



СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

SOLAR ENERGY

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДУЛИ

PHOTOELECTRIC MODULES

Статья поступила в редакцию 05.04.19. Ред. рег. № 1611-3390-2 The article has entered in publishing office 05.04.19. Ed. reg. No. 1611-3390-2

УДК 621.382

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МОДУЛЕЙ НА НОВОЙ УСТАНОВКЕ****А.Г. Комилов*

Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз
д. 26, ул. Чингиза Айтматова Ташкент, 100084, Республика Узбекистан
тел.: (+998) 71 235-42-42, факс: (+998) 71 233-12-71; e-mail: asliddin@rambler.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.22-27.012-020

Заключение совета рецензентов: 25.04.19 Заключение совета экспертов: 15.05.19 Принято к публикации: 10.07.19

Основным параметром обеспечения оптимальной работы фотоэлектрической системы является определение положения этой системы в соответствии с доступной плотностью солнечного излучения на данной местности. Для прогноза производительности важно знать температуру окружающей среды, так как на выходные параметры системы влияет температура солнечных элементов, что выражается в температурных коэффициентах. Таким образом, варьируя температуру элементов с помощью конструктивных решений, таких как теплоотвод или фототеплопреобразовательная система, можно оптимизировать работу фотоэлектрической системы в целом. В статье продемонстрирована работа установки собственной разработки для измерения параметров солнечных элементов. Представлены результаты измерений по определению температурных коэффициентов тонкопленочных элементов. Для сравнения сделаны измерения выходных параметров монокристаллических и тонкопленочных фотоэлектрических модулей (ФЭМ) на основе аморфного кремния CdTe и CIGS при различных значениях температуры – от 20 °C до 80 °C.

Рассчитано изменение мощности ФЭМ при различных рабочих температурах по сравнению со стандартными условиями тестирования (STC). Измеренные таким образом параметры были нормированы к STC. Представлены температурные зависимости нормализованных значений максимальной выходной мощности, коэффициента заполнения, силы тока короткого замыкания и напряжения холостого хода. С повышением температуры во всех модулях наблюдалось уменьшение напряжения холостого хода. Наиболее резкое снижение коэффициента заполнения с повышением температуры зафиксировано в монокристаллическом модуле, которое в совокупности со снижением напряжения холостого хода показало самое большое снижение выходной мощности – 15,9 %, 20,4 % и 25,1 % при 60 °C, 70 °C и 80 °C соответственно. Доказано, что все ФЭМ на основе тонкопленочных технологий имеют меньшие значения температурного коэффициента выходной мощности по сравнению с монокристаллическими модулями, наименьшее из них у CdTe.

Определены задачи дальнейшего технического и программного усовершенствования разработанной установки для обеспечения динамического изменения интенсивности освещения, температуры и скорости ветра по задаваемой программе.

* Комилов А.Г. Лабораторные измерения по определению температурных коэффициентов фотоэлектрических модулей на новой установке // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;22-27:12-20.



Ключевые слова: тонкопленочные элементы; солнечные элементы; фотоэлектрический модуль; ВАР; температурный коэффициент; кристаллический кремний; аморфный кремний; теллурид кадмия; CdTe; CIGS.

LABORATORY MEASUREMENTS FOR DETERMINING THE TEMPERATURE COEFFICIENTS OF PHOTOVOLTAIC MODULES USING NEW INSTALLATION

A.G. Komilov

Physical-Technical Institute, Scientific-Research Association "Physics-Sun"
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
2b Chingiz Aytmatov Str., Tashkent, 100084, Uzbekistan
tel.: (+998) 71 235 42 42, fax: (+998) 71 233 12 71; e-mail: asliddin@rambler.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.22-27.012-020

Referred 25 April 2019 Received in revised form 15 May 2019 Accepted 10 July 2019

The main parameter to ensure the optimal operation of the photovoltaic system is to determine its position of this system in accordance with the available solar radiation in the location. Nevertheless, in order to predict the performance of a photovoltaic system, it is important to know the ambient temperature, since the temperature of solar cells affects the output parameters of the system, which is expressed in temperature coefficients. Thus, it is possible to optimize the operation of the photovoltaic system by varying the temperature of the elements using design solutions such as a heat sink or photothermal conversion system.

The article demonstrates the operation of own development installation for measuring the parameters of solar cells. The results of measurements to determine the temperature coefficients of thin-film elements using this installation are presented. For comparison, we have measured the output parameters of a monocrystalline modules and thin-film photovoltaic modules (PM) based on amorphous silicon, CdTe, and CIGS at various temperatures from 20 to 80 °C.

The changes in the output power of PMs at various operating temperatures are calculated in comparison with the values under standard testing conditions (STC). The parameters measured at various temperatures are normalized to STC. The temperature dependences of the normalized values of the maximum output power, fill factor, short circuit current, and open circuit voltage are presented. Decrease in the open circuit voltage is observed with an increase in temperature in all modules. The sharpest decrease in the fill factor with increasing temperature is observed in the monocrystalline module, in combination with a decrease in open-circuit voltage, it showed the biggest decrease in output power, 15.9%, 20.4% and 25.1% at temperatures of 60 °C, 70 °C and 80 °C, respectively. It is proved that all PMs based on thin-film technologies have smaller values of the temperature coefficient of the output power in comparison with a monocrystalline modules, the smallest of which is for CdTe.

The further tasks are set to develop hardware and software for improvement of the installation to provide the dynamic changes in the intensity of illumination, temperature and wind speed defined by a program.

Keywords: thin-film cells; solar cells; photovoltaic modules; CVC; temperature coefficient; crystalline silicon; amorphous silicon; cadmium telluride; CdTe; CIGS.



Аслиддин Гулямович
Комилов
Asliddin Komilov

Сведения об авторе: канд. техн. наук, заместитель директора по науке Физико-технического института Академии наук Республики Узбекистан.

Образование: Каршинский инженерно-экономический институт (1999 г.); Университет Ольденбурга (2002 г.).

Область научных интересов: солнечная энергетика; энергетические системы; фотовольтаика; моделирование процессов.

Публикации: 35.

h-index 2

Research ID: <http://www.researcherid.com/rid/L-8132-2017>

Information about the author: Ph.D. in Engineering, Deputy Director for Science, Physical-Technical Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

Education: Karshi Engineering and Economic Institute, 1999; University of Oldenburg, 2002.

Research interests: solar energy; energy systems; photovoltaics; process modeling.

Publications: 35.



1. Введение

Рабочая температура фотоэлектрического модуля (ФЭМ) и системы (ФЭС) является важным параметром при определении их производительности. Большинство производителей проводят сертификацию ФЭМ в стандартных условиях испытаний (STC) при инсоляции 1 000 Вт/м², AM 1,5 и температуре окружающей среды 25 °С, однако в реальных условиях температура окружающей среды намного выше. На поверхности, облучаемой интенсивным потоком солнечной радиации, особенно в летние дни, температура тонкопленочных элементов в зависимости от конструкции и расположения может достигать 70 °С, 79 °С и 92 °С для фотоэлектрического модуля и для имитации установок BAPV и BIPV соответственно [1]. Для элементов, используемых вне атмосферных условий, температурный режим является более экстремальным: между -170 °С и + 160 °С [2]. Кроме того, высокие температуры достигаются в системах с концентраторами [3]. Температура, влияя на токоперенос в *p-n* переходе [4], приводит к изменению вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечных элементов [5], при этом КПД фотоэлектрических батарей на основе кристаллического кремния падает до 50 % [6].

Информация о влиянии температуры на выходные параметры (ВП) также является полезной для оптимизации производительности фотоэлектрической системы в конкретных условиях с помощью конструктивных решений, например, теплоотвода [7, 8] или фототеплопреобразовательной системы [9], которые показали лучшие электрические и термальные

характеристики, чем фотопреобразователи [10].

Будущее фотоэнергетики связано с развитием тонкопленочных солнечных элементов (СЭ) [11], поэтому задача данного исследования, а именно, сравнение температурных коэффициентов (ТК) тонкопленочных модулей на основе аморфного гидрогенизированного кремния (a-Si:H), поликристаллического теллурида кадмия (CdTe), бинарного соединения меди, индия, галлия и селена (CIGS), произведенных в коммерческих масштабах [12], – с ТК обычного монокристаллического модуля c-Si представляет определенный интерес.

С помощью разработанных ранее методики тестирования фотопреобразователей на основе CIGS [13] и полезной модели (FAP01304) была изготовлена установка для измерения параметров фотоэлектрических модулей и их элементов. Установка является закрытой системой, позволяющей имитировать влияние окружающей среды, и дает возможность проведения измерений в условиях, приближенных к естественным, то есть при различных значениях температуры и мощности светового излучения.

Основной целью экспериментов являлось определение наиболее подходящей технологии для использования в жарких климатических условиях, каковые имеют место на большей части Республики Узбекистан.

По результатам экспериментов определены новые задачи по усовершенствованию созданной установки, то есть обеспечению динамического изменения интенсивности освещения, температуры и скорости ветра по задаваемой программе.

Список обозначений	
<i>Буквы латинского алфавита</i>	
<i>D</i>	Параметр (любой или все)
<i>I</i>	Сила тока, А
<i>J</i>	Плотность тока, мА/см ²
<i>K</i>	Коэффициент
<i>k</i>	Постоянная Больцмана
<i>P</i>	Мощность, Вт
<i>q</i>	Элементарный заряд электрона
<i>T</i>	Температура, °С или К
<i>V</i>	Напряжение, В
<i>Индексы нижние</i>	
0	Изначальный/первичный/заданный
<i>c</i>	Ячейка/элемент
<i>ph</i>	Фотогенерированный
<i>T</i>	Температура
кз	Короткое замыкание
мм	Максимальная мощность
хх	Холостой ход
<i>Аббревиатуры</i>	
a-Si	Аморфный кремний
BAPV	Building Applied Photovoltaics
BIPV	Building Integrated Photovoltaics
CdTe	Теллурид кадмия
CIGS	Соединение меди, индия, галлия и селена
c-Si	Кристаллический кремний
FF	Коэффициент заполнения



Продолжение списка обозначений

PV	Фотоэлектрический
STC	Стандартные тестовые условия
ВАХ	Вольт-амперная характеристика
ВП	Выходной параметр
СЭ	Солнечный элемент
ТК	Температурный коэффициент
ФЭМ	Фотоэлектрический модуль
ФЭС	Фотоэлектрическая система

2. Теоретическая часть

Температурная зависимость выходных параметров (ВП) солнечных элементов и, соответственно, ФЭП и ФЭС базируется на формуле идеального диода Шокли [14]:

$$J = J_0 \left(\exp \frac{qV}{kT_c} - 1 \right), \quad (1)$$

на которой основана формула для плотности тока солнечного элемента:

$$J = J_{ph} - J_0 \left(\exp \frac{qV}{kT_c} - 1 \right), \quad (2)$$

где J_{ph} – фотогенерированный ток; J_0 – ток насыщения; q – элементарный заряд электрона; V – напряжение; k – постоянная Больцмана; T_c – абсолютная температура p - n -перехода.

При прогнозировании производительности ФЭС

для определенной географической местности важно знать зависимость между производительностью при номинальной рабочей температуре и действительной рабочей температуре системы [15], которая рассчитывается с помощью ТК выходных параметров системы [16]. ТК какого-либо параметра ФЭС является соотношением изменения данного параметра dD_T и изменения температуры dT [17]:

$$K_T = \frac{dD_T}{dT}, \quad (3)$$

Необходимо отметить, что в реальных условиях температура ФЭС сильно зависит от температуры окружающей среды и силы ветра [18, 19].

3. Методика экспериментов

Исследования солнечных модулей производились на установке, представленной на рис. 1.

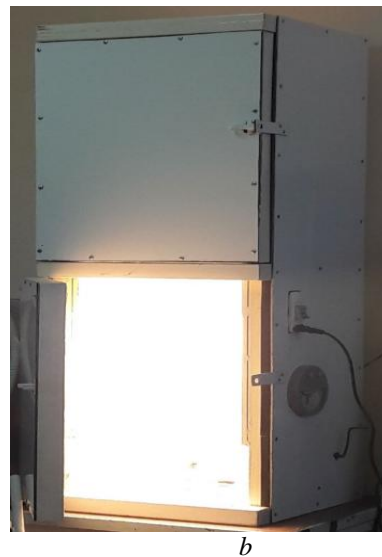
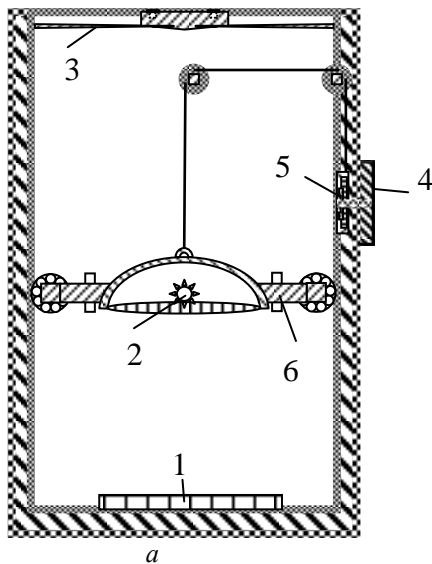


Рис. 1 – Установка для измерения параметров солнечных элементов: а – поперечное сечение по вертикали согласно FAP01304 (1 – подставка; 2 – источник освещения; 3 – вентилятор;

4 – регулятор мощности освещения; 5 – механизм регулирования; 6 – платформа); б – фотография установки
Fig. 1 – Installation for measuring the parameters of solar cells: a – cross section of the installation along the central vertical plane in accordance with FAP01304 (1 – stand; 2 – light source; 3 – fan; 4 – illumination intensity regulator; 5 – regulation mechanism; 6 – platform); b – photo of the installation

Для измерений ФМ помещалась на подставку 1, на поверхности которой интегрирован датчик температуры. Для регистрации температуры ФМ ис-

пользовался полупроводниковый термодатчик, описанный в работе [20]. При включении источника освещения 2, повышалась температура внутри ус-

тановки и, соответственно, ФМ. С помощью температурного регулятора (на рис. 1 не показан) задавалась нужная температура. Для снижения и поддержания температуры этот регулятор контролировал работу вентилятора 3, с помощью регулятора мощности освещения 4 задавалась нужная мощность освещения, механизм регулирования 5 опускал или поднимал платформу 6.

В связи с тем что разные ФЭМ имеют разные температурные коэффициенты, потеря мощности из-за более высоких рабочих температур (по сравнению с условиями STC) будет более выраженной для одних технологий и менее для других.

Паспортные данные ВП, измеренных в условиях STC, представлены в табл. 1. Название моделей не разглашаются во избежание претензий производителей.

Таблица 1
Выходные параметры фотоэлектрических модулей при условиях STC согласно паспорту
Table 1
Output parameters of photovoltaic modules under STC conditions according to the passport

№	Технология	V_{xx} (В)	$I_{кз}$ (А)	$V_{мм}$ (В)	$I_{мм}$ (А)	Размеры (см)
1	a-Si	24,20	0,71	16,89	0,59	38x38
2	CdTe	20,00	0,76	14,73	0,65	30x30
3	CIGS	22,90	0,60	17,70	0,54	30x30
4	c-Si	21,50	1,48	16,79	1,30	40x40

ТК определялись в реальном времени путем исследования температурой зависимости ВАХ испытуемых ФМ, помещенных в разработанный симулятор (см. рис. 1). Мощности излучения измерялись с помощью пиранометра SMP11, тесты проводились при мощности излучения 1 000 Вт/м².

Погрешность измерений при повторных экспериментах были очень малы. Было проделано N повторных измерений для обеспечения доверительного интервала $x = \bar{x} \pm 1\%$ для напряжения (которое показало большую погрешность, чем ток), где \bar{x} – среднearифметическое значение измерений согласно $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$; среднеквадратичное отклонение (СКО)

составило 1 % ($СКО = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$). Для обеспечения СКО = 1 %, потребовалось от 6 до 13 измерений нагрузочных ВАХ в зависимости от температуры ФМ, больше измерений при меньших температурах и наоборот. N также отличался для разных модулей.

4. Результаты и их обсуждение

Экспериментальные результаты исследований температурных зависимостей ВП тестируемых ФМ представлены на рис. 2–5. Для обеспечения точного сравнения различных технологий, измеренные значения ВП нормализовались к значениям STC:

$$\tilde{D} = \frac{D_T}{D_{T_0}}$$

где \tilde{D} – нормализованное значение ВП (напряжение холостого хода, ток короткого замыкания и др.); D_T – измеренное значение параметра при температуре T ; D_{T_0} – значение параметра при температуре STC (в данном случае 25 °С).

На рис. 2 показана температурная зависимость нормализованных значений максимальной выходной мощности (\tilde{P}_{max}) тонкопленочных и кристаллических ФМ. Для всех типов ФМ наблюдается линейная зависимость \tilde{P}_{max} от температуры, нормализованная максимальная выходная мощность уменьшается, но с различным наклоном.

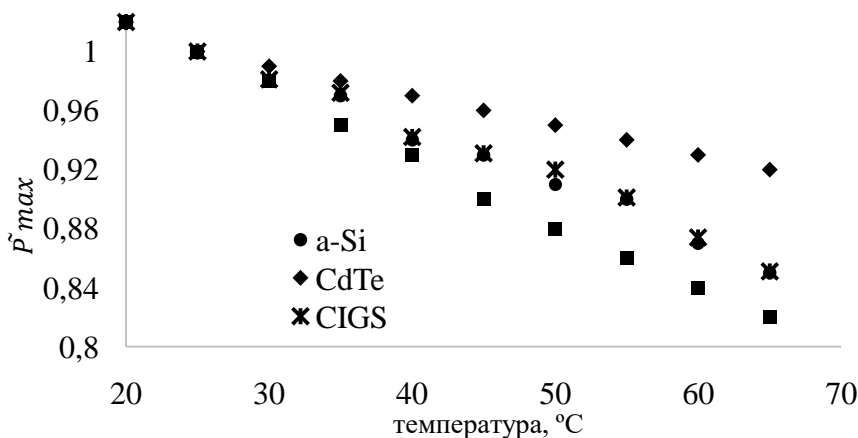


Рис. 2 – Температурная зависимость нормализованной максимальной выходной мощности (\tilde{P}_{max}) тонкопленочных и c-Si ФМ
Fig. 2 – Temperature dependence of the normalized maximum output power (\tilde{P}_{max}) of thin-film and c-Si PMs



Самый низкий ТК \bar{P}_{max} наблюдался у ФМ на основе CdTe, самый высокий – у c-Si ФМ. В табл. 2 приведены значения изменений \bar{P}_{max} фотоэлектрических модулей, по сравнению со значениями STC (25 °C) при рабочих температурах 60 °C, 70 °C и 80 °C.

Из табл. 2 следует, что с ростом температуры мощность ФМ падает: тонкопленочные модули CdTe показывают наименьшее снижение мощности, тогда как c-Si – наиболее значительное снижение мощности. Изменения в a-Si не намного отличаются от CIGS. Следовательно, производительность при условиях жаркого климата у ФЭС на основе CdTe будет выше, чем у других.

На рис. 3 представлена температурная зависимость нормализованного значения напряжения холостого хода (\bar{V}_{xx}) исследуемых ФМ. В модулях a-Si, CIGS и c-Si \bar{V}_{xx} изменяется почти одинаково, с разницей не более 3 %, а \bar{V}_{xx} модуля на основе CdTe

снижается намного медленней при температуре выше 50 °C.

Таблица 2
Изменение выходной мощности ФМ при различных рабочих температурах по сравнению со значениями STC

Table 2
PV modules power output variation from STC values at different operating temperatures

	при 60 °C	при 70 °C	при 80 °C
CdTe	-7,1 %	-9,2 %	-11,3 %
a-Si	-12,9 %	-16,1 %	-19,2 %
CIGS	-12,6 %	-15,8 %	-19,1 %
c-Si	-15,9 %	-20,4 %	-25,1 %

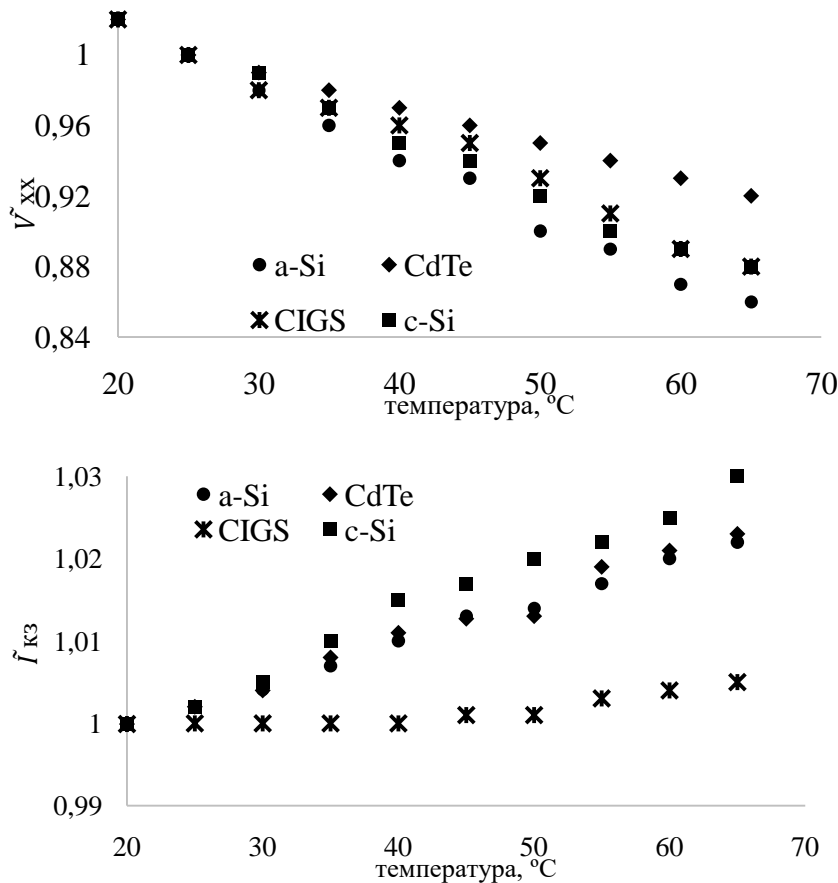


Рис. 3 – Температурная зависимость нормализованного значения напряжения холостого хода (\bar{V}_{xx}) тонкопленочных и кристаллических ФМ
Fig. 3 – Temperature dependence of the normalized value of open-circuit voltage (\bar{V}_{xx}) of thin-film and crystalline PMs

Рис. 4 – Температурная зависимость нормализованного значения тока короткого замыкания (\bar{I}_{K3}) тонкопленочных и кристаллических ФМ
Fig. 4 – Temperature dependence of the normalized value of the short circuit current (\bar{I}_{K3}) of thin-film and crystalline PMs

Представленные на рис. 4 данные температурной зависимости нормализованного значения силы тока КЗ (\bar{I}_{K3}), показывают, что \bar{I}_{K3} в модулях a-Si, CdTe и c-Si под влиянием температуры растет почти одинаково (с разницей в 1,5 % максимум), а

\bar{I}_{K3} модуля на основе CIGS в диапазоне изменения температуры от 20 °C до 65 °C растет менее чем на 0,5 %. В целом значения \bar{I}_{K3} у всех модулей при одинаковых значениях температуры отличаются не более чем на 3 %.

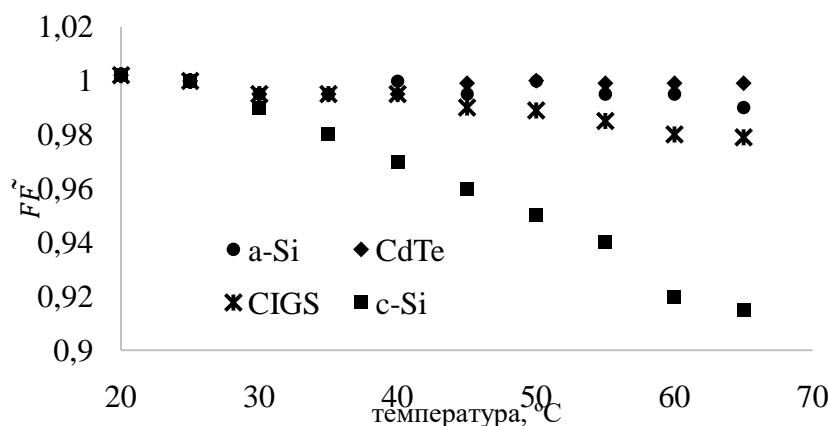


Рис. 5 – Температурная зависимость нормализованного коэффициента заполнения (\overline{FF}) нагрузочной вольт-амперной световой характеристики
 Fig. 5 – Temperature dependence of the normalized fill factor (\overline{FF}) of the illuminated current-voltage characteristics

На рис. 5 показана температурная зависимость нормализованного коэффициента заполнения (\overline{FF}) нагрузочной вольт-амперной световой характеристики для исследованных фотоэлектрических модулей. Коэффициент заполнения (FF) модулей CdTe и a-Si почти не изменяется под воздействием температуры. С ростом рабочей температуры от 20 °C до 65 °C значение FF модуля CIGS снижается менее чем на 2 %, а c-Si – около 10 %.

В табл. 3 обобщены ТК параметров всех модулей, рассчитанные по формуле (3).

Таблица 3
 Температурные коэффициенты параметров ФМ
 Table 3
 Temperature coefficients of PM parameters

	$I_{кз}$	$V_{хх}$	FF	P_{max}
a-Si	- 0,03 %	8,60 %	0,02 %	3,36 %
CdTe	- 0,04 %	4,44 %	0,00 %	1,74 %
CIGS	- 0,01 %	7,12 %	0,04 %	3,29 %
c-Si	- 0,10 %	6,69 %	0,13 %	9,34 %

На основании данных табл. 3 видно, что, хотя ТК тока короткого замыкания монокристаллического модуля намного выше, чем других модулей, а ТК напряжения холостого хода не очень различаются, за счет более высокого негативного ТК фактора заполнения получается высокий негативный ТК выходной мощности.

5. Заключение

Для создания оптимальной фотоэлектрической системы в жарких климатических условиях Республики Узбекистан, были исследованы световые ВАХ ФМ на основе тонкопленочных технологий: a-Si, CdTe, CIGS и традиционный c-Si.

По результатам экспериментов было установлено, что с ростом температуры выходная мощность монокристаллического модуля снижается больше по

сравнению с тонкопленочными модулями. Это происходит за счет большего температурного коэффициента, коэффициента заполнения. С ростом температуры от 20 °C до 65 °C значение коэффициента заполнения монокристаллического модуля снижается примерно на 10 %, в то время как тонкопленочных модулей – менее чем на 2 %.

Кроме того, наиболее устойчивым к повышению температуры является модуль теллурида кадмия, в котором выходная мощность с ростом температуры снижается более чем на 70 % по сравнению с другими модулями.

Изменения температурных коэффициентов выходных параметров можно объяснить конструктивными и электрофизическими особенностями элементов на основе тонкопленочных технологий: a-Si, CdTe [21], CIGS [22] и на основе c-Si. Для установления механизма влияния температуры на производительность этих СЭ необходимы дальнейшие исследования.

При техническом и программном усовершенствовании, на разработанной установке можно обеспечить динамическое изменение интенсивности освещения, температуры и скорости ветра по задаваемой программе.

Список литературы

[1] Sample, T. Modification to the Standard Reference Environment (SRE) for Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) to Account for Building Integration / T. Sample, A. Virtuani // Proc. of the 24th EuPVSEC, Hamburg, 2009. – P. 3332.
 [2] Caon, A. Multi-Junction GaAs photovoltaic assembly technology for very severe LEO environment missions / A. Caon [et al.] // Proc. of the 18th Space Photovoltaic Research and Technology Conference, NASA/CP-2005-213431. – P. 9-17.
 [3] Evdokimov, V.M. A Study of Limiting Energy and Temperature Characteristics of Photovoltaic Solar Radiation Converters / V.M. Evdokimov, V.A. Maiorov // Applied Solar Energy. – 2017. – Vol. 53. – No. 1. – P. 1-9.
 [4] Gulyamov, G. Thermal Stimulation of Photocurrent in p-n Junctions / G. Gulyamov, A. Gulyamov, U.

Erkaboev // *Applied Solar Energy*. – 2018. – Vol. 54. – Iss. 5. – P. 338–340.

[5] Matchanov, N.A. Experimental studies of the monocrystal and polycrystal characteristics of silicon photovoltaic modules under environmental conditions of Tashkent / N.A. Matchanov [et al.] // *Applied Solar Energy*. – 2017. – Vol. 53. – Iss. 1. – P. 23–30.

[6] Komilov, A.G. Evaluation of solar element and collector system efficiency under hot climate conditions / A.G. Komilov, R.A. Muminov, M.N. Tursunov // *Applied Solar Energy*. – 2008. – Vol. 44. – Iss. 2. – P. 90–92.

[7] Komilov, A. Improving the design of a photoconverter with a heat sink using mathematical simulation / A. Komilov // *Applied Solar Energy*. – 2011. – Vol. 47. – Iss. 3. – P. 229–233.

[8] Komilov, A. Calculation of the limits of physical dimensions of PV with heat removal / A. Komilov // *Applied Solar Energy*. – 2013. – Vol. 49. – Iss. 1. – P. 19–21.

[9] Komilov A. Study of the possibility of use of α -Si:H solar elements in photovoltaic thermal converters / A. Komilov // *Applied Solar Energy*. – 2015. – Vol. 51. – Iss. 2. – P. 140–143.

[10] Tripanagnostopoulos, Y. Hybrid photovoltaic/thermal solar systems / Y. Tripanagnostopoulos [et al.] // *Solar Energy*. – 2002. – Vol. 72. – No. 3. – P. 217–234.

[11] Singh, P. Temperature dependence of solar cell performance—an analysis / P. Singh, N.M. Ravindra // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. – 2012. – Vol. 101. – P. 36–45.

[12] Башкиров, С.А. Тонкие пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ для использования в солнечных элементах третьего поколения / С.А. Башкиров [и др.] // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE)*. – 2016. – № 15–18. – С. 31–53.

[13] Komilov A. Questions of Simplifying the Methods of Testing Photoconverters Based on $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}$. Part 1: A Basis for Mathematical Modeling of the Current-Voltage Characteristics / A. Komilov // *Applied Solar Energy*. – 2018. – Vol. 54. – No. 1. – P. 1–3.

[14] Shockley, W. The theory of p-n junctions in semiconductors and p-n junction transistors / W. Shockley // *Bell Syst. Tech.* – 1948. – J 435–489.

[15] Dubey, S. Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world - a review / S. Dubey, J.N. Sarvaiya, Bh. Seshadri // *Energy Procedia*. – 2013. – Vol. 33. – P. 311–321.

[16] Киселева, С.В. Оценка эффективности фотоэлектрических станций в климатических условиях Кыргызстана / С.В. Киселева [и др.] // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE)*. – 2015. – № 1. – С. 14–25.

[17] Emery, K. Temperature dependence of photovoltaic cells, modules and systems / K. Emery [et al.] // In: 25th IEEE photovoltaic specialists conference. IEEE, 1996. – P. 1275–1278.

[18] Griffith, J.S. Some tests of flat plate photovoltaic module cell temperatures in simulated field conditions / J.S. Griffith, N.S. Rathod, J. Paslaski // *Proc. 15th*

IEEE Photovoltaic Specialists Conf., Kissimmee, FL, 1981. – P. 822–830.

[19] Tursunov, M.N. The Influence of Convective Heat Exchange on the Temperature of a Solarvoltaic Array / M.N. Tursunov [et al.] // *Applied Solar Energy*. – 2014. – Vol. 50. – No. 4. – P. 236–237.

[20] Karimov, A.V. Features of the temperature properties of a field-effect transistor in a current-limiting mode / A.V. Karimov [et al.] // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. – 2013. – Vol. 86. – No. 1. – P. 248–254.

[21] Mirsagatov, Sh.A. Injection Photodiode Based on an $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$ Heterostructure / Sh.A. Mirsagatov, R.R. Kabulov, M.A. Makhmudov // *Semiconductors*. – 2013. – Vol. 47. – No. 6. – P. 825–830; DOI: 10.1134/S106378261306016X.

[22] Kobulov, R.R. Morphology and Photoelectric Characteristics of the Thin-Films Polycrystalline Structure $\text{SnO}_2\text{-CdS}/\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2\text{-Ag}$ / R.R. Kobulov, N.A. Matchanov, A.K. Ataboev // *Applied Solar Energy*. – 2018. – Vol. 54. – No 2. – P. 91–94.

References

[1] Sample T., Virtuani A. Modification to the Standard Reference Environment (SRE) for Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) to Account for Building Integration. *Proc. of the 24th Eu-PVSEC*, Hamburg 2009; p. 3332.

[2] Caon A., Signorini C., Bals A., Dettlaff K. Multi-Junction GaAs photovoltaic assembly technology for very severe LEO environment missions. *Proc. of the 18th Space Photovoltaic Research and Technology Conference, NASA/CP*, 2005;213431:9–17.

[3] Evdokimov V.M., Maiorov V.A. A Study of Limiting Energy and Temperature Characteristics of Photovoltaic Solar Radiation Converters. *Applied Solar Energy*, 2017;53(1):1–9.

[4] Gulyamov G., Gulyamov A., Erkaboev U. Thermal Stimulation of Photocurrent in p-n Junctions. *Applied Solar Energy*, 2018;54(5):338–340.

[5] Matchanov N.A., Mirzabaev A.M., Umarov B.R. et al. Experimental studies of the monocrystal and polycrystal characteristics of silicon photovoltaic modules under environmental conditions of Tashkent. *Applied Solar Energy*, 2017;53(1):23–30.

[6] Komilov A.G., Muminov R.A., Tursunov M.N. Evaluation of solar element and collector system efficiency under hot climate conditions. *Applied Solar Energy*, 2008;44(2):90–92.

[7] Shockley W. The theory of p-n junctions in semiconductors and p-n junction transistors. *Bell Syst. Tech.*, 1948;435–489.

[8] Dubey S., Sarvaiya J.N., Seshadri Bh. Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world – a review. *Energy Procedia*, 2013;33:311–321.

[9] Kiseleva S.V., Kolomiets Yu.G., Popel' O.S., Tarasenko A.B. Assessment of the effectiveness of photo-



voltaic stations in the climatic conditions of Kyrgyzstan (Otsenka effektivnosti fotoelektricheskikh stantsii v klimaticheskikh usloviyah Kyrgyzstana). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2015;(1):14–25 (in Russ.)

[10] Emery K., Burdick J., Caiyem Y. et al. Temperature dependence of photovoltaic cells, modules and systems. *25th IEEE photovoltaic specialists conference, IEEE*, 1996; pp. 1275–1278.

[11] Griffith J.S., Rathod N.S., Paslaski J. Some tests of flat plate photovoltaic module cell temperatures in simulated field conditions. *Proc. 15th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., Kissimmee, FL*, 1981; pp. 822–830.

[12] Tursunov M.N., Dyskin V.G., Turdiev B.M., Yuldashev I.A. The Influence of Convective Heat Exchange on the Temperature of a Solarvoltaic Array. *Applied Solar Energy*, 2014;50(4):236–237.

[13] Komilov A. Improving the design of a photoconverter with a heat sink using mathematical simulation. *Applied Solar Energy*, 2011;47(3):229–233.

[14] Komilov A. Calculation of the limits of physical dimensions of PV with heat removal. *Applied Solar Energy*, 2013;49(1):19–21

[15] Komilov A. Study of the possibility of use of α -Si:H solar elements in photovoltaic thermal converters. *Applied Solar Energy*, 2015;51(2):140–143.

[16] Tripanagnostopoulos Y., Nousia Th., Souliotis M., Yianoulis P. Hybrid photovoltaic/thermal solar systems. *Solar Energy*, 2002;72(3):217–34.

[17] Singh P., Ravindra N.M. Temperature dependence of solar cell performance-an analysis. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2012;101:36–45.

[18] Bashkurov S.A., Kondrotas R., Gremenok V.F., Yushkenas R.L., Tyukhov I.I. $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ thin films for third-generation solar cells (Tonkie plenki $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ dlya ispol'zovaniya v solnechnykh elementah tret'ego pokoleniya). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2016;(15–18):31–53 (in Russ.).

[19] Komilov A. Questions of Simplifying the Methods of Testing Photoconverters Based on $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}$. Part 1: A Basis for Mathematical Modeling of the Current-Voltage Characteristics. *Applied Solar Energy*, 2018;54(1):1–3.

[20] Karimov A.V., Yodgorova D.M., Abdulhaev O.A., Kamanov B.M., Turaev A.A. Features of the temperature properties of a field-effect transistor in a current-limiting mode. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013;86(1):248–254.

[21] Mirsagatov Sh. A., Kabulov R. R., Makhmudov M. A. Injection Photodiode Based on an $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$ Heterostructure. *Semiconductors*. 2013;47(6):825–830; DOI:10.1134/S106378261306016X.

[22] Kobulov R.R., Matchanov N.A., Ataboev A.K. Morphology and Photoelectric Characteristics of the Thin-Films Polycrystalline Structure $\text{SnO}_2\text{-CdS}/\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2\text{-Ag}$. *Applied Solar Energy*, 2018;54(2):91–94.

Транслитерация по BSI



Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

III Международная научно-практическая конференция
«Современные пожаробезопасные материалы и технологии»

Приглашаем принять участие в III Международной научно-практической конференции «Современные пожаробезопасные материалы и технологии», которая состоится в ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

К участию в конференции приглашаются обучающиеся, адъюнкты, аспиранты, молодые ученые и преподаватели образовательных организаций России, стран ближнего и дальнего зарубежья, сотрудники научных организаций, чьи научные интересы соответствуют заявленной тематике, а также сотрудники производственных компаний, заинтересованные в усилении взаимодействия науки и бизнеса.

Дата проведения конференции – **11 декабря 2019 г.**

Место проведения конференции: г. **Иваново**, пр. Строителей, д. 33 ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России.

Заявку на участие в конференции в электронном виде и материалы для публикации в объеме не менее 3 полных страниц текста следует отправить до **25 ноября 2019 г.**

<https://www.altstu.ru/structure/unit/noo/scienceevent/4095/>

