

## ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПЛАСТИН АБСОРБЕРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

М.М. Асанов

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8268-8114>, [asanov.m.m@cfuv.ru](mailto:asanov.m.m@cfuv.ru)

**Резюме:** Повысить эффективность работы солнечных энергетических установок можно путем непрерывного поворота их поглощающей поверхности в направлении Солнца. Проанализированы существующие системы поворота (слежения) за Солнцем. Рассмотрена работа воздушного солнечного коллектора настенного типа. Пластины абсорбера коллектора были расположены двумя способами – горизонтально и вертикально. Работа системы слежения коллектора с горизонтально расположенными пластинами состоит в их повороте за Солнцем по углу между направлением на него и горизонтальной поверхностью. Положение вертикально установленных пластин зависит от азимута Солнца. Рассчитано взаимное затемнение пластин абсорберов двух типов при повороте в направлении Солнца. Для оценки эффективности коллектора была исследована его работа в течение двух дней в году – 1.01.2016 и 11.06.2016. Для сравнения характеристик коллектора с абсорберами разного типа была составлена его математическая модель.

**Ключевые слова:** солнечный воздушный коллектор, слежение за Солнцем, моделирование.

DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-5-6-37-45

## ABSORBER PLATES POSITION INFLUENCE ON SOLAR COLLECTOR OPERATION EFFICIENCY

М.М. Асанов

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8268-8114>, [asanov.m.m@cfuv.ru](mailto:asanov.m.m@cfuv.ru)

**Abstract:** In order to increase the operating efficiency of solar power generating system its absorbing surface must be continuously turned towards the Sun. Modern Sun tracking systems are analyzed. Operation of solar air wall-type collector is considered. Collector's absorber plates were situated in two ways – horizontally and vertically. Operation of the collector with horizontally situated plates is to turn of the plates towards the Sun according to solar altitude angle. Vertically situated plates position depends on solar azimuth angle. Cross shading of the absorbers plates during Sun tracking is calculated. To estimate the collector efficiency its operation within two days of the year (1.01.2016 and 11.06.2016) is studied. In order to compare the collectors' characteristics with different types of the absorber the mathematical model is built.

**Keywords:** solar air collector, Sun tracking, modeling.

### Введение

Задача повышения эффективности работы солнечных энергетических установок всегда остро стоит перед их разработчиками. Существует целый ряд разнообразных

методик, используемых для решения данного вопроса, который, в конечном счете, заключается в снижении стоимости каждого киловатта вырабатываемой энергоустановкой энергии. Принцип работы одного из таких методов заключается в последовательном повороте («слежении») поглощающей поверхности установки для того, чтобы солнечное излучение падало на него под прямым углом [1; 2].

Работу системы слежения за Солнцем можно организовать, используя астрономические данные его положения в каждый момент времени или по данным датчиков, определяющих угол падения солнечного излучения [3].

Обзор современных следящих систем показан в работах [4; 5].

Рост выработки электроэнергии фотоэлектрическими преобразователями с использованием следящих систем может достигать 44% по сравнению с неподвижно установленными панелями [4]. Приведены схемы и иллюстрации, описывающие принцип работы всевозможных систем слежения за Солнцем. Проанализированы параметры систем и их влияние на эффективность работы фотоэлектрических панелей.

Технические характеристики солнечных энергоустановок сведены в таблицы [5]. Используемые системы слежения основываются как на сигналах от датчика положения Солнца или оптико-электронного датчика, так и на астрономических данных. Точность слежения описанных установок составляет от 0,01 до 2 градусов. Автором [5] разработана автоматическая система управления поворота фотоэлектрических преобразователей за Солнцем с непрерывно-дискретным принципом слежения. Текущую освещенность предложено измерять как среднее значение токов в фотоэлементах в противоположных гранях пирамиды.

В работах [6–8] разработаны разные типы двухосевых автоматических следящих систем, которые могут поворачиваться за Солнцем в двух плоскостях.

Описана двухосевая система слежения за Солнцем, используемая в системе электроснабжения теплиц [6]. Проведены математическое моделирование в программном комплексе *COSMOS* и экспериментальные исследования разработанной системы. Результаты свидетельствуют о повышении эффективности работы фотоэлектрических преобразователей на 20–25% по сравнению с неподвижно расположенными панелями.

Для определения направления на Солнце авторами [7] использовался датчик TCS3210, состоящий из нескольких фотодиодов, преобразующих падающее излучение в постоянное напряжение величиной 3,3 В. Выполнено моделирование работы фотоэлектрических преобразователей совместно с разработанной системой слежения. Собран опытный экземпляр системы и проведены натурные эксперименты. Отмечено, что эффективность генерации мощности такой системой на 9,87% выше по сравнению со статично расположенными фотоэлектрическими панелями.

Основными элементами следящей системы [8] являлись солнечная панель с поликристаллическими фотоэлементами, четыре фоторезистора, два двигателя постоянного тока и микроконтроллер *Arduino UNO*. Фоторезисторы располагались по четырем сторонам панели. Экспериментальные исследования говорят о высокой эффективности разработанной системы слежения. Кроме того, авторами проведен анализ влияния цветных покрытий на вырабатываемую мощность солнечной панели.

Выполнена оценка эффективности работы фотоэлектрических преобразователей при использовании совместно с одно- и двухосевой системой слежения за Солнцем [9]. Показано, что поворот фотоэлектрической панели в двух плоскостях лишь незначительно, по сравнению с одноосевой системой, позволяет увеличить величину падающего на нее солнечного излучения. Моделирование проводилось на основании данных о солнечной активности на острове Кешм (Иран) летом 2011 года.

Новый тип датчика для системы слежения за Солнцем описан в работе [10]. В качестве чувствительного элемента используются кремниевые фотоэлектрические преобразователи: два лицевых – для определения положения Солнца и тыловой – для

исключения влияния рассеянного излучения. В качестве сигнала управления использовался ток короткого замыкания, зависящий от интенсивности падающего солнечного излучения и не зависящий от температуры. Показаны результаты экспериментальных исследований, проведенных с использованием разработанного датчика. В работе [11] описан алгоритм работы фотоэлектрической энергосистемы совместно с указанным датчиком слежения за Солнцем. На основе проведенного моделирования отмечается, что максимальную эффективность работы системы удается достичь при шаге поворота устройства слежения не более  $10^\circ$ , а интервал между включениями системы контроля должен составлять 30 мин.

### Постановка задачи

Известно солнечное устройство (коллектор) для обогрева помещений [12], в котором корпус образован нишей стены помещения, а абсорбер выполнен в виде подвижных вокруг своих осей пластин, расположенных горизонтально. Одна сторона пластин покрыта поглощающим материалом, а вторая – светоотражающим. С обогреваемым помещением устройство соединено подводным и отводным патрубками.

Цель работы – проанализировать эффективность работы коллектора с горизонтально и вертикально расположенными пластинами абсорбера, а также определить его производительность.

### Анализ работы коллектора

Пусть коллектор для обогрева помещений располагается на южной стене здания. В таком случае угол падения солнечного излучения на пластины абсорбера  $\theta$  может быть найден из выражения [13]:

– для горизонтально расположенных пластин

$$\cos\theta = \cos\varphi \cos\delta \cos\omega + \sin\varphi \sin\delta;$$

– для вертикально расположенных пластин

$$\cos\theta = -\sin\delta \cos\varphi \cos\gamma + \cos\delta \sin\varphi \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\gamma \sin\omega,$$

где  $\varphi$  – широта местности;  $\delta$  – склонение, т.е. угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора;  $\omega$  – часовой угол, равный нулю в солнечный полдень;  $\gamma$  – азимутальный угол плоскости, т.е. отклонение нормали к плоскости от местного меридиана.

Выражения для угла падения солнечного излучения на наклонную поверхность  $\theta_T$  выглядят следующим образом:

– для горизонтально расположенных пластин

$$\cos\theta_T = \cos(\varphi - \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\varphi - \beta) \sin\delta;$$

– для вертикально расположенных пластин

$$\cos\theta_T = -\sin\delta \cos\varphi \cos(\gamma - \gamma') + \cos\delta \sin\varphi \cos(\gamma - \gamma') \cos\omega + \cos\delta \sin(\gamma - \gamma') \sin\omega,$$

где  $\beta$  – угол между рассматриваемой плоскостью и горизонтальной поверхностью;  $\gamma'$  – угол между рассматриваемой плоскостью и вертикальной поверхностью.

Для горизонтально расположенных пластин абсорбера угол  $\beta$  будет равным углу между направлением на Солнце и горизонтальной поверхностью  $\alpha_s$ . Для вертикально расположенных пластин угол  $\gamma'$  – азимуту Солнца  $\gamma_s$ .

Отношение угла падения солнечного излучения на наклонную поверхность к углу падения на горизонтальную поверхность характеризуется геометрическим коэффициентом [13]:

$$\bar{R} = D + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \rho_g \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right),$$

где  $D$  – функция, зависящая от целого ряда параметров, в том числе углов  $\varphi$ ,  $\delta$ ,  $\omega$ ,  $\gamma$ ,  $\theta$ ,  $\theta_T$  и т.п. [13];  $\bar{H}_d$  – величина рассеянного солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность;  $\bar{H}$  – величина полного (прямого и рассеянного) солнечного излучения,

падающего на горизонтальную поверхность;  $\rho_g$  – отражательная способность земной поверхности.

В свою очередь, величина солнечного излучения, падающего на наклонную поверхность, определяется по формуле [13]

$$H_T = \bar{R}H.$$

Астрономические данные о положении Солнца были взяты для города Симферополя, расположенного на 44° с.ш. [14]. С целью оценки влияния положения пластин абсорбера на эффективность работы коллектора было проанализировано изменение падающего на него солнечного излучения в течение двух дней в году – 1 января и 11 июня 2016 г. В январе солнечная активность одна из самых низких в году, а в июне – одна из самых высоких. Изменение величины угла между направлением на Солнце и горизонтальной поверхностью  $\alpha_s$  и азимута Солнца  $\gamma_s$  показаны на рис. 1.

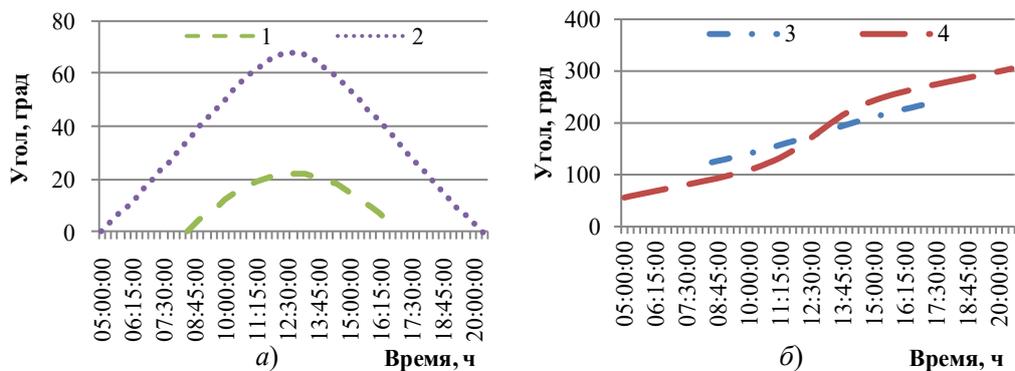


Рис. 1. Изменение положения Солнца в течение дня: 1 – изменение величины угла между направлением на Солнце и горизонтальной поверхностью 01.01.2016; 2 – изменение величины угла между направлением на Солнце и горизонтальной поверхностью 11.06.2016; 3 – изменение величины азимута Солнца 01.01.2016; 4 – изменение величины азимута Солнца 11.06.2016

Площадь поглощающей поверхности коллектора рассчитывалась с учетом взаимного затенения пластин абсорбера вследствие их поворота в направлении Солнца. Была рассчитана так называемая «полезная» площадь поглощающей поверхности, на которую попадает солнечное излучение. Получена зависимость «полезной» площади от положения Солнца, причем площадь рассчитывалась в процентах относительно всей поверхности, занимаемой коллектором. Изменение величины «полезной» площади в течение выбранных дней показано на рис. 2. Считалось, что пластины абсорбера располагаются в непосредственной близости друг к другу без промежутков.

Работа солнечного коллектора была смоделирована в программном комплексе *Matlab Simulink*. Математическая модель была построена согласно системе уравнений, составленной на основе тепловой схемы коллектора (рис. 3):

$$\begin{cases} (h_w + h_{r_{c-a}})(T_a - T_c) + (h_{c-c-p} + h_{r_{c-p}})(T_p - T_c) = 0; \\ (h_{c-c-p} + h_{r_{c-p}})(T_c - T_p) + h_{c-f-p}(T_f - T_p) + h_{r_{p-b}}(T_b - T_p) + S = 0; \\ h_{c-f-p}(T_p - T_f) + h_{c-f-b}(T_b - T_f) = q_u; \\ (h_{c-f-b}(T_f - T_b) + h_{r_{p-b}}(T_p - T_b) + (h_w + h_{r_{b-a}})(T_a - T_b) = 0, \end{cases}$$

где  $h_w$  – коэффициент конвективного теплообмена между защитным покрытием (подложкой) и атмосферой под действием ветра;  $h_{r_{c-a}}$ ,  $h_{r_{c-p}}$ ,  $h_{r_{p-b}}$ ,  $h_{r_{b-a}}$  – коэффициент теплообмена излучением между защитным покрытием и атмосферой, защитным покрытием и абсорбером, абсорбером и подложкой, подложкой и атмосферой, соответственно;

$h_{c-p}$ ,  $h_{c-f-p}$ ,  $h_{c-f-b}$  – коэффициент конвективного теплообмена между защитным покрытием и абсорбером, воздухом в канале и абсорбером, воздухом в канале и подложкой, соответственно;  $T_a$ ,  $T_c$ ,  $T_p$ ,  $T_f$ ,  $T_b$  – температура окружающей среды, защитного покрытия, абсорбера, воздуха на входе в канал, подложки, соответственно;  $S$  – величина солнечного излучения, поглощаемого единицей площади абсорбера;  $q_u$  – тепловая мощность воздушного коллектора.

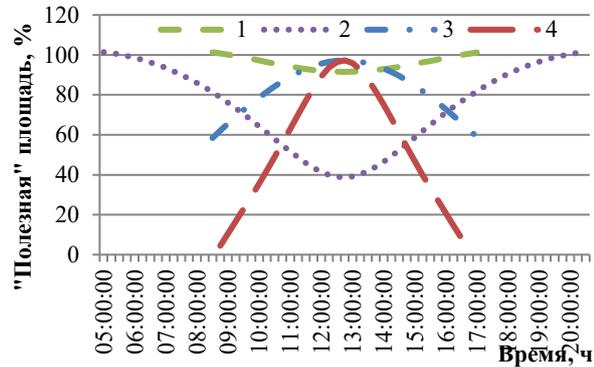


Рис. 2. Изменение величины «полезной» площади поглощающей поверхности коллектора в течение дня: 1 – горизонтальное расположение пластин 01.01.2016; 2 – горизонтальное расположение пластин 11.06.2016; 3 – вертикальное расположение пластин 01.01.2016; 4 – вертикальное расположение пластин 11.06.2016

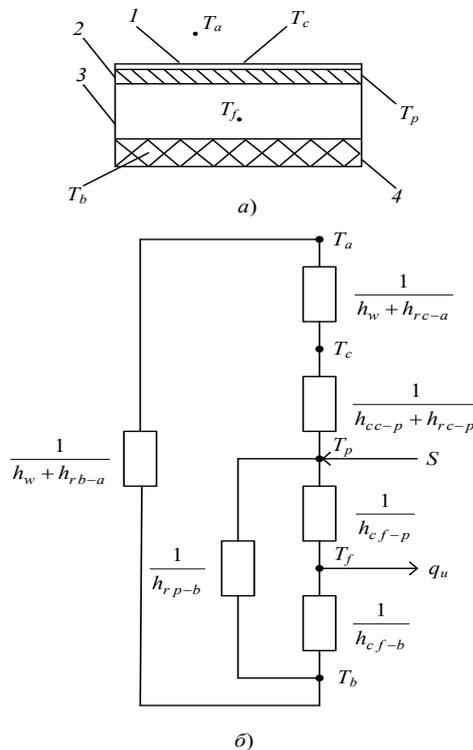


Рис. 3. Схематический вид солнечного коллектора (а) и его тепловая схема (б): 1 – защитное покрытие; 2 – абсорбер; 3 – воздушный канал; 4 – подложка

Схема соединения блоков в математической модели показана на рис. 4.

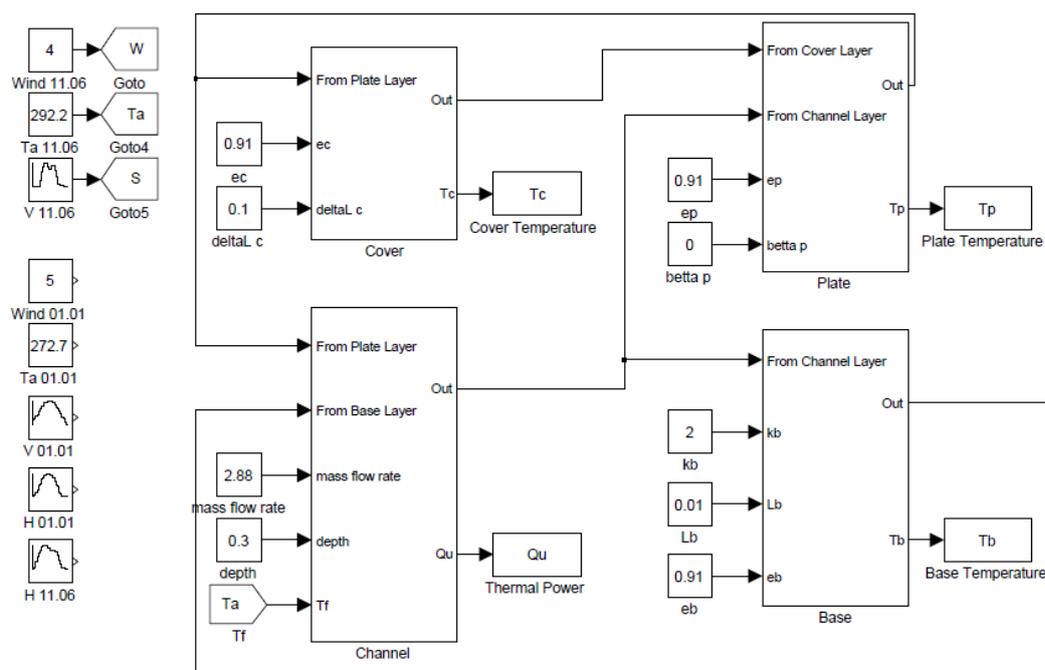


Рис. 4. Схема соединения блоков математической модели солнечного коллектора

Модель коллектора состоит из четырех вычислительных блоков (по числу элементов коллектора), в каждом из которых реализован расчет температуры поверхности соответствующего элемента и коэффициентов теплообмена. В вычислительном блоке канала вычислялась тепловая мощность коллектора. Расчет коэффициента конвективного теплообмена между элементами проводился в несколько итераций. В начале, задаваясь ориентировочным значением коэффициента, вычислялись температуры поверхностей элементов. Эти температуры использовались для уточнения значения коэффициента, который в итоге применялся для окончательного расчета температур и тепловой мощности коллектора.

Исходными данными в математической модели являлись параметры

- окружающей среды: температура ( $T_a$ ), скорость ветра ( $W$ ), величина солнечного излучения, поглощаемого единицей площади фотоэлектрической панели ( $S$ );
- элементов коллектора – степень черноты ( $e$ ), расстояние до следующего элемента ( $\Delta L$ ), угол наклона ( $\beta$ ), коэффициент теплопроводности ( $k$ ), толщина ( $L$ );
- канала: массовый расход воздуха, толщина, температура воздуха на входе в канал.

Считалось, что все падающее солнечное излучение поглощается абсорбером коллектора, т.е.  $S=H$ . Температура воздуха на входе в канал принималась равной температуре окружающей среды. Сведения о температуре окружающей среды, скорости ветра и величине солнечного излучения, падающего на единицу площади абсорбера коллектора, были взяты из [15].

Результаты моделирования работы коллектора показаны на рис. 5.

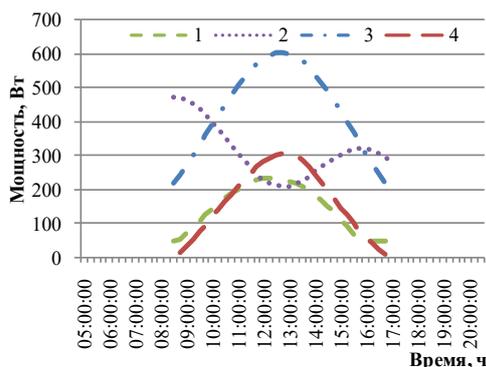


Рис. 5. Изменение величины тепловой мощности солнечного коллектора в течение дня:  
 1 – горизонтальное расположение пластин 01.01.2016; 2 – горизонтальное расположение пластин  
 11.06.2016; 3 – вертикальное расположение пластин 01.01.2016;  
 4 – вертикальное расположение пластин 11.06.2016

### Анализ результатов

Из построенных зависимостей следует, что в зимнее время наиболее эффективным является коллектор с вертикально расположенными пластинами абсорбера. Это связано с тем, что в течение дня Солнце находится невысоко над горизонтом и угол между направлением на Солнце и горизонтальной поверхностью невелик. В этом случае при повороте поглощающих пластин за Солнцем по его азимуту угол падения излучения практически равен  $90^\circ$ . Тем самым, большее количество энергии поглощается абсорбером коллектора, несмотря на большее, относительно установки с горизонтально расположенными пластинами, его затенение.

В свою очередь, в летнее время «слежение» за Солнцем по углу между направлением на Солнце и горизонтальной поверхностью является более эффективным из-за его расположения относительно горизонта. Поэтому коллектор с горизонтальными пластинами позволяет получить относительно большее количество тепловой энергии, хотя затенение абсорбера вносит значительный негативный вклад на эффективность работы установки.

И в зимний, и в летний период время работы коллектора составляет приблизительно восемь с половиной часов, с 8:30 до 17:00. В летнее время, несмотря на большую длину светового дня, генерация тепловой энергии коллектором осуществляется с момента прохождения Солнцем азимута  $90^\circ$  и до достижения азимута  $270^\circ$ , т.к. пластины абсорбера коллектора находятся на южной стороне здания.

### Заключение

Описанная методика может быть использована для расчета эффективности работы всевозможных солнечных энергетических установок, состоящих из целого ряда вращающихся приемников излучения. Такой алгоритм позволяет определить производительность установки в течение года с учетом взаимного затенения отдельных ее компонентов – абсорберов солнечного излучения.

### Литература

1. Воркунов О.В., Галиев А.А. Перспективы практического применения солнечных электроэнергетических систем в Казани // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 1–2. С. 57–60.
2. Воркунов О.В., Ихсанова А.И., Гайнутдинова А.М. Оптимальная ориентация солнечных фотоэлектрических модулей в г. Казани // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 11–12. С. 26–29.

3. Химич А.П. Повышение эффективности когенерационных энергоустановок с концентраторами солнечной энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08. Симферополь, 2015. 176 с.
4. Lee C.Y., Chou P.C., Chiang C.M., Lin C.F. Sun Tracking Systems: A Review // *Sensors* 2009. No. 9. P. 3875–3890. doi:10.3390/s90503875.
5. Аржанов К.В. Автоматизированная система непрерывно-дискретного слежения за солнцем автономных фотоэлектрических энергоустановок с использованием шаговых двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Томск, 2016. 178 с.
6. Zhang Q.X., Yu H.Y., Zhang Q.Y., Zhang Z.Y., Shao C.H., Yang D. A Solar Automatic Tracking System that Generates Power for Lighting Greenhouses. *Energies*. 2015. No. 8. P. 7367–7380. doi:10.3390/en8077367.
7. Algarin C.R., Castro A.O., Naranjo J.C. Dual-Axis Solar Tracker for Using in Photovoltaic Systems. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2017. Vol. 7. No. 1. P. 137–145.
8. Akbar H.S., Siddiq A.I., Aziz M.W. Microcontroller Based Dual Axis Sun Tracking System for Maximum Solar Energy Generation. *American Journal of Energy Research*. 2017. Vol. 5. No. 1. P. 23–27. doi:10.12691/ajer-5-1-3.
9. Bazyari S., Keypour R., Farhangi S., Ghaedi A., Bazyari K. A Study on the Effects of Solar Tracking Systems on the Performance of Photovoltaic Power Plants. *Journal of Power and Energy Engineering*. 2014. No. 2. P. 718–728. doi:10.4236/jpee.2014.24096.
10. Китаева М.В., Юрченко А.В., Охорзина А.В., Скороходов А.В. Автономная система слежения за солнцем для солнечной энергосистемы // *Ползуновский Вестник*. 2011. № 3/1. С. 196–199.
11. Китаева М.В. Аппаратно-программный комплекс для контроля оптимальной ориентации фотоэлектрических модулей на максимальный поток солнечного излучения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13. Томск, 2014. 22 с.
12. Пат. 71088 UA, МПК F 24 J 2/28. Сонячний пристрій для обігріву приміщення / Калафатов Е.Т., Макаліш А.М., Красніченко О. Л., Калафатов І.Е. Опубл. 10.07.2012. Бюл. № 13.
13. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 3rd Edition. UK: John Wiley & Sons Ltd, 2006. 468 с.
14. Tools for Consumers and Designers of Solar [Электронный ресурс]. URL: [https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=en](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=en) (дата обращения: 20.11.2017).
15. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б. В.1.1-27:2010. К.: Мінрегіонбуд України, 2011.

#### **Автор публикации**

**Асанов Марлен Мустафаевич** – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Электроэнергетика и электротехника» Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского.

#### **References**

1. Vorkunov O.V., Galiev A.A. Perspektivy prakticheskogo primeneniya solnechnykh elektroenergeticheskikh sistem v Kazani // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2015. No. 1–2. P. 57–60.
2. Vorkunov O.V., Ikhsanova A.I., Gaynutdinova A.M. Optimal'naya orientatsiya solnechnykh fotoelektricheskikh moduley v g. Kazani // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2015. No. 11–12. P. 26–29.
3. KHimich A.P. Povyshenie effektivnosti kogeneratsionnykh energoustanovok s kontsentratorami solnechnoy energii: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.14.08. Simferopol', 2015. 176 p.
4. Lee C.Y., Chou P.C., Chiang C.M., Lin C.F. Sun Tracking Systems: A Review // *Sensors* 2009. No. 9. P. 3875–3890. doi:10.3390/s90503875.
5. Arzhanov K.V. Avtomatizirovannaya sistema nepreryvno-diskretnogo slezheniya za solntsem avtonomnykh fotoelektricheskikh energoustanovok s ispol'zovaniem shagovykh dvigateley: dis. ... kand.

tekhn. nauk: 05.13.06. Tomsk, 2016. 178 s.

6. Zhang Q.X., Yu H.Y., Zhang Q.Y., Zhang Z.Y., Shao C.H., Yang D. A Solar Automatic Tracking System that Generates Power for Lighting Greenhouses. *Energies*. 2015. No. 8. P. 7367–7380. doi:10.3390/en8077367.

7. Algarin C.R., Castro A.O., Naranjo J.C. Dual-Axis Solar Tracker for Using in Photovoltaic Systems. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2017. Vol. 7. No. 1. P. 137–145.

8. Akbar H.S., Siddiq A.I., Aziz M.W. Microcontroller Based Dual Axis Sun Tracking System for Maximum Solar Energy Generation. *American Journal of Energy Research*. 2017. Vol. 5. No. 1. P. 23–27. doi:10.12691/ajer-5-1-3.

9. Bazyari S., Keypour R., Farhangi S., Ghaedi A., Bazyari K. A Study on the Effects of Solar Tracking Systems on the Performance of Photovoltaic Power Plants. *Journal of Power and Energy Engineering*. 2014. No. 2. P. 718–728. doi:10.4236/jpee.2014.24096.

10. Kitaeva M.V., YUrchenko A.V., Okhorzina A.V., Skorokhodov A.V. Avtonomnaya sistema slezheniya za solntsem dlya solnechnoy energosistemy // *Polzunovskiy Vestnik*. 2011. No. 3/1. P. 196–199.

11. Kitaeva M.V. Apparato-programmnyy kompleks dlya kontrolya optimal'noy orientatsii fotoelektricheskikh moduley na maksimal'nyy potok solnechnogo izlucheniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.11.13. Tomsk, 2014. 22 p.

12. Pat. 71088 UA, MPK F 24 J 2/28. Sonyachniy pristiriy dlya obigrivu primischennya / Kalafatov E.T., Makalish A.M., Krasnichenko O. L., Kalafatov I.E. Opubl. 10.07.2012. Byul. No. 13.

13. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 3rd Edition. UK: John Wiley & Sons Ltd, 2006. 468 p.

14. Tools for Consumers and Designers of Solar [Elektronnyy resurs]. URL: [https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=en](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=en) (data obrascheniya: 20.11.2017).

15. Zakhist vid nebezpechnikh geologichnikh protsesiv, shkidlivikh ekspluatatsiy vpliviv, vid pozhezhi. *Budivel'na klimatologiya: DSTU-N B. V.1.1-27:2010*. K.: Minregionbud Ukraïni, 2011.

#### **Author of the publication**

**Marlen M. Asanov** - cand. sci. (phys.-math.), assistant professor, Department «Electrical Energy and Electrical Engineering Department», V.I. Vernadsky Crimean Federal University.

*Поступила в редакцию*

*10 декабря 2017 г.*