распределительном щите.

Второй режим является нормальным режимом работы системы. Электроэнергия поступает к потребителю от питающей ВЛ 0,38 кВ через выключатели QS2.1, QS2.4, кабельную линию DQ1N-201, контактор КМ3.1, шины ВРУ СНЭ 0,38 кВ, кабельную линию DQ1N-101, выключатель QS2.3, попадает в шкаф учета, проходит через счетчик электроэнергии Wh1, линию электропередач W1 и далее поступает к потребителю.

На шинах ВРУ СНЭ 0,38 кВ с помощью многофункционального измерительного преобразователя МИП происходит оценка качественных показателей электроэнергии. В случае отклонения показателей качества электроэнергии от значений, установленных стандартом, контроллер управления подает сигнал на включение контактора КМ3.2, и в работу включается инверторно-выпрямительный преобразователь с аккумуляторной батареей.

Энергия от аккумуляторной батареи подпитывает потребителя, проходя при этом путь от батареи через включенный контактор КМ3.3, устройство DC/DC, непосредственно инвертор, контактор КМ3.2, счетчик Wh2, автоматический выключатель QF3.1 и далее на шины ВРУ СНЭ 0,38 кВ. За счет подпитки энергией от аккумуляторной батареи показатели качества электроэнергии на шинах ВРУ СНЭ 0,38 кВ восстанавливаются до нормативных значений.

На шинах ВРУ СНЭ 0,38 кВ происходит объединение потоков мощности от питающей ВЛ 0,38 кВ и подпитывающего потока, сгенерированного СНЭ. Объединенный поток мощности поступает по кабельной линии DQ1N-101, выключатель QS2.3, через счетчик электроэнергии Wh1, линию электропередач W1 к потребителю. В этом режиме инверторно-выпрямительный преобразователь и аккумуляторная батарея работают периодически, по необходимости, при отклонении качества напряжения у потребителя от нормативных значений [2]. Если качество напряжения в норме, то контроллер отключает контактор КМ3.2, при этом питание потребителя осуществляется только от ВЛ 0,38 кВ, а преобразователь переходит в режим мониторинга сети.

В случае отключения системы от питающей линии ВЛ 0,38 кВ вследствие аварии, ремонта на ВЛ или иных причин, схема переходит в третий режим – режим питания потребителя только от СНЭ. При этом отключается контактор КМ3.1, а инверторно-выпрямительный преобразователь включается на полную мощность, и энергия аккумуляторной батареи через включенный контактор КМ3.3, устройство DC/DC, инвертор, контактор КМ3.2, счетчик Wh2, автоматический выключатель QF3.1, шины ВРУ СНЭ 0,38 кВ, кабельную линию DQ1N-101, выключатель QS2.3, через счетчик электроэнергии Wh1 и линию электропередач W1 поступает к потребителю. При появлении напряжения в кабельной линии DQ1N-201 срабатывает датчик напряжения, контроллер замыкает контактор КМ3.1, тем самым возвращая схему во второй режим работы – режим питания потребителя от ВЛ 0,38 кВ с подпиткой от СНЭ.

Во втором режиме работы схемы, при условии высокого качества электроэнергии, поступающей от питающей ВЛ 0,38 кВ, то есть при отсутствии необходимости подпитки потребителя от батареи, контроллер может перевести схему в четвертый режим работы – режим зарядки батареи. В этом случае питание потребителя сохраняется по описанной выше схеме, а инверторно-выпрямительный преобразователь переходит в режим выпрямления поступающего из сети тока. При этом электроэнергия от шин ВРУ СНЭ 0,38 кВ через автоматический выключатель QF3.1, счетчик Wh2, контактор КМ3.2, выпрямитель, устройство преобразования DC/DC, резистор ограничения зарядного тока R3.1, контактор КМ3.4 поступает в аккумуляторную батарею, где происходит ее преобразование в химическую энергию заряда батареи. Контроллер может быть запрограммирован на включение данного режима в определенное время суток, например в ночные часы, когда стоимость электроэнергии минимальна.

Выводы

Применение СНЭ, подключенной к ВЛ 0,38 кВ по представленной схеме, является реальной альтернативой строительства дополнительной линии электропередачи или применения дизель-генератора в качестве резервного источника питания социально значимого потребителя, находящегося в сельской местности.

Применение СНЭ в сельских распределительных сетях открывает новые возможности повышения надежности и качества управления режимами, а также улучшения технико-экономических показателей их функционирования, что хорошо согласуется с современными потребностями развития энергетической отрасли в рамках реализации концепции Smart Grid (интеллектуальные сети электроснабжения), подразумевающей внедрение технологий и оборудования, позволяющего автоматически повышать эффективность, надежность, экономичность, а также устойчивость производства, распределения и потребления электроэнергии.

Список источников

1. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. 2-е изд. Ростов н/Д: Феникс, 2008. 720 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Москва: Стандартинформ, 2014. 16 с.
3. ГОСТ Р 58092.3.1-2020. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Проектирование и оценка рабочих параметров. Общие требования. Москва: Стандартинформ, 2020. 39 с.
4. Гужавина В.В., Мельников В.Д. Мировой опыт применения систем накопления энергии в электрических сетях среднего класса напряжения [Электронный ресурс] // Технологическая инженеринговая компания ООО «Системы накопления энергии». 04 июня 2018. URL: <http://estorsys.ru/publikatsii/113-mirovoj-opyt-primeneniya-sistem-nakopleniya-energiya-v-elektricheskikh-setyakh-srednego-klassa-napryazheniya> (дата обращения: 12.11.2021).
5. Извеков Е.А., Дерканосова Н.М. Обоснование режимов работы систем накопления энергии // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции. Ч. I. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. С. 385–392.
6. Извеков Е.А., Помогаев Ю.М. Анализ влияния режима электропотребления на снижение потерь электроэнергии в электрической сети с накопителем энергии // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12, № 2(61). С. 92–101.
7. Литий-ионные батареи и системы накопления энергии [Электронный ресурс] // ООО «РЭНЕРА» – отраслевой интегратор в области систем накопления электроэнергии. URL: <https://www.renera.ru/> (дата обращения: 12.11.2021).
8. Системы Накопления Энергии, технологическая инженеринговая компания [Электронный ресурс] // Технологическая инженеринговая компания ООО «Системы накопления энергии». URL: <http://estorsys.ru/> (дата обращения: 12.11.2021).
9. Colthorpe A. Energy Vault asks investors to bet on pre-commercial gravity storage tech ahead of NYSE listing // Energy Storage News. URL: <https://www.energy-storage.news/energy-vault-asks-investors-to-bet-on-pre-commercial-gravity-storage-tech-ahead-of-nyse-listing/>.
10. DOE Global Energy Storage Database. Information on grid-connected energy storage projects and relevant state and federal policies // DataGov. November 10, 2020. URL: <https://catalog.data.gov/dataset/doe-global-energy-storage-database>.

References

1. Gerasimenko A.A. *Peredacha i raspredelenie elektricheskoy energii*. 2-e izd. [Transmission and distribution of electric energy. 2nd ed.] Rostov-on-Don: Phoenix; 2008. 720 p. (In Russ.).
2. GOST 32144-2013. *Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya* [Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems]. Moscow: Standartinform; 2014. 16 p. (In Russ.).
3. GOST R 58092.3.1-2020. *Sistemy nakopleniya elektricheskoy energii (SNEE). Proek-tirovanie i otsenka rabochikh parametrov. Obshchie trebovaniya* [Electric energy storage systems (EESS). Planning and performance assessment. General requirements]. Moscow: Standartinform; 2020. 39 p. (In Russ.).
4. Guzhavina V.V., Mel'nikov V.D. *Mirovoj opyt primeneniya sistem nakopleniya energii v elektricheskikh setyakh srednego klassa napryazheniya* [World experience in the application of energy storage systems in electric networks of medium voltage class]. Tekhnologicheskaya inzhiniringovaya kompaniya OOO "Sistemy nakopleniya energii" [Technological engineering company OOO "Sistemy Nakopleniya Energii"]. 04 June, 2018. URL: <http://estorsys.ru/publikatsii/113-mirovoj-opyt-primeneniya-sistem-nakopleniya-energiya-v-elektricheskikh-setyakh-srednego-klassa-napryazheniya>. (In Russ.).
5. Izvekov E.A., Derkanosova N.M. *Obosnovanie rezhimov raboty sistem nakopleniya energii* [Justification of operating modes of energy storage systems]. *Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chast' I* [Energy efficiency and Energy Saving in Modern Production and Society: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Part I]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2021:385-392. (In Russ.).
6. Izvekov E.A., Pomogaev Yu.M. *Analiz vliyaniya rezhima elektropotrebleniya na snizhenie poter' elektroenergii v elektricheskoy seti s nakopitelem energii* [Analysis of the impact of electric power consumption patterns on reducing the electric power losses in the electric network with a power storage unit]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2019;12(2):92-101. (In Russ.).
7. *Litij-ionnye batarei i sistemy nakopleniya energii* [Lithium-ion batteries and energy storage systems]. OOO "RENERA" – otraslevoj integrator v oblasti sistem nakopleniya elektroenergii [OOO "RENERA" is an industry integrator in the field of energy storage systems]. URL: <https://www.renera.ru/>. (In Russ.).
8. *Sistemy Nakopleniya Energii, tekhnologicheskaya inzhiniringovaya kompaniya* [Energy Storage Systems, technological engineering company]. Tekhnologicheskaya inzhiniringovaya kompaniya OOO "Sistemy nakopleniya energii" [Technological engineering company OOO "Sistemy Nakopleniya Energii"]. URL: <http://estorsys.ru/>. (In Russ.).
9. Colthorpe A. *Energy Vault asks investors to bet on pre-commercial gravity storage tech ahead of NYSE listing*. *Energy Storage News*. URL: <https://www.energy-storage.news/energy-vault-asks-investors-to-bet-on-pre-commercial-gravity-storage-tech-ahead-of-nyse-listing/>.
10. DOE Global Energy Storage Database. Information on grid-connected energy storage projects and relevant state and federal policies. *DataGov*. November 10, 2020. URL: <https://catalog.data.gov/dataset/doe-global-energy-storage-database>.

Информация об авторах

Е.А. Извеков – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», izvek@yandex.ru.

И.В. Лакомов – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», lakomov1960@ya.ru.

С.Н. Сазонов – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», snsazon@mail.ru.

Information about the authors

E.A. Izvekov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, izvek@yandex.ru.

I.V. Lakomov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, lakomov1960@ya.ru.

S.N. Sazonov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, snsazon@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 24.02.2022; одобрена после рецензирования 20.04.2022; принята к публикации 16.05.2022.

The article was submitted 24.02.2022; approved after revision 20.04.2022; accepted for publication 16.05.2022.

© Извеков Е.А., Лакомов И.В., Сазонов С.Н., 2022