

УДК 620(075.8)

UDC 620(075.8)

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**АВТОНОМНЫЕ ГИБРИДНЫЕ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ****AUTONOMOUS HYBRID POWER PLANTS**

Григораш Олег Владимирович
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
grigorasch61@mail.ru
РИНЦ SPIN-код 4729-2767

Grigorash Oleg Vladimirovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the
chair, grigorasch61@mail.ru
RSCI SPIN-code 4729-2767

Кривошей Александр Александрович
магистр

Krivoshey Alexander Aleksandrovich
master student

Смык Владислав Владимирович
магистр
*Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар,
Россия*

Smyk Vladislav Vladimirovich
Master student
*Kuban state agrarian University named after
I. T. Trubilin, Russia*

В статье рассматриваются особенности проектирования и работы в различных режимах функционирования автономных гибридных электростанций на базе возобновляемых и традиционных источников электроэнергии, приведена типовая структурная схема такой электростанции. Показано, что алгоритм работы системы в осенне-зимний период должен корректироваться по данным ежемесячного мониторинга, а генератор резервного автономного источника может запускаться при более глубоком разряде аккумуляторных батарей. Известно, что самым дорогим и при этом самым слабым звеном в составе солнечных фотоэлектрических станций являются аккумуляторные батареи. Кроме того, чем больше их количество в системе, тем усложняется выполнение всех условий правильной эксплуатации. Предложено продлить срок службы аккумуляторных батарей за счёт применения пассивной системы балансировки, позволяющей повысить надёжность их работы и снизить стоимость. Показано, что реальной возможностью улучшения технико-экономических показателей автономных гибридных электростанций является выполнение их на базе солнечных фотоэлектрических станций. Рассмотренные в статье особенности построения и работы гибридных электростанций повысят эффективность предпроектных работ по разработке высокоэффективных структурно-схемных решений станций

The article discusses the features of design and operation in the different modes of functioning of autonomous hybrid power plants based on renewable and traditional energy sources. We have given a structural scheme of such a plant. It is shown that the algorithm of the system in the autumn-winter period should be adjusted according to the monthly monitoring; and standby generator of independent source can be run at a deeper discharge of batteries. It is known that the most expensive and the weakest link in the solar PV plants is rechargeable battery. In addition, the larger the number they have in the system, the more complicated the fulfillment of all conditions of proper operation is. We have proposed to extend the lifetime of batteries through the use of passive balancing, which allows to increase the reliability of operation and reduce the cost. It is shown that a real possibility of improving the technical and economic performance of autonomous hybrid power plants is their execution on the basis of solar photovoltaic power plants. We have also discussed the features of construction and operation of hybrid power plants, which will increase the efficiency of preliminary works on development of high-performance structural circuit design of the stations

Ключевые слова: АВТОНОМНЫЕ ГИБРИДНЫЕ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, АВТОНОМНЫЕ
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ,
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Keywords: STANDALONE HYBRID POWER
STATIONS, AUTONOMOUS POWER SUPPLY
SYSTEMS, RENEWABLE ENERGY

DOI: 10.21515/1990-4665-124-095

В настоящее время интенсивно разрабатываются автономные системы электроснабжения (АСЭ) с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1, 2]. Известно, что активное внедрение возобновляемой энергетики обусловлено тремя причинами: экологическими проблемами, связанными с добычей и переработкой энергетических ресурсов традиционной энергетики; ограниченностью их запасов; неограниченностью ресурсов возобновляемой энергетики.

Кроме того, ВИЭ способны внести значительный вклад в решение важнейшей проблемы энергообеспечения децентрализованных районов России, на долю которых приходится до 70 % территории страны с населением около 20 млн человек.

Сегодня уже известно, что значительный экономический эффект получается от автономных гибридных электростанций (АГЭ), использующих, как возобновляемые, так и традиционные источники электроэнергии. Оптимальным вариантом АГЭ является система, содержащая несколько источников генерации электроэнергии, два из которых являются возобновляемыми (как правило, солнечная и ветровая электростанции), а один традиционный – газопоршневые или дизельные электростанции [3–5].

Типовая структурная схема АГС приведена на рисунке 1. В общем случае она работает по следующему принципу: вся преобразованная солнечными батареями (СБ) солнечная энергия подается в систему электроснабжения для питания нагрузок переменного тока через сетевой инвертор И1 с номинальным напряжением 230 В. Основными функциями обратимого инвертора И2 (способен потоки энергии направлять в обоих направлениях) являются заряд аккумуляторных батарей (АБ) от дизель- или газопоршневого генератора и производство электроэнергии для нагрузки, преобразованной от АБ в случае нехватки или отсутствия солнечной энергии.

В случае когда получаемой от СБ солнечной энергии слишком много для питания нагрузок, её избыток идёт также на заряд АБ, и при полном их заряде может питать дополнительные нагрузки.

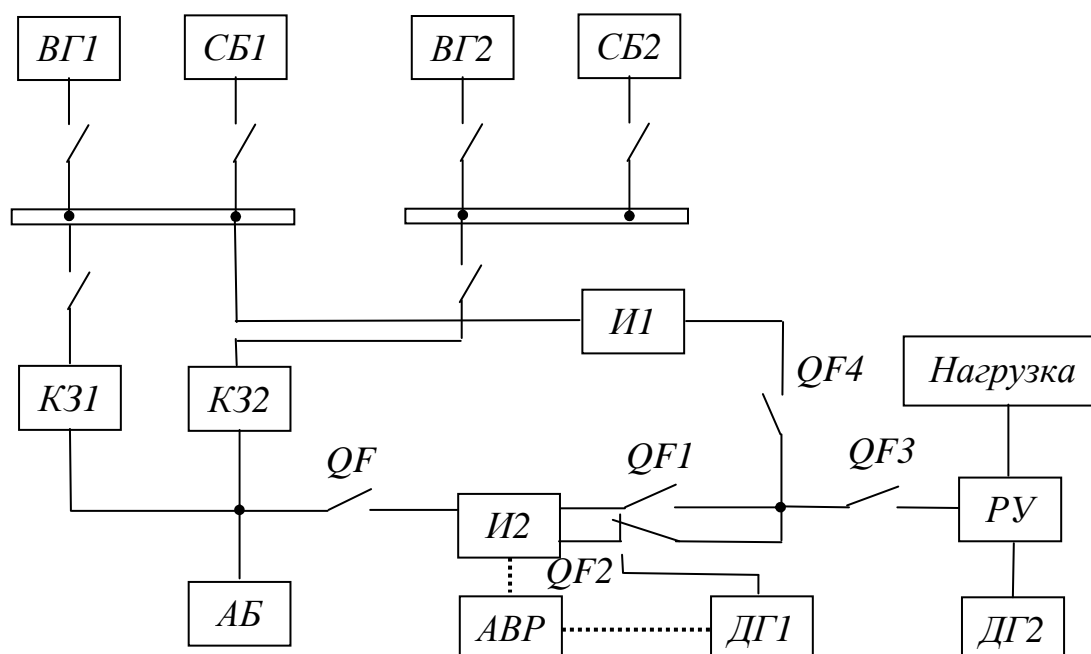


Рисунок 1 – Структурная схема АГЭ: ВГ1, ВГ2 – ветрогенераторы; СБ1, СБ2 – солнечные батареи; КЗ1, КЗ2 – контроллеры заряда АБ; АБ – аккумуляторные батареи; И1, И2 – инверторы; АВР – устройство автоматического включения резерва; ДГ1, ДГ2 –дизель-генераторы; РУ – распределительное устройство

Как правило, выбирается средний вариант между 2-суточным запасом энергии в АБ на случай несолнечной (пасмурной) и безветренной погоды при 50 % -м разряде АБ (а фактически – 3-суточный до глубокого разряда) или ежедневный, но при 30 % -м разряде (недопустимо ежедневно разряжать АБ ниже 75 %).

Работоспособность и долговечность работы АБ обеспечивается не только ограничением количества циклов глубокого разряда, но и рабочей температурой АБ (при превышении 45° С ресурс их работы сокращается втрое), а также качеством сетевого зарядного устройства, которое должно обеспечивать как минимум 3-стадийный режим заряда АБ для достижения его полноты. В противном случае при попятном недозаряде (более

одного месяца, что обычно происходит в зимний период) в АБ начинается сульфатация свинца, что в свою очередь, приводит к потере ёмкости. Кроме того, особые требования предъявляются к инвертору – устройству, предназначенному для преобразования напряжения постоянного тока АБ в переменное напряжение 230 В, 50 Гц. Суммарная мощность нагрузок должна быть на 20–25 % меньше номинальной выходной мощности инвертора, указанной в его паспортных данных [6, 7].

Как правило, СБ разделяются на две группы (см. рисунок 1) и коммутируются последовательно для получения максимальной энерговыработки с помощью используемого MPPT входа (MPPT – контроллер, следящий за точкой максимальной мощности) в сетевом инверторе И1 (типа SMA SMC7000TL).

Инвертор И1 преобразует полученную от СБ энергию постоянного тока в переменную, напряжением 230 В. Выход этого инвертора подключен в общую цепь нагрузок через автоматический выключатель QF4. Он может вырабатывать синусоидальный ток только при наличии генерации переменного тока инвертором И2, который может отключаться в случае перегрузки, перегрева, либо из-за глубокого разряда АБ (например, 90 %). Чтобы не допустить последнего система управления инвертором подает команду на запуск дизель-генератора (ДГ) при менее глубоком разряде, например, при 40 %. При нормальном пуске генератор продолжает питать подключенные нагрузки, а инвертор с помощью встроенного зарядного устройства (ЗУ) начинает заряд АБ до установленного уровня. Мощность зарядного устройства может достигать 5 кВт.

При эксплуатации электростанции необходимо учитывать условие нормальной работы ДГ: суммарная мощность подключенных нагрузок должна быть на 20 % меньше его номинальной мощности. Автоматический выключатель защиты QF3 предотвращает использование нагрузок

несанкционированной мощности. В случае перегрузки подача напряжения от ДГ отключится, но через 20 с подача возобновится и, если перегрузка осталась, генератор остановится. Повторный его запуск возможен при снятии нагрузки и запуске уже в ручном режиме. А в случае выхода из строя самого генератора предусмотрена возможность переключить АГЭ на работу со штатным генератором, расположенным возле потребителей электроэнергии.

Таким образом, заряд АБ, с одной стороны, производит инвертор И2, получая в светлое время суток энергию от сетевого инвертора И1 мощностью, равной разнице получаемой солнечной энергии и потребляемой нагрузками в реальном времени, но не более разрешенной, с помощью системного контроллера (СК). С другой стороны, при некотором разряде, также программно установленном СК, после запуска дизель-генератора заряд АБ производится через вход инвертора И2 также с установленным ограничением зарядного тока. В первом случае (дневной заряд) АБ может получить полный, 100 % -й заряд, если инвертору удастся провести в три стадии, что возможно в летний период, когда происходит небольшой разряд ночью.

Алгоритм работы АГЭ в осенне-зимний период должен корректироваться по данным ежемесячного мониторинга, и генератор может запускаться при более глубоком разряде АБ, а заряжать её на большую величину, чем летом. Кроме того, потребуется ежемесячно производить принудительный заряд до 100 % с помощью генератора в ручном режиме.

В цепь заряда АБ включены также контроллеры ветрогенераторов, в функции которых входят выпрямление выходного сигнала генератора, конвертация мощности генератора в зарядный ток АБ, обеспечение трехступенчатого режима для достижения полного заряда АБ, сброс избыточной энергии при его достижении и в отсутствие нагрузки,

контроль и отключение нагрузок постоянного тока при разряде АБ ниже допустимого уровня, торможение генератора при максимальном разгоне. Расчетная энергоснабжающая ветроустановок ВГ1 и ВГ2 в осенне-зимний период частично компенсирует нехватку солнечной энергии для поддержания заряда АБ (более 70 %).

Известно, что самым слабым и при этом самым дорогим звеном в составе солнечных фотоэлектрических станций являются АБ, чем больше их в системе, тем сложнее выполнить все условия правильной эксплуатации. Для того чтобы продлить срок службы АБ примерно в 1,5–2 раза, необходимо выполнить несколько условий.

На рисунке 2 приведена схема энергосистемы мощностью 3 кВА, где несколько свинцовых АБ соединены последовательно. Рассмотрим, к примеру, систему, содержащую инвертор на 3 кВА напряжением АБ 48 В. Как правило, такие системы электроснабжения содержат 4 соединенных последовательно АБ напряжением 12 В и ёмкостью от 90 до 260 А·ч (свинцово-кислотные, необслуживаемые).

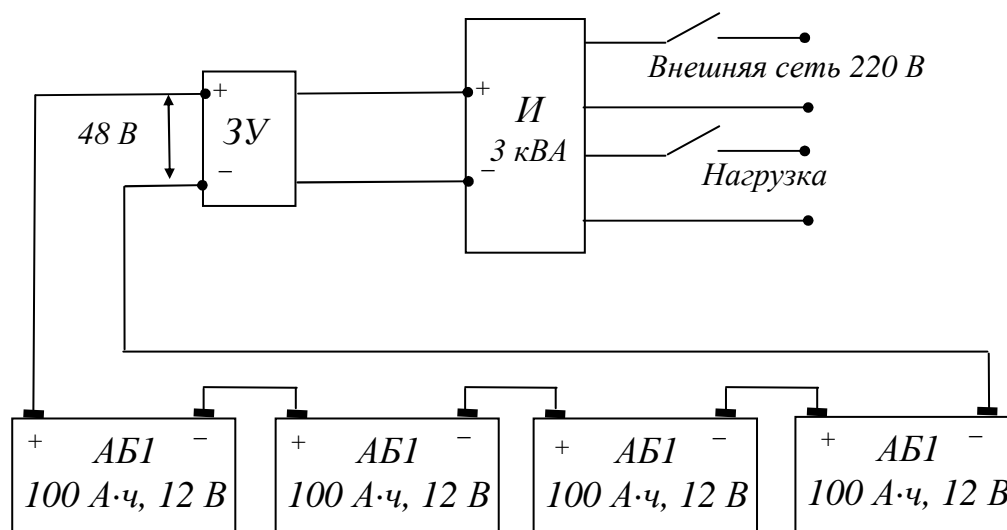


Рисунок 2 – Схема энергосистемы резервного электроснабжения, рассчитанная на 3 кВА

Известно, что в начале эксплуатации (при использовании однотипных АБ) напряжения на каждой АБ практически одинаковы. Но уже через несколько месяцев эксплуатации внутреннее сопротивление каждой из них меняет своё исходное значение. К примеру, если одна АБ недозаряжена, другая перезаряжена, то обе ситуации крайне отрицательно сказываются на них: в первой происходят процессы сульфатации пластин, а во второй электролит выкипает, а масса свинца выкрашивается, при этом дисбаланс со временем только увеличивается. Основными причинами рассмотренных процессов являются: технологические отклонения параметров при производстве, перепады температур, удары (вибрации), недозаряд или перезаряд и т. п. Внутреннее сопротивление у каждой АБ меняется по своему закону. Сегодня известны фирмы, которые производят АБ с минимальными технологическими отклонениями. Такие АБ служат дольше, но их стоимость более чем в 2 раза больше стоимости традиционных.

Из-за того, что меняется внутреннее сопротивление АБ, время их нормальной работы будет сокращаться и вместо положенных, к примеру, 5–7 лет для одной батареи, ёмкость АБ через 1,5–2 года уменьшится почти в два раза.

На практике для увеличения времени работы резервного источника, выполненного на АБ, наращивают мощность системы путем подключения дополнительных АБ (рисунок 3). Предложенный вариант подключения АБ на какое-то время «спасает» ситуацию, но не устраняет, а только усугубляет проблему. В результате примерно через 2–3 года эксплуатации энергосистемы приходится менять все АБ. В среднем за год эксплуатации системы 48 В (см. рисунок 2) нужно будет менять одну АБ, а если таких сборок несколько (рисунок 3), то половину от общего количества.

Увеличить срок службы АБ, можно применив систему балансировки, которая будет выравнивать напряжения на каждой АБ с самого начала

заряда. В настоящее время известно техническое решение системы пассивной балансировки для свинцовых 12-вольтовых АБ. Основными показателями выбора пассивной системы балансировки являются надежность и стоимость. Особенности работы системы:

- выравнивание напряжений отдельных АБ идет постоянно с самого начала заряда. Этим достигается значительное уменьшение выделяемой мощности на балластной нагрузке (в отличие от систем, начинающих реагировать на конечное напряжение заряда). Система считывает напряжения с каждой АБ, вычисляет среднее и включает балластную нагрузку на тех АБ, напряжение которых выше среднего;

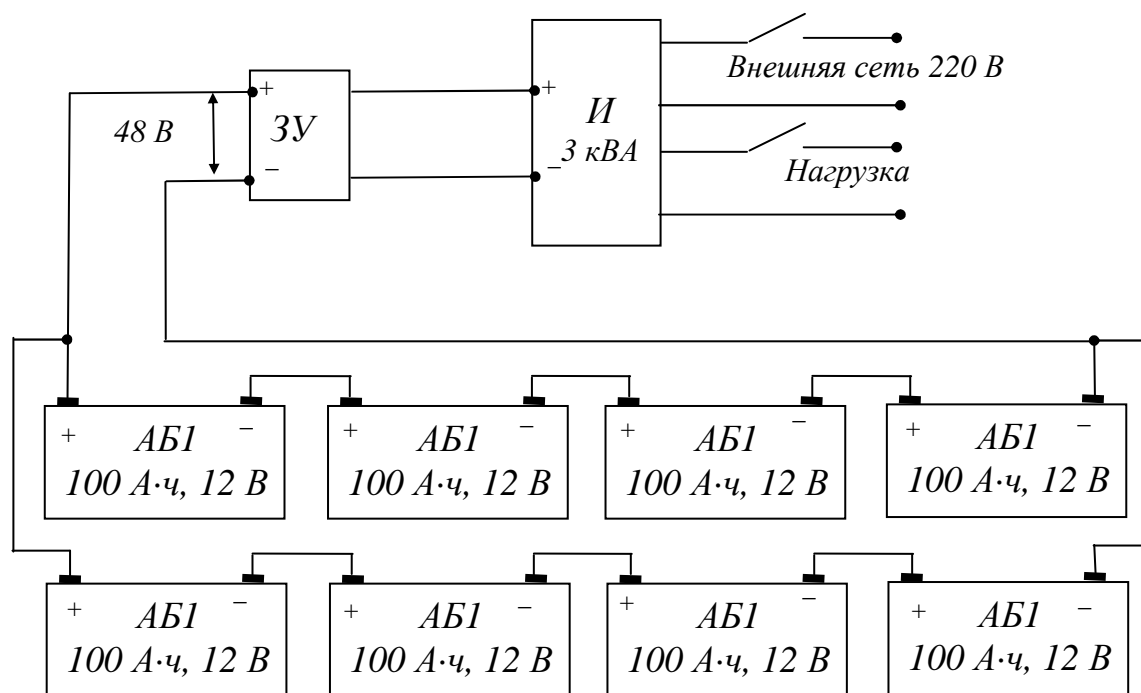


Рисунок 3 – Схема энергосистемы резервного электроснабжения на 3 кВА с увеличенным количеством АБ

- постоянный мониторинг (через RS485-й интерфейс), позволяющий визуально оценить работу каждой АБ как в процессе заряда, так и в процессе разряда. Каждый балансировочный модуль имеет свой номер, который можно сопоставить с конкретной АБ;

- присутствует опция отключения нагрузки в случае если хотя бы на одной АБ напряжение стало ниже 10,5 В (нижняя граница рабочего напряжения свинцовой 12-вольтовой АБ);

- благодаря гальванической развязке по шине управления есть возможность балансировать несколько групп АБ;

- принцип модульного исполнения позволяет добавлять группы АБ к уже работающей системе, причем не обязательно той же фирмы-производителя;

- решаются задачи балансировки для свинцовых АБ напряжением 2 В, 6 В и 12 В и для литиевых напряжением 3,2 В и 3,7 В, кроме того, щелочных и других типов АБ;

- срок окупаемости – меньше одного года благодаря низкой стоимости и кратному увеличению срока службы АБ.

Система балансировки подбирается по ёмкости АБ и току заряда. Если в энергосистеме предусмотрена возможность форсированного заряда за 2–4 ч (например от СБ или ветрогенератора), то система балансировки может не успевать «гасить» излишнее напряжение на отдельных АБ. В этом случае балансировочные элементы должны быть повышенной мощности по сравнению с обычным режимом заряда.

Важно то, что систему балансировки можно устанавливать на АБ, эксплуатируемые в течение нескольких лет. Эффект связан с тем что разбалансированные (старые АБ) система «законсервирует» и даст им возможность значительно больше времени проработать до замены.

Реальной возможностью улучшения технико-экономических показателей автономных систем электроснабжения является использование возобновляемых источников энергии. Особое место здесь принадлежит солнечной энергетике – солнечным фотоэлектрическим станциям, разработке на их базе автономных гибридных электростанций [8, 9].

Важным является факт, что удельная стоимость фотоэлектрических модулей с 1980 г. по 2015 г. снизилась более чем в 15 раз. Конкурентоспособность растёт также благодаря существенно меньшим срокам их строительства по сравнению с традиционными электростанциями. Темпы развития ВИЭ свидетельствуют о больших перспективах СФЭС в сравнении с другими возобновляемыми видами энергии. Мировой прогноз роста установленной мощности ВИЭ на 2020 г. в сравнении с 2005 г.: в 4–5 раз для ветровой энергетики; в 2–3 – раза для малой гидроэнергетики; в 8–10 раз для солнечной энергетики [1, 3].

Краснодарский край является перспективным регионом России по энергетическому потенциалу ВИЭ. Так, технический потенциал ветровой энергетики составляет 116,1 млрд кВт·ч, гидроэнергетики – 2,5 млрд кВт·ч, а солнечной энергетики – 4715 млрд кВт·ч.

Целесообразность развития солнечной энергетики Краснодарского края обусловлена [8]:

- растущим дефицитом традиционных топливно-энергетических ресурсов;
- динамикой роста цен на электроэнергию и тепло, значительно повышающей инвестиционную привлекательность проектов, касающихся ВИЭ (с 2000 г. по 2015 г. цены на электроэнергию выросли более чем в 14 раз);
- стабильным ростом экономического развития Краснодарского края (потребление электроэнергии в регионе с 2000 г. по 2015 г. выросло более чем в 3 раза).

Таким образом, в настоящее время особое значение приобретают изучение и систематизация энергетического потенциала территории, совершенствование методик выбора оборудования и способов оптимизации систем электроснабжения, выполненных с использованием ВИЭ [1, 10, 11]. Широкие перспективы имеют гибридные

(комбинированные) автономные системы электроснабжения, выполненные на базе солнечных и ветровых электростанций, а также традиционных источников энергии – дизельных или газопоршневых электростанций.

Рассмотренные в статье особенности построения и работы гибридных электростанций повысят эффективность предпроектных работ по разработке высокоэффективных структурно-схемных решений.

Список литературы

1. Григораш О.В., Степура Ю.П., Сулейманов Р.А. и др. Возобновляемые источники электроэнергии. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 272 с.
2. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. – М.: Энергоатомиздат. – 2008. – 231 с.
3. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – М.: КНОРУС, 2010. – 232 с.
4. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. и др. Возобновляемые источники электроэнергии: термины, определения, достоинства и недостатки // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 32. – С. 189 – 192.
5. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2008. – 187 с.
6. Амерханов Р.А., Богдан А.В., Вербицкая С.В., Гарькавый К.А. Проектирование систем энергообеспечения: Учебник для студентов вузов / Под общ. ред. Р.А. Амерханова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 548 с.
7. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения. – Краснодар. – 2011. – 188 с.
8. Григораш О.В. Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых источников электроэнергии в Краснодарском крае / О.В. Григораш, В.В. Тропин, А.С. Оськина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – № 09(083). С. 188 – 199. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/09/pdf/38.pdf>.
9. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2015. – 128 с.
10. Атрощенко В.А., Григораш О.В., Ланчу В.В. Современное состояние и перспективы развития систем автономного электроснабжения // Промышленная энергетика. – 1994. – № 5. – С.33–36.
11. Григораш О.В., Пугачев Ю.Г., Военцов Д.В., Чесовской А.С. Возобновляемые источники электроэнергии: состояние и перспективы // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 8. – С. 24–25.

References

1. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Sulejmanov R.A. i dr. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – 272 s.

2. Lukutin B.V., Surzhikova O.A., Shandarova E.B. Vozobnovljaemaja jenergetika v decentralizovannom jelectrosnabzhenii. – M.: Jenergoatomizdat. – 2008. – 231 s.
3. Sibikin Ju.D., Sibikin M.Ju. Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki jenerгии. – M.: KNORUS, 2010. – 232 s.
4. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. i dr. Vozobnovljaemye istochniki jelectrojenerгии: terminy, opredelenija, dostoinstva i nedostatki // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 32. – S. 189 – 192.
5. Lukutin B.V. Vozobnovljaemye istochniki jelectrojenerгии: uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2008. – 187 s.
6. Amerhanov R.A., Bogdan A.V., Verbickaja S.V., Gar'kavij K.A. Proektirovanie sistem jenergoobespechenija: Uchebnik dlja studentov vuzov / Pod obshh. red. R.A. Amerhanova – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Jenergoatomizdat, 2010. – 548 s.
7. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelectrosnabzhenija. – Krasnodar. – 2011. – 188 s.
8. Grigorash O.V. Ob jeffektivnosti i celesoobraznosti ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jelectrojenerгии v Krasnodarskom krae / O.V. Grigorash, V.V. Tropin, A.S. Os'kina // Politematicheskij setevoj jelectronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelectronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – № 09(083). S. 188 – 199. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/09/pdf/38.pdf>.
9. Lukutin B.V., Muravlev I.O., Plotnikov I.A. Sistemy jelectrosnabzhenija s vetrovymi i solnechnymi jelectrostancijami. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2015. – 128 s.
10. Atroshhenko V.A., Grigorash O.V., Lanchu V.V. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija sistem avtonomnogo jelectrosnabzhenija // Promyshlennaja jenergetika. – 1994. – № 5. – S.33–36.
11. Grigorash O.V., Pugachev Ju.G., Voencov D.V., Chesovskoj A.S. Vozobnovljaemye istochniki jelectrojenerгии: sostojanie i perspektivy // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2007. – № 8. – S. 24–25.