

# Альтернативные источники энергии

УДК 620.92; 621.38; 621.3.087.4

DOI: 10.14529/power150408

## ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РОССИИ

**Т.С. Габдерахманова<sup>1</sup>, С.И. Зайцев<sup>2</sup>, С.В. Киселева<sup>2</sup>,  
А.Б. Тарасенко<sup>1</sup>, В.П. Шакурн<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва,

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Представлен обзор систем мониторинга солнечных фотоэлектрических станций и установок – как сетевых, так и автономных – на территории РФ. Актуальность такого рода мониторинга определяется задачами проектирования, а также достаточно сложными и неоднородными с позиций развития солнечной энергетики климатическими условиями России. Рассмотрены методы и инструменты, используемые для проведения мониторинга. Предложены элементы регламента и перечень задач мониторинга.

Описаны результаты расчетов по предложенной инженерной методике прогнозирования производительности ФЭУ. Проведена верификация среднемесячных данных NASA SSE о падающей солнечной радиации, используемых в качестве исходных параметров в расчетной методике.

На основе экспериментальных данных подтверждена адекватность использования предложенной инженерной методике для прогноза производительности фотоэлектрических установок. Выявлены основные факторы, которые вносят наиболее весомый вклад в погрешность расчетов.

Представлены выявленные в процессе мониторинга автономной фотоэлектрической системы аспекты, имеющие существенное значение для работы системы мониторинга и установки в целом.

Предлагается создать на территории России сеть фотоэлектрических установок, оснащенных системами мониторинга для обработки и обмена информацией, формирования единого регламента измерений и разработки рекомендаций по установке ФЭС в различных географических условиях страны.

*Ключевые слова:* возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, фотоэлектрические установки, мониторинг фотоэлектрических систем.

### Введение

В ряде регионов Российской Федерации с большим количеством автономных потребителей и высоким уровнем инсоляции фотоэнергетика обладает широкими перспективами развития.

Для успешного проектирования солнечных энергоустановок (СЭУ) необходим мониторинг работы таких систем в различных климатических условиях. Для проведения адекватного анализа результатов и верификации методов проектирования важно разработать и обосновать регламент мониторинга, а именно, конфигурацию модельных солнечных энергетических систем (состав оборудования, величина нагрузки), состав системы мониторинга, перечень фиксируемых характеристик работы систем, порядок проведения измерений и обработки результатов.

Еще одной важной задачей для расширения применения солнечных энергоустановок является разработка инженерных методик проектирования, позволяющих оценивать прогнозную производительность автономных систем и степень покрытия нагрузки. При этом большие сложности возникают – особенно в климатических условиях России – в связи с недостаточностью или отсутствием метеорологической и актинометрической информации в

местах работы установок. Эта проблема требует анализа данных наземных и спутниковых наблюдений, математического моделирования с различной пространственной и временной детализацией.

### 1. Системы мониторинга работы солнечных энергоустановок на территории РФ

Рассмотрим некоторые зарубежные и российские системы мониторинга. Основные характеристики представленных ниже систем мониторинга солнечных автономных и сетевых энергоустановок представлены в табл. 1.

#### 1.1. Система мониторинга Sunny Portal (SMA)

Компания SMA является мировым лидером производства инверторов, зарядных устройств и комплектующих для систем сбора и обработки данных. В качестве опции к своему оборудованию SMA предлагает потребителям систему мониторинга для сбора, обработки и хранения показателей работы фотоэлектрических установок с использованием веб-сервиса Sunny Portal [1]. Среди установок и станций, снабженных системой мониторинга Sunny Portal фирмы SMA, несколько в настоящее время работают на территории РФ.

Рассмотрим основные черты организации системы мониторинга SMA солнечно-дизельной станции в поселке Яйлю (Республика Алтай). Основным узлом связи системы контроля и мониторинга работы станции является регистратор данных Sunny WebBox, осуществляющий сбор и хранение данных на веб-сервере, а также настройку инверторов и приборов контроля посредством беспроводного соединения через Bluetooth.

В состав системы регистрации и управления

входят 2 инвертора Sunny Island 5048,9 сетевых инверторов Sunny Mini Central 7000HVRP и метеостанция Sunny Sensorbox, измеряющая солнечную радиацию, скорость ветра, температуру поверхности солнечных модулей и температуру воздуха.

Система мониторинга Sunny Portal позволяет представить на сайте в режиме online характеристики работы станции (см. табл. 1) и прогнозируемые показатели.

Таблица 1

Сравнение параметров (характеристик) рассмотренных энергоустановок и систем мониторинга их работы

Наименование	Сетевая/автономная	Тип ФЭП (материал, мощность)	Система мониторинга	Исходные (измеряемые) величины					Производные характеристики	
				$I, A$	$U, B$	$T, ^\circ C$	$A, Bт/м^2$	Прочие	Расчетные величины	Графические зависимости
С. Яйлю, Республика Алтай	Автономная	μс-Si/a-Si Pramac Luce P7LM 125 Вт (пик)	Sunny Portal, SMA	$I_{АКБ}; I_{вх. инв}; I_{вых. инв}$	$U_{АКБ}; U_{вх. инв}; U_{л}$	$T_{окр}; T_{ФЭМ}; T_{АКБ}$	$A$	$F$	SOC; SOH; $E_i; E_{\Sigma сут}; E_{\Sigma мес}; E_{ср. сут}; E_i/P_{пик}; P_{фаз}; P_{вх. инв}; P_{вых. инв}; \eta_{ср. сут}; \eta_{ср. мес}; \eta_{ср. год}; CO_{2avoided}$	$A(t); E_i/P_{пик}(t); E(T_{окр}); E, A(t); E(T_{ФЭМ}); T_{АКБ}, T_{ФЭМ}, T_{окр}; A(t)$
ЧГУ, г. Чебоксары	Сетевая	μс-Si/a-Si Pramac Luce P7LM 125 Вт	WpSupervisor	$I_{вх. инв}$	$U_{вх. инв}$		$A$		$P_{вх. инв}$	$A(t); I_{вх. инв}(t); U_{вх. инв}(t); P_{вх. инв}(t)$
ФТИ им. Иоффе (НТЦ)	Автономная	μс-Si/a-Si Pramac Luce 125 Вт, Моно-Si TCM-210SB, 210 Вт	Собственная	$I_{ФЭМ}$	$U_{ФЭМ}$	$T_{окр}; T_{ФЭМ}$	$A$	$V_{ср}; V_{макс}; \vec{V}$	$E_i; E_{\Sigma сут}; E_{\Sigma мес}; E_{ср. час}; E_i/P_{пик}; \eta_i; \eta_{ср. сут}$	$E_i, A(t); E_i/P_{пик}, A(t); \eta_i, A(t); \eta_{ср. сут}(t); E_{ср. час}, A(t); E_{\Sigma сут}, \eta_{ср. сут}(t); V_{ср}, \vec{V}, V_{макс}; T_{окр}, T_{ФЭМ}, A(t)$
ОИВТ РАН	Автономная	[6]	1) Встроенная SunSaver (Morningstar) 2) Собственная на основе МВА Овен	$I_{АКБ}; I_{ФЭМ}$	$U_{АКБ}; U_{нагр}; U_{ФЭМ}$		$A$		$E_i; E_{\Sigma сут}/P_{пик}; E_{\Sigma сут}/C_{ФЭМ}; E_{\Sigma сут}/S_{ФЭМ}; \eta_i$	$E_i, A(t); \eta_i, A(t)$
НИЛ ВИЭ МГУ	Автономная	MSW-180	LCard	$I_{АКБ}; I_{ФЭМ}; I_{нагр}$	$U_{АКБ}; U_{ФЭМ}; U_{нагр}$		$A$		$E_i; E_{\Sigma сут}; A_{сут}; A_{ср. мес}; \eta_{ср. сут}; \eta_{ср. сут}; \Delta U_{АКБ}$	$A(t); E_{\Sigma сут}(t); \eta_{ср. сут}, A(t); \Delta U_{АКБ}(t)$

Примечание.  $I_{АКБ}$  – ток в цепи АКБ, А;  $I_{ФЭМ}$  – ток в цепи ФЭМ, А;  $I_{вх. инв}$  – ток на входе в инвертор, А;  $I_{вых. инв}$  – ток на выходе инвертора, А;  $U_{АКБ}$  – напряжение на зажимах АКБ, В;  $U_{ФЭМ}$  – напряжение на выходах ФЭМ, В;  $U_{нагр}$  – напряжение на зажимах нагрузки, В;  $U_{вх. инв}$  – напряжение на входе инвертора, В;  $U_{л}$  – мгновенное линейное напряжение, В;  $\Delta U_{АКБ}$  – разбаланс напряжений на АКБ (мода), В;  $T_{окр}$  – температура окружающей среды, °С;  $T_{ФЭМ}$  – температура ФЭМ, °С;  $T_{АКБ}$  – температура АКБ, °С;  $A(t)$  – интенсивность солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>;  $A_{сут}$  – суточная сумма суммарной солнечной радиации, Вт·ч/м<sup>2</sup>/день;  $A_{ср. мес}$  – среднемесячная сумма суммарной солнечной радиации, Вт·ч/м<sup>2</sup>/день; SOC – уровень заряда АКБ, %; SOH – выработанный аккумуляторами ресурс, %;  $E_i$  – мгновенная выработка ФЭМ, кВт·ч;  $E_{\Sigma сут}, E_{\Sigma мес}$  – суммарная выработка энергии ФЭМ за сутки/месяц, кВт·ч;  $E_{ср. час}, E_{ср. сут}$  – средняя за час/сутки выработка ФЭМ, кВт·ч;  $E_i/P_{пик}$  – удельная выработка энергии;  $P_{фаз}$  – активная мощность каждой фазы инвертора и дизель-генератора, кВт;  $P_{вх. инв}, P_{вых. инв}$  – активная мощность на входе/выходе инвертора, Вт;  $\eta_i$  – мгновенный КПД солнечных батарей, %;  $\eta_{ср. сут}, \eta_{ср. мес}, \eta_{ср. год}$  – средний КПД солнечных батарей за сутки/месяц/год, %;  $\eta_{ср. сут}$  – средний за сутки КПД системы в целом, %;  $CO_{2avoided}$  – предотвращенные выбросы CO<sub>2</sub>, кг;  $F$  – частота сети, Гц;  $V_{ср}$  – средняя скорость ветра, м/с;  $V_{макс}$  – максимальная скорость ветра, м/с;  $\vec{V}$  – направление ветра, град.;  $C_{ФЭП}$  – стоимость ФЭ модуля, руб.;  $S_{ФЭП}$  – площадь ФЭ модуля, м<sup>2</sup>;  $t$  – время.

### 1.2. Системы мониторинга на основе отечественных разработок

Проекты создания и эксплуатации автономных и сетевых солнечных установок в России с системами мониторинга крайне немногочисленны. Ниже приведены некоторые из них, наиболее типичные, позволяющие провести сравнительный анализ применяемого оборудования и измеряемых величин.

#### 1.2.1. Система мониторинга работы ФЭС НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике ФТИ им. А.О. Иоффе

В целях исследования эффективности работы тонкопленочных солнечных модулей в различных климатических условиях, а также долгосрочного мониторинга их технических характеристик специалистами ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ имени А.Ф. Иоффе» и ООО «Хевел» в семи регионах страны были созданы тестовые фотоэлектрические установки.

В состав каждой установки входят два типа фотоэлектрических модулей: тонкопленочный микроморфный Pramac Luce и кремниевый монокристаллический TCM-210SB фирмы ЗАО «Телеком-СТВ» [2].

Основу системы мониторинга установки составляет электронный регистратор для сбора и хранения данных, обеспечивающий свободный доступ к ним через сайт в online-режиме [3]. Предусмотрен удаленный видеомониторинг каждой установки.

Веб-сервис обеспечивает доступ к результатам мониторинга за любой заданный период времени. Перечень регистрируемых в рамках мониторинга параметров установок (см. табл. 1) унифицирован и включает в себя мгновенные текущие и интегральные энергетические характеристики ФЭМ и параметры окружающей среды.

Подобная система мониторинга сетевой фотоэлектрической станции (ФЭС) номинальной мощностью 2 кВт. ФЭС реализована в Чувашском государственном университете. ФЭС обеспечивает питание однофазных потребителей в учебной лаборатории, при этом имеется возможность питания потребителя напрямую от централизованной сети, а также сброса излишков сгенерированной фотоэлектрическими модулями энергии в сеть [4].

Станция состоит из 16 фотоэлектрических тонкопленочных модулей Pramac Luce P7LM, 2 сетевых инвертора Sunny Boy 1200, метеостанции Vantage PRO 2, устройства сбора данных и персонального компьютера. Регистрируемые величины приведены в табл. 1. Результаты мониторинга параметров установки представлены на интернет-сайте [5].

### 1.2.2. Система мониторинга характеристик ФЭМ ОИВТ РАН

С целью исследования рабочих параметров различных фотоэлектрических модулей и их зависимости от внешних факторов в ОИВТ РАН создан стенд сравнительных испытаний. Стенд состоит из восьми независимых фотоэлектрических установок, в каждую из которых входят ФЭМ различных производителей, отличающиеся по типу и номинальным параметрам [6], контроллер заряда, АКБ и нагрузка мощностью 110 Вт.

На стенде используются два типа систем измерений и обработки данных: SunSaver фирмы Morningstar Corp. (в комплекте с контроллером заряда) и самостоятельная разработанная система на базе аналогового модуля ввода МВА-8 фирмы ОБЕН.

Перечень регистрируемых характеристик включает в себя ток, напряжение и мощность ФЭМ, напряжение на АКБ и ток заряда, напряжение на нагрузке, интенсивность солнечного излучения в рабочей плоскости модуля. На этой основе рассчитывается мгновенный КПД и производительность каждого модуля; определяется их зависимость от интенсивности солнечной радиации. Отношения выработанной за сутки энергии к пиковой мощности, стоимости и площади каждого модуля дают коэффициент использования установленной мощности и экономические показатели.

### 1.2.3. Система мониторинга автономной фотоэлектрической установки НИЛ ВИЭ МГУ

На базе научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии (НИЛ ВИЭ) МГУ им. М.В. Ломоносова в 2012 г. была создана опытно-демонстрационная фотоэлектрическая установка (ФЭУ). Она предназначена для поиска технических решений систем освещения на ФЭМ, экспериментальной проверки разработанной инженерной методики проектирования и получения информации о работе ФЭМ, АКБ и установки в целом в условиях г. Москвы.

Основные элементы системы: 2 двусторонних фотоэлектрических модуля MSW-180/90 (ООО «Солнечный ветер»), контроллер заряда Morningstar's SunSaver MPPT 15A, 24B, 2 гелевых свинцово-кислотных аккумулятора Prosolar-RAA12-260DG (Ritar) и нагрузочный стенд со светодиодными светильниками.

Система управления и сбора данных реализована на основе аналогово-цифровых преобразователей LTR-1-4 фирмы L-Card. Обработка и визуализация измеряемых величин осуществляется с помощью ПО PowerGraph v.3.0. В систему мониторинга также входит пиранометр QMS101 фирмы Kipp & Zonen, установленный в рабочей плоскости модуля.

Конфигурация опорной конструкции ФЭМ позволяет изменять угол наклона в зависимости от сезона от 42 до 72°.

## 2. Результаты мониторинга работы автономной ФЭУ в условиях Московского региона

### 2.1. Верификация исходных актинометрических данных для прогноза производительности ФЭУ

Использованная в работе инженерная методика проектирования и оценки потенциальной производительности ФЭУ была ранее изложена в работе [7]. В качестве входных данных используются значения средних месячных сумм суммарной солнечной радиации на приемную поверхность с учетом угла наклона.

В связи с недостаточностью наземных актинометрических данных, что характерно для большей части территории России, предлагается использовать базу данных NASA SSE – открытый интернет-ресурс, в котором приведены требуемые величины для всей земной поверхности на сетке  $(1 \times 1)^\circ$  [8]. Сравнение данных NASA SSE с результатами многолетних наземных актинометрических измерений проводилось нами ранее и показало удовлетворительные результаты [9].

Адекватность указанного источника для проектирования и первичных интегральных оценок производительности ФЭС была проверена также путем сравнения данных БД NASA SSE и значений суммарной солнечной радиации, приходящих на приемную поверхность ФЭП, полученных в ходе опытной эксплуатации ФЭУ в течение 2013–2014 гг. (табл. 2).

### 2.2. Некоторые результаты мониторинга работы ФЭУ НИЛ ВИЭ

Использованная в работе инженерная методика определяла производительность ФЭУ ( $E$ , кВт·ч) на основе среднемесячных значений прихода сум-

марной солнечной радиации на единичную площадь поверхности, ориентированной под заданным углом к горизонту ( $A$ , кВт·ч/м<sup>2</sup>/день):

$$E = A \eta_{\text{мод}} \eta_{\text{к}} \eta_{\text{АКБ}} N_{\text{мод}} S,$$

где  $\eta_{\text{мод}}$ ,  $\eta_{\text{к}}$ ,  $\eta_{\text{АКБ}}$  – КПД ФЭМ, контроллера заряда и аккумуляторной батареи, %;  $N_{\text{мод}}$  – количество ФЭМ в составе установки, шт.;  $S$  – площадь рабочей поверхности единичного ФЭМ, м<sup>2</sup>.

Поскольку оптимальный угол наклона приемной поверхности, обеспечивающий максимальный приход солнечной радиации, в течение года изменяется, на установке было реализовано механическое изменение угла наклона ФЭМ к горизонту от 42° летом до 72° зимой (применение треккера нецелесообразно по экономическим соображениям). Выбор емкости аккумулятора производился из условия поглощения нагрузкой всей выработанной ФЭМ за сутки энергии.

Система мониторинга работы ФЭУ НИЛ ВИЭ позволила провести апробацию разработанной методики проектирования автономных солнечных установок в части прогноза производительности. Анализ был проведен путем сравнения расчетных и экспериментальных данных о производительности ФЭУ (табл. 3). Для сравнения были выбраны периоды с наиболее полными результатами мониторинга работы ФЭУ (май–август и ноябрь 2014 г.). Видно, что отклонение результатов эксперимента от расчетных данных, полученных на основе базы NASA SSE ( $\delta$ ), в летние месяцы составляет 10–15 %, в ноябре – порядка 80 %.

Сравнение данных о падающей солнечной радиации – экспериментальных (актуальных) и среднемесячных NASA SSE – дает отклонения того же порядка (табл. 2). В связи с этим был выполнен пересчет производительности ФЭУ по той

Таблица 2  
Оценка погрешности среднемесячных значений суммарной солнечной радиации по данным измерений на ФЭУ НИЛ ВИЭ и NASA SSE

Месяц	$\alpha_{\text{ФЭУ}}$	$\alpha_{\text{NASA}}$	$A_{\text{ФЭУ}}$	$A_{\text{NASA}}$	$\delta$
Апрель	42	40	5,47	4,32	27
Май			4,32	5,10	15
Июнь			4,59	4,95	7
Июль			5,75	4,98	15
Август			4,34	4,55	5
1–25 сентября			3,59	3,2	12
26–30 сентября	57	55	2,76	3,14	12
Октябрь			1,70	2,25	25
1–10 ноября			0,88	1,54	43
11–30 ноября			72	70	0,65

Примечание.  $\alpha_{\text{ФЭУ}}$  – угол наклона ФЭМ в составе ФЭУ НИЛ ВИЭ, °;  $\alpha_{\text{NASA}}$  – угол наклона в БД NASA SSE, °;  $A_{\text{ФЭУ}}$  – экспериментальные значения падающей солнечной радиации, кВт·ч/м<sup>2</sup>/день;  $A_{\text{NASA}}$  – падающая солнечная радиация по данным NASA SSE, кВт·ч/м<sup>2</sup>/день,  $\delta = \frac{|A_{\text{ФЭУ}} - A_{\text{NASA}}|}{A_{\text{NASA}}} \cdot 100\%$  – относительная погрешность, %.

Сравнение расчетной и экспериментальной среднесуточной производительности автономной солнечной энергоустановки

Месяц	$E_{\text{расч}}$	$E_{\text{эксп}}$	$\delta = \left  \frac{E_{\text{расч}} - E_{\text{эксп}}}{E_{\text{расч}}} \right  \cdot 100 \%$	$E_{\text{расч}}^*$	$\delta^* = \left  \frac{E_{\text{расч}}^* - E_{\text{эксп}}}{E_{\text{расч}}^*} \right  \cdot 100 \%$
Май	1,8	1,5	14,0	1,5	1,9
Июнь	1,70	1,5	13,2	1,6	6,2
Июль	1,70	1,9	9,8	1,9	3,7
Август	1,6	1,3	15,2	1,5	9,9
Ноябрь	0,5	0,1	79,6	0,3	57,0

Примечание.  $E_{\text{эксп}}$  – экспериментальная производительность, кВт·ч/м<sup>2</sup>/сут;  $E_{\text{расч}}$ ,  $E_{\text{расч}}^*$  – расчетная производительность на основе данных БД NASA SSE о среднемесячной солнечной радиации и актуальных (экспериментально измеренных) значений радиации, кВт·ч/м<sup>2</sup>/сут;  $\delta$ ,  $\delta^*$  – соответствующие относительные отклонения экспериментальных и расчетных результатов, %.

же методике, но с учетом полученных в эксперименте (актуальных) данных о падающей солнечной радиации ( $E_{\text{расч}}^*$ ). Видно, что, за исключением ноября, использование актуальных входных данных позволяет существенно снизить отклонение расчетных и экспериментальных данных.

Таким образом, подтверждена адекватность предложенной инженерной методики в части прогноза производительности автономных солнечных установок. Основной вклад в погрешность вносят исходные данные о падающей радиации, а также, по-видимому, то, что существующая версия методики не учитывает изменение спектрального состава солнечной радиации в зимний период.

В ходе опытной эксплуатации ФЭУ в течение 2013 г. был обнаружен ряд аспектов, имеющих существенное значение как для работы установки, так и для функционирования системы мониторинга. Так, в режиме мониторинга необходимо подбирать нагрузку ФЭУ таким образом, чтобы вся накопленная в аккумуляторах в течение светлого времени суток энергия расходовалась в течение суток (система «обнулялась» каждые сутки). Это позволяет корректно определять суточные значения энергетического баланса установки в целом и производительности ее элементов (в частности, ФЭМ). Величина нагрузки при этом изменяется в зависимости от сезона года. В ФЭУ НИЛ ВИЭ нагрузка менялась ступенчато от 90 Вт зимой до 194 Вт в летний период.

Второй важный аспект работы ФЭУ и системы мониторинга был выявлен при разряде аккумуляторов на малых токах. В этом случае АКБ разряжаются ниже разрешенной глубины разряда. В результате возникает и усиливается разбаланс аккумуляторов, что приводит к полному выходу из строя отдельных аккумуляторов. Следовательно, необходима синхронизация аккумуляторов в начале эксплуатации, а также использование эффективной системы балансировки заряда аккумуляторов.

## Заключение

Задача сравнительного анализа работы ФЭУ в различных климатических условиях определяет необходимость проведения мониторинга и формирования единых для территории РФ его регламентов. Проведенный анализ систем мониторинга, а также опытная эксплуатация ФЭУ позволяет предложить следующий минимальный состав измеряемых параметров как элемент регламента:

1. Параметры внешней среды: суммарная солнечная радиация в плоскости ФЭМ с сезонным изменением угла наклона; температура воздуха.

2. Характеристики работы ФЭМ: ток в цепи ФЭМ; напряжение на зажимах ФЭМ; температура тыльной стороны модуля (в целях тестирования ФЭМ); состояние поверхности ФЭМ (затенение, запыление, снежный покров).

3. Характеристики ФЭУ в целом: токи и напряжения во всех узлах системы (ФЭМ, АКБ, нагрузка/сеть).

Следует отметить, что в зависимости от назначения установок (сетевая/автономная, учебно-научная), элементов аппаратной части системы мониторинга и вида ПО состав измеряемых параметров может дополняться. Измеряемые характеристики должны давать основу для определения мгновенных и интегральных значений КПД ФЭМ, энергетических балансов установки в целом и ее отдельных элементов, зависимости указанных величин от внешних условий (температура, инсоляция).

Для анализа работы контроллера заряда / инвертора важен мониторинг доли времени работы установки от продолжительности светового дня. Для сравнения режимов и эффективности ФЭУ необходим открытый доступ к результатам мониторинга, по крайней мере, для учебно-научных (университетских) фотоэлектрических систем, работающих в различных климатических условиях России.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 13-08-01186.

### Литература

1. Веб-сервис мониторинга солнечных энергоустановок Sunny Portal компании SMA [официальный сайт]. – <https://www.sunnyportal.com/> (дата обращения: 03.03.2015).
2. Системы удаленного мониторинга фотоэлектрических модулей / Д.А. Андроников, Е.И. Теруков, Д.А. Малевский и др. // Физико-химические проблемы возобновляемой энергетики: сб. тр. рос. конф. 11–14 нояб. 2013 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 280–281.
3. Веб-сервис мониторинга фотоэлектрических модулей НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе. – <http://ntc.nudl.net/> (дата обращения: 07.03.2015).
4. Техничко-экономические аспекты сетевой солнечной энергетики в России / А.В. Бобыль, С.В. Киселева, В.Д. Кочаков и др. // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84, № 4. – С. 86–93.
5. Веб-сервис мониторинга установок на возобновляемых источниках энергии WpSupervisor [официальный сайт]. – <http://www.wpsupervisor.net/> (дата обращения: 03.03.2015).
6. Попель, О.С. Создание методик и материальной базы для сравнительных испытаний фотоэлектрических модулей / О.С. Попель, А.Б. Тарасенко, С.В. Михайлин // Возобновляемые источники энергии: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием и IX науч. молодеж. шк. – М.: Университетская книга, 2014. – С. 219–225.
7. Тарасенко, А.Б. О возможности оптимизации энергетического баланса островного поселения (на примере пос. Соловецкий Архангельской области) / А.Б. Тарасенко, Н.В. Тетерина, С.В. Киселева // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 5–6. – С. 187–196.
8. NASA Surface meteorology and Solar Energy // Atmospheric science data center. – <https://eosweb.larc.nasa.gov/> (дата обращения: 10.03.2015).
9. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России / О.С. Попель, С.Е. Фрид, Ю.Г. Колмиец и др. – М.: ОИВТ РАН, 2010. – 85 с.

Габдерахманова Татьяна Сергеевна, аспирант, младший научный сотрудник, Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва; [tts\\_91@mail.ru](mailto:tts_91@mail.ru).

Зайцев Сергей Иванович, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория возобновляемых источников энергии, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва; [gna1957@mail.ru](mailto:gna1957@mail.ru).

Киселева Софья Валентиновна, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория возобновляемых источников энергии, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва; [k\\_sophia\\_v@mail.ru](mailto:k_sophia_v@mail.ru).

Тарасенко Алексей Борисович, младший научный сотрудник, Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва; [a.b.tarasenko@gmail.com](mailto:a.b.tarasenko@gmail.com).

Шакун Владимир Петрович, специалист, научно-исследовательская лаборатория возобновляемых источников энергии, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва; [a-wee@yandex.ru](mailto:a-wee@yandex.ru).

Поступила в редакцию 24 апреля 2015 г.

DOI: 10.14529/power150408

## THE PROBLEMS OF SOLAR ENERGY SYSTEMS MONITORING IN RUSSIA

T.S. Gabderakhmanova<sup>1</sup>, [tts\\_91@mail.ru](mailto:tts_91@mail.ru),  
S.I. Zaytsev<sup>2</sup>, [gna1957@mail.ru](mailto:gna1957@mail.ru),  
S.V. Kiseleva<sup>2</sup>, [k\\_sophia\\_v@mail.ru](mailto:k_sophia_v@mail.ru),  
A.B. Tarasenko<sup>1</sup>, [a.b.tarasenko@gmail.com](mailto:a.b.tarasenko@gmail.com),  
V.P. Shakun<sup>2</sup>, [a-wee@yandex.ru](mailto:a-wee@yandex.ru)

<sup>1</sup> Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation,

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

The paper presents an overview of monitoring systems for grid connected and stand-alone solar photovoltaic power plants and installations on the territory of the Russian Federation.

The monitoring relevance is determined by design objectives and by quite complex and heterogeneous from the standpoint of solar energy development climatic conditions of Russia. The methods and tools used for monitoring are reviewed. Elements of regulation and the list of monitoring tasks are proposed.

The results of calculations on the proposed method of engineering prediction performance for PV installations are described. Verification of the monthly average incident solar radiation data from NASA SSE which are used as the initial parameters in the calculation methodology is carried. On the basis of experimental data the adequacy of using engineering technique for performance prediction of photovoltaic installations is confirmed. The main factors that make the most significant contribution to the calculation error are revealed.

The main aspects that had been identified during the photovoltaic system monitoring and essential to operation of the monitoring system and the whole installation are presented.

We propose to create a network of PV systems in Russia equipped with monitoring systems for processing and exchange of information, formation of unified measurement rules and to develop the recommendations for setting of PV systems in various geographical conditions of the country.

*Keywords:* renewable energy, solar power engineering, solar installation, PV system monitoring.

### References

1. *Veb-servis monitoringa solnechnykh energoustanovok Sunny Portal kompanii SMA* [Web Service Sunny Portal of SMA Company for Monitoring of Solar Power Plants]. Available at: <https://www.sunnyportal.com/> (accessed 03.03.2015).
2. Andronikov D.A., Terukov E.I., Malevskiy D.A., Shutkin O.I., Boryachok V.V. [Remote Monitoring System of Photovoltaic Modules]. *Fiziko-khimicheskie problemy vozobnovlyаемой energetiki*. [Physical and Chemical Problems of Renewable Energy], 2013, St. Peterburg, pp. 280–281 (in Russ.).
3. *Veb-servis monitoringa fotoelektricheskikh moduley NTTС tonkoplennochnykh tekhnologiy v energetike pri FTI im. A.F. Ioffe*. [Monitoring of Thin-Film Photovoltaic Modules-Web Service of Research and Development Center for Thin-Film Technologies in the Energy Sector under Ioffe Institute] Available at: <http://ntc.nudl.net/> (accessed 07.03.2015).
4. Bobyl' A.V., Kiseleva S.V., Kochakov V.D., Orekhov D.L., Terukova E.E., Tarasenko A.B. Engineering and Economic Features of Grid Solar Energy in Russia. *Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*, 2014, vol. 59, no 4, pp. 551–558. DOI: 10.1134/S1063784214040057
5. *Veb-servis monitoringa ustanovok na vozobnovlyаемых istochnikakh energii Wp Supervisor* [Web Service Wp Supervisor for Monitoring of Installations on Renewable Energy]. Available at: <http://www.wpsupervisor.net/> (accessed 03.03.2015).
6. Popel' O.S., Tarasenko A.B., Mikhaylin S.V. [Creation of Methods and Material Basis for Comparative Tests of Photovoltaic Modules]. *Vozobnovlyаемые istochniki energii* [Renewable Energy]. Moscow, 2014, pp. 219–225.
7. Tarasenko A.B., Teterina N.V., Kiseleva S.V. [The Possibility of Energy Balance Optimization for Island Settlement (On the Example of the Solovetsky Village, Arkhangelsk Region)]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya* [International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology], 2012, no. 5–6, pp. 187–196 (in Russ.).
8. NASA Surface meteorology and Solar Energy. *Atmospheric Science Data Center*. Available at: <https://eosweb.larc.nasa.gov/> (accessed 10.03.2015).
9. Frid S.E., Kolomiets Yu.G., Kiseleva S.V., Terekhova E.N. *Atlas resursov solnechnoy energii na territorii Rossii* [Atlas of Solar Energy Resources in the Territory of Russia]. Moscow, OIVT RAN Publ., 2010. 85 p.

Received 24 April 2015

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Проблемы мониторинга солнечных энергетических систем в России / Т.С. Габдерахманова, С.И. Зайцев, С.В. Киселева и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 54–60. DOI: 10.14529/power150408

### FOR CITATION

Gabderakhmanova T.S., Zaytsev S.I., Kiseleva S.V., Tarasenko A.B., Shakun V.P. The Problems of Solar Energy Systems Monitoring in Russia. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 54–60. (in Russ.) DOI: 10.14529/power150408