

УДК 621.311.25(470.57)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Ф. Р. ИСМАГИЛОВ¹, Б. М. ГАЙСИН², Б. Н. ШАРИФОВ³, Т. Р. ТЕРЕГУЛОВ⁴

¹ifr@ugatu.ac.ru, ²gb9688@ya.ru, ³energetik_tty@mail.ru, ⁴t15@bk.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 12.05.2016

Аннотация. В данной статье исследуется изменение эффективности использования солнечной энергии в климатических условиях Республики Башкортостан. Проведен анализ по итогам трехлетнего исследования тестовой фотоэлектрической станции установленной в Уфимском государственном авиационном техническом университете. В результате получены характеристики температуры, солнечной инсоляции, эффективности преобразования солнечной энергии, удельной энерговыработки, скорости ветра. Произведено сравнение показателей среднемесячного уровня солнечной радиации с табличными данными по базам NASA.

Ключевые слова: автономные солнечные электростанции, автономные источники электроэнергии, солнечная энергетика, фотоэлектрические модули.

Республика Башкортостан (РБ) занимает второе место в Российской Федерации по выработке тепловой энергии и 5–6 – по электрической. На территории РБ генерация электроэнергии в 2015 году оставила 22065,8 ГВт·ч. В составе генерирующих мощностей энергосистемы одна государственная районная электрическая станция, одиннадцать теплоэлектроцентралей, две гидроэлектростанции (ГЭС), пять газотурбинных установок, семь газопоршневых агрегатов, одна ветроэлектростанция восемь малых ГЭС [1].

Учитывая, что сырьевой потенциал РБ, особенно в части топливно-энергетических ресурсов, существенно истощен. Выработанность разведанных запасов нефти составляет более 85,1%. Объем добываемой нефти на территории республики в течение ближайших 15 лет может сократиться до 7–8 млн т/год. [1].

В качестве одной из мер диверсификации топливно-энергетического баланса является переход на альтернативные – возобновляемые источники энергии (ГЭС, солнечные и ветровые электростанции).

Выгодное географическое положение и достаточный уровень инсоляции на всей территории РБ в течении года создают благоприятные условия для применения технологий, использующих солнечное излучение для получения электроэнергии, и делают экономически выгодным

повсеместное использование таких технологий в жилом секторе. По климатическим условиям Башкортостан относится к территориям со средней интенсивностью солнечной радиации, уровень которой составляет около 150 кВтч/м² [2].

Среднее число солнечных дней в году по РБ при продолжительности солнечного сияния более 2000 часов колеблется от 261 до 287 дней. В связи с этим целью настоящей работы является исследование функционирования фотоэлектрических модулей (ФЭМ) в климатических условиях РБ.

Исследования производились в Уфимском государственном авиационном техническом университете (УГАТУ) на базе тестовой фотоэлектрической станции установленной в рамках соглашения о научном сотрудничестве в области возобновляемой энергетики между УГАТУ и ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при физикотехническом институте им. А.Ф. Иоффе» [3, 4, 5].

Объектами исследования являются два ФЭМ, изготовленных по различным технологиям. Тонкопленочный ФЭМ (*PramacLuce*) выполнен на основе аморфного и микрокристаллического кремния имеет толщину активных слоев, не более 1,5 микрон. Второй ФЭМ (*TCM-210SB*) выполнен на основе пластин кристаллического кремния имеет толщину активного слоя

**Основные эксплуатационные характеристики фотоэлектрических модулей
PramacLuce и TCM-210SB**

Параметр	PramacLuce (ООО «Хевел»)	TCM-210SB
Номинальная мощность	125 Вт	223 Вт
Напряжение холостого хода	71 В	44 В
Рабочее напряжение	56 В	38 В
Рабочий ток	2,23 А	5,87 А
КПД	8,74%	17,34%
Площадь поверхности	1,43 м ²	1,286 м ²
Масса	20 кг	15 кг

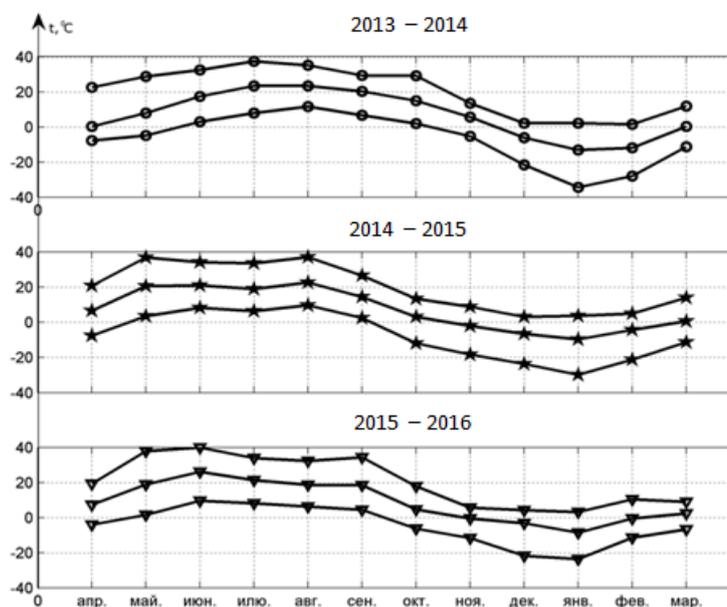


Рис. 1. Минимальные, максимальные и средние значения температуры окружающей среды в точках мониторинга (°C)

не менее 180 микронетров, что обеспечивает максимальный коэффициент преобразования световой энергии в электрическую, но при этом существенно удорожает производство. Основные эксплуатационные характеристики ФЭМ приведены в табл. 1.

Сбор и передача накопленных данных ФЭМ осуществляется через централизованный *web*-сервер, подключенный к телекоммуникационным сетям с выделенным фиксированным *IP*-адресом.

На основе полученных данных произведен анализ эффективности работы и сравнение

показателей для рассматриваемых ФЭМ за период с апреля 2013 г. по март 2016 г.

В рамках исследования произведен анализ изменения температуры окружающей среды (см. рис. 1). В 2013–2014 г. зафиксированы значения температур от -35°C (январь 2014) до $+40^{\circ}\text{C}$ (июль 2014). За период 2014–2015 г. от -30°C (январь 2015) до $+40^{\circ}\text{C}$ (август 2014). За период 2015–2016 г. от -23°C (январь 2016) до $+40^{\circ}\text{C}$ (июль 2015).

В ходе эксперимента произведено сравнение показателей среднемесячного уровня солнечной инсоляции (рис. 2) с табличными данными по базам *NASA* [2]. В среднем отклонение измеренных величин от

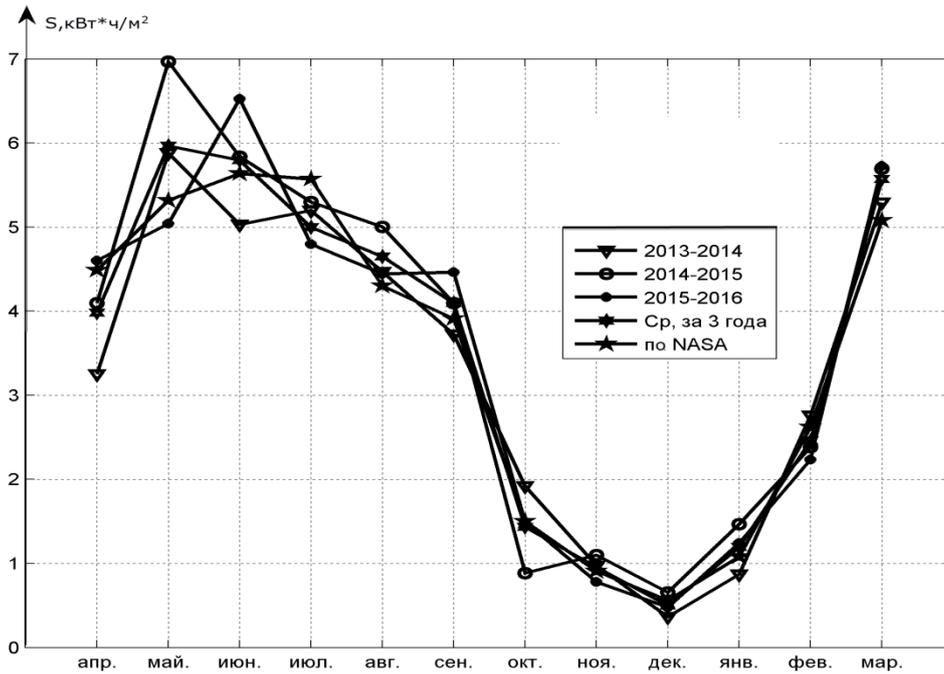


Рис. 2. Уровень солнечной инсоляции

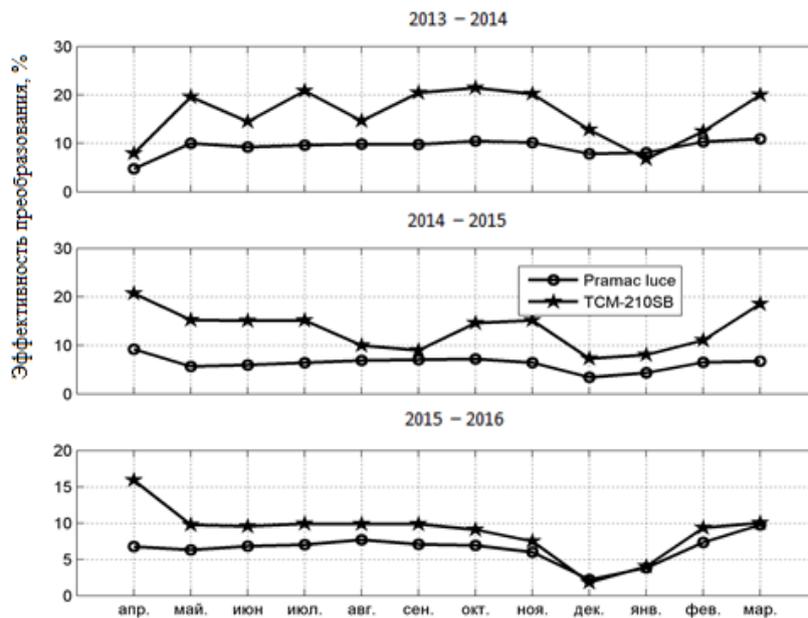


Рис. 3 Эффективность преобразования солнечной энергии ФЭМ по месяцам

табличных не превышает 11%. При этом в зимние месяцы в связи с наличием осадков и облачности было зафиксировано снижение измеренных величин в сравнении с данными по базам NASA.

В рамках исследования произведен анализ изменения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую (рис. 3). Результаты показали, что фактор сезонности влияет

на энергетические параметры ФЭМ, при этом максимальная эффективность преобразования наблюдается в период с марта по ноябрь.

Средние значения эффективности преобразования тонкопленочного ФЭМ в летние месяцы 2013 г. находились в диапазоне 9,2–9,9 %, в зимние 7,8–10 %, при этом среднее значение за 2013–2014 г. составило 9,625%.

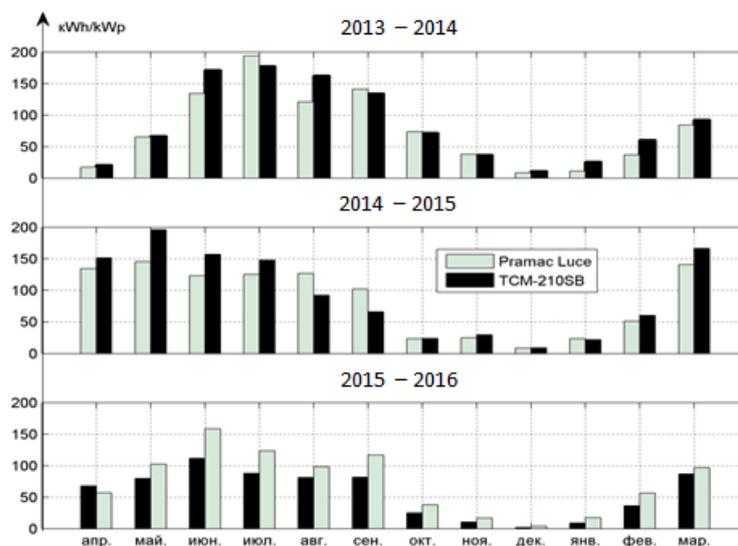


Рис. 4. Эффективность преобразования солнечной энергии ФЭМ по месяцам

В период с апреля 2013 г. по март 2014 г. среднее значение эффективности преобразования для ФЭМ TCM – 210SB составило 15,967 %. В летнее время зафиксировано изменение эффективности преобразования в пределах 14–21%. В зимние месяцы данный показатель находился в диапазоне 7–11 %.

Минимальные значения эффективности преобразования для ФЭМ Pramac зафиксированы в декабре 2014 г. на уровне 2,5 %, для ФЭМ TCM-210SB 2,9 %.

Зимой эффективность преобразования для ФЭМ Pramac находилась в рамках диапазона 3,45–6,7 %, а для ФЭМ TCM – 210SB в пределах 7–11 %.

За период с апреля 2014 по март 2015 г. среднее значения эффективности преобразования для ФЭМ Pramac в летний период оказались меньше паспортного на 2–3 %, для ФЭМ TCM – 210SB на 5–6 %.

Начиная с мая 2015 г., в связи с выгоранием металлических контактов и частичной закороткой металлических контактов ФЭМ TCM – 210SB было зафиксировано снижение показателей эффективности на 40% от номинального значения (17,34%). При этом в других городах России для ФЭМ TCM – 210SB подобных неисправностей не обнаружено.

За весь период исследования среднее значение эффективности преобразования ФЭМ Pramac составило 7,316 %, что на 1,424 % ниже номинального. Для ФЭМ TCM – 210SB среднее значение за период нормального функционирования (апрель 2013–апрель 2015) составило

15,23%, что на 2,11% ниже заявленного производителем.

Произведено сравнение удельной энерговыработки ФЭМ за период с апреля 2013 г. по март 2016 г. (рис. 4). Удельная энерговыработка является наиболее важным параметром, который определяет производительность ФЭМ и определяет отношение выработанной электроэнергии за период (день, месяц, год) к номинальной мощности ФЭМ

$$W_{y\delta} = \frac{kWh}{kWp} \quad (1)$$

где kWh – количество выработанной электроэнергии за период (день, месяц, год), kWp – номинальная мощность ФЭМ, кВт.

Из рис. 4 видно, что значения удельной энерговыработки для ФЭМ Pramac находятся в пределах 160–170, а для солнечной панели TCM – 210SB в пределах 134–190. При этом в период 2014–2015 гг. для ФЭМ Pramac удельная энерговыработка зафиксирована в диапазоне 122–126, тогда как для ФЭМ TCM-210SB на уровне 92–150. В 2014–2015 гг. удельная энерговыработка ФЭМ Pramac находилась в пределах 134–145, для солнечной панели TCM – 210SB в диапазоне 150–196.

Также выполнен анализ показателей удельной энерговыработки по сезонам. В летний период 2015–2016 г.г. значения средней энерговыработки для ФЭМ Pramac составили 98–158, а для ФЭМ TCM – 210SB изменялись в диапазоне 81–111. Зимой 2015–2016 гг. удельная энерговыработка для ФЭМ Pramac

находилась в диапазоне 4–56, а для ФЭМ TCM–210SB 2–36.

Для ФЭМ Pramac значения удельной энерговыработки изменялись в диапазоне от 4 до 177, при этом среднее значение за весь период мониторинга составило 81,671. Для солнечной панели TCM – 210SB значения удельной энерговыработки находились в диапазоне от 2 до 196, при среднем значении за весь период мониторинга 75,71.

Средняя выработка электроэнергии для ФЭМ Pramac составила в летнее время 0,236 кВт*час, в зимнее время 0,044 кВт*час. Для ФЭМ TCM – 210SB в летнее время 1,122 кВт*час и в зимнее время 0,145 кВт*час.

Величины удельной энерговыработки солнечных панелей полностью коррелировали с измеренным уровнем солнечной радиации. При этом для ФЭМ Pramac значения удельной энерговыработки превышали показатели ФЭМ TCM – 210SB в летний период и несколько уступали им в зимний период. Данный факт можно объяснить более высокими показателями преобразования солнечной энергии в электрическую при рассеянном свете для ФЭМ Pramac по сравнению с TCM-210SB. Общий объем выработанной электроэнергии ФЭМ за весь период мониторинга составил 367,521 кВт*час для Pramac и 607,797 кВт*час для TCM-210SB соответственно.

ВЫВОДЫ

1. В рамках исследования установлено, что эффективность преобразования рассматриваемых ФЭМ в климатических условиях РБ находится в пределах 70–80 % от номинального значения.

2. Явного изменения эффективности преобразования ФЭМ солнечной энергии в электрическую от температуры окружающей среды и скорости ветра за период мониторинга не обнаружено, при том что производитель допускает деградацию фотопреобразующих слоев под влиянием температуры до 20%.

3. Также в рамках ранее проведенного исследования доказано, что наличие автоматической ориентации ФЭМ по направлению к солнцу позволит в период с марта по ноябрь повысить выработку электроэнергии до 30 % [5].

4. За весь период мониторинга среднее значение эффективности преобразования ФЭМ Pramac составило 7,316 %, что на 1,424 % ниже номинального. Для ФЭМ TCM – 210SB среднее значение составило 15,23 %, что на 2,11 % ниже паспортного значения.

Результаты исследования и полученные данные могут быть использованы для разработки проектов развития солнечной энергетики в РБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Схема и программы развития электроэнергетики Республики Башкортостан** на 2012 год с перспективой до 2017 года. Пояснительная записка. № 00.073 - ПЗ – ТЗ. Государственный заказ Министерства Промышленности и инновационной политики Республики Башкортостан по контракту №2Н о 12.05.2011г. // ООО «КЭР-Инжиниринг», Уфа, 2011, 140 с. [Development of schemes and development programs of electric power industry of the Republic of Bashkortostan for 2012 with a view to 2017. Explanatory note. № 00.073 - PZ - T3. The state order of the Ministry of Industry and Innovation of the Republic of Bashkortostan policy Contract №2N of 12.05.2011g. // LLC "KER-Engineering", Ufa, 2011 - 140 p].

2. **NASA – данные по метрологии и солнечной энергии** [Электронный ресурс]. – URL: <http://eosweb.larc.nasa.gov> (дата обращения: 15.02.2016). [NASA–Metrology and solar energy data [Electronic resource]. URL: <http://eosweb.larc.nasa.gov>]

3. **Исмагилов Ф. Р., Саттаров Р. Р., Гайсин Б. М.** Исследование характеристик автономных источников электроэнергии на основе фотоэлектрических модулей в условиях средних широт России // Электротехнические и информационные комплексы и системы 2015. Т. 11, №1 с. 52–58. [F.R. Ismagilov, R.R. Sattarov, B.M. Gaisin "Investigation of the characteristics of Autonomous power sources based on photovoltaic modules in the middle latitudes of Russia" // *Electrical complexes and systems*, 2015, No. 1, P. 52–57].

4. **Годовые зависимости** генерируемой мощности электроэнергии для солнечных элементов на основе A-Si:H / Ю.В. Крюченко, [и др]. // Журнал технической физики. 2013. Т. 83, № 11. С 86–91. [Y.V. Krucenko *et al* "Dependence of the generated power and electricity for solar cells based on A-Si:H" / *Journal technical physics*. – 2013. – Т. 83. – No. 11. – pp. 86–91].

5. **Ismagilov F.R. et al.** The effectiveness of photovoltaic panels with rotation mechanism for region of republic of Bashkortostan // *International journal of renewable energy research* 2015. Vol.5, no.3, pp. 815–820. [F.R. Ismagilov *et al.* The effectiveness of photovoltaic panels with rotation mechanism for region of republic of Bashkortostan // *International journal of renewable energy research* vol.5, no.3, 2015, pp.815–820.]

ОБ АВТОРАХ

ИСМАГИЛОВ Флюр Рашитович, проф., зав. каф. электромеханики УГАТУ. Дипл. инж. элетромех. (УАИ, 1973). Д-р техн. наук по элементам и устройствам управления (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. электромех. преобразователей энергии.

ГАЙСИН Булат Маратович, ассистент каф. электромеханики. Дипл. инж. по электроэнергетич. сист. и сетям (УГАТУ 2012). Иссл. в обл. устойчивости и живучести электроэнергетических систем и сетей.

ШАРИФОВ Бохирджон Насруллоевич, асп. каф. электромеханики. Дипл. инж.-э/мех. (Таджикс. техн. ун-т им. акад. М. С. Осими, 2012). Готовит дис. о парал. работе солн. э/станций в Республике Башкортостан.

ТЕРЕГУЛОВ Тагир Рафаэлевич, доц. каф. электромеханики. Дипл. инж.-э/мех. (УГАТУ, 2001). Канд. техн. наук по э/мех. комплексам и системам (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. магнитоэлектрических генераторов в реж. перемен. скоростей и нагрузок.

METADATA

Title: Research of efficiency of solar photovoltaic installations in the Republic of Bashkortostan.

Authors: F.R. Ismagilov¹, B.M. Gaisin², B.N. Sharifov³,
Teregulov T.R.³

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ifr@ugatu.ac.ru, ²gb9688@ya.ru, ³Energetik_tty@mail.ru, ⁴t15@bk.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 2 (72), pp. 111-116, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: This article examines changes in the efficiency of solar energy in the climatic conditions of the Republic of Bashkortostan. The analysis of the first three years of the study the test photovoltaic plant installed at the Ufa State Aviation Technical University. The result obtained by the temperature characteristics of solar insolation, solar energy conversion efficiency, specific energy production, wind speed. Comparison of indicators of average level of solar radiation on a NASA database table data.

Key words: Stand-alone solar power, autonomous sources of electricity, solar energy, photovoltaic modules.

About authors:

ISMAGILOV, Flur Rashitovich, prof., head of department electromechanics USATU. Dipl. Ing. eletromeh. (AIM, 1973).Dr. Sc. Science on elements and control devices (USATU, 1998).Inst. in the region. ELECTROMECHANIC.energy converters.

GAISIN, Bulat Maratovich, assistant in the same department. Dipl. Ing. byelektroenergetich. chem. and networks (USATU 2010). Research in the field of sustainability and viability of electric power systems and grids.

SHARIFOV, Bohirdzhon Nasrulloevich, graduate student in the same department (Tajik Technical University, 2012). Prepare a thesis about a parallel operation of solar power plants in the Republic of Bashkortostan.

TEREGULOV, Tagir Raphaelevich, ph. d., assoc. in the same department. Dipl. Electrical engineer (USATU, 2001). Ph. D. in Electromechanical complexes and systems (USATU, 2004). Study magnet electric generator in modes variable speeds and loads.