

УДК 621.3

UDC 621.3

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ  
СТАНЦИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ, ОСОБЕННОСТИ  
РАБОТЫ И РАСЧЁТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ**

**SOLAR PHOTO-ELECTRIC STATIONS: PRO-  
SPECTS, FEATURES OF WORK AND CALCU-  
LATION OF ECONOMIC EFFICIENCY**

Усков Антон Евгеньевич  
старший преподаватель  
9184349285@mail.ru  
SPIN-код: 7461-9490

Uskov Anton Evgenyevich  
senior lecturer  
9184349285@mail.ru  
RSCI SPIN-code 7461-9490

Дайбова Любовь Анатольевна

Daibova Lubov Anatolyevna

Гиркин Артём Сергеевич  
студент, bleachyda@mail.ru

Girkin Artem Sergeevich  
student, bleachyda@mail.ru

Дауров Адам Вячеславович  
студент

Daurov Adam Viacheslavovich  
student

Дизендорф Андрей Витальевич  
студент

Dizendorf Andrey Vitalyevich  
student

Горбачёв Владимир Александрович  
студент

Gorbachyov Vladimir Aleksandrovich  
student

Попучиева Мария Александровна  
студент  
*Кубанский государственный аграрный университет,  
Краснодар, Россия*

Popuchieva Maria Aleksandrovna  
student  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В статье раскрываются общие понятия и содержание валового, технического и экономического ресурса солнечной энергетики. Приведены преимущества солнечной энергетики в сравнении с другими видами энергии и показано, что настоящее время метод непосредственного фотоэлектрического преобразования в мире стал одним из приоритетных направлений получения солнечной электроэнергии. Это обусловлено тем, что он обеспечивает максимальную экологическую чистоту преобразования, возможность получения энергии практически в любом районе, значительный срок службы и малые затраты на обслуживание. Раскрыт состав и особенности работы солнечных фотоэлектрических установок. Приведены схемы включения фотоэлементов и их вольт-амперные характеристики, недостатки солнечных фотоэлектрических станций, основными из которых являются: высокая стоимость фотоэлектрических преобразователей и наличие аккумуляторов, а также предложены рекомендации по их эффективному использованию. Приведены основные аналитические выражения для определения экономической эффективности солнечных фотоэлектрических станций. Рассмотрены в статье особенности работы, основные характеристики и параметры солнечных фотоэлектрических станций которые позволят повысить эффективность предпроектных работ по разработке

In the article, the general concepts and the maintenance of total, technical and economic resource of solar power are revealed. The advantages of solar power in comparison with other kinds of energy are resulted. We have shown, that currently the method of direct photoelectric transformation is one of priority directions of reception of solar electric power in the world. It is because it provides the maximal ecological cleanliness of transformation, an opportunity of reception of energy practically in any area, significant service life and small expenses for service. The structure and features of work of solar photo-electric installations were listed as well. The schemes of using photo cells and their voltage and amperes characteristics, lacks of solar photo-electric stations are resulted, basic of which are: high cost of photo-electric converters and presence of accumulators, and we have also offered recommendations on their effective use. The basic analytical expressions for definition of economic efficiency of solar photo-electric stations are resulted. The considered features of the work, the basic characteristics and the parameters of solar photo-electric stations which will allow to increase the efficiency of predesign works on development of the combined (hybrid) stations, generating electric and thermal energy, received from solar radiation

комбинированных (гибридных) станций, генерирующих электрическую и тепловую энергию, получаемую от солнечной радиации

Ключевые слова: СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА, СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ, СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ, ИНВЕРТОР

Keywords: SOLAR PHOTO-ELECTRIC INSTALLATION, SOLAR PHOTO-ELECTRIC STATION, SOLAR BATTERIES, THE INVERTER

Известно, что Солнце каждую секунду дает Земле более 80 тысяч миллиардов киловатт энергии, т. е. в несколько тысяч раз больше, чем все электростанции мира. При этом, валовый (теоретический) потенциал солнечной энергетики на территории России превышает ресурс ветровой энергетики почти в 2,5 раза, а малой гидроэнергетики более чем в 5000 раз [1].

Вследствие отсутствия многочисленных требуемых исходных данных для расчёта технического и экономического потенциала солнечной энергии, учёные принимают ряд допущений. Поэтому, результаты определения технического и экономического потенциала солнечной энергии следует квалифицировать как экспертную оценку, так как она является единственным методом, который используется в настоящее время.

Технический ресурс солнечной радиации при производстве электроэнергии находится умножением валового потенциала на 0,001 (принимаемая доля площади) и на 0,15 (КПД фотоэлектрических солнечных модулей) и переводится в размерность  $t \text{ у.т.}$  из расчёта  $0,34 \text{ кг у.т./кВт ч}$  [1, 2].

Экономический ресурс солнечной радиации при производстве электроэнергии находится умножением годового потребления электроэнергии на 0,05% и переводится в размерность  $t \text{ у.т.}$  умножением на коэффициент  $0,34 \text{ кг у.т./кВт ч}$ .

Экономический ресурс солнечной энергетики в сравнении с другими ВИЭ куда более скромный. Так, он более чем в 3,5 раза меньше ветровой энергетики и примерно в 23 раза меньше малой гидроэнергетики.

Однако темпы развития солнечной энергетики предполагают в ближайшее время значительное улучшение её экономического потенциала, исходя из достигнутого уровня техники и современных экономических и хозяйственных условий.

В настоящее время метод фотоэлектрического преобразования в мире стал одним из приоритетных направлений получения солнечной электроэнергии. Это обусловлено тем, что он обеспечивает:

- максимальную экологическую чистоту преобразования энергии;
- возможность получения энергии практически в любом районе;
- значительный срок службы;
- малые затраты на обслуживание;
- независимость эффективности преобразования солнечной энергии от установленной мощности.

Важным обстоятельством является тот факт, что солнечные фотоэлектрические установки (СФЭУ) отличаются относительной простотой конструкции, низкой металлоёмкостью, могут работать с одинаковой эффективностью в любом диапазоне мощности и на любой географической широте. Трудности в практической реализации строительства СФЭУ обусловлены прежде всего высокой стоимостью фотопреобразователей (*10 – 12 тыс. руб/кВт*).

Конструктивно СФЭУ содержит (рисунок 1):

- солнечные батареи (СБ), содержащие фотоэлементы;
- инвертор (И), выполненный на полупроводниковых приборах, как правило, в своей конструкции, содержащий трансформатор;
- аккумуляторные батареи (АБ);
- систему управления и защиты (СУЗ).

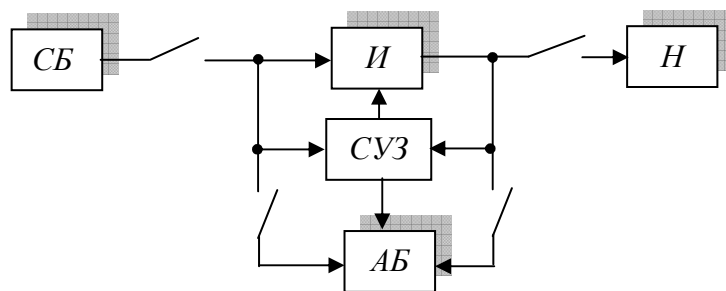


Рисунок 1 – Структурная схема СФЭУ с подключённой нагрузкой *H*

Солнечные батареи *СБ* преобразуют энергию солнечного излучения в электрическую энергию постоянного тока. Инвертор преобразует напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока, а его трансформатор осуществляет согласование напряжения солнечных батарей *СБ* с напряжением нагрузки *H*. Аккумуляторные батареи являются резервным источником питания. Система управления и защиты *СУЗ* обеспечивает стабилизацию напряжения, переход питания нагрузки от резервного источника и защиту устройства от аварийных режимов работы.

Ток СФЭУ можно увеличить с помощью параллельного включения солнечных батарей (рисунок 2, *а*). Солнечные батареи должны иметь одинаковое количество элементов, обеспечивающих одинаковое напряжение. Вследствие разной освещённости солнечных элементов, показанных на рисунке 2, *а*, генерируемые ими напряжения будут немного отличаться друг от друга. Поэтому эффективно будет работать только один солнечный элемент. При включении солнечных элементов по схеме, показанной на рисунке 2, *б*, напряжения, генерируемые ими, более равномерно распределяются по солнечной батарее. Вследствие этого частичное затенение элементов не принесёт большого вреда для работы солнечной батареи.

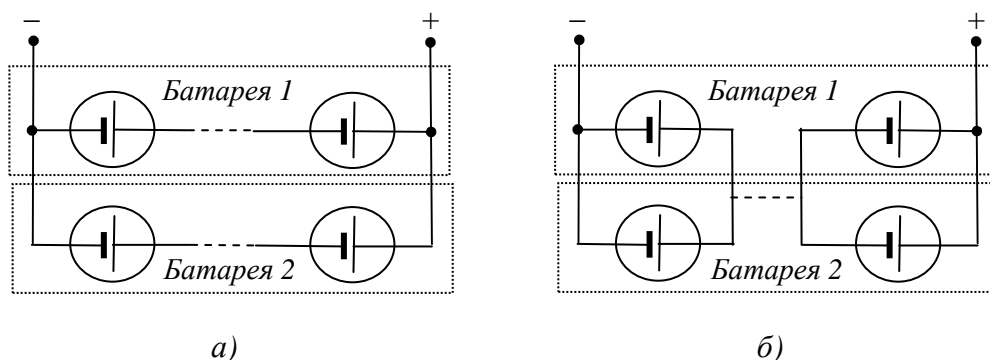


Рисунок 2 – Схемы включения элементов солнечных батарей

Для увеличения напряжения СФЭУ необходимо включать последовательно элементы солнечных батарей. Напряжение в этом случае будет равно сумме напряжений на всех составляющих солнечных элементов. Ток, отдаваемый СФЭУ, будет ограничен током худшего элемента.

Для СФЭУ с большой площадью солнечных панелей, состоящих из множества последовательно-параллельных соединённых ячеек, необходимо учитывать теневой эффект, который возникает при частичном затемнении панели. Если ячейка в последовательной цепи полностью затемнена, то она из источника энергии превращается в потребителя. Из-за последовательной связи с освещёнными ячейками в цепи протекает ток, разогревающий затемнённую ячейку мощностью потерь, выделяющейся на её внутреннем сопротивлении. Таким образом, происходит уменьшение электрической мощности СБ.

Для того, чтобы уменьшить влияние теневого эффекта на энергетические характеристики СБ последовательную цепь фотоэлектрических модулей с помощью обходных диодов делят на несколько участков (рисунок 3).

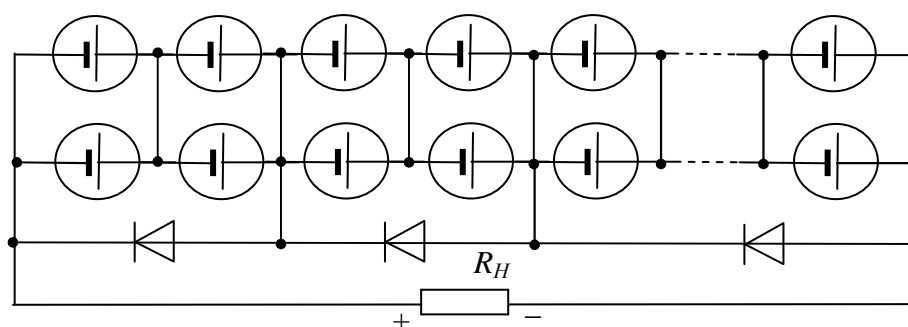


Рисунок 3 – Схема включения обходных диодов между солнечными элементами СБ

Известно, что генерируемая СБ мощность увеличивается при более низких температурах. Однако максимуму мощности при различных температурах соответствуют различные напряжения. Для устранения этого недостатка СФЭУ должна иметь стабилизатор напряжения.

Величина нагрузки СБ в значительной степени влияет на величину снимаемой с неё мощности. Рабочая точка фотоэлектрической панели может быть определена как точка пересечения её ВАХ с ВАХ нагрузки. Таким же образом может быть определена рабочая точка на пересечении энергетических характеристик фотопреобразователя и нагрузки. Из рисунок 4 видно, что максимальную мощность можно снять с СБ на нагрузке с сопротивлением  $R_2$ .

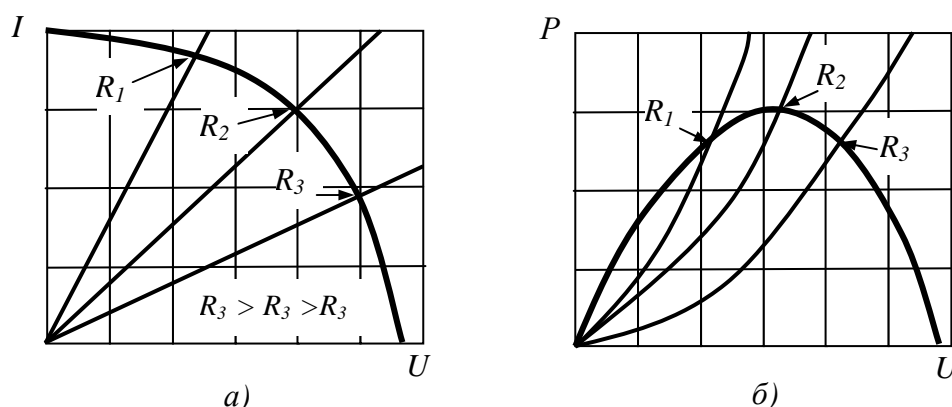


Рисунок 4 – ВАХ фотопреобразователя при различных сопротивлениях нагрузки ( $R_1, R_2, R_3$ )

Солнечные элементы на основе кремния имеют КПД 12 – 15 %. КПД лабораторных образцов в настоящее время достигает 23%. Мировое произ-

водство солнечных элементов превышает 50 МВт в год и увеличивается ежегодно на 30%.

Влияние интенсивности солнечного излучения на вид вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечной батареи (СБ) иллюстрируется кривыми приведёнными на рисунке 5, а.

При снижении интенсивности солнечного излучения ВАХ фотоэлемента сдвигается вниз, что определяет значительное снижение тока короткого замыкания. Напряжение холостого хода при этом уменьшается не значительно.

Угол падения солнечных лучей на поверхность оказывает влияние на интенсивность облучения фотоэлектрической СБ. Ток нагрузки, источником которого являются СБ, определяется по формуле

$$I_H = I_o c \cos \alpha, \quad (1)$$

где  $I_o$  – максимальный ток панели, облучаемой перпендикулярно падающими световыми лучами;  $\alpha$  – угол падения солнечных лучей, отложенный от нормали приёмной поверхности панели

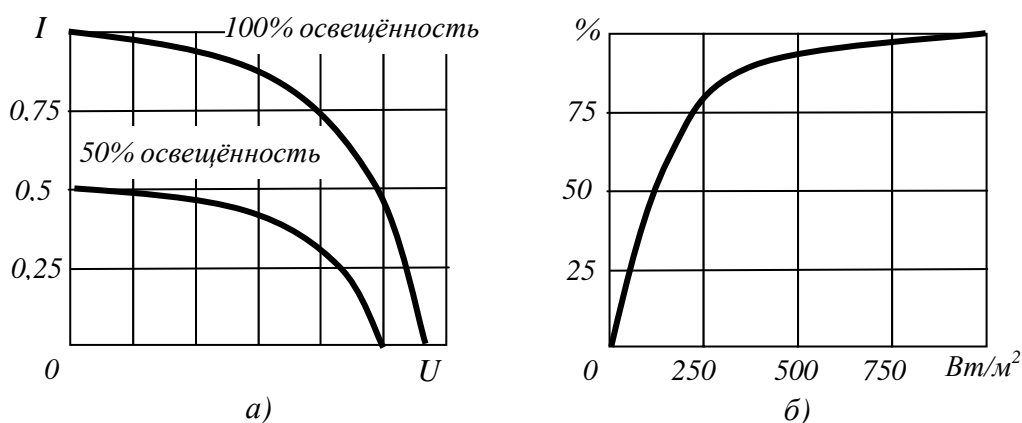


Рисунок 5 – ВАХ фотоэлемента (а) и зависимость эффективности фотопреобразования (б) от интенсивности солнечного излучения

Зависимость (1) даёт удовлетворительный результат для углов  $\alpha = 0 - 50^\circ$ . При увеличении угла  $\alpha$  параметры фотопреобразовательного мо-

дуля заметно отклоняются от косинусоидальной зависимости и при  $\alpha = 85^\circ$  фотоэлемент прекращает генерировать электроэнергию. КПД фотопреобразовательного модуля (элемента) мало зависит от интенсивности солнечного излучения в рабочем диапазоне. По рисунку 5, б видно, что в диапазоне изменения интенсивности солнечного излучения  $800 - 1000 \text{ Вт/м}^2$  эффективность фотопреобразования меняется незначительно. Следовательно, мощность СБ в облачный день снижается по сравнению с солнечным только из-за меньшей солнечной энергии, падающей на приёмную поверхность фотопреобразователя. Обычно, при небольшой облачности, СБ может выдавать до 80% своей максимальной мощности. В пасмурную погоду эта величина снижается до 30%.

Основными недостатками солнечных фотоэлектрических станций (СФЭС) являются:

- высокая стоимость фотоэлементов, преобразующих солнечную радиацию в электроэнергию постоянного тока;
- применение инверторов, осуществляющих преобразование электроэнергии постоянного тока в электроэнергию переменного тока, понижают их КПД;
- наличие аккумуляторных батарей, применяющих в качестве резервных источников, и обеспечивающих бесперебойное электроснабжение потребителей, значительно повышает стоимость солнечной электростанции.

Эти недостатки приводят к тому, что в настоящее время стоимость электроэнергии, вырабатываемую с помощью СФЭС, превышает в несколько раз стоимость электроэнергии, вырабатываемую от традиционных источников электроэнергии.

Солнечные электростанции могут быть использованы как для решения локальных энергетических задач, так и глобальных проблем энергети-



ки. При КПД СФЭС 12% все современное потребление электроэнергии в России может быть получено от этих станций площадью около 4000 км<sup>2</sup>.

Наиболее практическое применение в мире получили гибридные (комбинированные) солнечно-топливные электростанции с параметрами: КПД около 14%, температура пара 371°С, давление пара 100 бар, стоимость вырабатываемой электроэнергии 0,08 – 0,12 дол/кВт ч.

Поскольку удельная стоимость солнечной электростанции не зависит от ее размеров и мощности, в ряде случаев целесообразно модульное размещение СФЭС на крыше сельского дома, коттеджа, фермы. Собственник СФЭС будет продавать электроэнергию энергосистеме в дневное время, и покупать ее у энергетической компании по другому счетчику в ночные часы. Преимуществом такого использования, помимо политики поощрения малых и независимых производителей энергии, является экономия на опорных конструкциях и площади земли, а также совмещение функции крыши и источника энергии.

В связи с высокой надежностью срок службы СФЭС по основной компоненте – кремнию и солнечным элементам может быть увеличен до 50 – 100 лет. Для этого потребуются исключить из технологии герметизации полимерные материалы. Единственным ограничением может явиться необходимость их замены на более эффективные. КПД 25 – 30% будет достигнут в производстве в ближайшие 10 лет. В случае замены солнечных элементов кремний может быть использован повторно и количество циклов его использования не имеет ограничений во времени.

Исходными данными для определения экономической эффективности использования СФЭС являются:

- среднемесячная дневная энергетическая освещенность  $E$  (кВт/м<sup>2</sup>);
- средние годовые суммы суммарной радиации на горизонтальную поверхность  $E_{ГОД}$  (кВт ч/м<sup>2</sup>);

– среднемесячные суммы суммарной радиации на горизонтальную поверхность  $E_{MEC}$  ( $кВт ч/м^2$ ).

Технически приемлемый уровень солнечной радиации в настоящее время может быть определён из выражения

$$E \geq 0,2 \text{ кВт} / \text{м}^2. \quad (2)$$

Средняя удельная стоимость фотоэлектрических модулей в настоящее время составляет  $100 - 150 \text{ руб/Вт}$ .

Для производства электрической энергии переменного тока, кроме собственного фотоэлектрического преобразователя, необходим автономный инвертор (АИ), аккумуляторные батареи (АБ) и коммутационная аппаратура, согласующие устройства и др. Удельная стоимость полнокомплектной СФЭС соответственно возрастает до  $C_{уд} = 200000 - 250000 \text{ руб/кВт}$ .

Полная стоимость СФЭС определяется по формуле

$$C_{СФЭС} = C_{уд} P_{СФЭС}, \quad (3)$$

где  $P_{СФЭС}$  – мощность СФЭС,  $кВт$ .

К капитальным затратам на СФЭС следует также отнести стоимость проектных  $C_{ПР}$  и строительных  $C_{СТР}$  работ по определению местоположения и установки станции.

Для определения требуемой мощности СБ необходимо использовать данные не о полной установленной мощности потребителей электроэнергии, а о среднесуточном потреблении электроэнергии  $W$ .

Эксплуатация автономных СФЭС в режиме многолетней непрерывной работы предполагает отсутствие периодической подзарядки АБ от внешней сети. В этом случае СБ при минимуме её пиковой мощности должна полностью обеспечить электроэнергией автономный объект.

Для определения мощности СФЭС необходимо рассчитать общее количество электроэнергии, которое может выработать один солнечный

модуль за расчётный промежуток времени. Для расчёта необходимо значение солнечной радиации, которое берётся за период работы станции, когда солнечная радиация минимальная  $E_{МЕС}$ . В случае круглогодичного использования, как правило, это за декабрь.

Определив значение солнечной радиации за интересующийся период и разделив его на 1000, получается так называемое количество пикочасов, т.е., условное время, в течение которого солнце светит как бы с интенсивностью  $1000 \text{ Вт/м}^2$ . Солнечный модуль мощностью  $P_M$  в течение выбранного периода вырабатывает количество энергии

$$W_M = \frac{kP_M E}{1000}, \text{ кВтч}, \quad (4)$$

где  $E$  – значение инсоляции за выбранный период,  $\text{кВт ч/м}^2$ ;  $k$  – коэффициент, учитывающий поправку на потерю мощности солнечных элементов при нагреве на солнце, а также наклонное падение лучей на поверхность модулей в течение дня.

Величина  $k = 0,5$  летом и  $k = 0,7$  в зимний период. Разница в его значении зимой и летом обусловлена меньшим нагревом элементов в зимний период эксплуатации СФЭС.

Полная мощность СФЭС определяется по формуле

$$P_{СФЭС} = \frac{30P_M W}{W_M}, \text{ кВт}, \quad (5)$$

где  $W$  – среднесуточное потребление электроэнергии потребителями,  $\text{кВт ч}$ .

Критерием для определения рационального режима работы СФЭС (круглогодичный или сезонный) могут служить данные о суммарной радиации на поверхности Земли

$$k_{РАД} = \frac{E_{ГОД}}{E_{МЕС}}. \quad (6)$$

При значениях  $k > 50$  возможно только сезонное применение СФЭС.

В эксплуатационные расходы СФЭС входят затраты на обслуживание  $C_{ЭКС}$  и ремонт  $C_{РЕМ}$

$$C_{РЕМ} = K_{РЕМ} P_H (C_{СФЭС} + C_{СТР}), \quad (7)$$

где  $K_{РЕМ}$  – коэффициент затрат на ремонт.

Таким образом, рассмотренные в статье особенности работы и расчёта экономической эффективности СФЭС позволяет повысить эффективность предпроектных работ по разработке комбинированных (гибридных) станций генерирующих электрическую и тепловую энергию, получаемую от солнечной радиации.

### Список литературы

1. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е., Квитко А.В. Возобновляемые источники электроэнергии: термины, определения, достоинства и недостатки // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. - № 32. – С. 189-192.
2. Григораш О.В., Тропин В.В., Оськина А.С. Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых источников энергии в Краснодарском крае // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2012. – № 83 (09). С. 188 – 199.
3. Григораш О. В. Выбор оптимальной структуры систем автономного электроснабжения / О. В. Григораш, С. А. Симоненко, А. Е. Усков // Механизация и электрификация с.-х. – 2007. – № 8. – С. 31–33.
4. Григораш О. В. Особенности расчета КПД и МГП статических преобразователей / О. В. Григораш, А. А. Шевченко, А. Е. Усков, В. В. Энговатова // Тр. КубГАУ. – 2011. – № 3. – С. 248–252.
5. Григораш О. В. Универсальные статические преобразователи электроэнергии / О. В. Григораш, А. В. Бутенко, А. Е. Усков // Тр. КубГАУ. – 2008. – № 1. – С. 55–57.
6. Григораш О. В. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения: монография / О. В. Григораш, Ю. П. Степура, А. Е. Усков. – Краснодар, 2011. – 188 с.
7. Пат. РФ № 2414802, МПК H02M 7/539. Преобразователь напряжения постоянного тока с промежуточным звеном повышенной частоты / Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е., Власенко Е. А., Винников А. В., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010112018/07, заявл. 29.03.2010; опубл. 20.03.2011; бюл. № 8. – 8 с.
8. Пат. РФ № 2417471, МПК H02F30/14. Однофазно–трёхфазный трансформатор с вращающимся магнитным полем / Григораш О. В., Усков А. Е., Власенко Е. А., Бутенко А. В., Григораш А. О., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010102288/07 заявл. 25.10.2010; опубл. 27.04.2011; бюл. № 12. – 5 с.

9. Пат. РФ № 2420854, МПК H02M7/539. Однофазный автономный инвертор с широтно-импульсной модуляцией / Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е., Тонкошкuroв Ю. Н., Сулейманов А. Э., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010119105/07, заявл. 11.05.2010; опубл. 10.06.2011; бюл. № 16. – 7 с.

10. Пат. РФ № 2420855, МПК H02M7/539. Преобразователь напряжения постоянного тока на реверсивном выпрямителе / Степура Ю. П., Григораш О. В., Власенко Е. А., Усков А. Е., Перенко Ю. М., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 201011906/07, заявл. 11.05.2010; опубл. 10.06.2011; бюл. № 16. – 9 с.

11. Пат. РФ № 2421871, МПК H02M7/539. Автономный инвертор с широтно-импульсной модуляцией / Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е., Тонкошкuroв Ю. Н., Сулейманов А. Э. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010119202/07, заявл. 12.05.2010; опубл. 20.06.2011; бюл. № 17.– 7 с.

12. Пат. РФ № 2426216, МПК H02M 7/53. Трёхфазный инвертор / Григораш О. В., Степура Ю. П., Власенко Е. А., Усков А. Е., Шиян Ю. В., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010105573/07, заявл. 16.02.2010; опубл. 10.08.2011; бюл. № 22. – 9 с.

13. Пат. РФ № 2457598, МПК H02J 9/06. Устройство бесперебойного электроснабжения / Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е., Соболев А.Н., Павлов И. А., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2011123069/07, заявл. 07.06.2011; опубл. 27.07.2012; бюл. № 21. – 6 с.

14. Пат. РФ № 2488938, МПК H02M 7/539. Преобразователь напряжения постоянного тока в трёхфазное напряжение переменного тока на реверсивном выпрямителе / Усков А. Е., Власов А. Г., Буторина Е. О., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2012110439/07, заявл. 19.03.2012; опубл. 27.07.2013; бюл. № 21. – 10 с.

15. Пат. РФ № 2494437, МПК G05F 5/04. Устройство для обеспечения параллельной работы автономных инверторов солнечных электростанций / Григораш О. В., Усков А. Е., Власов А. Г., Буторина Е. О., Сыроваткин А. Р., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2012128406/08, заявл. 05.07.2012; опубл. 27.09.2013; бюл. № 27. – 10 с.

16. Упрощенный расчет однофазно-трёхфазного трансформатора с вращающимся магнитным полем: свидетельство об официальной регистрации для ЭВМ№ 2012617112, Российская Федерация / А. Е.Усков, заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2012614803; заявл. 13.06.2012; зарегистр. 08.08.2012.

17. Усков А. Е. Выбор оптимальной структуры системы автономного электроснабжения / А. Е. Усков // Механизация и электрификация с.-х. – 2007. – № 8. – С. 30–31.

18. Усков А. Е. Автономные инверторы солнечных электростанций: монография / А. Е. Усков. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 126 с.

19. Усков А. Е. Обоснование выбора параметров электроэнергии автономных систем электроснабжения // Тр. КубГАУ. – 2010. – №6. – С. 121–124.

20. Усков А.Е. Статические преобразователи электроэнергии с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками / А.Е. Усков, П.Г. Корзенков, А.П. Донсков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №03(097). С. 237 – 248. – IDA [article ID]: 0971403016. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/16.pdf>, 0,75 у.п.л.

21. Усков А.Е. Потенциал, особенности работы и экономическая эффективность солнечных фотоэлектрических станций / А.Е. Усков, Е.О. Буторина, Е.Г. Беспалов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №04(098). С. 353 – 363. – IDA [article ID]: 0981404027. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/27.pdf>, 0,688 у.п.л.

22. Усков А.Е. Солнечная энергетика: состояние и перспективы / А.Е. Усков, А.С. Гиркин, А.В. Дауров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №04(098). С. 342 – 352. – IDA [article ID]: 0981404026. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/26.pdf>, 0,688 у.п.л.

23. Григораш О.В. Инверторы солнечных электростанций с улучшенными техническими характеристиками / О.В. Григораш, А.Е. Усков, Я.А. Семёнов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №05(099). С. 101 – 111. – IDA [article ID]: 0991405006. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/06.pdf>, 0,688 у.п.л.

24. Статический преобразователь, требования и конструктивные отличия / А.Е. Усков, В.А. Горбачёв, А.В. Дизендорф, С.С. Лучков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №10(104). С. 476 – 487. – IDA [article ID]: 1041410034. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/34.pdf>, 0,75 у.п.л.

25. Усков А.Е. Солнечные фотоэлектрические станции как основной источник энергии / А.Е. Усков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №10(104). С. 467 – 475. – IDA [article ID]: 1041410033. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/33.pdf>, 0,562 у.п.л.

## References

1. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E., Kvitko A.V. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii: terminy, opredelenija, dostoinstva i nedostatki // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. - № 32. – S. 189-192.

2. Grigorash O.V., Tropin V.V., Os'kina A.S. Ob jeffektivnosti i celesoobraznosti ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jenergii v Krasnodarskom krae // Politematicheskij setevoj jelektronnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU). – Krasnodar: KubGAU, 2012. – № 83 (09). S. 188 – 199.

3. Grigorash O. V. Vybor optimal'noj struktury sistem avtonomnogo jelektro-snabzhenija / O. V. Grigorash, S. A. Simonenko, A. E. Uskov // Mehanizacija i jelektrifikacija s.-h. – 2007. – № 8. – S. 31–33.

4. Grigorash O. V. Osobennosti rascheta KPD i MGP staticheskikh preobrazovatelej / O. V. Grigorash, A. A. Shevchenko, A. E. Uskov, V. V. Jengovatova // Tr. KubGAU. – 2011. – № 3. – S. 248–252.

5. Grigorash O. V. Universal'nye staticheskie preobrazovateli jelektrojenergii / O. V. Grigorash, A. V. Butenko, A. E. Uskov // Tr. KubGAU. – 2008. – № 1. – S. 55–57.

6. Grigorash O. V. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh si-stem jelektrosnabzhenija: monografija / O. V. Grigorash, Ju. P. Stepura, A. E. Uskov. – Krasnodar, 2011. – 188 s.

7. Pat. RF № 2414802, MPK N02M 7/539. Preobrazovatel' naprjazhenija postojanno-go toka s promezhutochnym zvenom povyshennoj chastoty / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E., Vlasenko E. A., Vinnikov A. V., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010112018/07, zajavl. 29.03.2010; opubl. 20.03.2011; bjul. № 8. – 8 s.

8. Pat. RF № 2417471, MPK N02F30/14. Odnofazno-trjohfaznyj transformator s vrashhajushhimsja magnitnym polem / Grigorash O. V., Uskov A. E., Vlasenko E. A., Butenko A. V., Grigorash A. O., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010102288/07 zajavl. 25.10.2010; opubl. 27.04.2011; bjul. № 12. – 5 s.

9. Pat. RF № 2420854, MPK H02M7/539. Odnofaznyj avtonomnyj invertor s shi-rotno-impul'snoj moduljaciej / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E., Tonkosh-kurov Ju. N., Sulejmanov A. Je., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010119105/07, zajavl. 11.05.2010; opubl. 10.06.2011; bjul № 16. – 7 s.

10. Pat. RF № 2420855, MPK H02M7/539. Preobrazovatel' naprjazhenija postojanno-go toka na reversivnom vyprjamatele / Stepura Ju. P., Grigorash O. V., Vlasenko E. A., Uskov A. E., Perenko Ju. M., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 201011906/07, zajavl. 11.05.2010; opubl. 10.06.2011; bjul. № 16. – 9 s.

11. Pat. RF № 2421871, MPK H02M7/539. Avtonomnyj invertor s shirotno-impul'snoj moduljaciej / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E., Tonkoshkurov Ju. N., Sulejmanov A. Je. zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010119202/07, zajavl. 12.05.2010; opubl. 20.06.2011; bjul № 17. – 7 s.

12. Pat. RF № 2426216, MPK N02M 7/53. Trjohfaznyj invertor / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Vlasenko E. A., Uskov A. E., Shijan Ju. V., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010105573/07, zajavl. 16.02.2010; opubl. 10.08.2011; bjul. № 22. – 9 s.

13. Pat. RF № 2457598, MPK H02J 9/06. Ustrojstvo besperebojnogo jelektrosnabzhenija / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E., Sobol' A.N., Pavlov I. A., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2011123069/07, zajavl. 07.06.2011; opubl. 27.07.2012; bjul. № 21. – 6 s.

14. Pat. RF № 2488938, MPK N02M 7/539. Preobrazovatel' naprjazhenija postojanno-go toka v trjohfaznoe naprjazhenie peremennogo toka na reversivnom vyprjamatele / Uskov A. E., Vlasov A. G., Butorina E. O., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2012110439/07, zajavl. 19.03.2012; opubl. 27.07.2013; bjul. № 21. – 10 s.

15. Pat. RF № 2494437, MPK G05F 5/04. Ustrojstvo dlja obespechenija parallel'noj raboty avtonomnyh invertorov solnechnyh jelektrostancij / Grigorash O. V., Uskov A. E., Vlasov A. G., Butorina E. O., Syrovatkin A. R., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2012128406/08, zajavl. 05.07.2012; opubl. 27.09.2013; bjul. № 27. – 10 s.

16. Uproshhennyj raschet odnofazno-trjohfaznogo transformatora s vrashhajushhimsja magnitnym polem: svidetel'stvo ob oficial'noj registracii dlja JeVM№ 2012617112, Rossijskaja Federacija / A. E.Uskov, zajavitel' i pravoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2012614803; zajavl. 13.06.2012; zaregistr. 08.08.2012.

17. Uskov A. E. Vybor optimal'noj struktury sistemy avtonomnogo jelektrosnab-zhenija / A. E. Uskov // *Mehanizacija i jelektrifikacija s.-h.* – 2007. – № 8. – S. 30–31.

18. Uskov A. E. Avtonomnye inventory solnechnyh jelektrostantsij: monografija / A. E. Uskov. – Krasnodar: KubGAU, 2011. – 126 s.

19. Uskov A. E. Obosnovanie vybora parametrov jelektrojenergii avtonomnyh si-stem jelektrosnabzhenija // *Tr. KubGAU.* – 2010. – №6. – S. 121–124.

20. Uskov A.E. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii s uluchshennymi jekspluatacionno-tehnicheskimi harakteristikami / A.E. Uskov, P.G. Korzenkov, A.P. Donskov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №03(097). S. 237 – 248. – IDA [article ID]: 0971403016. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/16.pdf>, 0,75 u.p.l.

21. Uskov A.E. Potencial, osobennosti raboty i jekonomicheskaja jeffektivnost' solnechnyh fotojelektricheskikh stancij / A.E. Uskov, E.O. Butorina, E.G. Bespalov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №04(098). S. 353 – 363. – IDA [article ID]: 0981404027. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/27.pdf>, 0,688 u.p.l.

22. Uskov A.E. Solnechnaja jenergetika: sostojanie i perspektivy / A.E. Uskov, A.S. Girkin, A.V. Daurov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №04(098). S. 342 – 352. – IDA [article ID]: 0981404026. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/26.pdf>, 0,688 u.p.l.

23. Grigorash O.V. Inventory solnechnyh jelektrostantsij s uluchshennymi tehniceskimi harakteristikami / O.V. Grigorash, A.E. Uskov, Ja.A. Semjonov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №05(099). S. 101 – 111. – IDA [article ID]: 0991405006. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/06.pdf>, 0,688 u.p.l.

24. Sticheseskij preobrazovatel', trebovanija i konstruktivnye otlichija / A.E. Uskov, V.A. Gorbachjov, A.V. Dizendorf, S.S. Luchkov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №10(104). S. 476 – 487. – IDA [article ID]: 1041410034. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/34.pdf>, 0,75 u.p.l.

25. Uskov A.E. Solnechnye fotojelektricheskie stancii kak osnovnoj istochnik jenerгии / A.E. Uskov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №10(104). S. 467 – 475. – IDA [article ID]: 1041410033. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/33.pdf>, 0,562 u.p.l.