

Научная статья  
УДК 621.3  
doi: 10.24143/1812-9498-2021-2-30-34

## Вопросы проектирования автономных систем электроснабжения с альтернативными источниками электроэнергии

Сергей Владимирович Головки<sup>1</sup>✉, Сергей Владимирович Кононенко<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Россия, g\_s\_v\_2007@mail.ru ✉

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы проектирования автономных систем электроснабжения с альтернативными источниками электроэнергии. Эффективность использования энергоресурсов в условиях постоянного роста цен на них позволяет получить существенную экономию как энергетических, так и финансовых показателей. Выявлено, что основные потери энергоресурсов связаны с неэффективным использованием, распределением и потреблением электрической энергии. Отмечена одна из наиболее важных проблем энергосбережения – многие из существующих потребителей находятся на значительном удалении от систем централизованного электроснабжения. Подключение таких потребителей к крупным электрическим сетям в настоящее время является с экономической точки зрения нецелесообразным. Электроснабжение подобных объектов производится преимущественно от автономных электростанций. Снижение расхода электрической энергии на нужды трансформаторных подстанций является одним из основных механизмов реализации программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности, разработанной ПАО «Федеральная сетевая компания единой энергетической системы».

**Ключевые слова:** электроэнергия, возобновляемые источники энергии, солнечные модули, инвертор, автономные системы

**Для цитирования:** Головки С. В., Кононенко С. В. Вопросы проектирования автономных систем электроснабжения с альтернативными источниками электроэнергии // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2021. № 2 (72). С. 30–34. doi: 10.24143/1812-9498-2021-2-30-34.

Original article

## Problems of designing stand-alone power supply systems using renewable energy sources

Sergey V. Golovko<sup>1</sup>✉, Sergey V. Kononenko<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia, g\_s\_v\_2007@mail.ru ✉

**Abstract.** The paper considers the problems of designing autonomous power supply systems using the renewable energy resources. The efficiency of using energy resources in conditions of growing prices for electricity brings significant saving of both energy and financial factors. The analyses show that the main losses of energy resources are the result of inefficient use, distribution and consumption of electrical energy. There has been stated one of the most important problems of energy saving: many existing consumers are located at a significant distance from centralized power supply systems. Today connecting such consumers to large power grids is economically inexpedient. These facilities are supplied from the stand-alone power plants. According to the program of energy saving and energy efficiency improvement of FGC UES, PJSC, reducing electricity consumption for auxiliary needs of transformer substations is one of the main mechanisms for the program implementation.

**Keywords:** electric energy, renewable energy sources, solar modules, inverter, autonomous systems

**For citation:** Golovko S. V., Kononenko S. V. Problems of designing stand-alone power supply systems using renewable energy sources. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2021;2 (72):30-34. (In Russ.) doi: 10.24143/1812-9498-2021-2-30-34.

## Введение

Программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности на 2020–2024 гг., разработанная ПАО «Федеральная сетевая компания единой энергетической системы», включает организационно-технические мероприятия, одно из которых – снижение расхода электрической энергии на собственные нужды трансформаторных подстанций [1]. Экономное потребление электрической энергии возможно за счет введения новых технологий, например внедрения собственной электростанции на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Для реализации системы автономного электроснабжения (АЭС) в качестве основного вида ВИЭ предлагается использовать солнечную мини-электростанцию (мини-СЭС). В состав такой электростанции входят трехфазный сетевой инвертор с контроллером заряда, соответствующего суммарной мощности массива солнечных батарей, и двунаправленный счетчик электроэнергии.

Основной функцией инвертора является преобразование постоянного тока от солнечных панелей (или аккумуляторных батарей) в переменный ток с определенными величинами напряжения и частоты, используемыми для электропитания потребителей или передачи во внешнюю сеть. В том случае, когда величина напряжения на входе инвертора выше, чем на выходе, используется понижающий трансформатор. Трансформатор увеличивает весогабаритные показатели и стоимость системы, а также приводит к уменьшению КПД в среднем на 2 %, но с точки зрения безопасности осуществляет гальваническую развязку между постоянными и переменными частями схемы, тем самым увеличивая защиту устройства и безопасность пользователя.

## Основные этапы проектирования автономных систем электроснабжения

Автономная система электропитания должна обеспечивать высокий показатель гарантированности энергоснабжения потребителя, иметь приемлемые массогабаритные показатели и стоимость, высокую надежность, продолжительный срок службы при минимальных затратах на обслуживание. Соответствие перечисленным требованиям должно обеспечивать конкурентоспособность таких систем, по сравнению с традиционными техническими решениями: прокладкой протяженных кабельных линий, систем газоснабжения или – в случае отсутствия электрических сетей – автономным электропитанием от бензиновых, газовых и дизельных электрогенераторов.

Предварительные расчеты доказывают, что в зависимости от мощности мини-СЭС экономия электроэнергии может составить от 30 до 115 %. Если вырабатываемая мощность от СЭС будет превышать потребляемую мощность объекта, то лишнюю электроэнергию можно будет реализовывать во внешнюю сеть по ценам оптового рынка электроэнергии и мощности. На рисунке представлена схема питания собственных нужд трансформаторных подстанций от мини-СЭС.

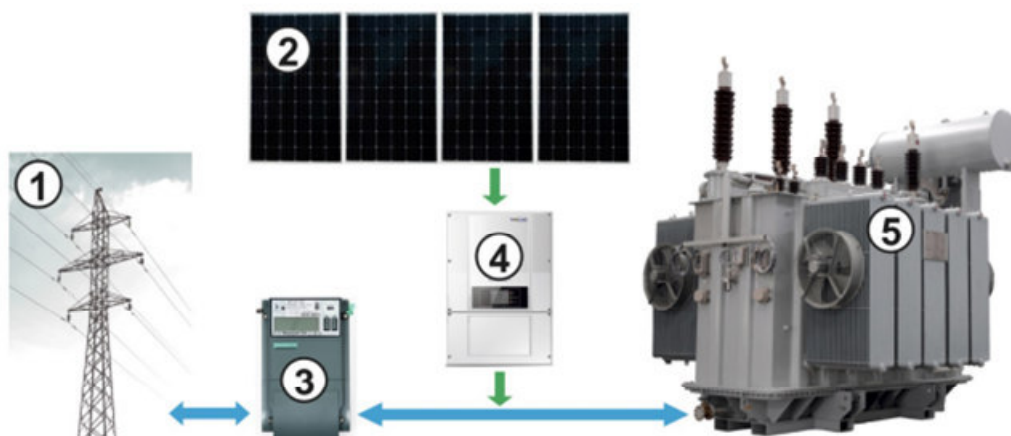


Схема питания собственных нужд от мини-СЭС: 1 – внешняя сеть; 2 – солнечная электростанция;  
3 – двунаправленный электросчетчик; 4 – трехфазный сетевой инвертор;  
5 – трансформаторная подстанция

Layout of the auxiliary power supply from mini solar power plant: 1 - external network; 2 - solar power plant;  
3 - bi-directional electricity meter; 4 - three-phase network inverter; 5 - transformer substation

Проектируя автономную систему электроснабжения, необходимо учитывать технические параметры АСЭ и эксплуатационные экономические показатели.

Технические параметры АСЭ:

- номинальная мощность потребителей в начальный и средний (текущий) момент времени;
- графики изменения нагрузок с течением времени;
- технические характеристики трансформаторов;
- параметры линий электропередач.

Экономические показатели при эксплуатации АСЭ:

- стоимость электроэнергии;
- динамика изменения стоимости на электроэнергию;
- стоимость устанавливаемого оборудования;
- стоимость работ по установке и подключению оборудования;
- ежегодные затраты, связанные с эксплуатацией АСЭ, включая стоимость потерь электроэнергии.

Некоторые из перечисленных параметров существенно меняются во время эксплуатации АСЭ. Следовательно, необходимо учесть изменения таких параметров, как мощность нагрузки, величина электрических потерь, стоимость электроэнергии и оборудования, в период эксплуатации электрической сети.

На первом этапе при проектировании необходимо проанализировать рынок различных источников электроэнергии, подходящих к конкретным условиям, и статических преобразователей. Здесь широко применяются, помимо ВИЭ, такие устройства, как бесконтактные генераторы электроэнергии, статические стабилизаторы и преобразователи электроэнергии, в состав которых входят промежуточные звенья повышенной частоты тока, трансформаторы с вращающимся магнитным полем.

Создание универсального структурно-схемного решения АСЭ, которое было бы востребовано различными потребителями электроэнергии, практически не представляется возможным и целесообразным. Это связано с тем, что такие системы состояли бы из избыточного числа основных функциональных узлов (источника, стабилизатора, коммутационно-защитной аппаратуры), обеспечивающих работу.

Выделим основные этапы при проектировании АСЭ:

- определение технических требований к параметрам электроснабжения потребителей;
- оценка показателей эффективности типовых и перспективных структурно-схемных решений;
- на основании проведенных оценок типовых решений разработка системы электроснабжения потребителя с учетом обеспечения бесперебойности и качества электрической энергии;
- построение математических моделей для проведения теоретических исследований электромагнитных процессов, а также для определения электромагнитной совместимости основных элементов системы;
- построение оптимальной структуры автономной системы электроснабжения с использованием основных критериев эффективности, учитывая технические требования потребителя;
- проведение анализа полученных результатов и выработка практических рекомендаций.

Используя АСЭ на базе солнечных модулей, можно решить две задачи – прямую и обратную. Решением прямой задачи является нахождение величины объема электрической энергии по известной величине солнечного излучения. Решением обратной задачи является нахождение количества солнечных панелей по известной мощности потребителя электрической энергии.

В работе [2] доказано, что эффективность фотоэлектрических панелей (ФЭП) зависит от конечной температуры самой панели и различается для панелей разного типа. В условиях жаркого климата это приобретает особую значимость. На эффективность работы солнечной панели оказывает влияние не только температура воздуха, но и интенсивность солнечного излучения, которая может в значительных пределах изменяться в течение дня из-за движения солнца, а также наличия и движения облаков. Выработка электроэнергии ФЭП зависит от угла падения солнечных лучей и максимальна, когда этот угол составляет 90 град. Важно правильно ориентировать ФЭП и установить нужный угол наклона.

В системе электроснабжения различных дополнительных источников питания одной из ее основных составляющих будет система автоматического ввода резерва (АВР). В электрических сетях рекомендуют применять устройства автоматики, которые по возможности не допускают нарушений наиболее ответственных технологических процессов при кратковременных перерывах электроснабжения, обусловленных действием защит и автоматики в сети внешнего и внутреннего электроснабжения [3].

Согласно [4] устройство АВР предусматривается:

– для восстановления электропитания потребителям за счет автоматического ввода резервного источника питания при отключении основного, приводящего к обесточиванию электроустановок потребителя;

– автоматического подключения резервного оборудования при отключении основного оборудования, приводящего к нарушению нормального технологического процесса.

В настоящее время применяют устройство быстродействующего автоматического включения резервного питания. Данное устройство используется для мгновенного (по сравнению с типовыми решениями по АВР) включения секционных выключателей и восстановления электроснабжения на подстанциях при нарушении основного источника питания.

Также немаловажную роль в комплектации щитов АВР играет выбор такой коммутационной аппаратуры, как автоматический выключатель. Основное назначение автоматического выключателя – защита электропроводки от токов короткого замыкания и перегрузок электросети.

### **Заключение**

Для того чтобы добиться надежного и качественного электроснабжения, автономная система должна иметь оптимальную систему управления. Она может строиться на основе нейронных сетей, которые могут быть созданы на основе математических моделей существующих систем. Подобные сети могут использоваться как для управления, так и для распознавания образов, принятия решений и других целей.

В настоящее время тема применения альтернативных способов получения энергии как нельзя более актуальна, более эффективна, практична и является, что немаловажно, более выгодной в сравнении с другими дополнительными источниками электроэнергии. Несмотря на то, что изначально при реализации данного оборудования процесс может показаться дорогостоящим и трудоемким, в итоге затраты, как материальные, так и физические, окупятся довольно быстро.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Программа энергосбережения ПАО «ФСК ЕЭС» на период 2020–2024 г. (утв. решением Правления ПАО «ФСК ЕЭС» (протокол от 12.08.2019 № 1653/8)). 49 с. URL: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/2019\\_programma\\_energoberezheniya\\_20-24\\_FSK\\_EES.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/2019_programma_energoberezheniya_20-24_FSK_EES.pdf) (дата обращения: 15.10.2021).
2. Головкин С. В., Задоркин Д. А. Анализ влияния климатических факторов на выбор типа солнечной панели // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2020. № 2 (70). С. 21–26.
3. Лукутин Б. В., Суржикова О. А., Шандарова Е. Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: моногр. М.: Энергоатомиздат, 2008. 231 с.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ-7) (утв. приказом Минэнерго РФ от 08.07.2002 № 204). М-во энергетики Рос. Федерации, 2020. 507 с.

### **REFERENCES**

1. *Programma energosberezheniia PAO «FSK EES» na period 2020–2024 g. (utv. resheniem Pravleniia PAO «FSK EES» (protokol ot 12.08.2019 № 1653/8))* [Energy saving program of FGC UES PJSC for 2020–2024 (approved by the decision of the Management Board of FGC UES, PJSC (minutes of 12.08.2019 No. 1653/8))]. 49 p. Available at: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/2019\\_programma\\_energoberezheniya\\_20-24\\_FSK\\_EES.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/2019_programma_energoberezheniya_20-24_FSK_EES.pdf) (accessed: 15.10.2021).
2. Golovko S. V., Zadorkin D. A. Analiz vliianiia klimaticheskikh faktorov na vybor tipa solnechnoi paneli [Analyzing influence of climatic factors on choice of solar panel type]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, no. 2 (70), pp. 21–26.

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

4. *Pravila ustroistva elektroustanovok (PUE-7) (utv. prikazom Minenergo RF ot 08.07.2002 № 204)* [Rules for the arrangement of electric power plants (PUE-7) (approved by order of the Ministry of Energy of the Russian Federation of 08.07.2002 No. 204)]. Ministerstvo energetiki Rossiiskoi Federatsii, 2020. 507 p.

*Статья поступила в редакцию 27.10.2021; одобрена после рецензирования 08.11.2021; принята к публикации 10.11.2021.  
The article was submitted 27.10.2021; approved after reviewing 08.11.2021; accepted for publication 10.11.2021.*

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Сергей Владимирович Головки** – кандидат технических наук; доцент кафедры электрооборудования и автоматике судов; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; g\_s\_v\_2007@mail.ru

**Сергей Владимирович Кононенко** – кандидат технических наук; доцент кафедры электрооборудования и автоматике судов; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; sergey.v.kononenko@gmail.com

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Sergey V. Golovko** – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Electrical Equipment and Ship Automation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; g\_s\_v\_2007@mail.ru

**Sergey V. Kononenko** – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Electrical Equipment and Ship Automatics; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; sergey.v.kononenko@gmail.com

