

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ С ДВУХСТОРОННЕЙ ПРИЁМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ УСТАНОВОК МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Кувшинов<sup>1</sup> В.В., Бекиров<sup>2</sup> Э.А., Гусева<sup>3</sup> Е.В.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, РФ, 299015, kuvshinov.vladimir@gmail.com

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь, РФ, bekirov.e.a@cfuv.ru

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Морской институт, г. Севастополь, РФ, ул. Университетская, 33, г. Севастополь, РФ, 299053, alenaalena@mail.ru

**Аннотация.** В представленной работе приводится возможность использования фотоэлектрических кремниевых панелей с двухсторонним расположением солнечных элементов на лицевой и тыльной стороне. При нехватке места для размещения солнечных батарей такие типы модулей способны значительно увеличить генерацию электрической энергии. Оснащение фотоэлектрических систем аккумуляторными батареями способствует более рациональному расходу электрической энергии, при этом накопители энергии значительно повышают эффективность работы солнечных генерирующих систем. Предложенные конструкции предназначены для увеличения мощностных характеристик преобразователей солнечной энергии в зимние месяцы, при наличии снегового покрова или при использовании на дорожных покрытиях отражающих поверхностей. Результаты проведенных экспериментальных исследований показали значительную эффективность предложенных конструкций, а также увеличение суммарной выработки электрической энергии. С развитием мирового технического потенциала и значительными объемами увеличения производства энергетических установок для солнечной энергетики появилась новая возможность использования комбинированных солнечных установок для фотоэлектрического преобразования потока падающей солнечной радиации. На кафедре Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети в Севастопольском государственном университете на площадке института ядерной энергии и промышленности была разработана и исследована фотоэлектрическая установка, состоящая из двух сторонних кремниевых солнечных элементов и систем аккумулирования энергии. В статье приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований, представлены схемы, рисунки и графики различных характеристик фотоэлектрической панели ФСМ-110Д и аккумуляторных батарей. Результаты исследований показывают повышенную эффективность работы предложенной установки, а также хорошую возможность использования представленных фотоэлектрических систем для обеспечения ими автономных и индивидуальных потребителей, проживающих в Крымском регионе и городе Севастополе.

**Предмет исследования.** Электрические характеристики двухсторонних фотоэлектрических модулей и аккумуляторных батарей.

**Материалы и методы.** В работе были проведены исследования действующей модели фотоэлектрической установки в натуральных условиях, использовались методы прямых измерений значений тока и напряжения фотоэлектрических преобразователей при изменяемом нагрузочном сопротивлении, а также методы теоретического анализа, математические и статистические методы, необходимые для обработки материалов исследования.

**Результаты.** Повышена эффективность работы фотоэлектрической установки за счет использования двухсторонних модулей и систем накопления энергии.

**Выводы.** По результатам экспериментов можно сделать заключение об увеличении эффективности работы солнечных установок с двухсторонними модулями и системами накопления электрической энергии.

**Ключевые слова:** фотоэлектрическое преобразование, аккумуляторная батарея, фотоэлектрическая система, солнечные элементы, двухсторонний фотоэлектрический модуль, отраженная солнечная радиация.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из проблем современной электроэнергетики является необходимость обеспечения генерирующих установок постоянными поставками углеводородного топлива, которое иногда необходимо поставлять за тысячи километров. При этом мировые цены на транспортные услуги за 2020 год значительно выросли. Строительство новых электростанций на традиционных видах топлив занимает значительное количество времени. Альтернативой являются солнечные и ветровые электростанции, не требующие поставок топлива, и которые возможно

намного быстрее построить и ввести в эксплуатацию.

В условиях современного состояния мировой энергетики, основанной в подавляющей массе на использование органических видов топлив, настала пора значительного увеличения доли экологически чистых возобновляемых источников энергии и введения в строй новых генерирующих электростанций, работающих как параллельно с сетью, так и для обеспечения автономного потребителя. Представленные энергетические установки не требуют добычи и транспортировки органического топлива и не оказывают какого-либо негативного экологического воздействия на окружающую среду. Однако проблемой этих установок является непостоянство потока

солнечной и ветровой энергии, приводящее к неравномерной выработке электроэнергии этими станциями, и как следствие их негативное воздействие на электрические сети и подстанции. Решение этой проблемы состоит в развитии комбинированных электрических систем, использующих генерирующие установки и аккумуляторные батареи, причем использование подобных установок для частных жилых домов и индивидуальных потребителей не требует поставок электрической энергии на длительные расстояния, сокращая потери при передаче.

В представленной работе были исследованы некоторые типы фотоэлектрических систем малой мощности, которые возможно эффективно использовать для индивидуальных строений и частных потребителей. В 2015-2016 годах из-за перебоев с электроснабжением многие потребители в некоторых районах Крыма и Севастополя установили аккумуляторные системы для бесперебойного электроснабжения. При оснащении аккумуляторных систем жилых домов фотоэлектрическими модулями можно значительно снизить электропотребление в масштабах города, а также обеспечить автономное электроснабжение индивидуальных потребителей. Предложенные системы малой генерации, при использовании их в больших масштабах, позволяют значительно сократить энергопотребление от традиционных крупных электрических станций, работающих на органическом топливе. При этом такие системы сокращают потери при передаче электроэнергии, не имеют вредных выбросов в окружающую среду, позволяют экономно использовать потребляемую энергию и др. Как видно предложенные системы, так называемой распределенной генерации, имеют значительный энергетический потенциал.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В различных литературных источниках описаны исследования фотоэлектрических установок и крупных солнечных электростанций [1-3]. При этом в некоторых источниках приводятся различные комбинации гибридных систем солнечной генерации, в частности с аккумуляторными станциями [4-7]. Использование комбинированных фотоэлектрических установок дает заметное увеличение эффективности выработки электрической энергии, а использование солнечных установок с комбинированной рабочей поверхностью, экономию материалов для их изготовления на единицу мощности, увеличивает их суммарный КПД и эффективность использования [5,7].

Главной проблемой применения солнечных установок является невысокая плотность потока солнечной радиации, преобразовываемой в тепловую и электрическую энергию, их низкий КПД и эффективность использования, как следствие высокая себестоимость за единицу

мощности [6]. Невысокий термический потенциал солнечной энергетики определяет более высокие требования к эффективности использования солнечных установок для электрообеспечения и теплоснабжения, к методам определения основных параметров эффективности, как фотоэлектрических модулей, так и аккумуляторных систем [4]. За счет комбинации фотоэлектрической батареи и гелиоколлектора можно создать конструкцию, позволяющую более эффективно использовать падающую солнечную радиацию и повысить коэффициент преобразования [5,8,9]. Современные промышленные монокремниевые и поликремниевые солнечные элементы имеют плоскую конструкцию, их КПД составляет 17-22 %, при коэффициенте поглощения до 95 %. При преобразовании солнечной энергии 20-22 % остальная часть поглощенного излучения идет в основном на тепловой нагрев элементов, что только ухудшает их качественную работу [5,9]. Используя более эффективно преобразование солнечной радиации приёмной поверхностью можно значительно увеличить суммарный коэффициент преобразования всей системы [8-10].

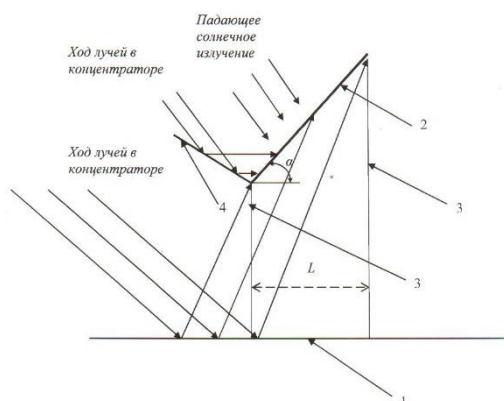
При использовании систем накопления электрической энергии возможно значительное увеличение эффективности работы солнечной генерирующей установки за счет более рациональной передачи электроэнергии потребителю в часы пиковой нагрузки [1,4]. При этом системы аккумулирования энергии могут работать совместно с общей сетью и служить накопителем при невысоком потреблении электричества в ночные часы [1,4].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Задачами исследования ставились изучение вольтамперных и мощностных характеристик модулей и аккумуляторов при повышенной интенсивности светового потока за счет использования прямого и отраженного излучения [6]. Для решения вышеописанных задач авторами предлагается использовать двухсторонние фотоэлектрические модули [3,10], работающие с отражающими покрытиями, которые представляют специальную конструкцию, при этом эффективность всей системы увеличивается, а время зарядки аккумуляторной станции значительно сокращается [4].

Для оснащения систем уличного освещения и обслуживания дорожных трасс используются промышленные фотоэлектрические модули, установленные на столбах одиночно или попарно. Их КПД составляет 17-22%, что является недостаточным для их эффективного использования. Для решения представленных проблем авторами предлагается использовать солнечные батареи с повышенной эффективностью

использования за счет расположения фотоэлементов на лицевой и тыльной стороне модуля, при этом лицевая сторона работает на прямом солнечном излучении, а тыльная за счет отражения света от дорожных покрытий, рассеянного излучения, а зимой за счет отражения от снегового покрова (рис.1).



**Рис.1.** Ход лучей в конструкции отражателей для фотоэлектрического модуля ФСМ-110Д

**Fig. 1.** Beam path in the design of reflectors for the FSM-110D photovoltaic module

На рис. 1 следующие обозначения: 1 – отражающая поверхность большой площади; 2 – фотоэлектрический модуль (103 x 66 см); 3 – стойки модуля; 4 – отражающая боковая поверхность концентратора; L – расстояние между стойками;  $\alpha$  – угол установки модуля (по отношению к отражающей поверхности 1).

Установка состоит из модулей двухсторонней конструкции производства фирмы «Квазар», т.е. кремниевые фотоэлементы расположены с лицевой и тыльной стороны [6]. Лицевая сторона имеет максимальную мощность 110 Вт, на ней расположено 72 элемента. Тыльная сторона имеет мощность 55 Вт и на ней также расположено 72 элемента (рис. 2). Следовательно, суммарная мощность одного модуля 165 Вт. Мощность каждого из 72 солнечных элементов лицевой стороны приблизительно составляет 1,52 Вт. На лицевой стороне мощность одного элемента составляет 0,76 Вт, эти элементы рассчитаны на работу при отраженной солнечной радиации небольшой интенсивности.

Работа двухсторонних фотоэлектрических модулей рассчитана на прямое и отраженное солнечное излучение (рис. 1), отражение происходит от светлой поверхности, расположенной на Земле. Как видно для увеличения мощности отраженной солнечной радиации необходимо использовать покрытия с высоким коэффициентом отражения. При этом площади необходимые на установку фотоэлектрической системы сокращаются на половину. Т.к. мощность тыльной стороны составляет 50 % от мощности лицевой стороны. Покрытиями с высоким коэффициентом отражения могут являться бетон, покрытое известью дорожное

покрытие, при отражении от стен зданий – инкерманский камень, белый газобетон, при отражении от крыш – оцинковка и др.

Размеры солнечных элементов на обеих сторонах модуля одинаковые, один фотопреобразователь составляет 10 x 10 см. Геометрические размеры фотоэлектрического модуля: длина 130 см. ширина 66 см (рис. 2).



**Рис.2.** Фотоэлектрический модуль ФСМ-110Д (двухсторонний) (фото в центре), мощностью 165Вт, 110 Вт – лицевая сторона (справа), 55 Вт – тыльная сторона с выходными контактами (слева)

**Fig. 2.** Photovoltaic module FSM-110D (double-sided) (photo in the center), 165 W, 110 W - front side (right), 55 W - back side with output contacts (left)

Для работы тыльной стороны и увеличения мощностных характеристик лицевой стороны фотоэлектрического модуля нужно использовать солнечные отражатели. Важное условие сконцентрированного солнечного излучения, это равномерное распределение светового потока по всей площади рабочей поверхности солнечной фотоэлектрической установки. Т.к. электрические параметры элементов одинаковы и рассчитаны на одинаковую освещенность, то при нарушении этого правила работа некоторых мало освещенных элементов модуля будет вредить работе остальных, а мощностные характеристики всей электрической системы будут падать.

Используя вышеописанное условие можно утверждать, что для работы фотоэлектрической установки необходимо использовать плоские отражающие поверхности с равномерным освещением рабочей поверхности.

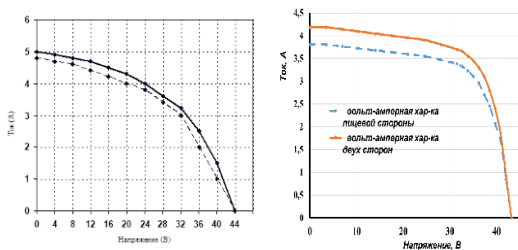
Примерная конструкция отражателей должна соответствовать и заводской системе, изображенной схематично на рис. 1. Как видно из рис. 1 в качестве концентратора применены две отражающие конструкции (поверхности). Одна большой площади 1 (её размеры много больше размеров модуля по длине и ширине) она отражает свет на тыльную сторону, вторая 4 имеет одинаковые размеры с модулем и отражает поток солнечной радиации на лицевую сторону.

Применение представленных типов фотоэлектрических панелей имеет ряд особенностей, кроме преобразования прямого и диффузного солнечного излучения эти модули преобразуют тыльной стороной и отраженное

излучение, которое при некоторых условиях может являться составляющим для выработки электрической энергии (например, в зимних условиях при покрытии лицевой стороны снегом, тыльная сторона будет иметь хорошую выработку за счет отражения света от снегового покрова). Производство двухсторонних фотоэлектрических панелей на основе серийных установок позволит сократить затраты на монтаж конструкций фотоэлектрических модулей, увеличив мощность за счет использования его тыльной стороны [6].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

С целью получения характеристик для определения эффективности работы двухстороннего фотоэлектрического модуля проводились натурные эксперименты по определению различных режимов работы двухстороннего серийного заводского модуля ФСМ-110Д (рис. 1). Исследования характеристик фотоэлектрического модуля проводились при различных температурных показателях, различной солнечной освещенности [11,12] (ясная погода, переменная облачность, пасмурно), в различное время года. Полученные результаты сравнивались с заводской характеристикой модуля (рис. 3).



**Рис. 3.** ВАХ лицевой стороны модуля ФСМ-110Д. Справа: сплошная линия - заводская ВАХ; пунктирная линия – ВАХ, полученная при освещенности 990 Вт/м<sup>2</sup>. Слева: ВАХ, полученная при освещенности 900 Вт/м<sup>2</sup>.

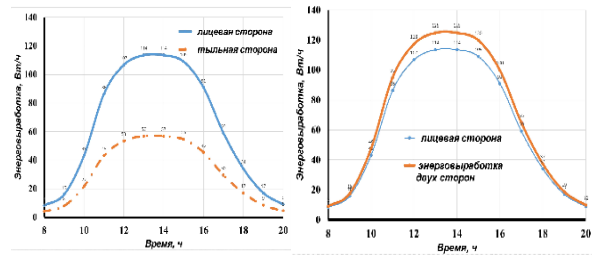
**Fig. 3.** CVC of the front side of the FSM-110D module. Right: solid line - factory CVC; the dotted line is the I - V characteristic obtained at an illumination of 990 W / m<sup>2</sup>. Left: I - V characteristic obtained at an illumination of 900 W / m<sup>2</sup>.

Исследования фотоэлектрического модуля проводились в течение года (с осени по весну 2020 года) на площадке Севастопольского государственного университета (СевГУ), кафедрой Возобновляемые источники энергии электрические системы и сети. Все эксперименты проводились в натуральных условиях на открытой территории, при естественном солнечном освещении.

По полученным данным были построены вольтамперные характеристики (ВАХ) фотоэлектрического модуля ФСМ-110Д (рис. 3).

При проведении экспериментов в натуральных условиях на площадке СевГУ при прямых измерениях тока и напряжения в зависимости от различных значений нагрузочного сопротивления

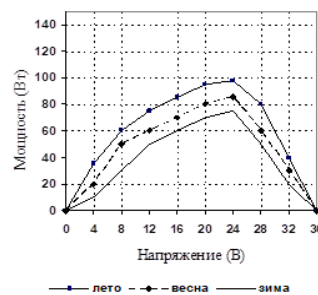
$R_n$  [3,11,12], были получены данные мощностных характеристик (рис. 4) фотоэлементов лицевой и тыльной приемных поверхностей ФСМ-110Д.



**Рис. 4.** Вольтамперные характеристики лицевой стороны модуля ФСМ-110Д. Справа: мощностная характеристика лицевой и тыльной приемных поверхностей. Слева: суммарная мощностная характеристика лицевой и тыльной приемных поверхностей. Характеристики получены при освещенности 900 Вт/м<sup>2</sup>.

**Fig. 4.** Volt-ampere characteristics of the front side of the FSM-110D module. Right: power characteristic of the front and rear receiving surfaces. Left: the total power characteristic of the front and rear receiving surfaces. The characteristics are obtained with an illumination of 900 W / m<sup>2</sup>.

По мощностным характеристикам можно говорить о качестве работы модуля (рис. 4), о том какую выработку электрической энергии мы получим в данное время года, суток, при данных климатических факторах. Эти результаты необходимы при расчетах систем солнечного электроснабжения, при проектировании автономных фотоэлектрических систем. На рис. 5 приведены средние значения мощностных характеристик модуля ФСМ-110Д в различное время года.



**Рис. 5.** Мощностные характеристики модуля 110-Д (данные получены при освещенностях 800 Вт/м<sup>2</sup>)  
**Fig. 5.** Power characteristics of the 110-D module (data obtained at 800 W / m<sup>2</sup> illumination)

Как видно из графиков, значения мощности, вырабатываемой двухсторонним фотоэлектрическим модулем, изменяются более чем на 40 %, при работе в различное время года и при использовании тыльной приемной поверхности.

Вольтамперные и мощностные характеристики соответствуют нормальной работе модуля, следовательно, отраженный поток солнечной

радиации равномерно распределен по рабочей поверхности. При этом падения КПД солнечных элементов не наблюдается, следовательно, нет перегрева рабочей поверхности модуля.

Для получения электроэнергии для солнечных станций, работающих параллельно с сетью, данные на графиках полностью устраивают проектировщиков, однако для зарядки аккумуляторной станции необходимо учитывать ещё ток и напряжение заряда. В результате работы автономной системы с аккумуляторами необходимо определить потери, которые связаны с определенными параметрами заряда аккумуляторных батарей (АКБ).

Целью проведения экспериментальных исследований было определение возможных потерь и построение графических значений исследуемых характеристик АКБ. В натуральных условиях изменения угла падения лучей на приемную поверхность фотоэлектрического модуля на определенный градус приводят к изменению освещенности рабочей поверхности модуля  $E_{\text{бат}}$  на определенную величину, что, в свою очередь, влияет на работу фотоэлектрического модуля [12]. 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. При увеличении освещенности солнечной батареи, вырабатываемый её ток, увеличивается в прямой зависимости [11,12].

Для расчетов мощности солнечной фотоэлектрической батареи используется известная формула [12]:

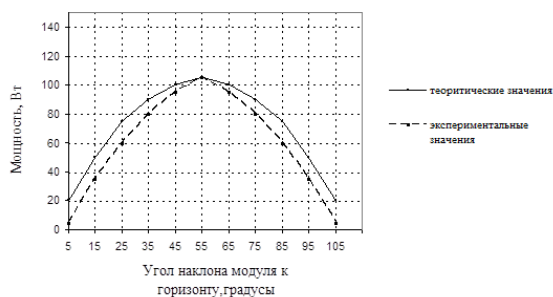
$$P_{\text{бат.}} = E_0 \eta_{\text{эл.}} S_{\text{бат.}} F \cos \alpha_0 \quad (1)$$

где  $\eta_{\text{эл.}}$  – КПД элементов;  $E_0$  – солнечная освещенность;  $S_{\text{бат.}}$  – площадь солнечной батареи;  $F$  – фактор, учитывающий особенности солнечной батареи (заполнения элементами и возможную деградацию её параметров);  $\alpha_0$  – суммарный угол между нормалью к плоскости модуля и солнечными лучами.

По нашим экспериментальным данным угол наклона модуля по отношению к падающим солнечным лучам сильно влияет на показатели солнечных батарей, в результате изменяются энергетические и мощностные характеристики модуля. На рис. 6 приведены теоретические и экспериментальные значения различных параметров фотоэлектрических модулей в зависимости от угла установки.

При измерениях рабочая поверхность модуля изначально была сориентирована перпендикулярно Солнцу, что соответствовало углу установки  $45^\circ$ . Затем измерения проводились при изменениях угла

подъема фотоэлектрической панели относительно поверхности земли. Эксперименты проводились в ясный солнечный день, показания освещенности соответствовало постоянному значению  $870 \text{ Вт/м}^2$ , измерялись ток и напряжение в рабочей точке, а также ток  $I_{\text{к.з.}}$ . Данные были получены для конца марта (дни весеннего равноденствия) на широте Севастополя ( $44,6^\circ$  с. ш.). Максимальное значение солнечной освещенности и энергетических показателей модуля для этого времени года соответствует приблизительно углу установки в  $45-50^\circ$  от горизонтальной поверхности. На графиках на рисунках 5 и 6 показаны усредненные результаты значения угла солнечного склонения близкого к значению широты местности, т.е. около  $45^\circ$  (данные получены при освещенности  $860 \text{ Вт/м}^2$ , в дни весеннего равноденствия, в эти дни можно с большей точностью определить угол солнечного склонения для наших экспериментов).



**Рис. 6.** Зависимость изменения выходной мощности фотоэлектрического модуля ФСМ-110Д при изменении угла наклона модуля к горизонту

**Fig. 6.** Dependence of the change in the output power of the FSM-110D photovoltaic module when the angle of inclination of the module to the horizon changes

Рассмотрим причины несоответствия между теоретическими и экспериментальными данными. Предположим, что это несоответствие заключается в конструкциях солнечных модулей, причем эти конструкции могут отличаться для различных выпускаемых серий. Значение освещенности активной поверхности солнечной батареи вычисляется из формулы (1) и напрямую зависит от косинуса угла падения лучей на рабочую поверхность модуля и плотности потока падающей солнечной радиации [6,12]. Формула (1) подходит только для расчетов солнечных элементов. Для фотоэлектрического модуля, имеющего поверхность элементов нескольких видов защитных покрытий, эти формулы необходимо дополнить поправочным коэффициентом. Т.к. каждый тип прозрачного защитного покрытия имеет определенный оптический коэффициент преломления, непосредственно для расчетов фотоэлектрических модулей, вместо формулы (1) целесообразно использовать формулу:

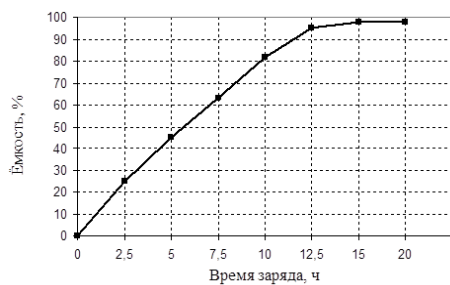
$$P_{\text{бат.}} = E_0 \eta_{\text{эл.}} S_{\text{бат.}} F \cos(K \cdot \alpha_0) \quad (2)$$

где  $K$  – суммарный коэффициент ослабления светового потока, зависящий от конкретной конструкции и количества защитных покрытий модуля;  $\alpha_0$  – начальный гол падения лучей на рабочую поверхность фотоэлектрического модуля (угол между нормалью к плоскости модуля и направлением падения лучей).

Значения номинальной мощности заводских измерений [11] модуля 110-Д соответствуют значениям напряжения около 30 В и тока 4 А. Однако при натурных испытаниях значение напряжения в рабочей точке с увеличением освещенности в весенние месяцы падает до 24 В, при этом мощностные характеристики сохраняются, а значения тока растут сильнее, чем по результатам заводских испытаний. Коэффициент преобразования солнечных элементов модуля рассчитываем, используя заводские данные и формулы (1) и (2). Этот коэффициент различается в разные месяцы для солнечной батареи. Так в январе он наибольший, а в мае – наименьший.

Для проектирования работы фотоэлектрической установки для зарядки аккумулятора и обеспечения автономного потребителя необходимо провести исследования с целью определения времени зарядки аккумуляторов от фотоэлектрических модулей и определения параметров и времени работы установки.

При проведении экспериментов была получена зависимость зарядной ёмкости аккумулятора в зависимости от времени зарядки (рис.7). При этом солнечная освещённость контролировалась люксметром, и в момент проведения эксперимента была постоянной и составляла 850 Вт/м<sup>2</sup>.



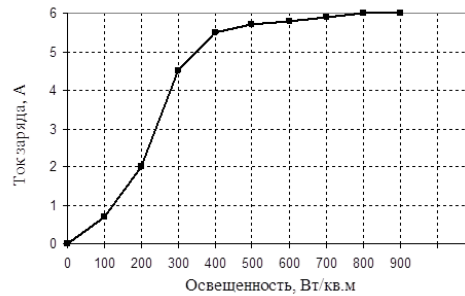
**Рис. 7.** Зависимость относительной ёмкости заряда аккумулятора от времени заряда, при освещённости 850 Вт/м<sup>2</sup>

**Fig. 7.** Dependence of the relative capacity of the battery charge on the charging time, at an illumination of 850 W / m<sup>2</sup>

Как видно из графика за 1 ч аккумулятор заряжается на 15 % номинальной ёмкости. Заряд аккумулятора происходит от 30 % до 98 % ёмкости. Время заряда до 98 % составляет 8-14 часов. Ток заряда соответствует ёмкости делённой на 10,6. Большой ток на аккумулятор подавать нельзя, т.к. он выйдет из строя.

При измерении потока солнечной радиации, можно определить зависимость тока заряда от солнечной освещённости:  $I = f(E)$ . Эта зависимость приведена на рис. 8.

Как видно из графика зависимость  $I = f(E)$ , является нелинейной в отличие от зависимости тока короткого замыкания солнечной батареи от освещенности. Эти исследования очень значимы для дальнейших расчетов зарядки и работы аккумуляторной станции в комбинации с фотоэлектрическими модулями.



**Рис. 8.** Зависимость тока заряда от освещённости  
**Fig. 8.** Dependence of charge current on illumination

## ВЫВОДЫ

По результатам проведенной работы можно сделать следующие основные выводы:

Проведенный анализ известных типов существующих солнечных установок обнаружил проблемы в работах по повышению эффективности использования серийных фотоэлектрических модулей.

Задача повышения эффективности использования солнечных установок сводится к новым разработкам систем фотоэлектрического электроснабжения и аккумуляторных станций, пригодных для работы с серийными фотоэлектрическими модулями, а также к последующим разработкам и исследованиям работы солнечных электроустановок, созданных на основе промышленных фотопреобразователей и аккумуляторных батарей.

На основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований было установлено, что использование двухсторонних модулей и накопителей электрической энергии значительно повышает эффективность работы солнечных систем генерации.

В ходе работы был исследована установка, состоящая из двухсторонних модулей ФСМ-110Д и аккумуляторной системы. В результате работы были получены зависимости времени заряда аккумулятора и параметров фотоэлектрического модуля ФСМ-110Д в зависимости от плотности потока солнечной радиации. Эти исследования очень значимы для дальнейших расчетов зарядки и работы аккумуляторной станции в комбинации с фотоэлектрическими модулями.

Проведённые экспериментальные исследования в натуральных условиях подтвердили, что при использовании двухстороннего фотоэлектрического модуля происходит улучшение эффективности работы системы, а при увеличении освещенности за счет отраженного излучения на тыльной поверхности и увеличение вырабатываемой мощности.

Полученные данные дают возможность использовать предложенные системы при дальнейшем проектировании фотоэлектрических систем для электроснабжения дорожных объектов и автономных потребителей.

В ходе работы были рассмотрены вопросы экологии и уменьшения загрязнения окружающей среды, в частности для Крымского региона и города Севастополь.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абд Али Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Разработка элементов Smart Grid для оптимизации режимов районных сетей // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 117–120.
2. 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.
3. Арбузов Ю. Д. Основы фотоэлектричества / Ю. Д. Арбузов, В. М. Евдокимов – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 292 с.
4. V. V. Kuvshinov, V. V. Kolomiychenko, E. G. Kakushkina, L. M. Abd Ali, V. V. Kuvshinova / Storage System for Solar Plants // Applied Solar Energy // Allerton Press, Inc. – 2019, Volume 55, Issue3, pp 153–158.
5. Кувшинов В.В., Бекиров Э.А. / Теплофотоэлектрическая установка для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии // Строительство и техногенная безопасность // Симферополь: КФУ им. Вернадского, № 15(67) – 2019, стр. 141-149.
6. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов / М.М. Колтун // – М.: Наука, 1985. – 300 с.
7. Кузнецов К. В. Исследование характеристик солнечного воздушного гибридного коллектора / К. В. Кузнецов, И. И. Тюхов, Э. Д. Сергиевский // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве, Труды 6-й Международной научно-технической конференции, 13-14 мая 2008 г. – Москва, ГНУ ВИЭСХ, 2008. – Ч. 4. – С. 227 - 231.
8. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки, Москва: Энергоатомиздат, 1991. 208 с.
9. Кувшинов В.В. Пат. 150122 Российская федерация; МПК H 01 L 31/00. Фототермопреобразователь солнечной энергии / Башта А.И., Кувшинов В. В.; патентообладатели Башта А.И., Кувшинов В. В. – Заявка № 2014149416/93; заявл. 17.10.2014; опубл. 27.01.2015, Бюл. № 3.
10. V. V. Kuvshinov, L. M. Abd Ali, E. G. Kakushkina, B. L. Krit, N. V. Morozova, V. V. Kuvshinova / Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance // Applied Solar Energy – 2019, Volume 55, Issue 4, pp 223–228.
11. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87): ГОСТ 28976-91. – [Введ. 19.04.91]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 42 с. – (Национальный стандарт России).
12. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах // – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 397 с.

### REFERENCES

1. Abd Ali Laith Mokhammed, Khayder Abdulsakhib Issa. [Development of Smart Grid elements for optimizing regional network modes]. *Molodoy uchenyy*, 2014, vol. 8, pp. 117-120 (in Russ.).
2. Lukutin B.V., Muravlev I.O., Plotnikov I.A., “Sistemy elektrosnabzheniya s vetrovymi i solnechnymi elektrostantsiyami”, [Power Supply Systems with Wind and Solar Power Plants], Plotnikov – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2015. – 128 s.
3. Arbuzov U.D. Basics of photovoltaics. Moscow, GNU VIES, Publ., 2007, 292 p.
4. V.V. Kuvshinov, V. Kolomiychenko, E. G. Kakushkina, L. M. Abd Ali, V. V. Kuvshinova / Storage System for Solar Plants // Applied Solar Energy // Allerton Press, Inc. – 2019, Volume 55, Issue3, pp 153–158.
5. Kuvshinov V.V., Bekirov E.A. / Thermal photoelectric installation for combined generation of thermal and electrical energy // Construction and technogenic safety // Simferopol: KFU im. Vernadsky, No. 15 (67) - 2019, pp. 141-149.
6. Koltun M.M. Optika i metrologia solnechnih elementov [Optics and Metrology of solar cells]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 300 p.
7. Kyznetsov K.V. Investigation of the characteristics of the hybrid solar air collector. *Materialy 6-oi Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials of 6-th International scientific-technical conference], Moscow, GNU VIES, Publ., 2008. pp. 227 - 231.
8. Kharchenko N.V. Individual solar installations, Moscow: Energoatomizdat, 1991. 208 p.
9. Kuvshinov V.V. Photosolar thermal converter energy [Photothermalpreobrazovatel solar energy]. *Pat.150122 Russian Federation; MPK H01L31/00*. Application № 2014149416/93; appl. 17.10.2014; published on 27.01.2015, Bull. No. 3.
10. V. V. Kuvshinov, L. M. Abd Ali, E. G. Kakushkina, B. L. Krit, N. V. Morozova, V. V. Kuvshinova / Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance // Applied Solar Energy – 2019, Volume

55, Issue 4, pp 223–228.

11. Photovoltaic from crystal-crystal-silicon devices. Methods of correcting the measurement results of current-voltage hysteresis (IEC 891-87) GOST 28976-91. Standards Publishing House, 2004, 42 p.

12. Rauschenbach G. *Spravochnik po proektirovaniu colnechnix batarei* [Guide for the design

of solar panels], Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983, 397 p.

## USE OF PHOTOELECTRIC MODULES WITH DOUBLE-SIDED RECEIVING SURFACE FOR SMALL GENERATION UNITS

Kuvshinov<sup>1</sup> V.V., Bekirov<sup>2</sup> E.A., Guseva<sup>3</sup> E.V.

<sup>1</sup>Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com

<sup>2</sup>Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, 295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia, bekirov.e.a@cfuv.ru

<sup>3</sup>Sevastopol State University", Maritime Institute, Sevastopol, RF, st. Universitetskaya, 33, Sevastopol, RF, 299053, alenaalena@mail.ru

**Summary:** In the presented work, the possibility of using photovoltaic silicon panels with a double-sided arrangement of solar cells on the front and back sides is presented. With a lack of space for placing solar panels, these types of modules can significantly increase the generation of electrical energy. Equipping photovoltaic systems with rechargeable batteries contributes to a more rational consumption of electrical energy, while energy storage systems significantly increase the efficiency of solar generating systems. The proposed designs are intended to increase the power characteristics of solar energy converters in the winter months, in the presence of snow or when using reflective surfaces on road surfaces. The results of the experimental studies have shown a significant efficiency of the proposed designs, as well as an increase in the total generation of electrical energy. With the development of the global technical potential and a significant increase in the production of power plants for solar energy, a new opportunity has emerged to use combined solar plants for photovoltaic conversion of the flux of incident solar radiation. At the Department of Renewable Energy Sources and Electrical Systems and Networks at Sevastopol State University, at the site of the Institute of Nuclear Energy and Industry, a photovoltaic installation was developed and studied, consisting of two side silicon solar cells and energy storage systems. The article presents the results of experimental and theoretical studies, presents diagrams, drawings and graphs of various characteristics of the FSM-110D photovoltaic panel and storage batteries. The research results show the increased efficiency of the proposed installation, as well as a good possibility of using the presented photovoltaic systems to provide them with autonomous and individual consumers living in the Crimean region and the city of Sevastopol.

**Subject of study.** Electrical characteristics of double-sided photovoltaic modules and storage batteries.

**Materials and methods.** In the work, research was carried out on the operating model of a photovoltaic installation in full-scale conditions, methods of direct measurements of the current and voltage values of photoelectric converters with a variable load resistance, as well as methods of theoretical analysis, mathematical and statistical methods necessary for processing the research materials were used.

**Results.** The efficiency of the photovoltaic installation has been increased due to the use of double-sided modules and energy storage systems.

**Findings.** Based on the results of the experiments, it can be concluded that the efficiency of solar installations with double-sided modules and electric energy storage systems has increased.

**Key words:** photoelectric conversion, storage battery, photovoltaic system, solar cells, double-sided photovoltaic module, reflected solar radiation.