

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАНОКЛАСТЕРАМИ СЕРЕБРА

© 2018

В.В. Кувшинов, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»

Севастопольский государственный университет, Севастополь (Россия)

Б.Л. Крит, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии производства приборов
и информационных систем управления летательных аппаратов»

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва (Россия)

Н.В. Морозова, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Медицинская техника»

Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва (Россия)

Д.Ю. Кукушкин, ассистент кафедры «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии»

А.В. Савкин, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии»

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва (Россия)

Ключевые слова: фотопреобразователь; фотоэлектрический модуль; сетевые электростанции; наночастицы; солнечный элемент; фоклин; нанокластеры серебра; мощностные характеристики.

Аннотация: Проведен анализ режимов работы фотоэлектрических преобразователей, используемых для солнечных установок и предназначенных для работы как в составе единой энергосистемы, так и для нужд индивидуальных потребителей. Установлено, что для увеличения мощностных характеристик фотоэлементов солнечных установок весьма эффективно использование солнечных концентраторов специальных конструкций. Вместе с тем это существенно усложняет оборудование, поскольку связано с необходимостью оснащения фотоэлектрической установки дополнительными системами слежения и позиционирования относительно солнца. В настоящей работе для концентрации солнечного излучения авторами предложено использовать модифицирование приемной поверхности фотоэлементов нанесением покрытия из наночастиц серебра, полученных импульсно-искровым методом диспергирования. Результаты проведенных экспериментов показали, что осажденные на поверхность нанокластеры серебра, исполняя роль плазмонных частиц, способствуют увеличению количества фотонов, участвующих в фотоэлектрическом процессе при постоянном потоке падающей солнечной радиации. Это позволило значительно улучшить мощностные характеристики штатных фотоэлектрических преобразователей, используемых при сборке заводских фотоэлектрических модулей для сетевых электростанций. Увеличение мощности фотоэлементов с нанопокрывтием возросло в среднем на 20 %, при этом даже в случае бокового падения солнечного излучения на их рабочую поверхность мощностные характеристики фотопреобразователей были близки к теоретическим значениям, в отличие от солнечных элементов без покрытия.

Полученные данные будут способствовать улучшению показателей и увеличению эффективности фотоэнергетических установок и устройств различного назначения, не увеличивая при этом площадь их приемной поверхности, что существенно расширит сферу использования солнечных энергетических установок.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный рост цен на традиционные энергоносители и на электрическую энергию, получаемую в основном от сжигания ископаемого топлива, обусловлен прежде всего ростом себестоимости добываемого топлива и увеличением затрат на его транспортировку. В то же время наметилась устойчивая тенденция снижения стоимости энергии, получаемой от возобновляемых источников. На данный момент актуальной является задача снижения потребления традиционных топливно-энергетических ресурсов за счет использования альтернативных источников энергии [1; 2]. В частности, этого можно добиться путем внедрения установок по прямому преобразованию солнечной энергии. Использование солнечной энергии для электроснабжения коммунальных и промышленных объектов является одним из путей обеспечения энергетической безопасности России и занимает важное место в развитии возобновляемой энергетики. Этому способствуют наличие ресурсной и технологической базы, климатические условия, которые позволяют применять солнечные установки в большом количестве регионов страны.

В условиях нынешнего положения в сфере электроснабжения Крыма необходимо в срочном порядке устанавливать дополнительные мощности по выработке электрической энергии как для промышленных объектов, так и для индивидуальных потребителей [3]. В частности, многие жилые дома и учреждения уже обеспечены бензиновыми и дизельными генераторами небольшой мощности от 1 до 5 кВт и более. Однако для эффективной работы этих систем необходимо постоянное энергообеспечение полуострова традиционными энергоресурсами (углеводородами) в размерах, значительно превышающих их плановые поставки. В условиях не только энергетической, но и транспортной блокады полуострова эти поставки становятся не только дорогостоящими, но и проблематичными. С учетом всего вышесказанного, развитие альтернативных (ветровых и солнечных) энергоустановок является одной из приоритетных задач.

В Крыму имеется несколько сетевых фотоэлектрических станций суммарной мощностью около 400 МВт, передающих выработанную электроэнергию непосредственно в общую энергосистему [3]. Однако непостоянство

потока солнечной энергии приводит к неравномерной выработке энергии этими станциями и, как следствие, оказывает негативное воздействие на электрические сети и подстанции. Также эти электростанции не решают задачу надежности поставки электрической энергии для Крыма. Из-за постоянных перебоев с электроснабжением многие потребители в Крыму установили аккумуляторные системы для бесперебойного электроснабжения. При оснащении аккумуляторных систем жилых домов фотоэлектрическими модулями можно значительно снизить электропотребление в масштабах Крыма, а также обеспечить автономное электроснабжение индивидуальных потребителей.

Главной проблемой при использовании солнечных установок является невысокая плотность и непостоянство потока солнечной радиации, преобразовываемой в тепловую и электрическую энергию, их низкий КПД и эффективность использования и, как следствие, высокая себестоимость на единицу мощности. Коэффициент преобразования солнечной радиации в электрическую энергию кремниевыми фотоэлектрическими модулями составляет 15...20 % [4]. Невысокий радиационный потенциал солнечной энергии определяет более высокие требования к эффективности использования солнечных установок для электрообеспечения индивидуальных потребителей, к методам определения их основных параметров, к способам увеличения их мощностных характеристик.

Одно из направлений повышения КПД подобных систем – использование комбинированных солнечных установок, совмещающих на одной приемной поверхности тепловой коллектор и фотоэлектрический модуль [5; 6]. По мере развития современной науки и техники стало появляться все больше термофотоэлектрических установок, благодаря которым с одной и той же рабочей поверхности одновременно вырабатывается тепловая и электрическая энергия. Такие термофотоэлектрические солнечные установки можно с уверенностью отнести к новому классу гелиотехники [5–8]. Однако фотоэлектрический коэффициент преобразования у этих установок небольшой из-за неравномерности падения солнечной радиации на их приемную поверхность, и выработка электрической энергии у них невысокая [9].

Дополнительно улучшить показатели термофотоэлектрических установок возможно при использовании концентраторов специальных конструкций [10], а также различных функциональных покрытий приемной поверхности фотоэлектрических элементов [11; 12].

Цель работы – поиск путей улучшения показателей фотоэлектрических преобразователей, в частности повышения их мощностных характеристик, без увеличения при этом площади приемной поверхности.

ОБРАЗЦЫ, МЕТОДЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Повышение мощности фотоэлементов не экстенсивными способами возможно за счет увеличения апертуры приемной поверхности, поэтому изучение изменения вольт-амперных и мощностных характеристик фотоэлектрических солнечных установок проводили с использованием специально сконструированных концентраторов потока солнечного излучения и концентраторов, представляющих собой различные функциональ-

ные покрытия приемной поверхности фотоэлектрических элементов. Эксперименты проводились на кафедрах «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети» Института ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета и «Технологии производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов» и «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) с участием кафедры «Медицинская техника» Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования. В данной работе в качестве основного объекта исследования был выбран серийный заводской фотоэлектрический поликремневый элемент. Из аналогичных элементов состоят модули российского производства PS-250 [13], используемые на крымских сетевых электрических станциях (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид фотоэлектрического модуля PS-250

Для увеличения плотности светового потока на фотоэлектрические преобразователи в данной работе были использованы низкопотенциальный плоский концентратор собственной разработки [10; 13] и модернизированный концентратор, повышающий равномерность распределения лучей по приемной поверхности фотоэлектрических модулей [14; 15], которые устанавливали на панели фотоэлектрической установки.

Для повышения ресурса работы, стабилизации фотоэлектрических характеристик и увеличения электрической выработки фотопреобразователя поверхность солнечных элементов модифицировали нанокластерами серебра размером 5–20 нм. Такой тип напыления увеличивает защитные показатели фотоэлементов (в частности, при работе на морском побережье) и за счет специального нанопокртия увеличивает количество фотонов, которые участвуют в фотоэлектрическом эффекте при постоянном потоке падающей солнечной радиации.

Наночастицы серебра были получены импульсно-искровым методом диспергирования металлов [16–18]. Принцип действия установки поясняется на рис. 2, где показана схема питания реактора.

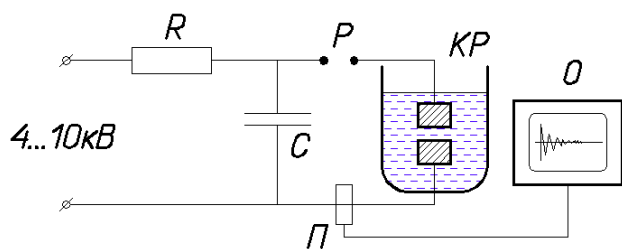


Рис. 2. Схема питания реактора:
C – высоковольтный конденсатор 15 кВ;
P – разрядник воздушный
 (высоковольтный коммутатор);
П – пояс Розовского;
O – осциллограф; *КР* – камера разрядная

Питание установки для генерации разрядов в жидкой среде обеспечивается высоковольтным трансформатором, обеспечивающим требуемый для работы реактора диапазон напряжений 4÷10 кВ. Высокое напряжение с трансформатора заряжает разрядный конденсатор *C* до установленного на высоковольтном коммутаторе *P* амплитудного значения напряжения. При достижении заданного на высоковольтном коммутаторе *P* пробивного напряжения через электродную систему, помещенную в рабочую жидкость, возникает искровой разряд, вызывая их эрозию.

Сущность метода определяется инициацией импульсного электрического разряда в жидкости – процесса кратковременного локализованного выделения большого количества энергии. Фактически это электрический взрыв в первоначально малом объеме канала искры разряда, проложенного стримером, появившийся под действием высокого электрического потенциала между противостоящими электродами.

Токи разряда в импульсах достигают значений 1÷2 кА. При этом температура в искре достигает $(20\div30)\cdot 10^3$ К. Высокая температура катодного пятна обеспечивает переход части электрода из твердой в жидкую фазу, которая частично испаряется, а частично выбрасывается ударной волной расширяющейся парогазовой смеси и испаряется в горячей зоне разряда. Паровая компонента, продолжая расширяться, охлаждается с образованием зародышей докритического, а затем критического размера, которые, стабилизируясь, образуют субмикронные частицы сферической формы.

Полученные наночастицы были нанесены на пластину фотоэлектрического преобразователя. Было подготовлено два образца: на первый наночастицы серебра были осаждены методом электрофореза, другой образец готовился путем длительного выдерживания (36 часов) пластины преобразователя в коллоидном растворе серебра.

На рис. 3 показана принципиальная схема установки для нанесения наночастиц металлов на поверхность проводящего материала методом электрофореза. Пла-

стина преобразователя помещается между электродами 2 и 5. Установка заполняется коллоидным раствором, и подключается потенциал к электродам. Коллоидные частицы имеют заряд, поэтому они могут двигаться в электрическом поле. Достигая электрода, частицы теряют заряд и слипаются – коллоидный раствор коагулирует на поверхности материала.

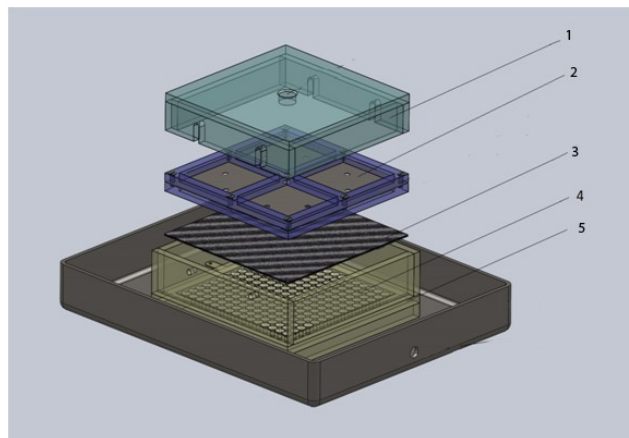


Рис. 3. Установка для нанесения наночастиц металлов:
 1 – верхняя прижимная крышка;
 2 – металлический электрод,
 закрепленный в рамку из оргстекла;
 3 – кремниевая пластина; 4 – основание;
 5 – нижний электрод

На рис. 4 и 5 представлены снимки покрытий, выращенных на подложках из кремния, полученные с помощью комплекса визуализации микрообъектов на базе сканирующего электронного микроскопа Phenom.

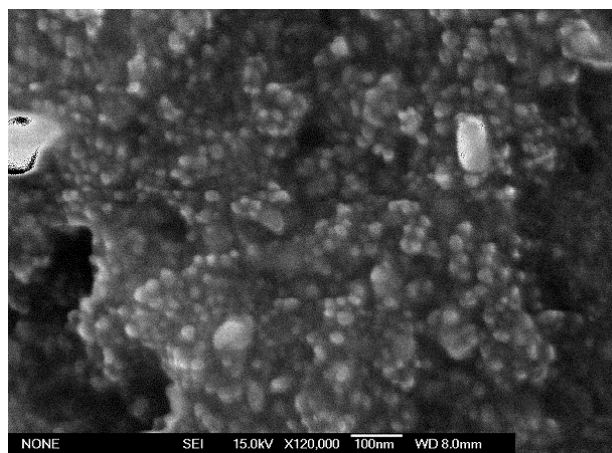


Рис. 4. Покрытие из наночастиц серебра на кремниевой подложке, полученное методом электрофореза

Как видно на снимке (рис. 4), наночастицы довольно равномерно распределены по поверхности подложки и имеют размеры, преимущественно принадлежащие диапазону 5÷20 нм.

Как следует из рис. 5, при длительном выдерживании в коллоидном растворе серебра на поверхности подложки исходные наночастицы успевают образовывать кластеры (агломераты) со средними размерами 200÷500 нм.

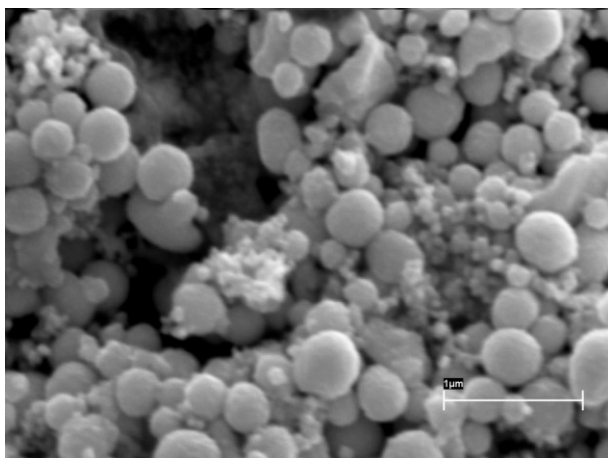


Рис. 5. Наночастицы серебра на кремниевой подложке после длительного выдерживания в растворе

Для оценки функциональных характеристик были проведены сравнительные исследования заводских промышленных поликремневых фотоэлементов, используемых в фотоэлектрических модулях PS-250, без напыления и фотоэлементов с покрытием из наночастиц серебра.

Исследования характеристик фотоэлектрических преобразователей проводили в натуральных условиях на открытой площадке, при естественном постоянном солнечном освещении (около 950 Вт/м²), полученные данные сравнивали с паспортной вольт-амперной характеристикой заводских элементов. При проведении исследований использовался метод прямых измерений характеристик фотопреобразователя по току и напряжению при переменном нагрузочном сопротивлении [19]. При этом учитывалось влияние изменения угла падения лучей на приемную поверхность фотоэлектрических преобразователей, приводящее к изменению освещенности рабочей поверхности модуля [4; 9].

Измерения проводились в натуральных условиях в Севастопольском госуниверситете (на широте 45°) в апреле. Максимальное значение мощности соответствовало углу наклона плоскости фотоэлемента 50° к горизонтальной площадке.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По вольт-амперным характеристикам можно говорить о качестве работы модуля. По мощностным характеристикам можно судить о выработке электрической энергии в данное время года, суток, при данных климатических факторах [9]. Эти результаты необходимы при расчетах систем солнечного электрообеспечения, при проектировании фотоэлектрических станций [14].

Типичные (паспортные) вольт-амперные и мощностные характеристики фотоэлемента представлены на

рис. 6 (пунктирная линия). Экспериментальные характеристики, полученные при измерениях фотоэлементов, покрытых наночастицами серебра, показаны на рис. 6 сплошной линией.

Как видно из графиков (рис. 6), имеет место увеличение на 20 % мощностных характеристик фотоэлектрических преобразователей при нанесении на их рабочую поверхность нанопокровов.

В натуральных условиях изменения угла падения лучей на приемную поверхность фотоэлектрического модуля на определенную величину приводят к соответствующему изменению освещенности рабочей поверхности модуля E_0 , что, в свою очередь, влияет на работу фотоэлектрического модуля [14; 20]. Смоделировать ситуацию изменения освещенности рабочей поверхности при движении солнца по горизонту можно, изменяя в течение короткого времени положение угла установки фотоэлектрического модуля к горизонту и проводя при этом прямые измерения тока и напряжения модуля при изменении нагрузочного сопротивления.

Расчет вырабатываемой мощности солнечной фотоэлектрической батареи ($P_{\text{бат}}$) производится по формуле

$$P_{\text{бат}} = E_0 \eta_{\text{эл}} S_{\text{эл}} \cos(K \cdot \alpha_0),$$

где $\eta_{\text{эл}}$ – КПД элементов;

E_0 – солнечная освещенность;

$S_{\text{эл}}$ – площадь солнечных элементов батареи;

K – суммарный коэффициент ослабления светового потока, зависящий от конкретной конструкции фотопреобразователя;

α_0 – угол между нормалью к плоскости модуля и солнечными лучами.

Коэффициент K в формуле при теоретических расчетах соответствует значению 1. Для фотоэлектрических преобразователей, при перпендикулярном падении лучей на их рабочую поверхность, этот коэффициент также близок к 1. Однако при отклонениях рабочей поверхности от перпендикуляра их мощностные характеристики заметно падают, с учетом изменения значения коэффициента K для различных конструкций фотопреобразователей. Для обычных фотоэлементов и фотоэлектрических модулей этот коэффициент составляет около 1,5.

На графиках (рис. 7) показаны усредненные результаты значений мощностных характеристик фотоэлементов с напылением из наночастиц серебра и фотоэлементов без напыления при изменении их угла установки относительно солнечных лучей. Форма графика изменения мощности фотоэлемента с покрытием из наночастиц серебра близка к форме графика теоретических расчетов, при этом мощностные значения элементов без покрытий на графике значительно падают при изменении угла установки.

Как видно из графиков, фотоэлементы с нанопокровыми имеют более высокие мощностные характеристики по отношению к заводским фотоэлементам, причем при изменении углов установки они не снижают выработку (их мощностные характеристики остаются близкими к теоретическим). При использовании для фотоэлектрических установок плоских низкопотенциальных концентраторов типа фоклин [14], где увеличение мощности солнечных батарей составляло 30–40 %, требовалась значительное усложнение конструкции всей

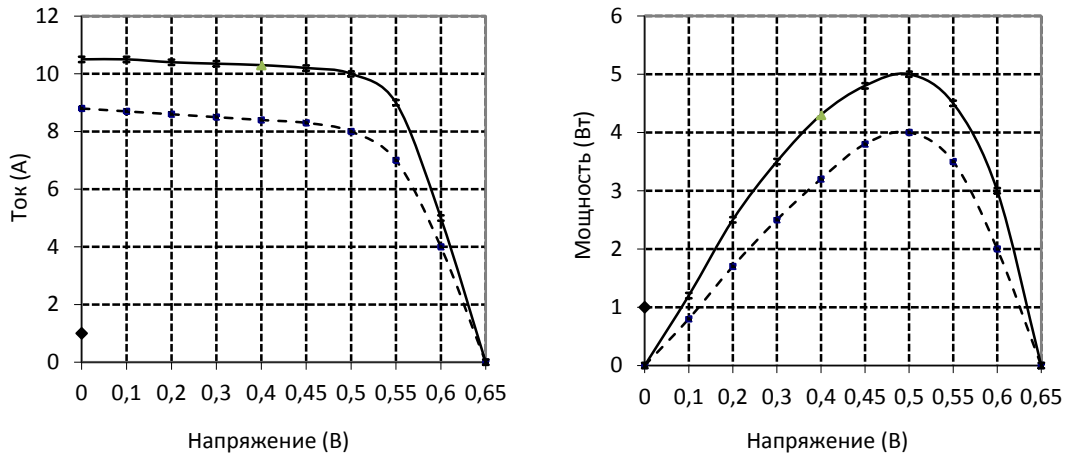


Рис. 6. Вольт-амперные и мощностные характеристики фотоэлементов: пунктирная линия – заводские фотоэлементы без нанопокрyтия; сплошная линия – фотоэлементы с покрытием из наночастиц серебра (данные получены при освещенности около 950 Вт/м^2)

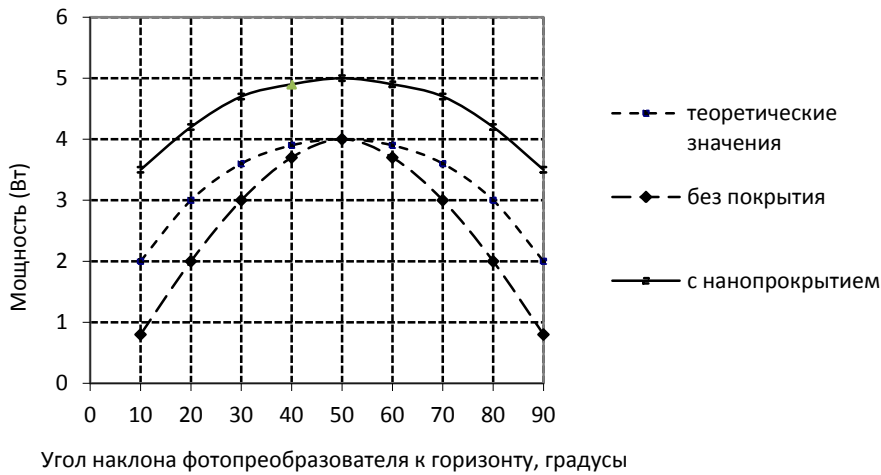


Рис. 7. Зависимость изменения выходной мощности фотоэлектрических преобразователей при изменении угла наклона к горизонту

установки, при этом при определенных углах падения солнечных лучей такой концентратор будет бесполезен. Для установок с фотоэлементами из нанопокрyтий было обнаружено, что выработка у установок (согласно графикам на рис. 7) все время будет на 20% выше. Следовательно, установки с нанопокрyтиями будут иметь такую же выработку, как и установки, снабженные фоклинами (без трековых систем слежения). При этом конструкция установок с фоклинами будет сложнее и дороже.

Работа фотоэлектрических установок сильно зависит от потока солнечной радиации, особенно это сказывается в зимний период. Увеличение преобразования фотоэлементов при малых углах падения солнечных лучей способно значительно поднять выработку электроэнергии солнечными станциями. На графиках (рис. 6 и 7) видно существенное увеличение мощностных характеристик фотоэлементов, используемых в заводских модулях, при нанесении на них покрытий из наночастиц серебра и сохранение их мощностных характеристик при малых углах падения солнечной радиации.

ВЫВОДЫ

1. Модифицирование поверхности фотоэлементов наночастицами серебра приводит к повышению мощностных характеристик фотоэлементов на 20%.
2. Использование фотоэлементов с нанопокрyтиями позволяет увеличить выработку электроэнергии фотоэлектрическими установками за счет более полного преобразования потока падающей солнечной радиации даже при малых углах падения солнечных лучей на приемную поверхность.
3. Полученные данные будут способствовать росту мощностных характеристик различных типов солнечных элементов, увеличению их коэффициента преобразования, повышению эффективности фотоэнергетических установок и устройств различного назначения, не увеличивая при этом площадь их приемной поверхности, что существенно расширит сферу использования солнечных энергетических установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РФ. Об электроэнергетике: федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ (с изменениями на 28.12.2016).
2. Ибрагимова Х.И., Халикова А. Проблемы энергетических ресурсов // Молодой ученый. 2017. № 3. С. 96–98.
3. Кувшинов В.В. Перспективы развития солнечной энергетики в Крыму // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. 2013. № 1. С. 180–185.
4. Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М. Основы фотоэлектричества. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. 292 с.
5. Кузнецов К.В., Тюхов И.И., Сергиевский Э.Д. Исследование характеристик солнечного воздушного гибридного коллектора // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 6-й Международ. науч.-техн. конф. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. Ч. 4. С. 227–231.
6. Кучинский В.П., Синицын Н.П., Суржик А.Н., Шевчук В.И. Методика определения тепловых характеристик фототермических модулей // Відновлювана енергетика. 2007. № 4. С. 44–47.
7. Филиппченкова Н.С., Панченко В.А. Разработка и исследование солнечных теплофотоэлектрических модулей // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 5. С. 136–141.
8. Вейси Ф., Сергиевский Э.Д., Тюхов И.И. Расчёт тепловых режимов двухстороннего приемника излучения в статическом солнечном концентраторе // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: материалы 4-й Международ. науч.-техн. конф. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2004. Ч. 4. С. 114–120.
9. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. М.: Наука, 1985. 300 с.
10. Башта А.И., Кувшинов В.В., Сафонов В.А. Солнечный концентратор для фотоэлектрических модулей: патент РФ № 150120; заявка № 2014149411; заявл. 17.10.2014.
11. Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. Концентраторы солнечного излучения. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. 316 с.
12. Баранов В.К. Новые концентраторы излучения и перспективы их применения в оптике и гелиотехнике // Труды Государственного оптического института. 1979. Т. 45. № 179. С. 57–70.
13. Кувшинов В.В. Исследование характеристик фотоэлектрических модулей, используемых в сетевых солнечных станциях // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. 2013. № 4. С. 170–177.
14. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 397 с.
15. Кувшинов В.В. Использование солнечных концентраторов для повышения мощностных характеристик сетевых фотоэлектрических станций // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. 2014. № 1. С. 144–149.
16. Остроухов Н.Н., Тянгинский А.Ю., Слепцов В.В., Церулев М.В. Электроразрядная технология получения, диагностики и биологическое применение гидрозольей металлов с частицами нанометрового размера // Физика и химия обработки материалов. 2013. № 1. С. 77–82.
17. Mandal P., Sharma S. Progress in plasmonic solar cell efficiency improvement: A status review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 65. P. 537–552. DOI: 10.1016/j.rser.2016.07.031.
18. Ortiz-Gonzalez J., Santbergen R., Tan H., Schmidt Ott A., Zeman M., Smets A.H.M. Plasmonic nanoparticle films for solar cell applications fabricated by size-selective aerosol deposition // Energy Procedia. 2014. Vol. 60. № С. P. 3–12.
19. ГОСТ 28976-91. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольт-амперной характеристики (МЭК 891-87). М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 42 с.
20. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л.: Наука, 1989. 405 с.

REFERENCES

1. RF Federal Law “About power industry” of March 26, 2003 no. 35-FZ (as amended by December 28, 2016). (In Russ.).
2. Ibragimova Kh., Khalikova A. Problems of energy resources. *Molodoy ucheniy*, 2017, no. 3, pp. 96–98.
3. Kuvshinov V.V. Prospects of sun energy development in the Crimea. *Zbirnik naukovykh prats Sevastopolskogo natsionalnogo universitetu yadernoy energii ta promislovosti*, 2013, no. 1, pp. 180–185.
4. Arbuzov Yu.D., Evdokimov V.M. *Osnovy fotoelektrichestva* [Photoelectricity bases]. Moscow, GNU VIESKh Publ., 2007. 292 p.
5. Kuznetsov K.V., Tyukhov I.I., Sergievsky E.D. A research of characteristics of a solar air hybrid collector. *Trudy 6-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. “Energoobespechenie i energosberezhenie v selskom khozyaystve”*. Moscow, GNU VIESKh Publ., 2008. Vol. 4, pp. 227–231.
6. Kuchinsky V.P., Sinitsyn N.P., Surzhik A.N., Shevchuk V.I. A technique of definition of thermal characteristics of photothermal modules. *Vidnovlyvana energetika*, 2007, no. 4, pp. 44–47.
7. Filippchenkova N.S., Panchenko V.A. Development and research of solar heatphotoelectric modules. *Innovations in Agriculture*, 2016, no. 5, pp. 136–141.
8. Veysi F., Sergievsky E.D., Tyukhov I.I. Calculation of the thermal modes of the bilateral receiver of radiation in the static solar concentrator. *Materialy 4-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. “Energoobespechenie i energosberezhenie v selskom khozyaystve”*. Moscow, GNU VIESKh Publ., 2004. Vol. 4, pp. 114–120.
9. Koltun M.M. *Optika i metrologiya solnechnykh elementov* [Optics and metrology of solar cells]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 300 p.
10. Bashta A.I., Kuvshinov V.V., Safonov V.A. *Solnechniy kontsentror dlya fotoelektricheskikh moduley* [The solar concentrator for photoelectric modules]. Patent RF, no. 150120, 2014.
11. Strebkov D.S., Tveryanovich E.V. *Kontsentratory solnechnogo izlucheniya* [Sunlight concentrators]. Moscow, GNU VIESKh Publ., 2007. 316 p.
12. Baranov V.K. New concentrators of radiation and the prospect of their application in optics and solar technology. *Trudy Gosudarstvennogo opticheskogo instituta*, 1979, vol. 45, no. 179, pp. 57–70.

13. Kuvshinov V.V. A research of characteristics of the photoelectric modules used in network solar stations. *Zhurnal naukovykh prats Sevastopolskogo natsionalnogo universitetu yadernoy energii ta promislovosti*, 2013, no. 4, pp. 170–177.
14. Raushenbakh G. *Spravochnik po proektirovaniyu solnechnykh batarey* [Handbook on the design of solar batteries]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 397 p.
15. Kuvshinov V.V. Use of solar concentrators for increase in power characteristics of network photoelectric stations. *Zhurnal naukovykh prats Sevastopolskogo natsionalnogo universitetu yadernoy energii ta promislovosti*, 2014, no. 1, pp. 144–149.
16. Ostroukhov N.N., Tyanginsky A.Yu., Sleptsov V.V., Tserulev M.V. Electric discharge technology of production and diagnosis of metallic hydrosols with nanosized particles. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*, 2013, no. 1, pp. 77–82.
17. Mandal P., Sharma S. Progress in plasmonic solar cell efficiency improvement: A status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 65, pp. 537–552. DOI: 10.1016/j.rser.2016.07.031.
18. Ortiz-Gonzalez J., Santbergen R., Tan H., Schmidt Ott A., Zeman M., Smets A.H.M. Plasmonic nanoparticle films for solar cell applications fabricated by size-selective aerosol deposition. *Energy Procedia*, 2014, vol. 60, no. C, pp. 3–12.
19. GOST 28976-91. *Fotoelektricheskie pribory iz Kristallicheskogo kremniya. Metodika korrektsii rezultatov izmereniya voltamperno kharakteristiki* [Photovoltaic devices of crystalline silicon. Procedures for temperature and irradiance corrections to measures current voltage characteristics]. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2004. 42 p.
20. Andreev V.M., Grilikhes V.A., Rumayntsev V.D. *Fotoelektricheskoe preobrazovanie kontsentrirrovannogo solnechnogo izlucheniya* [Photoelectric transformation of concentrated solar radiation]. Leningrad, Nauka Publ., 1989. 405 p.

THE POSSIBILITIES OF PHOTOELECTRIC CONVERTERS POWER ASCENSION BY THE MODIFICATION OF THEIR SURFACES BY SILVER NANOCCLUSERS

© 2018

V.V. Kuvshinov, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Renewables and Electric Systems and Networks”
Sevastopol State University, Sevastopol (Russia)

B.L. Krit, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of Chair “Technologies of Production of Devices
and Information Systems for Aircraft Control”

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow (Russia)

N.V. Morozova, PhD (Pedagogics), assistant professor of Chair “Medical Equipment”

Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow (Russia)

D.Yu. Kukushkin, assistant of Chair “Radioelectronics, Telecommunications and Nanotechnologies”

A.V. Savkin, PhD (Engineering),

assistant professor of Chair “Radioelectronics, Telecommunications and Nanotechnologies”

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow (Russia)

Keywords: photoconverter; photoelectric module; network power stations; nanoparticles; solar cell; compound cylindrical concentrator; silver nanoclusters; power characteristics.

Abstract: The authors carried out the analysis of the operating modes of photoelectric converters used for solar stations and intended for work both as a part of a unified energy system and for individual consumers needs. It is determined that to increase power characteristics of solar stations photocells, it is very efficient to apply solar concentrators of special designs. At the same time, it complicates the equipment significantly, as it is associated with the necessity to equip photoelectric station with the additional systems of tracking and positioning against the sun. In this paper, to concentrate solar irradiation, the authors offered to use the modifying of the photocells receiving surface by depositing a coating of silver nanoparticles produced by the pulse spark dispergation method. The results of the experiments showed that silver nanoclusters deposited on the surface and playing the role of plasmonic particles promote the increase in the number of photons participating in the photoelectric process at the constant stream of incident solar radiation. It allowed improving considerably power characteristics of the regular photoelectric converters used when assembling the industrial photoelectric modules for network power plants. The increase in the nanocoated photocells power grew by an average of 20 %, at the same time, even in the case of lateral incidence of solar irradiation on their working surface, the photoconverters power characteristics were close to the theoretical values, unlike the solar elements without coating.

The data obtained will promote the improvement of indices and the increase of efficiency of photo-energy plants and devices of different purpose not increasing the area of their receiving surface that will widen significantly the sphere of solar power plants application.