Статья поступила в редакцию 02.04.15. Ред. рег. № 2219 The article has entered in publishing office 02.04.15. Ed. reg. No. 2219

УДК 621.40

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ

В.А. Майоров, Д.С. Стребков, С.Н. Трушевский

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ)
129128 Москва, 1-й Вешняковский проезд, д. 2
Тел.: 8 (499) 171-96-70, 8 (915) 297-42-48; e-mail: solarlab@mail.ru, tsn37@mail.ru

Заключение совета рецензентов: 06.04.15 Заключение совета экспертов: 10.04.15 Принято к публикации: 14.04.15

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

В данной работе исследованы новые фотоэлектрические модули, включающие трапециевидные приемники, на гранях которых смонтированы фотоэлементы, и полупараболоцилиндрические концентраторы, обеспечивающие эффективное преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую. Проведено математическое моделирование для создания алгоритма расчета конструкции теплофотоэлектрического модуля с заданными энергетическими параметрами с использованием законов геометрической оптики, а также тепло- и массообмена. При использовании подобных модулей, в основе которых находится параболоцилиндрический концентратор с фотоприемником и системой протока теплоносителя, возможно создание когенерационных установок для выработки электричества и тепла. Разработанные и изготовленные макетные образцы модулей исследовались на соответствующих стендах и испытывались в натурных условиях. Отклонение экспериментальных значений от расчетных не превышало 10%. Такой солнечный модуль с полупараболоцилиндрическим концентратором с линейчатым трапециевидным фотоприемником концентрированного излучения и системой протока теплоносителя при испытаниях генерировал максимальную мощность 254 Вт при температуре ФЭП 43 °С, 219 Вт при температуре 74 °С и 236 Вт – при 58 °С. Конструкция обеспечивает работу солнечного фотоэлектрического модуля при высоких (до 50 крат) концентрациях и равномерном (до 0,25 от среднего значения) освещении фотоприемника.

Отдельно на экспериментальном модуле проведены исследования матричного высоковольтного фотопреобразователя, состоящего из 3 параллельно соединенных фотоэлементов, закрепленных на трапецеидальном фотоприемнике. Показано, что матричные высоковольтные элементы при концентрированном облучении более эффективны, чем при непосредственном освещении солнечным светом, значения коэффициентов заполнения ВАХ m = 0,728 и 0,660 соответственно.

Ключевые слова: фотоэлектрический, трапециевидный приемник, полупараболоцилиндрический концентратор, геометрическая оптика, теплоноситель, когенерация, матричный высоковольтный фотопреобразователь.

INVESTIGATIONS OF CONSTRUCTIVE AND ENERGETIC PARAMETERS OF SOLAR RADIATION RECEIVERS WITH CONCENTRATORS

V.A. Mayorov, D.S. Strebkov, S.N. Trushevsky

The All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture (VIESH)
2, 1st Veshnyakovskii str., Moskow, 129128, Russia
Tel.: 8 (499) 171 96 70, 8 (915) 297 42 48; e-mail: solarlab@mail.ru, tsn37@mail.ru

Referred: 06.04.15 Expertise: 10.04.15 Accepted: 14.04.15

In this paper some new photovoltaic modules, including trapeziform with mounted photocells receiver and half-parabolocylindrical concentrator, to ensure efficient conversion of solar energy into heat and electricity, was investigation. The mathematical modeling to creation a computational algorithm design thermo-photoelectrical module the specified power parameters using laws of geometrical optics, as well as heat and mass transfer. When using such modules, in which basis is half-parabolocylindrical concentrator and photocell system with coolant flow can create cogeneration plants to generate electricity and heat. Developed by this method of model samples are examined for appropriate stands and tested in field conditions. The heat and electrical parameters become defined according to the calculation results to within 10%.

The solar module with half-parabolocylindrical concentrator, trapeziform concentrated radiation receiver with mounted photocells and coolant flow system delivers maximum output 254 W at 43 °C, 219 W at 74 °C and 236 W at 58 °C. Concentrating solar radiation to 50, uniformly of insolation 0.25.

The solar module with half-parabolocylindrical concentrator, trapeziform concentrated radiation receiver with mounted matrix high-photovoltaic cells and coolant flow system was investigated also. Coefficients of occupy volt-amperes characteristic was m = 0,728 and 0,660 for concentrate and non concentrate solar stream correspondingly.

Keywords: photovoltaic, trapeziform receiver, half-parabolocylindrical concentrator, geometrical optic, heat flow system, cogeneration, matrix high-photovoltaic cells.

Дмитрий Семенович Стребков
D.S. Strebkov

Сведения об авторе: директор ГНУ ВИЭСХ, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ. Профессиональный опыт 55 лет.
Область научных интересов: альтернативные источники энергии, полупроводниковая физика.
Публикации: 1400, в том числе 400 изобретений.
РИНЦ: 441 публикация, индекс Хирша 10. SPIN 2864-5630.
Scopus: 63 публикации, индекс Хирша – 3.

Information about the author: VIESH, director, academician RAS, professional experience of 55 years.
Research area: alternative energy, semiconductor physics.
Publications: more than 1400 publications.
РИНЦ: 441 publications. H-index 10. SPIN 2864-5630.
Scopus: 63 publications, Index of Khirsh – 3.

Владимир Александрович Майоров
V.A. Mayorov

Сведения об авторе: заведующий лабораторией ВИЭСХ, канд. техн. наук, профессиональный опыт 47 лет.
Область научных интересов: теплофизика, теплотехника, гелиотехника.
Публикации: свыше 80.
РИНЦ: 33, индекс Хирша – 1, SPIN 1183-0275.
Scopus: 4 публикации.

Information about the author: VIESH, head of laboratory, Ph.D., senior research associate; professional experience of 47 years.
Research area: thermal physics, heat engineering, solar technology.
Publications: more than 80.
РИНЦ: 33 publications, H-index – 1, SPIN 1677-3738.
Scopus: 4 publications.

Станислав Николаевич Трушевский
S.N. Trushevskiy

Сведения об авторе: ведущий научный сотрудник ВИЭСХ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, профессиональный опыт 55 лет.
Образование: Днепропетровский гос. университет (1959).
Область научных интересов: теплофизика, теплотехника, гелиотехника.
Публикации: свыше 200.
РИНЦ: 24 публикации, индекс Хирша – 3.

Information about the author: leading research associate, higher education, Ph.D., senior research associate; professional experience of 55 years.
Education: Dnepropetrovsk State University (1959).
Research area: thermal physics, heat engineering, solar technology.
Publications: more than 200.
РИНЦ: 24 publications, Index of Khirsh – 3.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Введение

Концентрирующие солнечные коллекторы являются одним из основных средств для преобразования солнечной энергии в тепловую и электрическую. В результате концентрирования солнечной радиации получается высокая плотность теплового потока и, соответственно, высокая температура приемника, которая не всегда приемлема для функционирования фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Однако известна зависимость КПД от температуры. Если охлаждать ФЭП, можно получить больше электроэнергии и дополнительное тепло.

В данной работе исследованы новые фотоэлектрические модули, включающие трапециевидные приемники, на гранях которых смонтированы фотоэлементы, и параболоцилиндрические концентраторы в виде полуветви, образующей цилиндр параболы (полупараболоцилиндрический концентратор), обеспечивающие эффективное преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую.

Использование концентраторов в составе солнечных энергетических установок или солнечных фотоэлектрических электростанций является одним из эффективных путей снижения себестоимости фотоэлектрической энергии. Актуальной задачей является обеспечение работы солнечного фотоэлектрического модуля при высоких (до 50 крат) концентрациях и равномерном (до 0,25 от среднего значения) освещении фотоприемника.

В данной статье приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований оптико-энергетических, тепловых и температурных параметров приемников солнечного излучения трапецеидального типа в составе солнечных модулей с параболоцилиндрическими концентраторами.

Расчет оптико-энергетических параметров приемников излучения трапецеидального типа в составе солнечных модулей с параболоцилиндрическими концентраторами

Схема конструкции солнечного модуля с параболоцилиндрическим концентратором, ходом лучей от поверхности концентратора до поверхностей трапецеидального фотоприемника (ТФП) представлена на рис. 1.

ТФП выполнен в виде трех линеек из коммутированных на гранях трапеции высоковольтных или планарных фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) шириной $d_н$, $d_{ср}$, $d_в$. Каждая грань ТФП освещается своей частью концентратора.

Верхняя грань освещается частью концентратора с граничными координатами $\{X_в, Y_в; X,Y\}$.

Значения координат X,Y определяются шириной концентратора, а координаты $X_{вп}$, $Y_{вп}$ определяются по формулам:

$$X_{вп} = 2f\left[1/\cos(\xi-\delta_n) - \mathrm{tg}(\xi-\delta_n)\right]; \quad (1)$$

$$Y_{вп} = X_{вп}^2/4f, \quad (2)$$

где $\delta_n = (\varphi+\xi)n/n_0$; n = 0, 1, …, n_0; f – фокусное расстояние параболы.

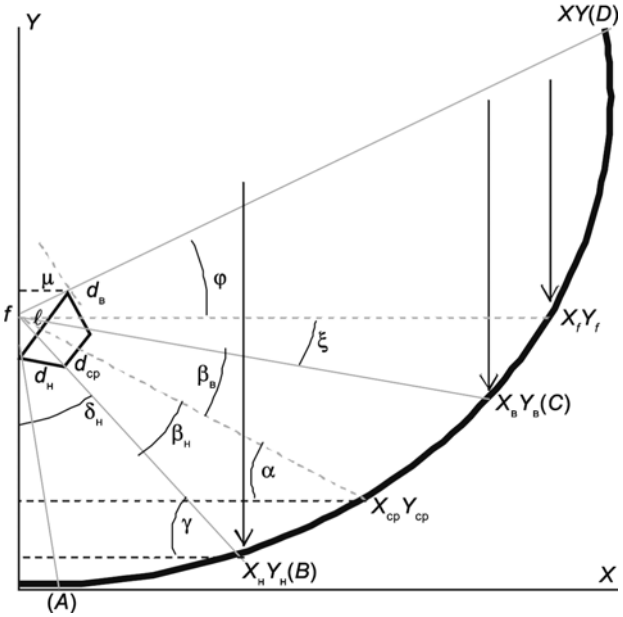

Рис. 1. Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором и ходом лучей от поверхности концентратора до ТФП шириной $d_н$, $d_{ср}$, $d_в$

Fig. 1. The scheme of photovoltaic module with the parabolo-cylindrical concentrator and motions of rays from surfaces concentrator to trapezoidal line radiation receivers $d_н$, $d_{ср}$, $d_в$

Распределение концентрации освещенности по ширине фокального пятна на верхней поверхности ТФП определяется как

$$K_{вп} = \Delta X_{вп} / \Delta d_{вп}, \quad (3)$$

где

$$d_{вп} = \ell\sin\delta_n/\cos\beta\sin(\mu + \beta + \delta_n); \quad (4)$$

$$\Delta d_{вп} = d_{в(n+1)} - d_{вп}; \quad (5)$$

$$\Delta X_{вп} = X_{в(n+1)} - X_{вп}; \quad (6)$$

$$\mathrm{tg}\mu = (\ell - d_{ср})/2d_в. \quad (7)$$

Распределение концентрации освещенности и углов падения солнечного излучения по ширине фокального пятна на верхней поверхности ТФП с шириной граней $d_н$, $d_{ср}$, $d_в$, конкретно 4×4×4 см, показано на рис. 2.

Средняя грань освещается частью концентратора с граничными координатами $\{X_н,Y_н; X_в,Y_в\}$. Значения координат концентратора в этой области $X_{ср}$, $Y_{ср}$ определяются по формулам

$$X_{срп} = 2f\left[1/\cos\delta_n - \mathrm{tg}\,\delta_n\right]; \quad (8)$$

$$Y_{срп} = X_{срп}^2/4f. \quad (9)$$

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

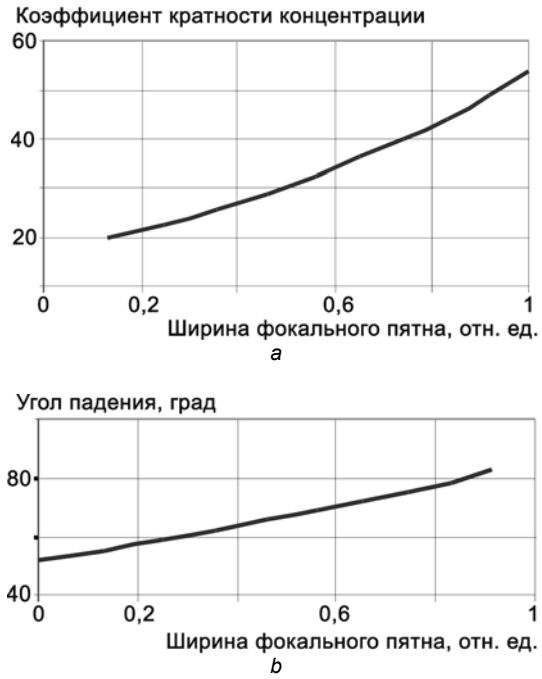

Рис. 2. Распределение концентрации освещенности (*a*) и углов падения солнечного излучения (*b*) по ширине фокального пятна верхней поверхности ТФП
Fig. 2. The distribution of concentration illumination (*a*) and angles of reflection solar rejection (*b*) of top surface

Распределение концентрации освещенности и углов падения солнечного излучения по ширине фокального пятна на средней поверхности ТФП определяется по аналогии с формулами (3)-(6) и представлено на рис. 3.

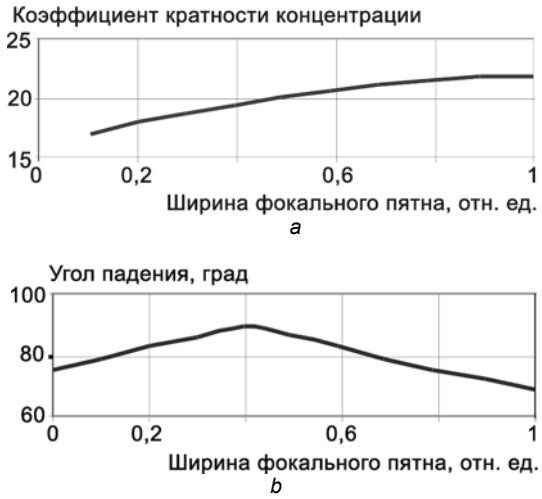

Рис. 3. Распределение концентрации освещенности (*a*) и углов падения солнечного излучения (*b*) по ширине фокального пятна средней поверхности ТФП
Fig. 3. The distribution of concentration illumination (*a*) and angles of reflection solar rejection (*b*) of middle surface

Нижняя грань освещается частью концентратора с граничными координатами $\{X_н, Y_н; 0,0\}$. Значения координат концентратора в этой области $X_{нп}$, $Y_{нп}$ определяются по формулам

$$X_{нп} = 2f\left[1/\cos\delta_n - \mathrm{tg}\,\delta_n\right]; \quad (10)$$

$$Y_{нп} = X_{нп}^2/4f\,. \quad (11)$$

Распределение концентрации освещенности и углов падения солнечного излучения по ширине фокального пятна на нижней поверхности ТФП определяется в соответствии с формулами

$$K_{нп} = \Delta X_{нп}/\Delta d_{нп}; \quad (12)$$

$$d_{нп}/\sin\delta_{нп} = \Delta f/\sin\gamma^*; \quad (13)$$

$$\Delta f = \ell\sin(\mu + \beta_н)/\cos\beta_н\sin(\mu + \beta_н + \delta_н); \quad (14)$$

$$\gamma_n^* = \mu + \beta_н + \delta_н - \delta_{нп}, \quad (15)$$

и представлено на рис. 4.

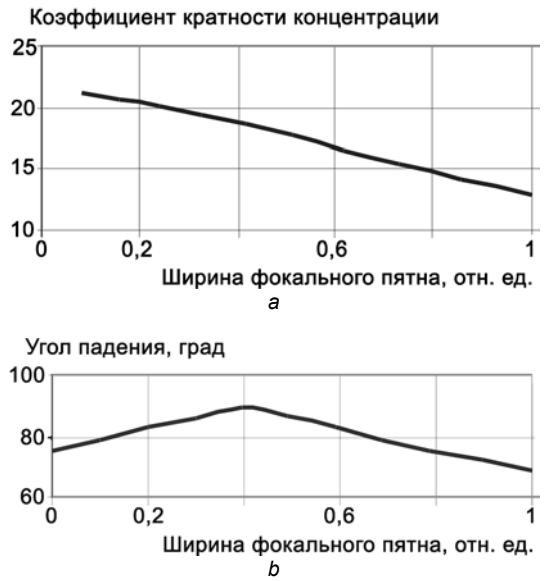

Рис. 4. Распределение концентрации освещенности (*a*) и углов падения солнечного излучения (*b*) по ширине фокального пятна нижней поверхности ТФП
Fig. 4. The distribution of concentration illumination (*a*) and angles of reflection solar rejection (*b*) of lower surface

Как видно из приведенных графиков, конструкция обеспечивает работу солнечного фотоэлектрического модуля при высоких (до 50 крат) концентрациях и равномерном (до 0,25 от среднего значения) освещении фотоприемника.

Таким образом, на основании приведенной расчетной модели и графиков распределения концентрации освещенности по рабочим поверхностям ТФП можно оптимизировать размеры блоков модуля солнечной батареи (СБ), величину концентрации и

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

распределение освещенности на рабочих поверхностях фотоприемника и в соответствии с формулой [1]

$$W = E_0 \eta_{опт} \cos j_{ср} S \tau, \quad (16)$$

где W – выработанная электроэнергия СБ; E_0 – солнечная освещенность; $\eta_{опт}$ – оптический КПД солнечной батареи; $\cos j_{ср}$ – средняя дневная величина $\cos j$ в пределах значений j_{min} и j_{max} (j – угол наклона солнечного излучения к нормали миделя СБ); S – площадь миделя СБ; τ – дневное время работы СБ, можно определять выработку энергии как на каждой грани, так и всего фотоприемника.

Математическая модель расчета тепловых и температурных режимов трапецеидального приемника солнечного излучения в составе модуля с параболоцилиндрическим концентратором

Исследуется тепловой режим трапецеидального приемника излучения модуля солнечной батареи с матричными высоковольтными элементами и параболоцилиндрическим концентратором (СБПЦК), обеспечивающий работу фотоэлементов при концентрациях до 10 крат и выше. Расчетная схема модуля СБПЦК показана на рис. 1.

Концентратор имеет форму полуветви параболы ABCD, а приемниками концентрированного излучения являются боковые и нижняя, обращенная к концентратору, поверхности трапециевидного в сечении канала, на которых крепятся ФЭП. Охлаждение – принудительное, протоком теплоносителя через канал, и естественное, теплообменом с окружающей средой. Выше расчетным способом получены следующие средние концентрации: на поверхностях приемника, облучаемых дугами концентратора: AB – 4,5, BC – 19,5, CD – 35.

Параметры модуля и внешней среды

параболоцилиндрический концентратор 2,7×1,25 м;
площадь приемной поверхности
$F_{пп} = 3 \times 0{,}04 \times 1{,}25 = 0{,}15$ м^2,
апертуры $F_{ап} = 3{,}375$ м^2;
приемник концентрированного излучения:
длина $L = 1{,}25$ м,
поперечное сечение – трапеция с периметром
$\Pi = 3 \times 0{,}04 + 0{,}07 = 0{,}19$ м,
омываемая площадь $F = \Pi L = 0{,}24$ м^2;
оптический КПД: $\eta_{опт} = r\acute{a} f_{ул} = 0{,}9 \times 0{,}9 \times 0{,}9 = 0{,}729$,
где коэффициенты отражения концентратора $r = 0{,}9$,
поглощения приемника $\acute{a} = 0{,}9$ и улавливания $f_{ул} = 0{,}9$;
КПД ФЭП $\eta_{ФЭ} = 0{,}12$;
прямая солнечная радиация E_0, Вт/м^2;
температура среды t_a, °С;
скорость ветра V, м/с;
требование к охлаждению:
максимальная температура фотоэлементов,
нанесенных на стороны приемника 3×0,04 м,
поглощающих концентрированный поток, 50 °С.

Расчеты

Термическое сопротивление ФЭП не учитывается. Поглощенный приемником поток

$$Q_{пп} = \eta_{опт} E_0 F_{ап}. \quad (17)$$

Мощность электрическая

$$N = Q_{пп} \eta_{ФЭ}. \quad (18)$$

Теплопотери в окружающую среду:
<u>конвективные</u>

$$Q_{конв} = \alpha (t_c - t_a) F, \quad (19)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, определяемый по формуле Мак-Адамса $\alpha = 5{,}7 + 3{,}8V$; t_c – средняя температура стенки приемника;
<u>радиационные</u>

$$Q_{рад} = \varepsilon \sigma \left(T_c^4 - T_a^4 \right) F, \quad (20)$$

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

Поток для охлаждения теплоносителем

$$Q = Q_{пп} - N - Q_{конв} - Q_{рад}. \quad (21)$$

Массовый расход воды

$$M = Q / c_p (t_{вых} - t_{вх}), \quad (22)$$

где c_p – удельная теплоемкость; $t_{вых}$, $t_{вх}$ – температура воды на выходе и входе в приемник.

Скорость потока воды

$$w = m / \gamma F, \quad (23)$$

где γ – плотность воды.

Режим течения теплоносителя в канале приемника:

$$\mathrm{Re} = w d_{экв} / \nu, \quad (24)$$

где $d_{экв} = 4F_{пс}/\Pi$ – эквивалентный диаметр поперечного сечения приемника; $F_{пс}$ – площадь поперечного сечения; ν – коэффициент кинематической вязкости.

Число Грассгофа $\mathrm{Gr} = g\beta d_{экв}^3 (t_c - t_ж)/\nu^2$, где β – коэффициент термического расширения; $t_ж$ – средняя температура воды в приемнике.

Средняя по длине горизонтального канала теплоотдача при вязкостно-гравитационном течении [2]:

$$\mathrm{Nu} = 0{,}17\, (\mathrm{RePr})^{0{,}33} (\mathrm{GrPr})^{0{,}1} (\mathrm{Pr}_ж\, \mathrm{Pr}_c), \quad (25)$$

где $Pr_ж$, Pr_c – числа Прандтля для средней температуры жидкости в канале и у стенки приемника.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде:

$$\alpha_ж = \mathrm{Nu}\, \lambda_ж / d_{экв}, \quad (26)$$

где $\lambda_ж$ – коэффициент теплопроводности воды.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Тепловой поток, отводимый водой (охлаждение фотоэлементов):

$$Q = \alpha_{ж}(t_{с} - t_{ж})F. \quad (27)$$

Далее определяется погрешность баланса тепловых потоков и рассчитывается следующий шаг итерации до приемлемой погрешности. Входные параметры могут меняться. КПД ФЭП зависит от температуры [3]:

$$\eta = \eta_0[1 - k(T_f - T_0)], \quad (28)$$

где η_0 – КПД ФЭП при стандартной температуре T_0 = 298 К; T_f – температура ФЭП, К; k – температурный коэффициент (k < 0,003).

Результаты расчетов по одному из шагов итераций:

прямая солнечная радиация R = 700 Вт/м^2;

температура среды $t_а$ = 30 °С;

поглощенный поток 1722 Вт;

тепловые потери: конвективные 25, радиационные 15 Вт;

электрическая мощность модуля 172 Вт;

тепловой поток для охлаждения водой 1510 Вт;

режим течения воды в приемнике – вязкостно-гравитационный: GrPr = 337·10^6; Re = 883; Nu = 57;

коэффициент теплоотдачи α = 815 Вт/(м^2·°С);

температура воды: на входе 10, на выходе 17,5 °С;

расход воды 174 кг/ч, скорость течения 0,024 м/с;

погрешность расчетов СБПЦК по балансу энергии 3,3%.

Эксперимент

Испытания модуля проводились в натурных условиях на площадке ВИЭСХ. Измерение солнечной радиации осуществлялось пиранометром типа «Пеленг», измерение температуры термопарами, расход воды объемным методом, скорость ветра анемометром. При замерах прямая солнечная радиация была 700 Вт/м^2, температура воздуха 24,5 °С, скорость ветра 4 м/с, расход воды изменялся в пределах 120-200 кг/ч.

Максимальная электрическая мощность получена при температуре ФЭП 43 °С и составила 254 Вт. Тепловые потери в окружающую среду составили: конвективные 92 Вт, радиационные 66 Вт. Температура охлаждающей воды на входе 15-18, на выходе 22-27 °С. КПД модуля 0,1146-0,1053. При температуре ФЭП 74 °С мощность модуля 219 Вт, при 58 °С – 236 Вт.

На экспериментальном модуле СБПЦК также проведены исследования матричного высоковольтного фотопреобразователя, состоящего из 3 параллельно соединенных фотоэлементов с размерами 4×1 см и закрепленного на трапецеидальном фотоприемнике. ВАХ такого фотопреобразователя представлены на рис. 5 и 6 – без концентрации и с концентрацией солнечного излучения соответственно.

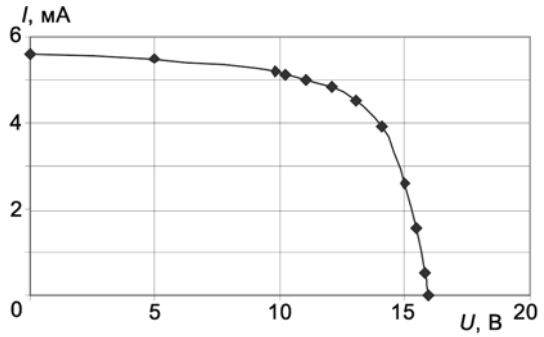

Рис. 5. ВАХ трапецеидального фотоприемника модуля СБПЦК с 3 высоковольтными параллельно соединенными фотопреобразователями размерами 4x1 см при солнечном излучении 888 Вт/м^2. Коэффициент заполнения ВАХ m = 0,660

Fig. 5. The volt-amperes characteristic of solar module receiver with mounted high-photovoltaic cells 4x1 cm. Coefficients of occupy volt-amperes characteristic was m = 0,660 for non concentrate solar radiation 888 W/m^2

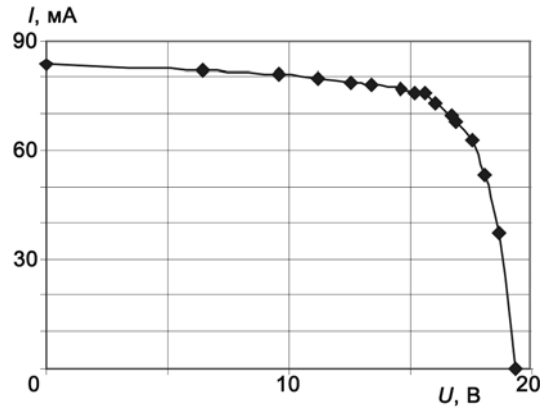

Рис. 6. ВАХ модуля СБПЦК с трапецеидальным фото-приемником с 3 высоковольтными параллельно соединенными фотопреобразователями размерами 4x1 см при солнечном излучении 883 Вт/м^2. Средняя концентрация на фотоприемнике $K_{ср}$ = 22,5 крат, коэффициент заполнения ВАХ m = 0,728

Fig. 6. The volt-amperes characteristic of solar module receiver with mounted high-photovoltaic cells 4x1 cm. Coefficients of occupy volt-amperes characteristic was m = 0,728 for concentrate solar radiation 883 W/m^2. The average concentration in the photodetector $K_{ср}$ = 22,5 fold

Из приведенных ВАХ следует, что матричные высоковольтные элементы при концентрированном облучении более эффективны, чем при низком освещении солнечным излучением, что показывают значения коэффициентов заполнения ВАХ. В рабочей точке ВАХ рис. 6 электрическая мощность в ~19 раз больше, чем на рис. 5.

Заключение

Проведены:

– расчет оптико-энергетических параметров приемников излучения трапецеидального типа в составе солнечных модулей с параболоцилиндрическими

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

концентраторами, позволяющий определять геометрические размеры модуля, распределение концентрации освещенности по ширине фокального пятна на поверхностях граней трапецеидального фотоприемника, выработку энергии как на каждой грани, так и всего фотоприемника. На основании приведенной расчетной модели и расчетных характеристик можно производить сравнительный анализ параметров и выбор типа фотоэлементов для каждой грани, конструкции фотоприемников и параболоцилиндрических концентраторов;

– расчет тепловых и температурных режимов трапецеидального приемника солнечного излучения в составе с параболоцилиндрическим концентратором, на основании которого с учетом параметров модуля и внешней среды можно прогнозировать температуру и КПД ФЭП, зависящий от температуры, среднюю температуру воды в приемнике, скорость потока и массовый расход воды;

– экспериментальные исследования модуля, в которых определялись следующие параметры: температура окружающей среды, скорость ветра, прямая и отраженная от параболоцилиндрического концентратора солнечная радиация, направленная к трапецеидальному приемнику с вмонтированными фотоэлектрическими элементами, внутри которого циркулирует теплоноситель-вода, расход и температура воды, вольт-амперные характеристики и мощность фотоэлектрического преобразователя и так далее. Максимальная электрическая мощность получена при температуре ФЭП 43 °С и составила 254 Вт, 219 Вт при температуре 74 °С и 236 Вт – при 58 °С. КПД модуля 0,1146-0,1053.

Отклонения полученных экспериментальных значений параметров модуля от расчетных не превышают 10%.

На экспериментальном модуле СБПЦК проведены исследования матричного высоковольтного фотоэлектрического модуля, состоящего из 3 параллельно соединенных фотопреобразователей, закрепленных на трапецеидальном фотоприемнике.

Показано, что матричные высоковольтные элементы при концентрированном облучении более эффективны, чем при непосредственном освещении солнечным светом, значения коэффициентов заполнения ВАХ *m* 0,728 и 0,660 соответственно.

Конструкция обеспечивает работу солнечного фотоэлектрического модуля при высоких (до 50 крат) концентрациях и равномерном (до 0,25 от среднего значения) освещении фотоприемника.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Список литературы

1. Майоров В.А. Расчет и анализ энергетических характеристик солнечных батарей различных типов. Труды 7-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве», часть 4. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008.

2. Григорьев В.А., Зорин В.М. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. М.: Энергоиздат, 1982.

3. Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М. Основы фотоэлектричества. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007.

4. Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. Концентраторы солнечного излучения. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007.

References

1. Majorov V.A. Rasčet i analiz ènergetičeskih harakteristik solnečnyh batarej različnyh tipov. Trudy 7-j Meždunarodnoj naučno-tehničeskoj konferencii «Ènergoobespečenie i ènergosnabženie v sel'skom hozâjstve», čast' 4. M.: GNU VIÈSH, 2008.

2. Grigor'ev V.A., Zorin V.M. Teplo- i massoobmen. Teplotehničeskij èksperiment. M.: Ènergoizdat, 1982.

3. Arbuzov Û.D., Evdokimov V.M. Osnovy fotoèlektričestva. M.: GNU VIÈSH, 2007.

4. Strebkov D.S., Tver'ânovič È.V. Koncentratory solnečnogo izlučeniâ. M.: GNU VIÈSH, 2007.

Транслитерация по ISO 9:1995