

2. Романенко А.Ф. Вопросы прикладного анализа случайных процессов / А.Ф. Романенко, Г.А. Сергеев. – М.: Советское радио, 1968. – 256 с.

3. .Сайт: advlab.ru/articles/article72.htm.

Розглянуто питання інформатизації та автоматизації технологій в птахівництві, де виробництво здійснюється в автоматизованому режимі за техніко-економічним критерієм.

Інформаційні технології при автоматизації технологічних процесів, ефективність виробництва, техніко-економічний параметр.

The problems of information and automation technologies in poultry, where production is carried out automatically by the technical and economic criteria.

Information technologies by automation of technological processes, efficacy of production, technical and economic parameter.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАНАРНОГО ТИПА В СОСТАВЕ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ С ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ КОНЦЕНТРАТОРАМИ

***В.А. Майоров, В.Н. Трушевский, кандидаты технических наук
Л.Н. Лукашик, кандидат химических наук
Московский государственный университет дизайна и
технологии, г. Москва***

Рассмотрены новые фотоэлектрические модули, включающие фотоприемники и концентраторы, обеспечивающие эффективное преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую. Проведено математическое моделирование для создания алгоритма расчёта конструкции теплофотоэлектрического модуля с заданными энергетическими параметрами.

Солнечный модуль, коллектор, солнечная энергия, тепло-фотоэлектрический модуль.

Роль солнечной энергии в энергетике будущего определяется возможностями промышленного использования новых физических принципов, технологий, материалов и конструкций солнечных элементов, модулей и электростанций, разработанных в России.

Использование концентраторов в составе солнечных энергетических установок или солнечных фотоэлектрических электростанций

является наиболее эффективным путём снижения стоимости фотоэлектрической энергии [6].

Необходимость развития энергообеспечения на основе возобновляемых источников энергии, в особенности в сельской местности, в настоящее время в России находит всё большего понимания, поскольку для неё характерно наличие огромных территорий, куда доставка традиционных источников энергии в значительной степени затруднена, нерентабельна и т.п. Именно в последнем случае использование возобновляемых источников энергии становится целесообразным, а, зачастую, и рентабельным. Это тем более относится к сфере сельскохозяйственного производства, где производственные мощности в силу их специфики, как правило, удалены от существующих централизованных сетей энергоснабжения.

Цель исследований – разработка математических моделей, описывающих функционирование отдельных блоков и систем, распределения излучения на поверхности фотоприемника, сравнительный анализ различных конструкций фотоэлектрических модулей и исследование теплового режима модуля солнечной батареи с солнечными элементами и параболоцилиндрическим концентратором.

Материалы и методика исследований. Обеспечение оптимальной работы солнечного фотоэлектрического модуля, состоящего из: параболоцилиндрического концентратора с миделем размером $R \times L$, где L длина цилиндрической оси концентратора; планарного фотоприемника, выполненного из скоммутированных параллельно-последовательно высоковольтных или планарных фотоэлектрических преобразователей шириной d . Планарный фотоприемник закреплен на устройстве воздушного охлаждения и установлен в фокальной плоскости концентратора. Причем концентратор является частью устройства воздушного охлаждения. С целью увеличения выработки электроэнергии модуль закреплен на опоре с устройством слежения за Солнцем.

Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором представлена на рис. 1.

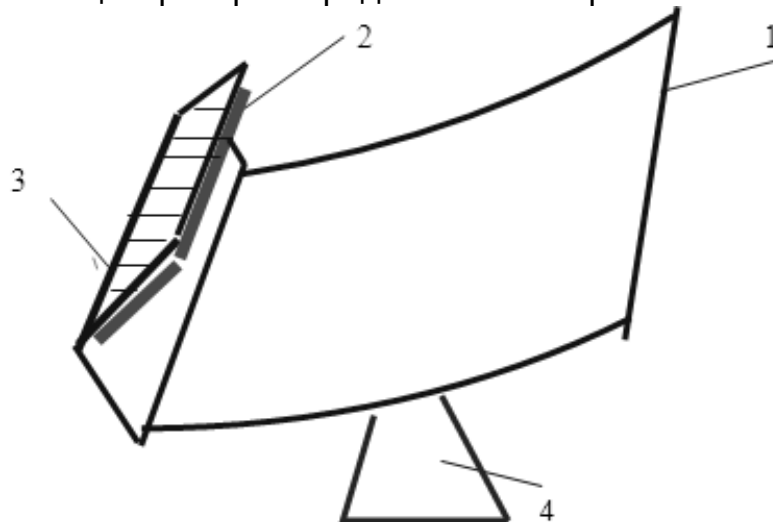


Рис. 1. Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором:

1 – концентратор; 2 – планарный фотоэлектрический приемник; 3 – устройство воздушного охлаждения; 4 – опора с устройством слежения за Солнцем

Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором и ходом лучей от поверхности концентратора до поверхностей планарного фотоприемника шириной d представлена на рис. 2.

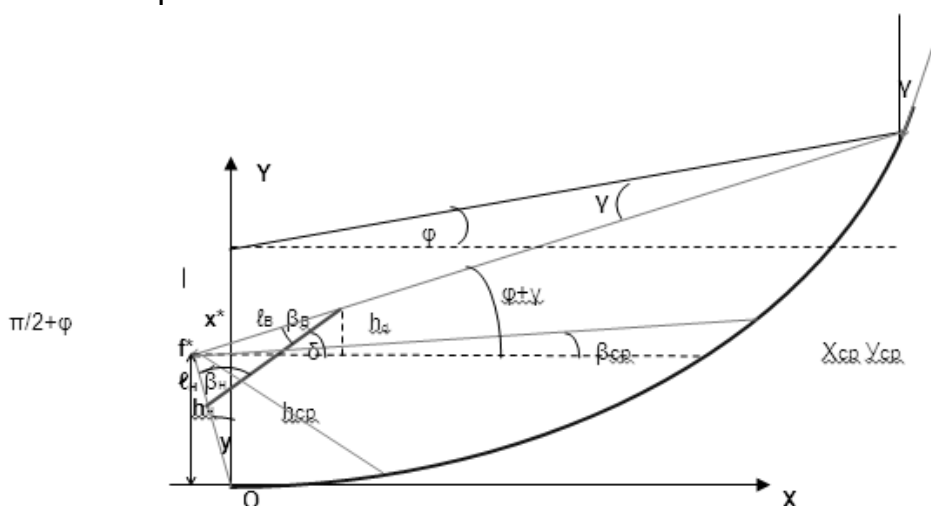


Рис. 2. Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором и ходом лучей от поверхности концентратора до поверхностей планарного фотоприемника шириной d

Основные расчетные соотношения хода лучей от параболоцилиндрического концентратора до фотоэлектрического приемника:

$$f^* = \frac{Y - X \operatorname{tg}(\varphi + \gamma)}{1 + \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg}(\varphi + \gamma)}; Y_{cp} = \frac{R^2}{16f}; h_v = l_v \sin(\varphi + \gamma); h_n = l_n \cos \gamma; l_v = \frac{d \sin \beta_n}{\cos \varphi}; l_n = \frac{l_v \sin \beta_v}{\sin \beta_n},$$

где γ – параметрический угол параболоцилиндра или угол между верхним отраженным лучем, приходящим в фокальную область на уровне f и нижним отраженным лучем, приходящим в фокальную область на уровне f^* ; φ – угол между верхним отраженным лучем, приходящим в фокальную область f и уровнем f ; β_v – угол между верхним отраженным лучем, приходящим в фокальную область f^* и фотоприемником, повернутым на угол $\delta = \varphi + \gamma + \beta_v$ по отношению к оси OX ; β_n – угол между фотоприемником, повернутым на угол $\delta = \varphi + \gamma + \beta_v$ по отношению к оси OX и прямой $O f^*$, где значения R, f, γ, δ, d выбираются в соответствии с граничными условиями. Распределение концентрации по ширине фокального пятна на поверхности фотоприемника определяется по соотношению:

$$K_n = \Delta X_n / \Delta d_n.$$

Результаты исследований. На основании приведенных формул произведен расчет распределения освещенности поверхности фотоприемника шириной $d=30$ см, параметрического угла $\gamma=10^\circ$, угла

поворота фотоприемника по отношению к оси ОХ $\delta=20^\circ$, значения фокусного расстояния параболы $f=90$ см, значения ширины миделя параболы $R=270$ см, представленный на рис. 3.

При изменении значений R , f , γ , δ , d фотоприемника в составе с концентратором меняются значения и распределение концентрации освещенности фотоэлектрического приемника, т.е. при уменьшении площади d фотоэлектрического приемника происходит увеличение геометрической концентрации фотоэлектрического модуля K ; при изменении значений углов γ , δ меняется распределение концентрации освещенности фотоприемника, т.е., можно изменять величину и распределение концентрации освещенности фотоэлектрического модуля, не меняя габаритных размеров концентратора 1 и выбранный тип фотоэлектрического приемника 3.

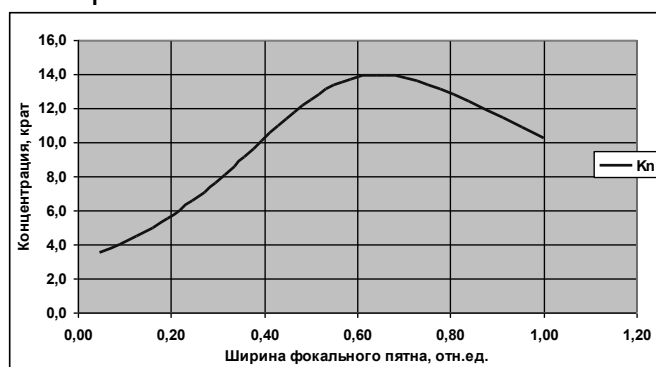


Рис. 3. Распределение освещенности поверхности фотоприемника шириной 30 см по ширине (в относительных единицах) фокального пятна

Таким образом, на основании приведенной расчетной модели и графиков распределения концентрации по рабочим поверхностям трапецидального фотоприемника можно оптимизировать габаритные размеры блоков модуля солнечной батареи, величину концентрации и распределение освещенности на рабочих поверхностях фотоприемника и в соответствии с формулой [5]:

$$W = E_0 \eta_{\text{опт}} \cos j S \tau$$

можно определять выработку энергии солнечной батареи.

На рис. 4 представлены сравнительные расчетные характеристики выработки электроэнергии (без учета прозрачности атмосферы) модуля планарной солнечной батареи площадью 3 м^2 и коэффициент полезного действия фотопреобразователей 15 %, работающего в стационарном режиме и модуля солнечной батареи с концентратором площадью миделя 3 м^2 , коэффициентом отражения $\eta_{\text{отр}}=0,8$, фотопреобразователей с коэффициентом полезного действия 15 %, работающего в режиме слежения за Солнцем.

Приведенные характеристики показывают, что солнечная батарея в режиме слежения за Солнцем в 1,5 раза может увеличить годовую выработку электроэнергии. Однако, следует отметить, что целесообразнее применять модули солнечных батарей с концентраторами меньших размеров, т.к. снижается количество дефицитных матричных фотоэлектрических

преобразователей. Концентраторы можно изготавливать из тонких листов алюминия (0,3–0,5 мм) с зеркальной рабочей поверхностью, уменьшается точность слежения за Солнцем, снижаются процессы деформации конструкции в целом, менее трудоемки процессы сборки, юстировки, замены вышедших из строя модулей их ремонт; все это снижает стоимость конструкции и эксплуатации солнечных установок.

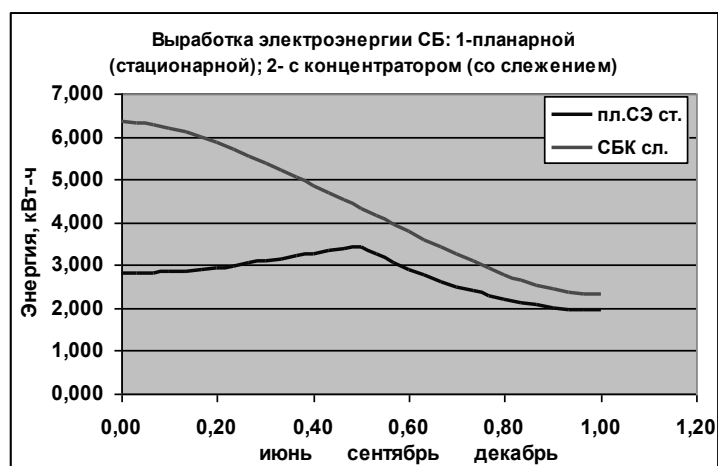


Рис. 4. Расчетные характеристики выработки электроэнергии модуля планарной солнечной батареи площадью 3 м² и $\eta_{фп} = 15\%$, стационарный режим работы и модуля солнечной батареи с концентратором площадью миделя 3 м², $\eta_{отр} = 0,8$, $\eta_{фп} = 15\%$, со слежением

Исследуется тепловой режим модуля солнечной батареи с солнечными элементами и параболоцилиндрическим концентратором, обеспечивающий работу фотоэлементов при концентрациях свыше 10. Расчётная схема модуля солнечной батареи с солнечными элементами и параболоцилиндрическим концентратором показана на рис. 1. Концентратор имеет форму полуветви параболы ABCD, а приёмниками концентрированного излучения является поверхность солнечных элементов, которые крепятся на металлической панели, связанной с концентратором. Охлаждение – воздушное и естественное теплообменом с окружающей средой. Расчётным способом получены следующие средние концентрации: на поверхностях приёмника, облучаемых дугой концентратора АВ - 17,5; ВС - 19,5; CD – 35. Приёмник смещён относительно фокуса F параболы.

Постановка задачи. Фотоприёмник с планарными или высоковольтными фотоэлементами облучается солнечным потоком с концентрацией 10. Требуется определить эффективность охлаждения фотоэлектрического преобразователя с использованием концентратора в качестве радиатора.

Параметры модуля и внешней среды. Параболоцилиндрический концентратор: мидель 2700x1250 мм²; размеры листа 3438x1250x2 мм³; материал – алюминиевый сплав, коэффициент теплопроводности $\lambda =$

100–150 Вт/(м К). $F_{\text{ап}}=3,375 \text{ м}^2$. Приёмник концентрированного излучения: $1250 \times 300 \times 2 \text{ мм}^3$; длиной $L=1,25 \text{ м}$.

Исходные данные: – температура фотоэлектрического преобразователя 50–70 °С. Подложка фотоэлектрического преобразователя выполнена из такого же алюминиевого сплава, как и лист концентратора, между ними идеальный тепловой контакт по торцам. Температура среды 30 °С, скорость ветра 0–3 м/с.

Требуется найти распределение температуры по длине листа и тепловые потоки, сбрасываемые радиатором при заданных условиях окружающей среды.

Площадь приёмной поверхности $F_{\text{пп}}=0,3 \times 1,25=0,375 \text{ м}^2$, оптический коэффициент полезного действия: $\eta_{\text{опт}}=0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9=0,729$, где коэффициенты отражения концентратора $r=0,9$, поглощения приёмника $\alpha=0,9$ и улавливания $f=0,9$; коэффициент полезного действия фотоэлектрического преобразователя $\eta_{\text{фЭП}}=0,12$; прямая солнечная радиация $R, \text{ Вт/м}^2$; температура среды $t_a, \text{ °С}$; скорость ветра $V, \text{ м/с}$.

Требование к охлаждению – максимальная температура фотоэлементов, нанесённых на стороны приёмника $3 \times 0,04 \text{ м}$, 50 °С.

Расчёты

Поглощённый приёмником поток: $Q_{\text{пп}} = \eta_{\text{опт}} R F_{\text{ап}}$.

Теплопотери в окружающую среду:

конвективные: $Q_{\text{конв}} = \alpha (t_c - t_a) F$,

где α – коэффициент теплоотдачи, определяемый по формуле Мак-Адамса [3]:

$$\alpha = 5,7 + 3,8 V,$$

где V – скорость ветра, м/с; t_c – средняя температура стенки приёмника, определяется при итерировании;

радиационные: $Q_{\text{рад}} = \varepsilon \sigma (T_c^4 - T_a^4) F$,

где ε – степень черноты стенки; σ – постоянная Стефана-Больцмана; T – абсолютная температура, К,

коэффициент полезного действия фотоэлектрического преобразователя зависит от температуры [1]: $\eta = \eta_0 [1 - k(T_f - T_0)]$,

где η_0 – коэффициент полезного действия фотоэлектрического преобразователя при стандартной температуре $T_0=298 \text{ К}$, T_f – температура фотоэлектрического преобразователя, К; k – температурный коэффициент (k меньше 0,003).

Решение задачи. Рассматривается стационарный режим. Теплообмен между окружающей средой и радиатором происходит по закону Ньютона, а распределение температур описывается экспоненциальной функцией [4]:

$$\theta = \exp\left(-\sqrt{Bi} \frac{x}{l}\right),$$

где критерий Био $Bi = \frac{\alpha l}{\lambda}$; x – текущая координата с началом отсчёта от стыка листа с фотоэлектрическим преобразователем; l – длина листа, м; α – коэффициент теплоотдачи.

Распределение температур по длине листа в зависимости от скорости ветра показано на рис. 5 для температуры фотоэлектрического преобразователя 50 °С и на рис. 6 – для 70 °С. Приведенные расчетные характеристики показывают, что с увеличением скорости ветра уменьшается температура концентратора на 6–10 °С на конце листа по сравнению с температурой в месте стыка подложки фотоэлектрического преобразователя и листа концентратора.

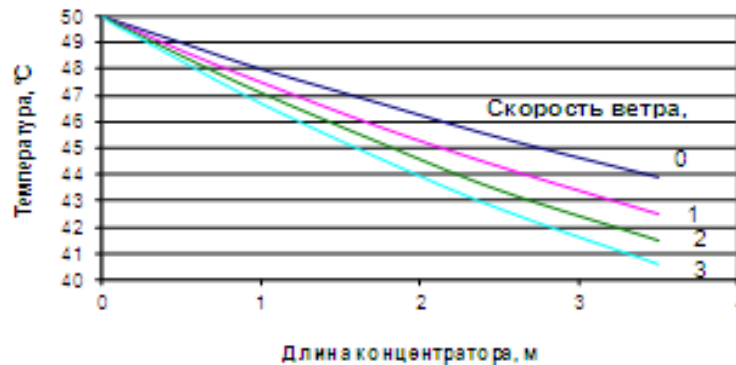


Рис. 5. Распределение температуры по длине концентратора при температуре фотоэлектрического преобразователя 50 °С и скорости ветра 0, 1, 2, 3 м/с

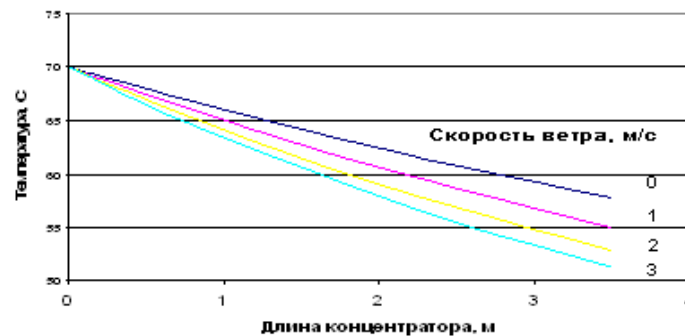


Рис. 6. Распределение температуры по длине концентратора при температуре фотоэлектрического преобразователя 70 °С и скорости ветра 0, 1, 2, 3 м/с

Плотность потока тепла определяется по [2]: $q = \frac{\lambda(T_{conz} - T_a)}{l} \sqrt{Bi}$,

где T_{conz} – температура концентратора, °С; T_a – температура окружающей среды, °С.

Поток тепла определяется как $Q = qF$, где F – площадь листа радиатора.

Зависимость потоков q и Q от скорости ветра при температуре фотоэлектрического преобразователя $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ показана на рис. 7, а при $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ – на рис. 8.

Анализ приведенных характеристик показывает возможность сброса тепла, поглощаемого фотоэлектрическим преобразователем при температуре нагрева в пределах $50\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ исходного типа модуля солнечной батареи (ориентировочно $1,5\text{--}2\text{ кВт}$), с помощью концентратора-радиатора при концентрациях солнечного излучения порядка 10.

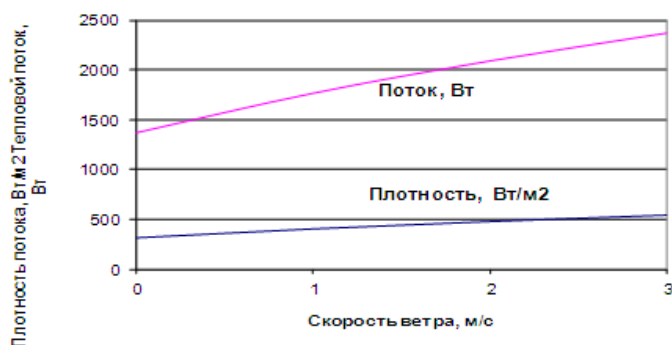


Рис. 7. Зависимости сброса тепла от скорости ветра при $T_{\text{фэп}}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$

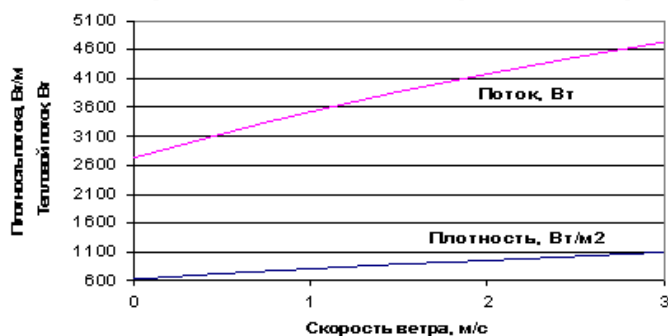


Рис. 8. Зависимости сброса тепла от скорости ветра при $T_{\text{фэп}}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Выводы

На основании приведенных расчетных моделей, расчетных оптико-энергетических параметров и характеристик приемников излучения планарного типа в составе солнечных модулей с параболоцилиндрическими концентраторами можно производить сравнительный анализ параметров и выбор конструкции фотоприемников и параболоцилиндрических концентраторов. С учетом расчета времени работы и выработки энергии модуля можно определять целесообразность конструкции солнечных батарей различных типов и режима работ.

Список литературы

1. Арбузов Ю.Д. Основы фотоэлектричества / Ю.Д. Арбузов, В.М. Евдокимов. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 292 с.
2. Григорьев В.А. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент / В.А. Григорьев, В.М. Зорин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 165 с.
3. Даффи Дж.Ф. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.Ф. Даффи, У.А. Бекман. – М.: Мир, 1977. – 101 с.

4. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 189 с.
5. Майоров В.А. Расчет и анализ энергетических характеристик солнечных батарей различных типов / В.А. Майоров // Тр. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве», 13-14 мая 2008 г., г. Москва. Ч.4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 96– 100.
6. Стребков Д.С. Концентраторы солнечного излучения / Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 316 с.

Розглянуто нові фотоелектричні модулі, що включають фото-приймачі і концентратори, які забезпечують ефективно перетворення сонячної енергії в теплову та електричну. Проведено математичне моделювання для створення алгоритму розрахунку конструкції тепло-фотоелектричного модуля з заданими енергетичними параметрами.

Сонячний модуль, колектор, сонячна енергія, тепло фотоелектричний модуль.

Some new photovoltaic modules, including photodetectors and hubs to ensure efficient conversion of solar energy into heat and electricity. The mathematical modeling to create an algorithm for calculating the design heat the solar module with the specified power parameters.

Solar module, collector, solar energy, heat the solar module.

УДК 621.1.016:621.184

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ И СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

Н.М. Фиалко, доктор технических наук, член-корр. НАН Украины

В.Г. Прокопов, доктор технических наук

Н.В. Майсон, аспирант*

***Ю.В. Шеренковский, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин, кандидаты
технических наук***

Н.Н. Ольховская, научный сотрудник

Л.А. Швецова, младший научный сотрудник

М.И. Дончак, главный конструктор

Институт технической теплофизики НАН Украины

Л.С. Бутовский, кандидат технических наук

Национальный технический университет Украины «КПИ»

¹ Научный руководитель – чл.-корр. НАН Украины, доктор технических наук, профессор Н.М. Фиалко

© Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Н.В. Майсон, Ю.В. Шеренковский, Г.В. Иваненко, М.З. Абдулин, Н.Н. Ольховская, Л.А. Швецова, М.И. Дончак, Л.С. Бутовский, 2014