УЛК 621.40

doi: 10.15518/isjaee.2015.13-14.006

Международный издательский дом научной периодики "Спейс

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО МОДУЛЯ В СОСТАВЕ С АСИММЕТРИЧНЫМ ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМ КОНЦЕНТРАТОРОМ, ЛИНЕЙЧАТЫМ ФОТОПРИЕМНИКОМ И ВТОРИЧНЫМИ ОТРАЖАТЕЛЯМИ СО СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМОЙ

В.А. Майоров, Л.Н. Лукашик

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: 20.07.15 Заключение совета экспертов: 23.07.15 Принято к публикации: 26.07.15

В работе рассмотрены новые фотоэлектрические модули, включающие фотоприемники и концентраторы и обеспечивающие эффективное преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую. Проведено математическое моделирование для создания алгоритма расчета конструкции теплофотоэлектрического модуля с заданными энергетическими параметрами и с использованием законов геометрической оптики, а также тепло- и массообмена. Приводятся математические модели расчета оптико-энергетических параметров солнечного модуля с линейчатым фотоприемником и со вторичными отражателями асимметричного параболоцилиндрического концентратора. Показаны следующие расчетные зависимости: распределения концентрации освещенности на поверхности линейчатого фотоприемника от ширины фокальной области; углов полного отражения от вторичных отражателей концентрированного излучения от параметрического угла γ ; геометрических размеров верхнего и нижнего отражателей от параметрического угла γ ; координатного расположения (профиля) вторичных отражателей относительно фотоприемника. Профиля модуля (на основании которого в Avtocad вычерчены лекала для изготовления концентратора и модуля в целом); величины продольного затенения фотоприемника ΔL , зависимости временного интервала t_p простоя двигателя системы слежения, количества интервалов (работы двигателя) в единицу времени k от угла отклонения (параметрического угла γ) падающего солнечного излучения на мидель концентратора, зависимости расхода электроэнергии двигателем системы слежения в течение дня, года.

Использование подобных модулей, в основе которых находится параболоидный концентратор и фотоприемник с системой протока теплоносителя, дает возможность создания когенерационных установок для выработки электричества и тепла.

Макетные образцы, разработанные по данной методике, исследуются в настоящее время на соответствующих стендах и испытываются в натурных условиях.

Ключевые слова: солнечный фотоэлектрический модуль, параболоцилиндрический концентратор, фотоприемник, вторичный отражатель, следящая система, угол склонения.

INVESTIGATIONS THE OPTICAL-POWER PARAMETERS OF THE SOLAR MODULES IN AN ASYMMETRICAL PARABOLIC-CYLINDRICAL CONCENTRATOR, WITH PHOTODETECTOR AND SECONDARY REFLECTOR WITH TRACKING SYSTEM

V.A. Mayorov, L.N. Lukashik

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

Referred: 20.07.15 Expertise: 23.07.15 Accepted: 26.07.15

The paper discusses the new photovoltaic modules, which include photodetectors and hubs and provide efficient conversion of solar energy into heat and electricity. The mathematical modeling to create a design algorithm for calculating thermal solar module with the specified energy parameters and using the laws of geometric optics, as well as heat and mass transfer. Mathematical models for calculating the optical parameters of the solar energy module ruled photodetector and secondary reflectors asymmetric parabolic-cylindrical concentrator. Showing calculated according to the following: the concentration distribution of light on the surface of the detector of the line on the width of the focal region; angle of total reflection of the secondary reflectors concentrated

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015



radiation from the parametric angle γ ; the geometric dimensions of the upper and lower reflectors from the parametric angle γ ; coordinate location (profile) of the secondary reflector relative to the photodetector. Profile module (on the basis of which patterns are drawn in Avtocad for manufacturing the hub unit and as a whole); the longitudinal shading photodetector depending ΔL time interval t_p idle engine tracking system, the number of intervals (engine running) per unit time k by the angle of deviation (parametric angle γ) of the incident solar radiation on the midsection hub, depending on engine power consumption tracking system.

The use of such modules is based parabolic-cylindrical concentrator and a photodetector with a coolant flow system allows the creation of co-generation plants to generate electricity and heat.

Prototypes were developed by this method being explored at the respective stands and tested in field conditions.

Keywords: solar photovoltaic module, parabolic-cylindrical concentrator, a photodetector, a secondary reflector, tracking system, the angle of declination.



Владимир Александрович Майоров Vladimir A. Mayorov



Людмила Николаевна Лукашик Lyudmila N. Lukashik

Сведения об авторе: канд. техн. наук, зав. лабораторией ВИЭСХ, профессиональный опыт 47 лет.

Образование: Всесоюзный заочный политехнический институт (1979), Московский физикотехнический институт (1985).

Область научных интересов: теплофизика, теплотехника, гелиотехника. Публикации: свыше 80. РИНЦ: 33, индекс Хирша – 1, SPIN 1183-0275. Scopus: 4 публикации.

Information about the author: Ph.D., All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture, head of laboratory, senior research associate; professional experience of 47 years.

Education: All-Union Correspondence Polytechnic Institute (1979), Moscow Institute of Physics and Technology (1985).

Research area: thermal physics, heat engineering, solar technology. Publications: more than 80. РИНЦ: 33 publications, H-index – 1, SPIN 1677-3738. Scopus: 4 publications.

Сведения об авторе: канд. хим. наук, научный сотрудник лаборатории солнечных электростанций и нетрадиционных источников энергии ВИЭСХ, профессиональный опыт 43 года.

Образование: Томский политехнический институт (1972), Университет Дружбы народов им. Патриса Лумумбы (1979).

Область научных интересов: химическая физика, теплофизика, теплотехника, гелиотехника. **Публикации:** свыше 30.

РИНЦ: 5, индекс Хирша 0. Scopus: 1 публикация.

Information about the author: Ph.D., research associate laboratory of the solar power and alternative energy sources, All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture, professional experience of 43 years.

Education: Tomsk Polytechnic Institute (1972), Patrice Lumumba University of Friendship of Peoples (1979).

Research area: physical chemistry, thermal physics, heat engineering, solar technology.

Publications: more than 30.

РИНЦ: 5 publications, H-index 0. Scopus: 1 publication.

Разработка и создание тепловых модулей в настоящее время является одним из направлений развития солнечной энергетики.

В работе рассмотрены новые фотоэлектрические модули, включающие фотоприемники и 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 параболоидный концентратор и фотоприемник с системой протока теплоносителя, возможно создание когенерационных установок для выработки электричества и тепла. Разработанные по такой методике макетные образцы исследуются на соответствующих стендах и испытываются в натурных условиях.

Целью работы является исследование солнечного модуля с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором, линейчатым фотоприемником с матричными фотопреобразователями [1], системой охлаждения, системой слежения, разработанного и изготовленного на основе математических моделей.



Научная новизна работы заключается в создании и исследовании фотоэлектрических установок на основе высоковольтных (с напряжением до 15-18 В в отличие от традиционных 0,5 В в дискретных элементах) матричных фотоэлектрических преобразователей и концентраторов солнечного излучения различной конструкции, в том числе модулей солнечных элементов, системы автоматического слежения.

Солнечный фотоэлектрический модуль состоит из параболоцилиндрического концентратора с миделем размером R×L, где L – длина цилиндрической оси концентратора; планарного фотоприемника, выполненного из скоммутированных параллельнопоследовательно высоковольтных или планарных фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) шириной d, закрепленного на устройстве охлаждения и установленного в фокальной плоскости концентратора. Обеспечение оптимальной работы достигается соотношением конструктивных параметров модуля (фотоприемника и концентратора) при необходимых значениях концентрации и равномерности освещения фотоприемника. С целью увеличения выработки электроэнергии модуль закреплен на опоре с устройством слежения за Солнцем.

Схема конструкции фотоэлектрического модуля с линейчатым фотоприемником и вторичными отражателями в составе с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема конструкции фотоэлектрического модуля с линейчатым фотоприемником и вторичными отражателями в составе с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором: 1 – концентратор; 2 – стойки крепления концентратора;

 3 – линейчатый фотоэлектрический приемник с солнечными элементами; 4 – вторичные отражатели;
 5 – устройство протока теплоносителя;
 6 – штуцера для входа и выхода теплоносителя;
 7 – опорные стойки фотоприемника

Fig. 1. Schematic structure of the photoelectric module ruled photodetector and secondary reflectors in the composition

of an asymmetrical parabolic-cylindrical concentrator: 1 – concentrator; 2 – rack mounting hub; 3 – a line photoelectric receiver with solar cells; 4 – secondary reflectors; 5 – device coolant flow; 6 – fitting for entry and exit of coolant; 7 – buck stays of the photodetector Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором и ходом лучей от поверхности концентратора до поверхностей линейчатого фотоприемника шириной *d* представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема конструкции фотоэлектрического модуля с линейчатым фотоприемником и вторичными отражателями в составе с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором и ход лучей от поверхности концентратора до поверхностей линейчатого фотоприемника шириной *d* Fig. 2. Schematic of the structure of the photoelectric module ruled with a photodetector and secondary reflectors in the composition of an asymmetrical parabolic-cylindrical concentrator and the path of the rays from the surface of the concentrator to the surfaces of the line photodetector *d*

Солнечный фотоэлектрический модуль содержит асимметричный концентратор параболоцилиндрического типа с зеркальной внутренней поверхностью отражения и линейчатый фотоэлектрический приемник, установленный в фокальной области с устройством протока теплоносителя; форма отражающей поверхности концентратора X(Y) определяется системой уравнений, соответствующей условию равномерной освещенности поверхности фотоэлектрического приемника, выполненного в виде линейки шириной d_0 из скоммутированных ФЭП и длиной h и расположенным под углом к миделю концентратора: Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

$$X_{n} = (f - Y_{n})/\operatorname{tg} \alpha_{n}; d_{n} = \ell_{B} \sin \xi_{0}/\sin \alpha_{n}; \xi_{0} = \pi/2 + \beta;$$

$$X_{H} = d_{0} \sin \beta_{B}; Y_{H} = f - X_{H} \operatorname{tg} \beta;$$

$$\ell_{B} = d_{0} \sin (\beta_{H} - \beta)/\sin \xi_{0}; X_{B} = 0; Y_{B} = Y_{H} + d \cos \beta_{H};$$

$$\ell_{H} = d_{0} \sin \beta_{H}/\cos \beta; Y_{H} = R^{2}/4f; K_{F} = R/d_{0},$$

где α_n – угол (в зоне рабочего профиля концентратора) между уровнем ординаты в точке координат X_n, Y_n и отраженным от поверхности параболы с фокусным расстоянием f лучом, приходящим в фокальную область на ширине d_n , расположенной на плоском фотоэлектрическом приемнике шириной d_0 , где n выбирается из ряда целых чисел n = 1, 2, 3, ..., N; ξ_0 – угол между координатной осью 0Y и лучом, отраженным от верхней точки координат $Y_{a,R}$ концентратора,

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015 приходящим в нижнюю точку координат фотоприемника $X_{\rm H}, Y_{\rm H}$; $\beta_{\rm H}$ – угол между фотоприемником и отрезком $\ell_{\rm H}$ (между нижней точкой координат фотоприемника $X_{\rm H}, Y_{\rm H}$ и фокусным расстоянием f параболы); $\beta_{\rm B}$ – угол между отрезком $\ell_{\rm B}$ (между верхней точкой координат фотоприемника $X_{\rm B}, Y_{\rm B}$ и фокусным расстоянием f параболы); β – угол между лучом, отраженным от верхней точки координат Y_{a}, R концентратора, и прямой Y = f, параллельной оси абсцисс.

При этом значения параметров f, $\beta_{\rm B}$, k выбираются в соответствии с граничными условиями, а геометрическая концентрация освещенности фотоэлектрического приемника K_n в интервалах координатных значений концентратора $\Delta X_n = X_n - X_{n-1}$ и в интервалах координатных значений фотоприемника $(d_{n+1} - d_n)$ равна

$$K_n = (X_{n+1} - X_n)/(d_{n+1} - d_n).$$

На основании приведенных формул произведен расчет в Excel распределения концентрации освещенности на поверхности линейчатого фотоэлектрического приемника от ширины фокальной области (от 0 до h_0), график которого представлен на рис. 3.



Рис. 3. График распределения концентрации освещенности на поверхности линейчатого фотоэлектрического приемника от ширины фокальной области (от 0 до *h*₀)

International Publishing House for scientific periodicals "Space"



Рис. 4. Схема конструкции фотоприемника с вторичными отражателями модуля с параболоцилиндрическим концентратором и ходом лучей от поверхности концентратора до поверхностей фотоприемника шириной *d* Fig. 4. Schematic structure of the photodetector with secondary reflector module with parabolic-cylindrical concentrator and the course of the rays from the surface of the concentrator to the surface of the detector width *d*

Различные системы слежения за Солнцем имеют разные точности угловой ориентации, а следовательно, и смещение фокального пятна на фотоприемнике. Учет и компенсация падающего концентрированного излучения возможно за счет вторичных отражателей.

Схема конструкции солнечного модуля с параболоцилиндрическим концентратором представлена на рис. 4, где показаны ход лучей от крайних точек рабочей поверхности концентратора до крайних точек поверхности линейчатого фотоприемника шириной *d* с учетом отражения от крайних точек поверхности вторичных отражателей. Солнечный фотоэлектрический модуль содержит асимметричный концентратор параболоцилиндрического типа с зеркальной внутренней поверхностью отражения и линейчатый фотоэлектрический приемник с вторичными отражателями, установленный в фокальной области, с устройством протока теплоносителя. Расположение и величины вторичных отражателей зависят от формы отражающей поверхности концентратора X(Y), геометрических параметров модуля и от угла отклонения солнечного излучения от нормали к миделю концентратора в направлении, перпендикулярном к фотоприемнику, и определяются

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015 Nº 13-14

(177-178)

2015

Международный издательский дом научной периодики "Спейс

Fig. 3. A graph of the concentration of light on the surface of the line photoelectric detector from focal region (0 to h_0)

системой уравнений, соответствующей условию равномерной освещенности поверхности фотоэлектрического приемника, выполненного в виде линейки шириной d из скоммутированных ФЭП и длиной L и расположенного под углом к миделю концентратора:

$$h_{\rm B}\sin\xi^* = d/\sin(\varphi+\gamma); \ \theta = \varphi+j; \ X_{\rm B}^* = h_{\rm B}\cos\varphi;$$

$$Y_{\rm B}^* = Y_{\rm B} - h_{\rm B}\sin\varphi; \ h_{\rm B}/\sin\gamma = Y_{\rm B}/\sin(\varphi+\gamma);$$

$$\beta^* = \beta+\gamma; \ h_{\rm H}/\sin\gamma = L_0/\sin(\alpha^*+\beta+\gamma);$$

$$h_{\rm H}\sin\xi = d/\sin[\pi-(\delta+\xi)]; \ \delta = \pi/2 - j + \alpha^*;$$

$$X_{\rm H}^* = X_{\rm H} - h_{\rm H}\cos(j-\xi); \ Y_{\rm H}^* = Y_{\rm H} - h_{\rm H}\sin(j-\xi),$$

где $h_{\rm B}$ – ширина верхнего отражателя, расположенного под углом θ над линейкой шириной d из скоммутированных ФЭП и длиной $L; \xi^*$ – предельный угол между фотоприемником и отраженным лучом от точки координат Y^{*}_в, X^{*}_в верхнего отражателя; ϕ – угол между верхним отражателем и координатной осью 0У; у – угол отклонения солнечного излучения от нормали к миделю концентратора в направлении, перпендикулярном к фотоприемнику; *j* – угол между фотоприемником и координатной осью 0У; Ув – верхняя ордината фотоприемника; В – угол между лучом, отраженным от верхней точки координат Y_a,R концентратора, и прямой Ун (нижней ординаты фотоприемника), параллельной оси абсцисс; β^* – угол между лучом, отраженным от верхней точки координат Y_{a}, R концентратора, и прямой Y_{H}^{*} (нижней ординаты вторичного отражателя), параллельной оси абсцисс; α^* – угол между нижним отражателем и прямой У_н (нижней ординаты фотоприемника), параллельной оси абсцисс; h_н – ширина верхнего отражателя, расположенного под углом 8 под линейкой шириной d из скоммутированных ФЭП и длиной $L; L_0$ - длина отраженного луча от верхней точки координат Y_a, R концентратора и пришедшего в нижнюю точку фотоприемника с координатами $X_{\rm H}, Y_{\rm H}; \xi$ – предельный угол между фотоприемником и отраженным лучом от нижнего отражателя в точке координат $Y_{\scriptscriptstyle \rm H}^*, X_{\scriptscriptstyle \rm H}^*$.

Значения параметров *j*, у выбираются в соответствии с граничными условиями.



Рис. 5. Расчетные зависимости углов полного отражения верхнего в и нижнего б отражателей от параметрического угла у Fig. 5. Calculated according to the angles of total reflection of the upper θ and lower δ reflectors from the parametric angle γ

International Scientific Journal for

© Scientific Technical Centre «TATA», 2015

Alternative Energy and Ecology

На основании приведенных формул произведен расчет в Excel зависимостей углов полного отражения θ, δ от параметрического угла γ, представленного на рис. 5.

Расчетные зависимости ширины верхнего $h_{\rm B}$ и нижнего *h*_н отражателей модуля от параметрического угла у представлены на рис. 6.



Произведен расчет координатного расположения (профиля) отражателей относительно фотоприемника, представленного на рис. 7, с линейчатым фотоприемником и вторичными отражателями в составе с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором. Точки на верхней и нижней кривых означают координатное расположение границы верхнего и нижнего вторичных отражателей для задаваемых при расчете параметрических углов *j*.

Международный издательский дом научной периодики "Спейс



Значения оси У, см

2015

Рис. 7. Координатное расположение (профиль) вторичных отражателей относительно фотоприемника для различных параметрических углов j ($j_1 = 1^\circ$, $j_2 = 3^\circ$) Fig. 7. The coordinate location (profile) of the reflector relative to the detector for different parametric angles j ($j_1 = 1^\circ$, $j_2 = 3^\circ$)

№ 13-14 Международный научный журнал (177 - 178)«Альтернативная энергетика и экология» © Научно-технический центр «ТАТА», 2015 На основании приведенных формул произведен расчет в Excel профиля модуля, на основании которого в Avtocad вычерчены лекала для изготовления концентратора и модуля в целом.

На рис. 8 представлены расчетные параметры (форма) профиля модуля с фотоприемником шириной d = 6 см с вторичными отражателями и асимметричным параболоцилиндрическим концентратором с шириной миделя R = 66 см.



Рис. 8. Расчетные параметры (форма) профиля модуля с фотоприемником шириной *d* = 6 см и параболоцилиндрическим концентратором с шириной миделя *R* = 66 см Fig. 8. Estimated parameters (form) profile module with photodetector width *d* = 6 cm and the parabolic-cylindrical concentrator with width of the midsection *R* = 66 cm

При уменьшении ширины фотоэлектрического приемника, т.е. при уменьшении площади фотоэлектрического преобразователя, происходит увеличение концентрации освещенности фотоэлектрического приемника.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Таким образом, можно изменять концентрацию освещенности фотоэлектрического приемника, не меняя габаритных размеров концентратора и выбранного типа фотоэлектрических преобразователей.

Из приведенных характеристик видно, что изменение концентрации освещенности по ширине фокальной области теплофотоэлектрического преемника не превышает 40%, что не влияет на электрофизические и тепловые характеристики солнечного модуля.

Установка на основе теплофотоэлектрических модулей с концентраторами солнечного излучения, охлаждаемыми фотоэлектрическими преобразователями с утилизацией тепла, и следящей системой работает следующим образом.

Солнечное излучение, при точном слежении за Солнцем, попадает перпендикулярно миделю солнечного модуля на поверхность параболоцилиндрического концентратора, отражается под углами наклона таким образом, чтобы отраженные лучи от концентратора обеспечивали равномерную концентрацию лучей на фотоэлектрической части теплофотоэлектрического приемника модуля. Теплофотоэлектрический приемник выполнен в виде линейки шириной h_0 и длиной L из скоммутированных параллельно-последовательно фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) с устройством протока теплоносителя, выполненного в виде трубопровода с треугольным профилем, нагревающим теплоноситель. Расположенные вдоль фотоприемника два вторичных отражателя отражают на ФЭП вышедшее за пределы фотоприемника солнечное излучение от концентратора.

Регулируя скорость протока теплоносителя, можно оптимизировать нагрев фотопреобразователей и теплоносителя, повышая КПД модуля.

На основании расчетов в зависимости от натурных условий: мощности солнечного излучения, скорости ветра, температуры среды; конструктивных параметров модуля: размеров концентратора и фотоприемника, оптического КПД, применяемых материалов, расхода теплоносителя (воды) и режима работы – можно прогнозировать выходные параметры (тепловые и электрические) и эффективность работы модуля в целом.

Одной из задач работы солнечной установки со слежением за Солнцем является выбор системы слежения и определения расхода электроэнергии в течение дня, года.



Рис. 9. Принципиальная схема установки: 1 – несущая рама; 2 – тепло- и фотоэлектрический модуль; 3 – стойка с системой слежения за Солнцем (а – азимутальный поворот, з – зенитальный поворот); 4 – крепежные стойки модуля; 5 – концентратор; 6 – фотоприемник с системой протока теплоносителя; 7 – ввод и вывод теплоносителя; 8 – фотопреобразователи; 9 – система измерений физико-энергетических параметров Fig. 9. Schematic diagram of the apparatus: 1 – support frame; 2 – thermal and photovoltaic module; 3 – stand with solar tracking system (a – azimuthal rotation, 3 – zenith twist); 4 – mounting rack module; 5 – concentrator; 6 – photodetector with system with coolant flow; 7 – input and output coolant; 8 – photovoltaics; 9 – measurement system of physical and energy parameters

Одна из систем предполагает слежение в течение светового дня вокруг оси стойки с системой слежения (рис. 9) с расположенной на ней несущей рамой с сол-

Nº 13-14

(177 - 178)

2015

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015

<u>0</u> 5

55

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» © Научно-технический центр «ТАТА», 2015 нечными модулями, изменение угла наклона ј которой соответствует углу склонения б Солнца, меняющегося в пределах $\pm 23,5^{\circ}$ в году (0,26° в сутки).

Отклонения от угла склонения изредка компенсируются зенитальным поворотом.

Непрерывное движение следящей системы предполагает непрерывный расход электроэнергии двигателем. При дискретном движении двигатель работает в определенных интервалах времени, уменьшая при этом расход электроэнергии.

При смещении угла наклона солнечного излучения ү относительно перпендикуляра к миделю модуля образуется затенение фотоприемника на величину $\Delta L = Ltgy$, где L характеризуется координатными значениями концентратора $L = (X^2 + Y^2)^{1/2}$.

При скорости вращения Земли вокруг оси α = 15 °/ч время интервала t_{инт} (смещения) соответствует величине $t_{\rm инт} = \gamma/\alpha$.

Количество интервалов k в единицу времени равно: $k = 1/t_{\text{инт}}$.

При скорости вращения несущей рамы вокруг оси V, °/ч, время движения в пределах интервала соответствует величине $t_{\rm p} = \gamma/V$.

Величина расходуемой электроэнергии $W_{\rm дв}$ двигателя мощностью $P_{\rm дв}$ системы слежения в течение дня соответствует значению $W_{\rm дB} = P_{\rm дB} t_{\rm p} k t_{\rm dH}$, где $t_{\rm dH}$ – время светового дня на широте ф [2].

На основании приведенных соотношений на рис. 10 представлены расчетные величины продольного затенения фотоприемника ΔL в зависимости от координатного отражения от концентратора солнечного излучения по оси Х при различных углах отклонения у солнечного излучения.

На рис. 11 представлены расчетные зависимости временного интервала t_p, величины затенения фотоприемника ΔL , количества интервалов в единицу времени k от угла отклонения ү.



Рис. 10. Расчетные величины продольного затенения фотоприемника ΔL в зависимости от координатного отражения от концентратора солнечного излучения по оси Х при различных углах отклонения у солнечного излучения Fig. 10. Calculated values shading photodetector ΔL , depending on the coordinate of the reflection of the solar radiation concentrator on the X axis at different deflection angles y of the solar radiation

@|5

64

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology © Scientific Technical Centre «TATA», 2015







Рис. 12. Расчетные зависимости расхода электроэнергии двигателем системы слежения мощностью 0,5 кВт в течение года при различных скоростях вращения V несущей рамы вокруг оси на широте 57 Fig. 12. Calculated according power consumption of the motor tracking system 0.5 kW during the year at different speeds V (rad/h) of the supporting frame around an axis at a latitude of 57°

На рис. 12 представлены расчетные зависимости расхода электроэнергии двигателем системы слежения мощностью 0,5 кВт в течение года при различных скоростях вращения несущей рамы вокруг оси на широте 57°.

Выводы

На основании приведенных выше расчетных моделей и графиков можно оптимизировать габаритные размеры блоков модуля СБ, величину концентрации и распределение освещенности на рабочих поверх-

2015

№ 13-14 Международный научный журнал (177 - 178)«Альтернативная энергетика и экология» © Научно-технический центр «ТАТА», 2015 ностях фотоприемника, форму профиля модуля с фотоприемником с вторичными отражателями модуля с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором, величины продольного затенения фотоприемника ΔL , зависимости временного интервала t_n простоя двигателя системы слежения, количества

интервалов (работы двигателя) в единицу времени k от угла отклонения у падающего солнечного излучения на мидель концентратора, зависимости расхода электроэнергии двигателем системы слежения в течение дня, года.

Список литературы

1. Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. Концентраторы солнечного излучения, гл. 7: Варианты стационарных параболоцилиндрических концентраторов. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. С. 180-215.

2. Майоров В.А. Расчет и анализ энергетических характеристик солнечных батарей различных типов // Вестник ГНУ ВИЭСХ. 2008. Вып. № 1(3). С. 96-100.

References

1. Strebkov D.S., Tver'ânovič È.V. Koncentratory solnečnogo izlučeniâ, gl. 7: Varianty stacionarnyh parabolocilindričeskih koncentratorov. M.: GNU VIÈSH, 2007. S. 180-215.

2. Majorov V.A. Rasčet i analiz ènergetičeskih harakteristik solnečnyh batarej različnyh tipov // Vestnik GNU VIESH. 2008. Vyp. № 1(3). S. 96-100.

Транслитерация по ISO 9:1995

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"



2015

TATA

65