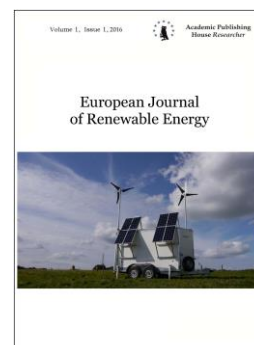


Copyright © 2018 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Journal of Renewable Energy
Has been issued since 2016.
E-ISSN 2454-0870
2018, 3(1): 9-23

DOI: 10.13187/ejre.2018.1.9
www.ejournal51.com



Solar Modules for Autonomous and Mobile Energy Generation

V.A. Panchenko ^{a, b, *}, V.V. Kharchenko ^b

^a Russian University of Transport, Russian Federation

^b Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russian Federation

Abstract

In the article solar modules of different design are considered. Planar and high-voltage solar modules with extended service life are presented. These modules have an increased service life of up to 40-50 years, high-voltage modules have an increased electrical efficiency up to 18 % and can be used in cogeneration plants with concentrators of solar radiation. Solar tiles presented in article can be made from recycled materials and the additionally installed concentrator reduces the number of solar cells used and makes it possible to obtain heat energy at the output. Compact folding solar modules considered in the article allow to charge electrical devices away from electrical networks. Also in the article described photovoltaic thermal solar module with paraboloid-type concentrator for solar cogeneration plants. Such an installation, along with electricity, allows to get warm water at the outlet for the power supply of autonomous consumers or in parallel with the network. Each type of solar modules is used in a stationary heat and electric power supply or mobile power generation. Under consideration were accepted modules designed and fabricated at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia. Surveys on the development, research and production of solar modules of various designs has been efficiently conducted over the last few decades.

Keywords: FSAC VIM, silicon solar cells, solar modules, extended service live, solar tiles, folding solar modules, high-voltage matrix solar modules, concentrators of solar radiation, photovoltaic thermal solar modules, current-voltage characteristic, cogeneration.

1. Введение

Солнечная энергия сегодня является наиболее широко используемым из всех существующих возобновляемых источников энергии. Кроме того, фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии, являясь наиболее экологически чистым способом производства электроэнергии, получило самое широкое распространение как для работы в сети, так и для электроснабжения автономных, удаленных потребителей (Adomavicius et al., 2013). В связи с таким широким применением этого метода генерации электроэнергии во всем мире поиск путей дальнейшего повышения эффективности как солнечных элементов, так и модулей существующих типов, а также новых конструкций и технологических методов повышают эффективность фотоэлектрического преобразования солнечной энергии. Большой объем работ проводится в направлении увеличения ресурса элементов и модулей, поиска новых конструктивных решений и новых материалов. Сегодня в мире накоплен огромный опыт и сформирован значительный массив информации по этому вопросу.

* Corresponding author

E-mail addresses: pancheska@mail.ru (V.A. Panchenko)

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ в течение нескольких десятилетий проводит исследования, производство и испытания солнечных модулей различных конструкций для автономного энергоснабжения потребителей. Каждый тип солнечных модулей находит свое применение как в автономном энергоснабжении потребителей, так и в мобильных источниках питания.

В представленной работе будет приведён обзор некоторых из наиболее интересных, по мнению авторов, конструкций и технологических приёмов, направленных на повышение эффективности и надёжности солнечных энергетических систем, а также на снижение их стоимости и упрощения эксплуатации.

2. Результаты

Основные характеристики солнечных элементов

Солнечный элемент, в первую очередь, характеризует его вольтамперную характеристика. Основные параметры солнечного элемента включают: U_n – номинальное напряжение, В; U_{xx} – напряжение холостого хода, В; $I_{кз}$ – ток короткого замыкания, А; $U_{раб}$ – рабочее напряжение, В; $I_{опт}$ – рабочий ток, А; $P_{макс}$ – максимальная мощность, Вт.

Повышение эффективности преобразования и снижение потерь энергии в солнечных элементах являются очень важными задачами. И в общем, решение этих проблем сводится к снижению оптических и электрических потерь.

Для уменьшения оптических потерь, связанных с неполным использованием излучения, падающего на поверхность солнечного элемента, используются следующие методы: структурирование поверхности, приводящее к снижению интегрального коэффициента отражения солнечного элемента; нанесение на поверхность солнечного элемента однослойного или двухслойного антиотражающего покрытия; уменьшение площади контакта на лицевой стороне элемента для уменьшения потерь на затенение; нанесение металлического слоя на заднюю поверхность солнечного элемента, чтобы повысить эффективность поглощения длинноволнового излучения за счет его многократного прохождения через объем полупроводника; уменьшение глубины эмиттерного перехода и уменьшение концентрации легирующей примеси вблизи лицевой поверхности для повышения чувствительности солнечного элемента в коротковолновой части спектра.

Электрические потери обычно уменьшаются путем следующих методов: выбора оптимального шага и толщины контактных шин на лицевой поверхности для уменьшения последовательного сопротивления солнечного элемента, путем геттерирующих обработок для увеличения времени жизни неосновных носителей заряда, путем пассивации лицевой поверхности для уменьшения скорости поверхностной рекомбинации; путем пассивации тыльной поверхности и создания изотипного перехода; путем минимизации площади контакта и дополнительного легирования контактных областей для уменьшения рекомбинационных потерь на границе раздела металл-полупроводник.

В поликристаллических материалах границы зерен ухудшают транспортные свойства полупроводника; в аморфных полупроводниках ситуация еще сложнее. Эффективность современных высококачественных фотоэлементов на основе монокристаллического кремния составляет приблизительно 18 % для серийно выпускаемых фотоэлементов. Эффективность элементов на основе других полупроводников (например, GaAs, InP) еще выше и может составлять около 25 % в массовых элементах. Однако эти элементы дороже и используются в основном для космических целей, где цена не является определяющим фактором, а максимальная эффективность и радиационная стабильность являются более значительными.

Солнечные модули с увеличенным сроком службы

Солнечные фотоэлектрические модули с увеличенным сроком службы, производимые в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, предназначены для солнечных электростанций и отличаются увеличенным сроком службы по сравнению со стандартными ламинированными модулями. Срок номинальной мощности модулей увеличен с 20–25 до 40–50 лет благодаря использованию двухкомпонентного соединения на основе полисилоксана, благодаря которому также увеличивается производство вырабатываемой электроэнергии. Солнечные модули производятся в четырех основных форм-факторах с солнечными элементами

размером 125 × 125 мм (156 × 156 мм опционально) и полисилоксановым наполнителем. Мощность стационарных фотоэлектрических солнечных модулей варьируется от 15 до 150 Вт при рабочем напряжении 12 или 24 В (Рисунок 1) (Панченко и др., 2015а).

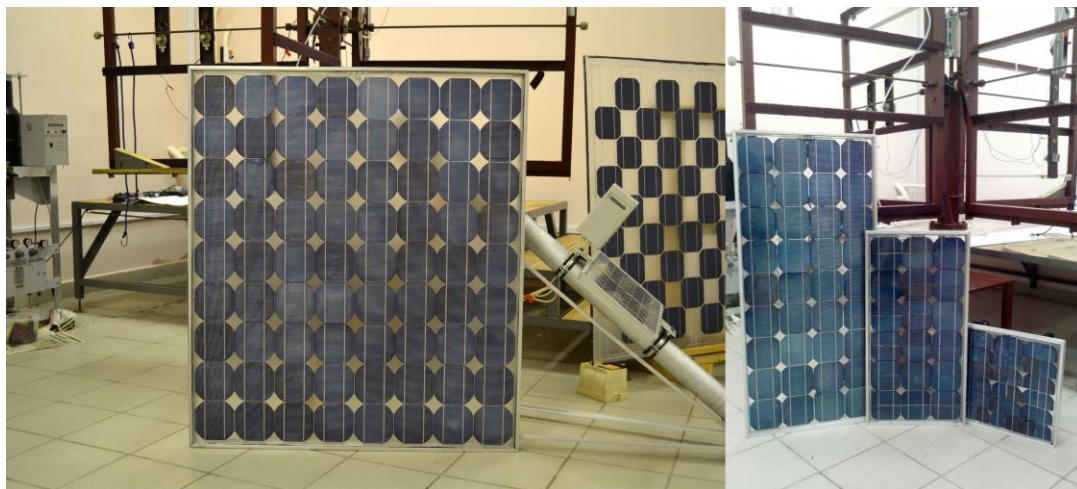


Рис. 1. Стационарные солнечные модули с увеличенным сроком службы

Вольтамперная характеристика солнечного модуля показана на Рисунке 2, а параметры солнечного модуля приведены в Таблице 1.

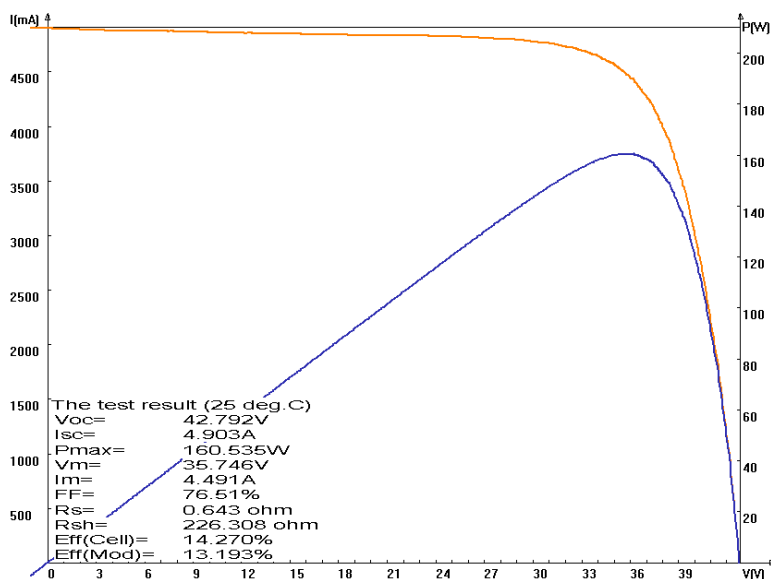


Рис. 2. Вольтамперная характеристика солнечного модуля с двухкомпонентным полисилоксановым компаундом

Таблица 1. Параметры солнечного модуля с двухкомпонентным полисилоксановым компаундом

| | |
|---------------------------|--------------|
| Длина, мм | 1180 |
| Ширина, мм | 1050 |
| Толщина, мм | 40 |
| Вес модуля, кг | 19 |
| Гарантийный срок, лет | 40 |
| Технология | Монокристалл |
| Количество элементов, шт. | 72 |

| | |
|--|--|
| Размер элементов, мм | 125 x 125 |
| Ток короткого замыкания, А | 4,8 |
| Ток в рабочей точке, А | 4,4 |
| Напряжение холостого хода, В | 42 |
| Напряжение в рабочей точке, В | 35 |
| Электрическая мощность, Вт | 158 |
| Коэффициент заполнения, % | 77 |
| Эффективность фотопреобразования, % | 14 |
| Материал рамы | Анодированный алюминий |
| Заполнитель | Двухкомпонентный полисилоксановый компаунд |
| Рабочая температура, С ° | - 60 ~ + 110 |
| Распределительная коробка | IP65 |
| Соединители | МС4 |
| Длина кабеля, мм | 1000 |
| Сечение кабеля, мм² | 6 |

В результате проведённых исследований и испытаний:

- разработана технология изготовления (инкапсуляции) солнечных элементов путем заливки двухкомпонентным компаундом;
- разработана и изготовлена установка для автоматизации процесса капсулирования;
- изготовленные модули имеют малые оптические потери, минимальные внутренние механические нагрузки, хорошее поглощение вибраций, высокую стойкость к температуре, ультрафиолетовому излучению и озону, возможность использования с концентраторами, увеличенный срок службы.

Кровельные солнечные панели

Одним из вариантов архитектурных решений для электроснабжения здания являются солнечные модули, встроенные в саму кровлю, то есть так называемая кровельная солнечная панель или "солнечная черепица". Её использование устраняет известный недостаток солнечных модулей, которые сейчас широко используются - необходимость установки кровли под солнечным модулем для защиты зданий от внешних воздействий, что увеличивает стоимость отделочных работ. Разработанный модуль представляет собой кровельный материал, включающий в себя как защитную функцию здания, так и производство электроэнергии. При использовании солнечной кровли решаются архитектурно-строительные задачи и автономное или параллельное с сетью энергоснабжение потребителя (Рисунок 3) (Стребков и др., 2015; Стребков и др., 2015а; Стребков и др., 2015b; Стребков и др., 2016).



Рис. 3. Кровельные солнечные панели двух типов с увеличенным сроком службы

Вольтамперная характеристика солнечной черепицы планарного типа с двухкомпонентным полисилоксановым компаундом приведена на [Рисунке 4](#).

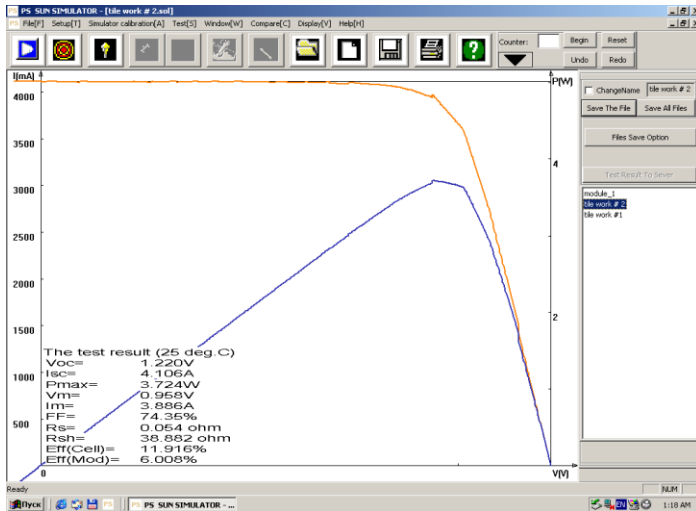


Рис. 4. Вольтамперная характеристика солнечной черепицы с двухкомпонентным полисилоксановым компаундом

Вольтамперная характеристика солнечной черепицы планарной конструкции и с двухкомпонентным полисилоксановым компаундом в натуральных условиях представлена на [Рисунке 5](#) (слева). Вольтамперная характеристика солнечной черепицы концентраторной конструкции с двухкомпонентным полисилоксановым компаундом в натуральных условиях представлена на [Рисунке 5](#) (справа).

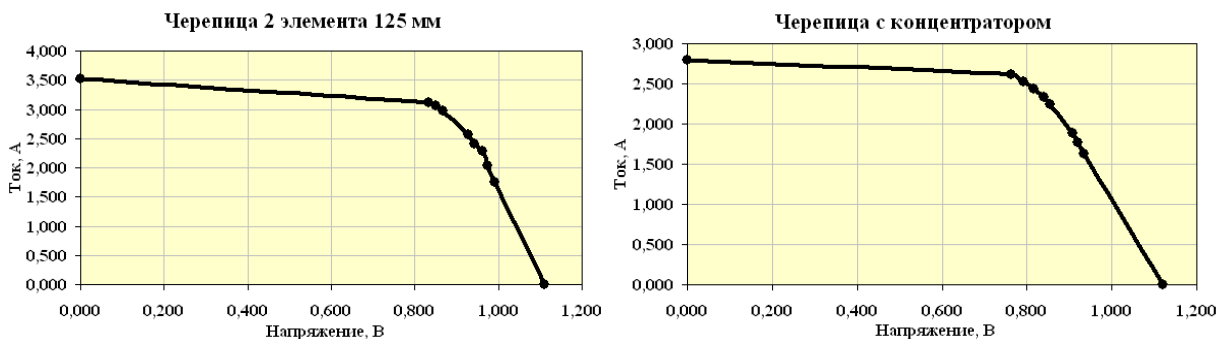


Рис. 5. Вольтамперные характеристики солнечной черепицы планарной конструкции (слева) и концентраторной (справа) с двухкомпонентным полисилоксановым компаундом в натуральных условиях

Параметры солнечной черепицы планарной и концентраторной конструкции приведены в [Таблице 2](#).

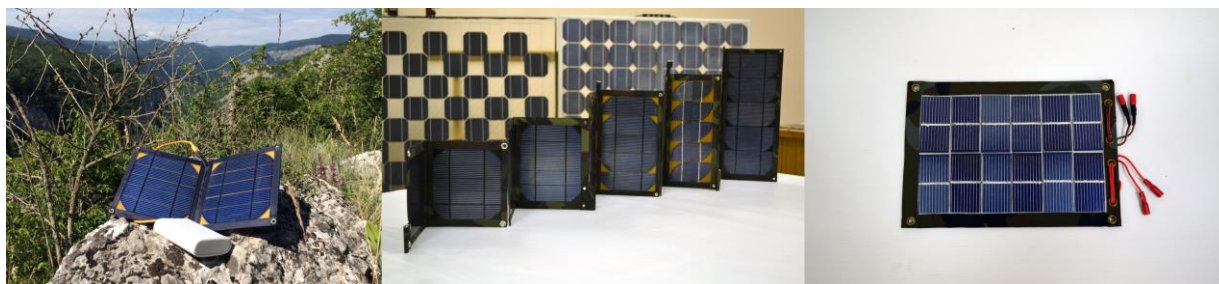
Таблица 2. Параметры солнечной черепицы планарной и концентраторной конструкции с двухкомпонентным полисилоксановым компаундом

| Значение | Величина (в концентраторной / планарной (капсулированной); (ламинированной) версиях) |
|---|--|
| Напряжение холостого хода, В | 1,12 / 1,11; 1,08 |
| Напряжение в рабочей точке, В | 0,8 / 0,85; 0,83 |
| Ток короткого замыкания, А | 2,8 / 3,5; 3,32 |
| Ток в рабочей точке, А | 2,53 / 3,06; 3,01 |
| Электрическая мощность, Вт | 2 / 2,6; 2,5 |
| Коэффициент заполнения, % | 0,64 / 0,67; 0,64 |
| Коэффициент концентрации | 4 (теор.); 2 (практ.) / - |
| Температура лицевой и задней сторон, °С | - / 40 and 32; 42 and 34 |
| Размеры модуля, мм | 420 x 310 x 80 / 420 x 310 x 50 |
| Срок номинальной мощности, лет | 40 – 50 / 40 – 50; 20 – 25 |
| Масса модуля, кг | 3,5 / 2,3; 2,1 |

При производстве черепицы используются вторичные материалы (пластиковые бутылки или стрейч-пленка) и связующие компоненты, что снижает себестоимость продукции и благоприятно влияет на окружающую среду. Солнечная черепица также включает в себя солнечные элементы, находящиеся в полисилоксановом компаунде, который увеличивает срок их номинальной мощности до 40–50 лет и работают вместе с дополнительным установленным концентратором, который снижает стоимость солнечного модуля за счет экономии кремния солнечного качества. В дополнение к концентраторной черепице устанавливается оптическая отклоняющая система для увеличения выработки в течение дня.

Складные солнечные модули

Зарядка компактных электрических устройств является актуальной проблемой, когда невозможно подключиться к централизованной электросети. Для мобильных потребителей в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ производятся компактные переносные солнечные модули, которые предназначены для питания компактных электрических устройств с параметрами зарядки 5 В, 0,5 А (стандарт USB) и более, пропорционально, что позволяет питать их в автономном режиме и прямом подключении без адаптеров и стабилизаторов (с использованием стабилизаторов и преобразователей спектр потребителей увеличивается) ([Рисунок 6](#)), ([Панченко, 2015](#); [Panchenko, 2015](#)).

**Рис. 6.** Складные солнечные модули

Конструкция секционного солнечного модуля в виде планшета унифицирована и расширяет круг потенциальных потребителей с помощью последовательно-параллельной коммутации между собой. Вольтамперная характеристика складных солнечных модулей представлена на [Рисунке 7](#).

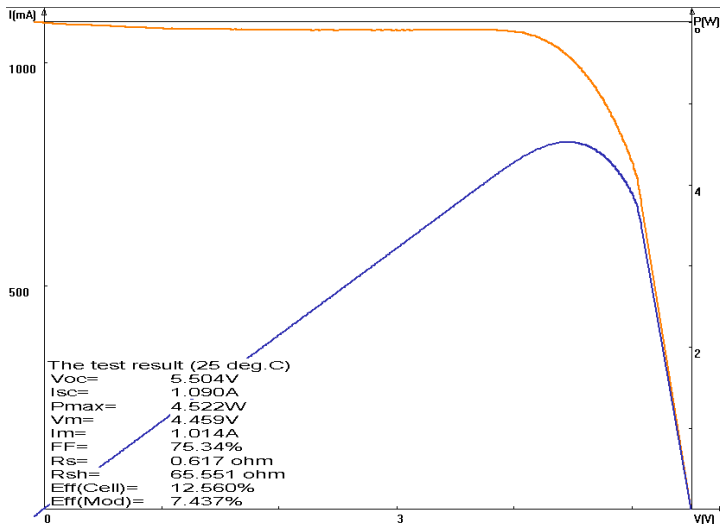


Рис. 7. Вольтамперные характеристики складного солнечного модуля

Параметры складного солнечного модуля (зарядка по стандарту USB 5 В и 2 А (10 Вт)) приведены в [Таблице 3](#).

Таблица 3. Параметры складного солнечного модуля

| Показатель | Единица измерения | Значение |
|------------------------|-------------------|-----------|
| Электрическая мощность | Вт | 10 |
| Размеры модуля | мм | 350×165×7 |
| Вес модуля | кг | 0,392 |
| Срок службы | лет | 5 – 15 |
| Стоимость модуля | доллар | 50 |

Складные и секционные солнечные модули изготавливаются с различными вариантами внешнего оформления, стандартными параметрами USB и возможностью коммутации секционных солнечных модулей.

Высоковольтные матричные солнечные модули

В ВИЭСХ на основе многолетних исследований под руководством академика РАН, профессора Д.С. Стребкова разработаны матричные солнечные элементы третьего поколения на основе кремния с КПД до 25 % для преобразования концентрированной солнечной радиации с концентрацией более 100 крат ([Стребков, Тверьянович, 2007](#); [Стребков 2010а](#); [Стребков 2010б](#); [Стребков 2010с](#)). Результаты этих исследований, которые стали логическим завершением более чем 20-летних исследований, отражены в трехтомной монографии.

Такая конструкция матричных элементов устраняет ряд недостатков стандартных солнечных элементов. В результате проведенных исследований стало возможным разделить пространственно освещенную поверхность солнечного элемента на область генерации носителей заряда и область р-п перехода, ответственную за разделение и сбор носителей. В этом случае площадь легированного слоя и р-п перехода на поверхности солнечного элемента уменьшается в 10 раз, а 90 % площади поверхности отводится для генерации электронно-дырочных пар с прямым взаимодействием фотонов солнечного излучения с базовой областью солнечного элемента. Это было сделано с использованием кремниевого матричного солнечного элемента с линзой Френеля в фотоэлектрическом модуле в качестве концентратора ([Стребков, Тверьянович, 2007](#)).

Получены солнечные элементы с параметрами, не имеющими аналогов в мире. Электрическая мощность составляла 1 Вт/см^2 (10 кВт/м^2), что в 50 раз превышает мощность солнечного элемента с КПД 20 % при стандартной освещенности 1 кВт/м^2 и температуре $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Чтобы создать матричный фотоэлемент, сначала необходимо изготовить многослойную структуру с заданной последовательностью чередующихся слоев кремния с заданным типом проводимости и удельного сопротивления. В этом случае необходимо обеспечить электрические омические контакты между соседними p-n переходами посредством оригинального нестандартного приема, пробоя всей многослойной структуры. Это позволило существенно упростить конструкцию и технологию изготовления исходной многослойной заготовки. Получившаяся многослойная структура разрезается на пластины, но не поперек оси, а вдоль. В результате удалось получить слои с p-n-переходами, выходящими своими концами на поверхность пластины. Такая структура обладала рядом преимуществ по сравнению с классической планарной схемой и решала ряд проблем, рассмотренных выше.

Исследовательские работы, проведенные в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ, показали перспективность этого направления в плане дальнейшего совершенствования технологии получения матричных солнечных элементов и концентраторов с дальнейшим выпуском модулей для практического использования.

Для автономного питания потребителей с высоким напряжением постоянного тока (1000 В и более) и повышенным коэффициентом преобразования солнечного излучения в электроэнергию Агроинженерный центр ВИМ разработал двухсторонние высоковольтные матричные солнечные модули с напряжением более 1000 В (Рисунок 8), (Стребков и др., 2013; Панченко и др., 2015b). Такие солнечные модули используются с бестрансформаторными инверторами и подключаются к высоковольтным линиям постоянного тока без преобразовательных подстанций, имеют повышенную удельную электрическую мощность, КПД (до 25 %), срок службы (до 40–50 лет), потребление кремния солнечного качества снижается. Конструкция высоковольтных солнечных модулей может масштабироваться, увеличивая тем самым ток или напряжение. При напряжении 1000 В и токе 6 мА размеры модуля составляют $703 \text{ мм} \times 105 \text{ мм} \times 17 \text{ мм}$.

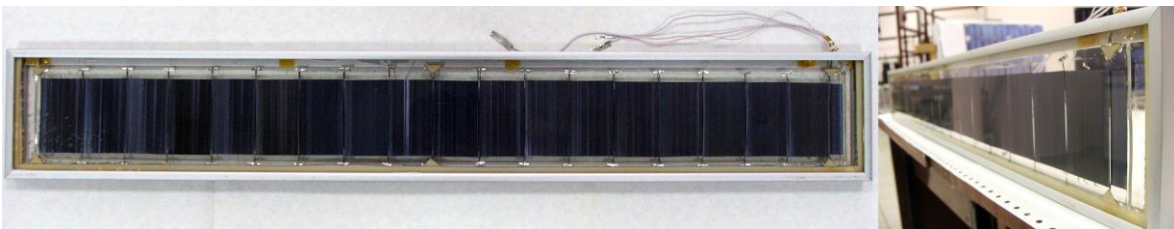


Рис. 8. Высоковольтные матричные солнечные модули

Вольтамперная характеристика высоковольтного матричного солнечного модуля представлена на Рисунке 9, а параметры высоковольтного матричного солнечного модуля приведены в Таблице 4.

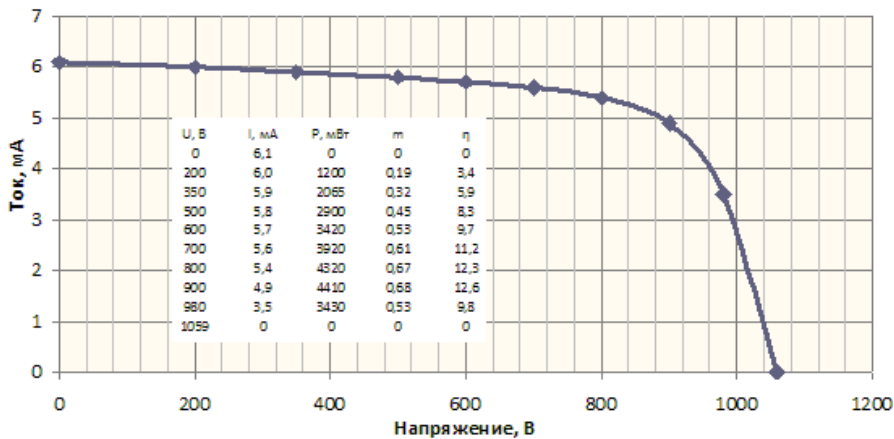


Рис. 9. Вольтамперная характеристика высоковольтного матричного солнечного модуля

Таблица 4. Параметры высоковольтного матричного солнечного модуля

| | | |
|--|----------------------------|--|
| Размеры модуля: | | |
| Длина, мм | | 703 |
| Ширина, мм | | 105 |
| Толщина, мм | | 17 |
| Вес модуля, кг | | 1,8 |
| Срок службы, лет | | 40 - 50 |
| Заполнитель | | Двухкомпонентный кремнийорганический полисилоксановый компаунд |
| Возможность использования концентратора | использования | Присутствует (более 200 крат, ограничено концентратором) |
| Увеличение концентрации излучения | тока при солнечного | Линейное (эффективность увеличивается) |
| Размеры одного элемента: | | |
| Длина, мм | | 35 |
| Ширина, мм | | 60 |
| Толщина, мм | | 0,3 |
| Масса, кг | | 0,004 |
| Количество в модуле, шт | | 18 |
| Показатели без концентрации: | | |
| Напряжение холостого хода, В | | 1059 |
| Ток короткого замыкания, mA | | 6,1 |
| Напряжение в рабочей точке, В | | 900 |
| Ток в рабочей точке, mA | | 4,9 |
| Электрическая мощность, Вт | | 4,4 |
| Коэффициент заполнения | | 0,68 |
| Эффективность фотопреобразования, % | | 12,6 |

Высоковольтный матричный солнечный модуль с двухсторонней рабочей поверхностью выполнен в виде матрицы скоммутированных миниатюрных солнечных элементов и предназначен для использования с солнечными концентраторами, с помощью которых повышается эффективность модуля и высокая эффективность поддерживается даже при повышении температуры до 60 °С или более, что упрощает систему охлаждения модулей, ток модуля растет пропорционально концентрации, а при использовании теплоносителя также можно снимать тепловую энергию.

Теплофотоэлектрический модуль с концентратором параболического типа

Для фотоприемников на основе высоковольтных матричных солнечных модулей были разработаны оригинальные солнечные концентраторы параболического типа, профиль поверхности которых обеспечивает равномерное освещение поверхности фотоприемника (Рисунок 10), (Стребков и др., 2013а; Стребков и др., 2013б; Майоров и др., 2012; Kharchenko et al., 2018).



Рис. 10. Солнечный теплофотоэлектрический модуль с концентратором параболического типа

В ходе экспериментов была исследована солнечная теплофотоэлектрическая установка с концентраторами параболического типа и различными солнечными элементами (односторонние, двусторонние, тонкие, матричные).

Повышение температуры и концентрации солнечного излучения не влияет на эффективность матричных солнечных элементов так же, как на эффективность планарных солнечных элементов, вольтамперные характеристики имеют прямоугольную форму (Рисунок 11). Возможно увеличивать концентрацию при достаточном охлаждении и, соответственно, повышать КПД и выходную электрическую мощность.

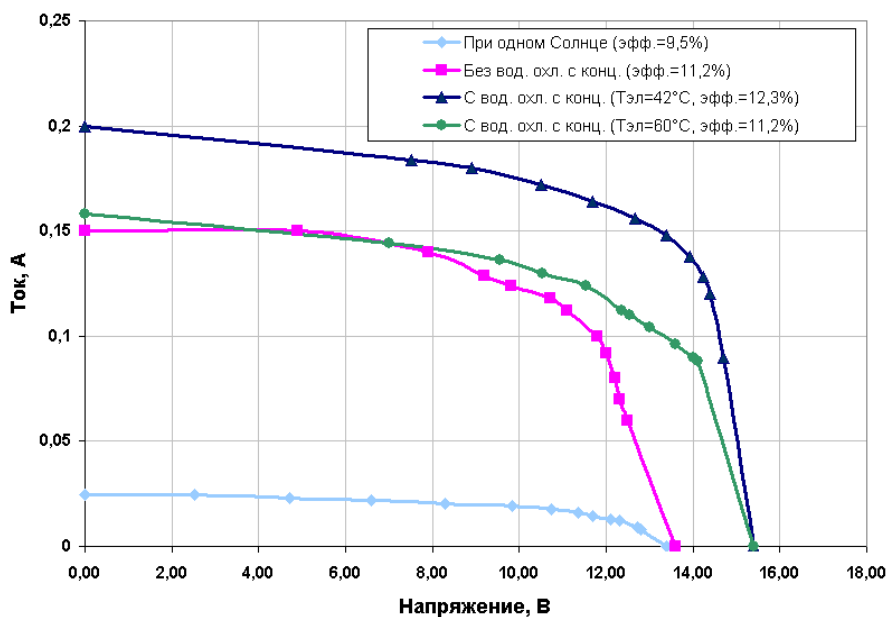


Рис. 11. Вольтамперные характеристики группы матричных солнечных элементов при различных условиях засветки и охлаждения

На основании проведенных исследований было показано, что планарные солнечные элементы в различных группах снижают эффективность при увеличении концентрации солнечного излучения и без охлаждения. КПД матричных солнечных модулей при работе с концентратором без учета оптических потерь возрастает с 9,5 % до 12,3 %, что свидетельствует о целесообразности использования матричных солнечных модулей в фотоэлектрической тепловой системе с концентраторами параболического типа.

Тепловые характеристики поверхностей радиатора, поверхности солнечных элементов, расхода воды и температуры ее на выходе при освещении двумя концентраторами диаметром 0,6 м и 1 м с водяным охлаждением показаны на [Рисунке 12](#).

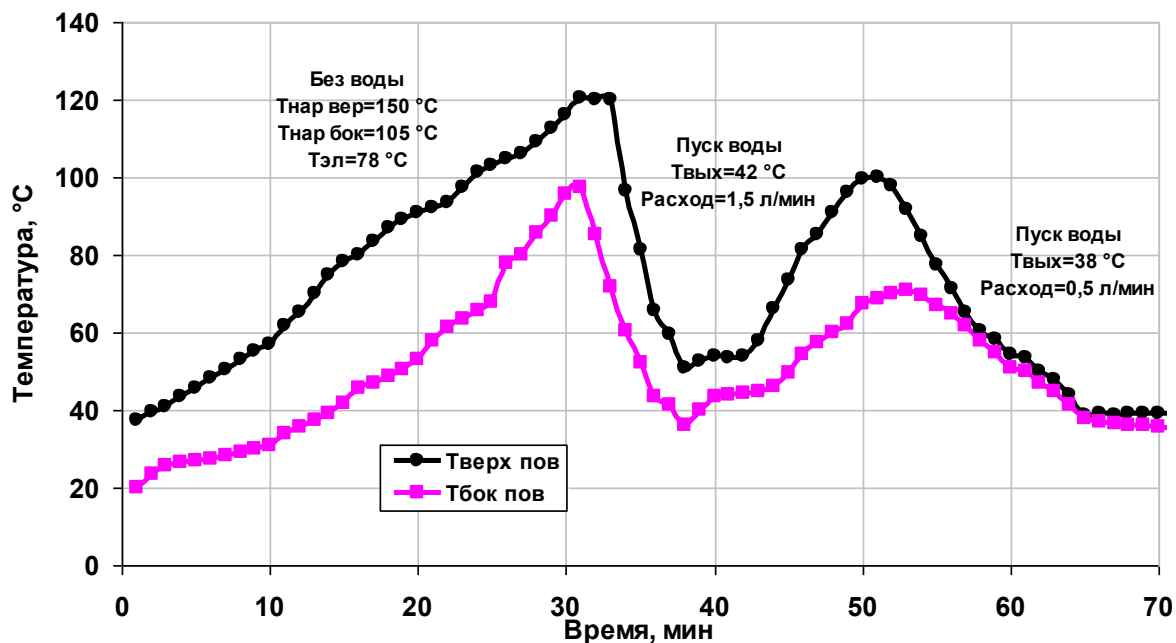


Рис. 12. Температуры боковой и верхней поверхностей радиатора при освещении двумя концентраторами и с водяным охлаждением

Температура поверхности солнечных элементов в начале эксперимента составляла 78 °C без водяного охлаждения, а температуры верхней и боковой частей радиатора составляли 150 °C и 105 °C соответственно. При расходе воды 1,5 л/мин температура воды на выходе составляла 42 °C. Когда скорость потока снизилась до 0,5 л/мин, температура составила 38 °C. Средняя концентрация вдоль боковой поверхности фотоэлектрического приемника составляла около 7 крат. Концентрация на верхней поверхности радиатора составляла 23 крат.

Технические характеристики теплофотоэлектрического модуля с концентратором параболического типа площадью 0,785 м² приведены в [Таблице 5](#).

Таблица 5. Технические характеристики теплофотоэлектрического модуля с концентратором параболического типа

| Параметр | Значение |
|--|------------|
| Тип концентратора | Параболоид |
| Электрическая мощность (при $E = 820 \text{ Вт/м}^2$), Вт | 18,5 |
| Эффективность солнечных элементов без концентратора, % | 9,5 |
| Напряжение холостого хода, В | 15,4 |
| Номинальное напряжение, В | 12 |
| Площадь фотоэлектрических элементов, м ² | 0,0224 |
| Средняя концентрация солнечного излучения на фотоэлектрической части приемника | 7,1 |

| | |
|---|--------------------|
| Средняя концентрация солнечного излучения на тепловой части приемника | 23 |
| Тип солнечных элементов | Матричные |
| Габаритные размеры радиатора фотоприемника, м | 0,11 × 0,11 × 0,12 |
| Электрическая эффективность | 0,123 |
| Тепловая эффективность | 0,5 |
| Оптическая эффективность | 0,65 |
| Теплоноситель | Вода |
| Расход охлаждающей жидкости, л / мин | 0,5 |
| Температура охлаждающей жидкости на входе, °С | 19 |
| Температура охлаждающей жидкости на выходе, °С | 42 |
| Площадь участка концентратора для фотоэлектрической части приемника, м ² | 0,28 |
| Площадь участка концентратора для тепловой части приемника, м ² | 0,5 |
| Габаритные размеры составного концентратора, м | 0,54 × 1,05 × 1,05 |
| Вес модуля, кг | 2,5 |
| Ориентировочная стоимость модуля, \$ | 60 |

Технология изготовления высоковольтных матричных солнечных модулей адаптирована к условиям промышленного производства, при этом не используются такие трудоемкие операции, как многоступенчатая диффузия, фотолитография, сеткография, вакуумная металлизация, а также использование серебра для изготовления контактов.

В результате проводимых исследований и испытаний:

- эффективность фотоэлектрического преобразования 25 % была достигнута при использовании концентрированного солнечного излучения;
- напряжение более 1000 В было получено на площади фотопреобразователя около 0,04 м² и от 15 до 20 В на 1 см² фотопреобразователя без концентрации солнечного излучения;
- срок номинальной работы солнечного модуля увеличен с 20–25 до 40–50 лет;
- когенерационные установки с концентраторами и высоковольтными солнечными модулями были спроектированы и испытаны для производства электроэнергии и теплой воды.

3. Заключение

Таким образом, разработки Федерального научного агроинженерного центра ВИМ в области солнечной энергетики находят свое применение в областях автономного энергоснабжения различных потребителей, как стационарных, так и мобильных. Представленные разработки могут успешно заменить зарубежные аналоги, демонстрируют лучшие характеристики и в некоторых областях не имеющие аналогов за рубежом.

Литература

Майоров и др., 2012 – Майоров, В.А., Панченко, В.А., Трушевский, С.Н., Трубников, В.З. Патент РФ на полезную модель № 132258. Теплофотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором солнечного излучения. Заявка: 2012154821/06, 18.12.2012. Опубликовано: 10.09.2013. Бюл. № 25.

Панченко и др., 2015а – Панченко, В.А., Стребков, Д.С., Персиц, И.С. Солнечные модули с увеличенным сроком службы на уровне номинальной мощности. *Альтернативная энергетика и экология*, 2015, 19(183): 55-60.

Панченко и др., 2015б – Панченко, В.А., Стребков, Д.С., Поляков, В.И., Арбузов Ю.Д. Высоковольтные солнечные модули с напряжением 1000 В. *Альтернативная энергетика и экология*, 2015, 19(183): 76-81.

Панченко, 2015 – Панченко, В.А. Разработка и испытание складных, секционных и гибких солнечных модулей. *Вестник ВИЭСХ*, 2015, 3(20): 50-57.

[Стребков и др., 2013](#) – *Стребков, Д.С., Майоров, В.А., Панченко, В.А.* Солнечный тепло-фотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором. *Альтернативная энергетика и экология*, 2013, 1/2: 35-39.

[Стребков и др., 2013a](#) – *Стребков, Д.С., Поляков, В.И., Панченко, В.А.* Исследование высоковольтных солнечных кремниевых модулей. *Альтернативная энергетика и экология*, 2013, 6/2: 36-42.

[Стребков и др., 2013b](#) – *Стребков, Д.С., Майоров, В.А., Панченко, В.А., Осьмаков, М.И., Плохих, С.А.* (2013). Солнечная установка с матричными фотоэлементами и концентратором. *Электро*, 2013, 2: 50-52.

[Стребков и др., 2015](#) – *Стребков, Д.С., Курсанов, А.И., Иродионов, А.Е., Панченко, В.А., Майоров, В.А.* Патент РФ на изобретение № 2557272. Кровельная солнечная панель. Заявка: 2014123409/20, 09.06.2014. Опубликовано: 20.07.2015. Бюл. № 20.

[Стребков и др., 2015a](#) – *Стребков, Д.С., Панченко, В.А., Иродионов, А.Е., Курсанов, А.И.* Разработка кровельной солнечной панели. *Вестник ВИЭСХ*, 2015, 4(21):107-111.

[Стребков и др., 2016](#) – *Стребков Д.С., Бобовников Н.Ю., Иродионов А.Е., Курсанов А.И., Панченко В.А., Филиппченкова Н.С.* Программа "Один миллион солнечных крыш" в России. *Вестник ВИЭСХ*, 2016, 3(24): 80-83.

[Стребков, 2010a](#) – *Стребков, Д.С.* (2010). Матричные солнечные элементы. Том 1, Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2010.

[Стребков, 2010b](#) – *Стребков, Д.С.* Матричные солнечные элементы. Том 2, Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2010.

[Стребков, 2010c](#) – *Стребков, Д.С.* Матричные солнечные элементы. Том 3, Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2010.

[Стребков, Тверьянович, 2007](#) – *Стребков, Д.С., Тверьянович, Э.В.* Концентраторы солнечного излучения. Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2007, 355 с.

[Adomavicius et al., 2013](#) – *Adomavicius, V., Kharchenko, V., Gusarov, V., Valickas J.* RES-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture. *Conference Proceeding – 5th International Conference, TAE 2013: Trends in Agricultural Engineering 2013*. pp. 51-55.

[Kharchenko et al., 2018](#) – *Kharchenko, V., Panchenko, V., Tikhonov, P.V., Vasant, P.* Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply. *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development*, 2018: 86-119, DOI: 10.4018/978-1-5225-3867-7.ch004.

[Panchenko, 2015](#) – *Panchenko, V.* The development and testing of folding, sectional and flexible solar modules. *Research in Agricultural Electric Engineering*, 2015, 3(3): 90-97.

[Strebkov et al., 2015](#) – *Strebkov, D., Panchenko, V., Irodionov, A., Kirsanov, A.* The development of roof solar panels. *Research in Agricultural Electric Engineering*. 2015. Volume 3, № 4, pp. 123-127.

References

[Adomavicius et al., 2013](#) – *Adomavicius, V., Kharchenko, V., Gusarov, V., Valickas J.* (2013). RES-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture. *Conference Proceeding – 5th International Conference, TAE 2013: Trends in Agricultural Engineering 2013*: 51-55.

[Kharchenko et al., 2018](#) – *Kharchenko V., Panchenko V., Tikhonov P.V., Vasant P.* (2018). Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply. *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development*: 86-119, DOI: 10.4018/978-1-5225-3867-7.ch004

[Mayorov et al., 2012](#) – *Mayorov, V.A., Panchenko, V.A., Trushevsky, S.N., Trubnikov, V.Z.* (2012). Patent RF na poleznuyu model' № 132258 [Thermal photovoltaic thermo module with a parabolotor concentrator of solar radiation. Patent of the Russian Federation for Utility Model No. 132258]. *Teplofotoelektricheskii modul' s parabolotoricheskim kontsentratorom solnechnogo izlucheniya*. Заявка: 2012154821/06, 18.12.2012. Опубликовано: 10.09.2013. Бул. № 25. [in Russian]

[Panchenko i dr., 2015a](#) – Panchenko, V.A., Strebkov, D.S., Persits, I.S. (2015). Solnechnye moduli s uvelichennym srokom sluzhby na urovne nominal'noi moshchnosti [Solar modules with extended service life at the nominal power level]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*, 19(183): 55-60. [in Russian]

[Panchenko i dr., 2015b](#) – Panchenko, V.A., Strebkov, D.S., Polyakov, V.I., Arbuzov, Yu.D. (2015). Vysokovol'tnye solnechnye moduli s napryazheniem 1000 V [High-voltage solar modules with a voltage of 1000 V]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*, 19(183): 76-81. [in Russian]

[Panchenko, 2015](#) – Panchenko, V. (2015). The development and testing of folding, sectional and flexible solar modules. *Research in Agricultural Electric Engineering*. 3(3): 90-97.

[Panchenko, 2015a](#) – Panchenko, V.A. (2015). Razrabotka i ispytanie skladnykh, sektsionnykh i gibkikh solnechnykh modulei [Development and testing of folding, sectional and flexible solar modules]. *Vestnik VIESKh*, 3(20): 50-57. [in Russian]

[Strebkov et al., 2015a](#) – Strebkov, D., Panchenko, V., Irodionov, A., Kirsanov, A. (2015). The development of roof solar panels. *Research in Agricultural Electric Engineering*, 3(4): 123-127.

[Strebkov i dr., 2013](#) – Strebkov, D.S., Mayorov, V.A., Panchenko, V.A. (2013). Solnechnyi teplo-fotoelektricheskii modul' s parabolotoricheskim kontsentratorom [Solar photovoltaic thermo module with a parabolic concentrator]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*, 1/2: 35-39. [in Russian]

[Strebkov i dr., 2013a](#) – Strebkov, D.S., Polyakov, V.I., Panchenko, V.A. (2013). Issledovanie vysokovol'tnykh solnechnykh kremnievykh modulei [Investigation of high-voltage solar silicon modules]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*, 6/2: 36-42. [in Russian]

[Strebkov i dr., 2013b](#) – Strebkov, D.S., Mayorov, V.A., Panchenko, V.A., Osmakov, M.I., Plokhikh S.A. (2013). Solnechnaya ustanovka s matrichnymi fotoelementami i kontsentratorom [Solar installation with matrix photocells and a concentrator]. *Elektro*, 2: 50-52. [in Russian]

[Strebkov i dr., 2015](#) – Strebkov, D.S., Kirsanov, A.I., Irodionov, A.E., Panchenko, V.A., Mayorov, V.A. (2015). Patent RF na izobretenie № 2557272 [Roof solar panel. Patent of the Russian Federation for invention No. 2557272]. *Krovel'naya solnechnaya panel'*. Zayavka: 2014123409/20, 09.06.2014. Opublikovano: 20.07.2015. Byul. № 20. [in Russian]

[Strebkov i dr., 2015a](#) – Strebkov, D.S., Panchenko, V.A., Irodionov, A.E., Kirsanov, A.I. (2015). Razrabotka krovel'noi solnechnoi paneli [Development of a roofing solar panel]. *Vestnik VIESKh*, 4(21): 107-111. [in Russian]

[Strebkov i dr., 2016](#) – Strebkov D.S., Bobovnikov N.Yu., Irodionov A.E., Kirsanov A.I., Panchenko V.A., Filippchenkova N.S. (2016). Programma "Odin million solnechnykh krysh" v Rossii [Program "One Million Solar Roofs" in Russia]. *Vestnik VIESKh*, 3(24): 80-83. [in Russian]

[Strebkov, 2010a](#) – Strebkov, D.S. (2010). Matrichnye solnechnye element [Matrix solar cells]. Tom 1, Moskva: GNU VIESKh. [in Russian]

[Strebkov, 2010b](#) – Strebkov, D.S. (2010). Matrichnye solnechnye element [Matrix solar cells]. Tom 2, Moskva: GNU VIESKh. [in Russian]

[Strebkov, 2010c](#) – Strebkov, D.S. (2010). Matrichnye solnechnye element [Matrix solar cells]. Tom 3, Moskva: GNU VIESKh, 2010. [in Russian]

[Strebkov, Tverjanovich, 2007](#) – Strebkov Strebkov, D.S., Tverjanovich, E.V. (2007). Kontsentratory solnechnogo izlucheniya [Concentrators of solar radiation]. Moskva: GNU VIESKh, 355 p. [in Russian]

Солнечные модули для стационарной и мобильной энергогенерации

В.А. Панченко ^{a, b, *}, В.В. Харченко ^b

^a Российский университет транспорта, Российская Федерация

^b Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: pancheska@mail.ru (В.А. Панченко)

Аннотация. В статье рассматриваются солнечные модули различного дизайна. Представлены планарные и высоковольтные солнечные модули с увеличенным сроком службы. Эти модули имеют увеличенный срок службы до 40–50 лет, высоковольтные модули имеют повышенную электрическую эффективность до 25 % и могут быть использованы в когенерационных установках с концентраторами солнечного излучения. Представленная в статье солнечная черепица может быть изготовлена из переработанных материалов, а дополнительно установленный концентратор уменьшает количество используемых солнечных элементов и позволяет получать тепловую энергию на выходе. Рассматриваемые в статье компактные складные солнечные модули позволяют заряжать электрические устройства вдали от электрических сетей. Также в статье описан фотоэлектрический тепловой солнечный модуль с концентратором параболического типа для солнечных когенерационных установок. Такая установка вместе с электричеством позволяет получать теплую воду на выходе для питания автономных потребителей или параллельно с существующей сетью. Каждый вид солнечных модулей используется в стационарном тепло- и электроснабжении или мобильной генерации. В статье рассмотрены модули, разработанные и изготовленные в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ, Москва, Россия. В течение последних нескольких десятилетий эффективно проводились исследования по разработке, исследованию и производству солнечных модулей различных конструкций.

Ключевые слова: ФНАЦ ВИМ, кремниевые солнечные элементы, солнечные модули, увеличенный срок службы, солнечные черепицы, складные солнечные модули, высоковольтные матричные солнечные модули, концентраторы солнечного излучения, фотоэлектрические тепловые солнечные модули, вольтамперная характеристика, когенерация.