



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F24S 10/70 (2006.01); F24S 23/74 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017117848, 23.05.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
23.05.2017

Дата регистрации:  
18.10.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.05.2017

(45) Опубликовано: 18.10.2018 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

109428, Москва, 1-й Институтский пр., 5,  
Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ  
ВИМ)

(72) Автор(ы):

Майоров Владимир Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ  
ФНАЦ ВИМ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2554674 C2, 27.06.2015. RU  
2206837 C2, 20.06.2003. US 2013192226 A1,  
01.08.2013. US 2009199892 A1, 13.08.2009.

(54) Солнечный модуль с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором и фотоприемником с треугольным профилем

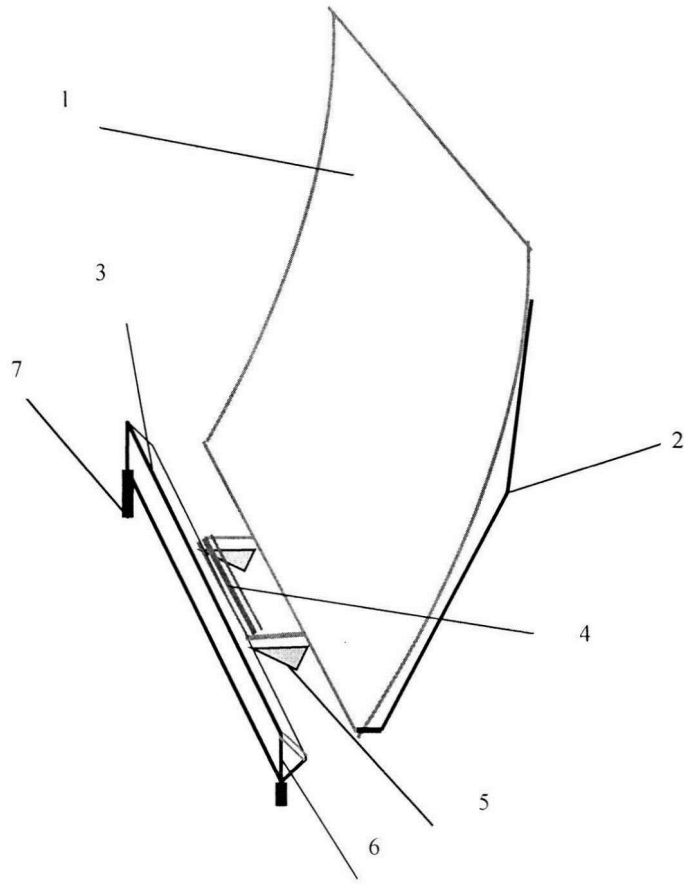
(57) Реферат:

Изобретение относится к области гелиотехники и касается солнечного модуля с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором и фотоприемником с треугольным профилем. Солнечный модуль содержит асимметричный из одной ветви параболоцилиндрического типа концентратор с зеркальной внутренней поверхностью отражения и линейчатый фотоприемник, расположенный в фокальной области с равномерным распределением концентрированного излучения вдоль цилиндрической оси. Линейчатый фотоприемник выполнен полым с переменным по площади треугольным профилем для протока

теплоносителя. Концентрированное излучение от отражающей поверхности концентратора соответствует условию равномерной продольной освещенности рабочей поверхности фотоприемника. Фотоприемник закреплен поворотным вдоль цилиндрической оси устройством на стойках крепления. Технический результат заключается в повышении эффективности нагрева теплоносителя, повышении КПД модуля и обеспечении работы фотоприемника солнечного модуля при средних концентрациях и оптимальном освещении фотоприемника. 8 ил.

RU 2 670 180 C1

RU 2 670 180 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*F24S 10/70* (2018.01)  
*F24S 23/74* (2018.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*F24S 10/70 (2006.01); F24S 23/74 (2006.01)*

(21)(22) Application: **2017117848, 23.05.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**23.05.2017**

Registration date:  
**18.10.2018**

Priority:

(22) Date of filing: **23.05.2017**

(45) Date of publication: **18.10.2018 Bull. № 29**

Mail address:

**109428, Moskva, 1-j Institutskij pr., 5, Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie Federalnyj nauchnyj agroinzhenernyj tsentr VIM (FGBNU FNATS VIM)**

(72) Inventor(s):

**Majorov Vladimir Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie Federalnyj nauchnyj agroinzhenernyj tsentr VIM (FGBNU FNATS VIM) (RU)**

(54) **SOLAR MODULE WITH ASYMMETRIC PARABOLIC CYLINDRICAL CONCENTRATOR AND PHOTO RECEIVER WITH TRIANGULAR PROFILE**

(57) Abstract:

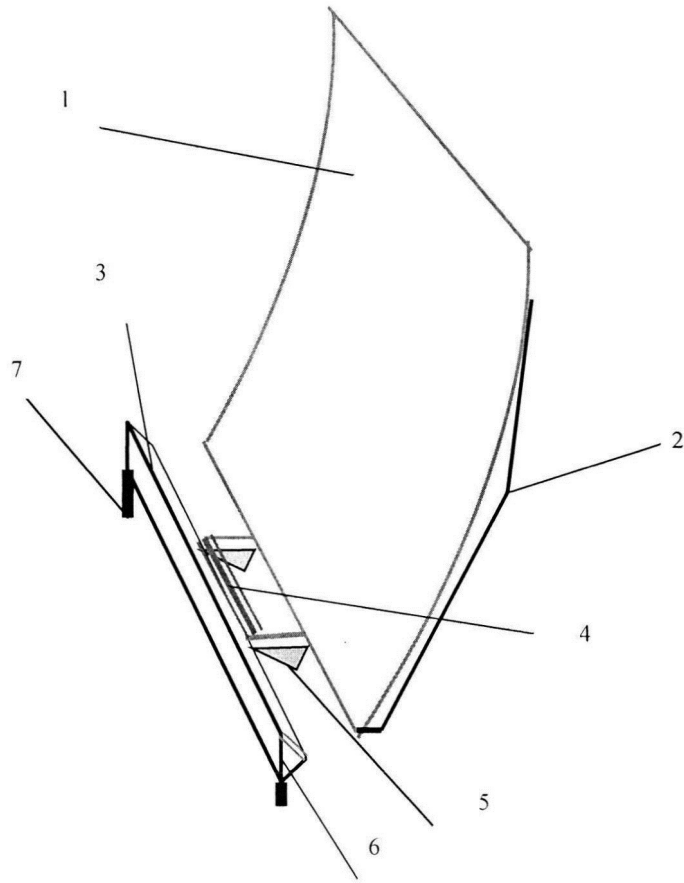
FIELD: solar engineering.

SUBSTANCE: invention relates to the field of solar engineering and concerns a solar module with an asymmetric parabolic cylindrical concentrator and a photodetector with a triangular profile. Solar module contains an asymmetric concentrator of one branch of a parabolic-cylindrical type with a mirror internal reflection surface and a line photodetector located in the focal region with a uniform distribution of concentrated radiation along the cylindrical axis. Linear photodetector is made hollow with a variable triangular profile for the flow of the coolant. Concentrated

radiation from the reflecting surface of the concentrator corresponds to the condition of uniform longitudinal illumination of the working surface of the photodetector. Photodetector is fixed rotatable along the cylindrical axis by the device on the fastening posts.

EFFECT: technical result consists in increasing the efficiency of heating the coolant, increasing the efficiency of the module and ensuring the operation of the photodetector of the solar module at moderate concentrations and optimum illumination of the photodetector.

1 cl, 8 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к гелиотехнике и конструкции солнечных модулей с фотоэлектрическими и тепловыми приемниками солнечного излучения и концентраторами для получения электрической энергии и теплоты.

Известен солнечный модуль с концентратором, содержащий основной линейно-фокусирующий параболоцилиндрический зеркальный отражатель, выполненный из двух разновеликих частей в виде одной ветви параболоцилиндрического отражателя со вторым полуцилиндрическим зеркальным отражателем, и фотоэлектрический приемник, в котором приемник излучения выполнен из стеклянной цилиндрической трубы и встроенного внутрь плоского стеклопакета фотоэлектрического приемника с солнечными элементами (патент РФ №2225966, МПК F24J 2/14, опубликован 2004 г.).

Недостатками известного солнечного модуля являются сложная система фотоэлектрического приемника, что приводит к потерям солнечного излучения.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является солнечный модуль с концентратором, содержащий основной линейно-фокусирующий параболоцилиндрический зеркальный отражатель и приемник в виде полосы, установленный параллельно фокальной оси основного отражателя, в котором основной зеркальный отражатель выполнен в виде одной ветви параболоцилиндрического отражателя, снабжен вторым полуцилиндрическим зеркальным отражателем, а также третьим

зеркальным полуцилиндрическим отражателем, причем третий зеркальный отражатель снабжен устройством поворота вокруг своей оси (патент РФ №2206837, МПК F24J 2/14, опубликован 2003 г.).

Недостатками известного солнечного модуля являются:

- снижение оптического КПД модуля вследствие многократного, не менее 3-х раз на каждом концентраторе, отражения солнечных лучей от концентраторов, а также вследствие поглощения отраженных лучей при прохождении через ограждающие ФЭП стеклянные элементы, следовательно, снижение и общего КПД преобразования солнечной энергии в тепловую и электрическую;

- усложнение конструкции модуля;

- сложность юстировки 2-3-х концентраторов и приемников концентрированного излучения;

- затенение дополнительными концентраторами основного.

Задачей предлагаемого изобретения является обеспечение работы фотоприемника солнечного модуля при средних концентрациях и оптимальном освещении фотоприемника, повышение эффективности нагрева теплоносителя (воды) и снижение стоимости вырабатываемой энергии.

В результате использования предлагаемого изобретения повышается общее КПД модуля (теплового и электрического), появляется возможность более эффективной выработки тепловой энергии и нагрева теплоносителя за счет формирования оптимальной освещенности концентрированным излучением на поверхности линейчатого фотоприемника с треугольным профилем, выполненным полым для потока теплоносителя.

Вышеуказанный технический результат достигается тем, что в солнечном модуле с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором и фотоприемником с треугольным профилем, содержащем асимметричный из одной ветви параболоцилиндрического типа концентратор с зеркальной внутренней поверхностью отражения, и линейчатый фотоприемник, расположенный в фокальной области с равномерным распределением концентрированного излучения вдоль цилиндрической

оси,

согласно изобретению, линейчатый фотоприемник выполнен полым с треугольным профилем для протока теплоносителя, а концентрированное излучение от отражающей поверхности концентратора соответствует условию равномерной продольной освещенности рабочей поверхности фотоприемника, при этом фотоприемник закреплен поворотным вдоль цилиндрической оси устройством на стойках крепления, а распределение площади профиля  $F_n$  и объема  $V_n$  фотоприемника вдоль рабочей поверхности длиной  $L$ , шириной  $d$  с интервалом  $\Delta d$  определяются соотношением:

$$F_n = \Delta d [h_1 + \Delta h(n-1)/N + \Delta t g a / 2], \Delta h = (h - h_1)/N, \Delta d = d/N, V_n = F_n L,$$

где  $n$  изменяется в интервалах  $n=1, 2, 3 \dots N$ ;

$h_1$  - минимальная высота профиля фотоприемника;

$h$  - максимальная высота профиля фотоприемника,

а распределение температуры нагрева теплоносителя по профилю фотоприемника определяется с учетом распределения концентрации  $K_n$  солнечного излучения по ширине фотоприемника  $d$ , формы профиля фотоприемника и определяется системой уравнений, соответствующей условию соответствия среднего значения распределенной температуры  $T_{cp}$  и выходной температуры теплоносителя  $T_{вых}$  ( $T_{cp} = T_{вых}$ ):

$$n^* = V_n / V_{min}, n^*_{max} = V_{max} / V_{min}, \Delta T_1 = \Delta T_{cp} / n^*_{max}, \Delta T_{cp} = (T_{вых} - T_{вх}),$$

$$T^*_n = T_{пл} + [\Delta T_1 n^* f(K_n)],$$

$$f(K_n) = K_r / K_n, T_n = T^*_n k_{кор} - T_{пл} + T_{вх}, k_{кор} = (T_{пл} + \Delta T_{cp}) / T^*_{ncp},$$

$$T^*_{ncp} = \sum_{n=1}^N T^*_n / N,$$

где  $V_{min}$  - минимальное значение объема фотоприемника вдоль рабочей поверхности длиной  $L$ , шириной  $d$  с интервалом  $\Delta d$  в интервалах  $n=1, 2, 3 \dots N$ ;

$V_{max}$  - максимальное значение объема фотоприемника вдоль рабочей поверхности длиной  $L$ , шириной  $d$  с интервалом  $\Delta d$  в интервалах  $n=1, 2, 3 \dots N$ ;

$T_{вх}$  - входная температура теплоносителя;

$T_{пл}$  - температура плавления,  $K$  (фазового перехода тв/ж);

$f(K_n)$  - функция распределения концентрации по ширине фотоприемника, причем среднее значение распределенной температуры (граничное условие);

$T_{ncp} = \sum T_n / N = T_{вых}$  равно выходной температуре теплоносителя, а энергия нагрева теплоносителя определяется соотношением:

$$Q_n = m_n c \frac{[\lambda/\eta]_{(T_n)}}{[\lambda/\eta]_{(T_{cp})}} (T_n - T_{вх}),$$

где,  $T_n = T_n^* k_{кор} - T_{пл} + T_{вх}$ ,

$[\lambda/\eta]_{(T_n)}$  - отношение теплопроводности к вязкости воды при температуре нагрева по профилю приемника  $T_n$ ,

$[\lambda/\eta]_{(T_{cp})}$  - отношение теплопроводности к вязкости при среднем значении температуры  $T_{cp} = T_{вых}$  воды,

время нагрева теплоносителя до  $T_{cp} = T_{вых}$  определяется соотношением:

$$t = \frac{1}{P} \sum_{n=1}^N Q_n,$$

где  $P = P_{п} - P_{конв} - P_{рад}$ ;

$P_{п}$  - поглощенный приемником поток  $P_{п} = \eta_{опт} E_c F_{пп} K_G$ ;

где теплотери в окружающую среду конвективные  $P_{конв}$ , радиационные  $P_{рад}$ ;

$K_G$  - геометрическая концентрация;

$\eta_{опт}$  - оптический КПД;

$E_c$  - удельная мощность солнечного излучения;

$F_{пп}$  - площадь миделя концентратора,

нагрев массы теплоносителя в единицу времени  $m^*$  (расход) до  $T_{cp} = T_{вых}$  определяется соотношением:

$$m^* = m/t, (m = \rho V),$$

где  $m$  - масса теплоносителя;

$\rho$  - плотность теплоносителя;

$V$  - объем нагреваемого теплоносителя в фотоприемнике,

тепловая мощность теплоносителя определяется соотношением:

$$P_T = m^* c (T_{вых} - T_{вх}),$$

где  $c$  - теплоемкость теплоносителя;

$T_{вх}$ ,  $T_{вых}$  температуры на входе и выходе фотоприемника,

тепловой КПД модуля (коэффициент полезного использования мощности солнечного излучения) определяется соотношением:  $\eta_T = P_T / E_c F_{пп}$ .

Сущность изобретения поясняется фиг. 1-8.

На фиг. 1 представлена схема конструкции солнечного модуля с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором с равномерным распределением концентрированного излучения на линейчатой поверхности фотоприемника.

5 На фиг. 2 представлен ход лучей от асимметричного параболоцилиндрического концентратора до фотоприемника.

На фиг. 3 представлена расчетная форма концентратора и фотоприемника солнечного модуля.

На фиг. 4 представлена форма профиля фотоприемника солнечного модуля.

10 На фиг. 5 представлены графики распределения концентрации освещенности на рабочей поверхности фотоприемника модуля по ширине  $d$  фокальной области.

На фиг. 6 представлены графики распределения температуры нагрева теплоносителя модуля при различных функциях распределения концентрации освещенности на рабочей поверхности фотоприемника модуля по ширине  $d$  фокальной области.

15 На фиг. 7 представлены графики зависимости температуры от расхода теплоносителя модуля при различных функциях распределения концентрации освещенности на рабочей поверхности фотоприемника модуля (точками обозначены экспериментальные данные).

На фиг. 8 представлены графики зависимости теплового КПД от расхода теплоносителя модуля при различных функциях распределения концентрации освещенности на рабочей поверхности фотоприемника модуля (точками обозначены экспериментальные данные).

Солнечный модуль на фиг. 1 состоит из асимметричного параболоцилиндрического концентратора 1, закрепленного на стойках 2,

25 линейчатого фотоприемника 3 шириной  $d$ , длиной  $L$ , снабженного поворотным устройством 4, закрепленного на опорных стойках крепления 5, устройства протока теплоносителя 6, со штуцерами 7 для входа и выхода теплоносителя.

Асимметричный параболоцилиндрический концентратор 1 солнечного модуля на фиг. 2 с рабочим профилем концентрирует солнечное излучение за фокальной областью на рабочей поверхности фотоприемника 3 шириной  $d_0$ , длиной  $L$ ; лучи от верхней части концентратора приходят на нижнюю часть, а лучи от нижней части концентратора приходят на верхнюю часть фотоприемника 3.

35 Форма отражающей поверхности концентратора  $X(Y)$  определяется системой уравнений соответствующей условию равномерной освещенности рабочей поверхности фотоприемника, выполненного в виде линейки шириной  $d_0$  и длиной  $L$  и расположенным под углом к миделю концентратора:

$$X_n = (f - Y_n) / \operatorname{tg} \alpha_n,$$

$$40 \quad d_n = \ell_B \sin \xi_0 / \sin \alpha_n, \quad \xi_0 = \pi/2 + \beta,$$

$$X_H = d_0 \sin \beta, \quad Y_H = f - X_H \operatorname{tg} \beta,$$

$$45 \quad \ell_B = d_0 \sin(\beta_H - \beta) / \sin \xi_0, \quad X_B = 0,$$



$$Y_B = Y_H + d \cos \beta_H, \quad \ell_H = d_0 \sin \beta_B / \cos \beta, \quad Y_a = R^2 / 4f, K_f = R / d_0,$$

5 где  $\alpha_n$  - 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 фотоприемнике шириной  $d_0$ , где  $n$  выбирается из ряда целых чисел  $n=1, 2,$   
 10  $3 \dots N$ ;

$\xi_0$  - угол между координатной осью  $OY$  и лучом отраженным от верхней точки  
 координат  $Y_a, R$  концентратора приходящем в нижнюю точку координат фотоприемника  
 $X_H, Y_H$ ;

15

20

$\beta_H$  - угол между фотоприемником и отрезком

25



30

(между нижней точкой координат фотоприемника  $X_H, Y_H$  и фокусным расстоянием  $f$   
 параболы);

35

40

$\beta_B$  - угол между отрезком

(между верхней

45



точкой координат фотоприемника  $X_B, Y_B$  и фокусным расстоянием  $f$  параболы) и

поверхностью фотоприемника;

$\beta$  - угол между лучом, отраженным от верхней точки координат  $Y_a, R$  концентратора и прямой  $Y=f$  параллельной оси абсцисс;

при этом значения параметров  $f, \beta, k$  выбираются в соответствии с граничными условиями, а геометрическая концентрация освещенности фотоприемника  $K_n$  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 формы отражающей поверхности концентратора и координат фотоприемника - график зависимости  $Y(X)$  (фиг. 3).

На фиг. 4 представлена форма профиля фотоприемника солнечного модуля.

На фиг. 5 представлены графики распределения концентрации освещенности на рабочей поверхности фотоприемника модуля по ширине  $d$  фокальной области.

При уменьшении ширины  $d_0$  фотоприемника 3, (при уменьшении площади) происходит увеличение концентрации освещенности фотоприемника 3.

Таким образом, можно изменять концентрацию освещенности фотоприемника 3, не меняя габаритных размеров концентратора 1 и фотоприемника.

Из приведенных характеристик видно, что при различном распределении концентрации освещенности по ширине фокальной области фотоприемника 3 происходит различное влияние на объемный нагрев теплоносителя в различных частях полости фотоприемника, что влияет на тепловые характеристики солнечного модуля.

Расчет тепло-массо переноса осуществляется в соответствии с общими теплотехническими формулами:

$$Q_{\text{ПП}} = \eta_{\text{ОПТ}} R F_{\text{ПП}} K_{\text{ГЕОМ}}, N = Q_{\text{ФЭ}} \eta_{\text{ФЭ}}$$

$$Q_{\text{КОНВ}} = \alpha (t_c - t_a) F, \quad \alpha = 5,7 + 3,8 V, \quad Q_{\text{РАД}} = \varepsilon \sigma (T_c^4 - T_a^4) F,$$

$$Q = Q_{\text{ПП}} - N - Q_{\text{КОНВ}} - Q_{\text{РАД}}, \quad m = Q / c_p (t_{\text{ВЫХ}} - t_{\text{ВХ}}), \quad W = m / \gamma F_{\text{ПС}}, \quad Re = wd_{\text{ЭКВ}} / \nu, \quad \alpha_{\text{Ж}} = Nu \lambda_{\text{Ж}} / d_{\text{ЭКВ}}, \quad Q_{\text{В}} = \alpha_{\text{Ж}} (t_c - t_{\text{Ж}}) F, \quad \eta = \eta_0 [1 - k(T_f - T_0)],$$

где  $Q_{\text{ПП}}$  - поглощенный поток приемником,  $\eta_{\text{ОПТ}}$  - оптический КПД,  $R$  - прямая солнечная радиация,  $F_{\text{ПП}}$  - площадь приемной поверхности,  $K_{\text{ГЕОМ}}$  - геометрическая концентрация,  $N$  - мощность электрическая,  $\eta_{\text{ФЭ}}$  - КПД ФЭ  $Q_{\text{ФЭ}}$  - поглощенный поток фотоэлементами,  $Q_{\text{КОНВ}}$  - конвективные теплотери,  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи,  $t_c$ , °С - средняя температура стенки приемника,  $t_a$ , °С - температура среды,  $V$  - скорость ветра,  $Q_{\text{РАД}}$  - радиационные теплотери,  $\varepsilon$  - степень черноты стенки,  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана,  $T_c$ , К - средняя температура стенки приемника,  $T_a$ , К - температура среды,  $Q$  - поток для охлаждения теплоносителем,  $m$  - массовый расход воды,  $c_p$  - удельная теплоемкость,  $t_{\text{ВЫХ}}$ ,  $t_{\text{ВХ}}$  - температура воды на выходе и входе приемника,  $W$  - скорость потока воды,  $\gamma$  - плотность воды,  $F_{\text{ПС}}$  - площадь поперечного сечения приемника,  $d_{\text{ЭКВ}}$  - эквивалентный диаметр поперечного сечения приемника,  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости воды,  $Re$  - число Рейнольдса,  $Nu$  - число

Нуссельта,  $\alpha_{\text{ж}}$  - коэффициент теплоотдачи от стенки к воде,  $t_{\text{ж}}$  - средняя температура воды,  $\lambda_{\text{ж}}$  - коэффициент теплопроводности воды,  $Q_{\text{в}}$  - тепловой поток, отводимый водой,  $\eta_t$  - зависимость к.п.д. ФЭ от температуры,  $\eta_0$  - к.п.д. ФЭ при стандартной температуре  $T_0=298$  К,  $T_f$  - температура ФЭ,  $k$  - температурный коэффициент.

Зависимость теплопроводности воды от температуры нагрева  $\lambda=f(T)$ , получена в соответствии с разработанной системой уравнений:

$$\lambda_t = (\lambda_0)^{a^*}, T_{\dot{\alpha}} = 1,1 T_{\text{пл}}(K) \dot{\alpha}^{0,96/\dot{\alpha}^2}; b = \log_{[T_{\text{пл}}]} T_{\dot{\alpha}}, d_k = e^{[\dot{\alpha}(T_k)]}; a^* = (\dot{\alpha} b)^{[\dot{\alpha} d_k]}$$

где для воды  $\dot{\alpha} = T_{\text{пл}}/T^*$  - отношение температуры

плавления (К) к температуре нагрева воды (К);

$$\dot{\alpha}(T_k)$$

- значение коэффициента

$$\dot{\alpha} = T_{\text{пл}}/T^*$$

при температуре кипения (фазового перехода ж/пар) воды  $T^*=T_k$ , (К),

где  $T_{\text{пл}}$  - температура плавления, К (фазового перехода тв/ж);

$\Delta T$  - температура нагрева воды, С;

$T^*=T_{\text{пл}}+\Delta T$  - температура нагрева воды, К;

$\lambda_0$  - теплопроводность воды (льда) при температуре плавления;

$\lambda_t$  - теплопроводность воды при температуре нагрева.

Зависимость динамической вязкости воды от температуры нагрева  $\eta=f(T)$ , получена в соответствии с разработанной системой уравнений:

$$\eta = \frac{\eta_0 A^*}{b^* (b^* + b)^2}, b_{\eta} = \log_{[1/(\dot{\alpha})]} 2,36/\dot{\alpha}, b^* = \dot{\alpha}^{[2,3-(1/\dot{\alpha})]}, A^* = \dot{\alpha}^{(9,3\dot{\alpha})}$$

где  $\eta_0$  - динамическая вязкость воды при температуре плавления;

$\eta$  - динамическая вязкость воды при температуре нагрева;

$T_{\text{пл}}$  - температура плавления, К;

$\Delta T$  - температура нагрева теплоносителя, С;

$T^*=T_{\text{пл}}+\Delta T$  - температура нагрева теплоносителя (К);

$$\alpha = T_{пл} / T^* \quad - \text{отношение температуры плавления (К) к}$$

5 температуре нагрева теплоносителя (К).

На основании приведенных формул произведен расчет зависимости характеристик солнечного модуля КПД  $\eta_{(T)}$ , расхода воды  $m_{(T)}$  от температуры.

На фиг. 6 представлены графики распределения температуры нагрева воды модуля при различных функциях распределения концентрации освещенности на рабочей  
10 поверхности фотоприемника модуля по ширине  $d$  фокальной области.

На фиг. 7 представлены графики зависимости температуры от расхода воды модуля при различных функциях распределения концентрации освещенности на рабочей поверхности фотоприемника модуля (точками обозначены экспериментальные данные).

На фиг. 8 представлены графики зависимости теплового КПД от расхода воды  
15 модуля при различных функциях распределения концентрации освещенности на рабочей поверхности фотоприемника модуля (точками обозначены экспериментальные данные).

Работает солнечный теплофотоэлектрический модуль с концентратором следующим образом.

Солнечное излучение, попадая на рабочую поверхность асимметричного  
20 параболоцилиндрического концентратора 1 солнечного модуля (фиг. 1), отражается под расчетными углами наклона таким образом, чтобы они

обеспечивали равномерную концентрацию лучей на фотоприемнике 3 модуля, выполненного в виде линейки шириной  $d_0$  и длиной  $L$ , а устройство протока

теплоносителя 6 выполнено в виде трубопровода с треугольным в поперечном сечении  
25 профилем, в котором нагревается теплоноситель (вода).

Регулируя скорость протока и расход теплоносителя, можно оптимизировать нагрев теплоносителя, тепловой КПД (коэффициент преобразования солнечной энергии в тепловую) солнечного модуля.

30 Пример выполнения солнечного теплового модуля с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором

Концентратор 1 (фиг. 1) длиной  $L=700$  мм, шириной  $R_{max}=660$  мм, высотой 350 мм выполнен из алюминиевого листа толщиной 0,3 мм с зеркально отражающей внутренней поверхностью закреплен на стойках 2, с расчетным рабочим профилем, обеспечивающим  
35 равномерную концентрацию лучей в продольном направлении линейчатого фотоприемника 3 модуля шириной  $h_0=66$  мм, длиной  $L=700$  мм, с устройством протока теплоносителя 6, выполненного в виде трубопровода с треугольным профилем размером  $80 \times 80 \times 10$  мм и длиной  $L=700$  мм, со штуцерами 6 для входа и выхода теплоносителя и закрепленного на стойках.

40 Средняя концентрация освещенности на поверхности фотоприемника модуля составляет  $K \sim 10$  крат.

С целью регулирования (оптимизации при различных углах поворота фотоприемника  $\beta_v$  относительно ординаты  $OY$ ) распределения концентрации освещенности по ширине фокального пятна линейчатый полый фотоприемник треугольной формы в поперечном  
45 сечении для протока теплоносителя закреплен поворотным вдоль цилиндрической оси устройством 4 на стойках крепления 5.

Таким образом, предложенный модуль солнечного концентрированного излучения с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором 1 обеспечивает: достаточно

равномерное распределение освещенности со средней концентрацией  $K \sim 10$  крат на рабочей поверхности фотоприемника 3 модуля, повышая КПД преобразования солнечной энергии в тепловую за счет оптимизации распределения концентрации освещенности по ширине фокального пятна линейчатого полого фотоприемника

треугольной формы для протока теплоносителя.  
 На основании приведенных расчетов в зависимости от натуральных условий - плотности потока солнечного излучения, скорости ветра, температуры среды; конструктивных параметров модуля - формы и размеров концентратора и фотоприемника, оптического КПД, применяемых материалов, расхода теплоносителя (воды), - можно прогнозировать

#### (57) Формула изобретения

Солнечный модуль с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором и фотоприемником с треугольным профилем, содержащий асимметричный из одной

ветви параболоцилиндрического типа концентратор с зеркальной внутренней

поверхностью отражения, и линейчатый фотоприемник, расположенный в фокальной

области с равномерным распределением концентрированного излучения вдоль

цилиндрической оси, отличающийся тем, что линейчатый фотоприемник выполнен

полым с треугольным профилем для протока теплоносителя, а концентрированное

излучение от отражающей поверхности концентратора соответствует условию

равномерной продольной освещенности рабочей поверхности фотоприемника, при

этом фотоприемник закреплен поворотным вдоль цилиндрической оси устройством

на стойках крепления, а распределение площади профиля  $F_n$  и объема  $V_n$  фотоприемника

вдоль рабочей поверхности длиной  $L$ , шириной  $d$  с интервалом  $\Delta d$  определяются

соотношением:

$$F_n = \Delta d [h_1 + \Delta h(n-1)/N + \Delta d \tan \alpha / 2], \Delta h = (h - h_1)/N, \Delta d = d/N, V_n = F_n L,$$

где  $n$  изменяется в интервалах  $n=1, 2, 3 \dots N$ ;

$h_1$  - минимальная высота профиля фотоприемника;

$h$  - максимальная высота профиля фотоприемника,

а распределение температуры нагрева теплоносителя по профилю фотоприемника определяется с учетом распределения концентрации  $K_n$  солнечного излучения по ширине фотоприемника  $d$ , формы профиля фотоприемника и определяется системой уравнений соответствующей условию соответствия среднего значения распределенной температуры  $T_{cp}$  и выходной температуры теплоносителя  $T_{вых}$ :

$$n^* = V_n / V_{min}, n^*_{max} = V_{max} / V_{min}, \Delta T_1 = \Delta T_{cp} / n^*_{max}, \Delta T_{cp} = (T_{вых} - T_{вх}),$$

$$T^*_n = T_{пл} + [\Delta T_1 n^* f(K_n)],$$

$$f(K_n) = K_r / K_n, T_n = T^*_n k_{кор} - T_{пл} + T_{вх}, k_{кор} = (T_{пл} + \Delta T_{cp}) / T^*_{ncp},$$

$$T^*_{ncp} = \sum_{n=1}^N T^*_n / N,$$

где  $V_{min}$  - минимальное значение объема фотоприемника вдоль рабочей поверхности длиной  $L$ , шириной  $d$  с интервалом  $\Delta d$  в интервалах  $n=1, 2, 3 \dots N$ ;

$V_{\max}$  - максимальное значение объема фотоприемника вдоль рабочей поверхности длиной  $L$ , шириной  $d$  с интервалом  $\Delta d$  в интервалах  $n=1, 2, 3 \dots N$ ;

$T_{\text{вх}}$  - входная температура теплоносителя;

$T_{\text{пл}}$  - температура плавления, К (фазового перехода тв/ж);

$f(K_n)$  - функция распределения концентрации по ширине фотоприемника, причем среднее значение распределенной температуры (граничное условие)

$T_{\text{ср}} = \sum T_n / N = T_{\text{вых}}$  равно выходной температуре теплоносителя,

а энергия нагрева теплоносителя определяется соотношением:

$$Q_n = m_n c \frac{[\lambda/\eta]_{(T_n)}}{[\lambda/\eta]_{(T_{\text{ср}})}} (T_n - T_{\text{вх}}),$$

где,  $T_n = T_n^* k_{\text{кор}} - T_{\text{пл}} + T_{\text{вх}}$ ,

$[\lambda/\eta]_{(T_n)}$  - отношение теплопроводности к вязкости воды при температуре нагрева по профилю приемника  $T_n$ ,

$[\lambda/\eta]_{(T_{\text{ср}})}$  - отношение теплопроводности к вязкости при среднем значении температуры  $T_{\text{ср}} = T_{\text{вых}}$  воды,

время нагрева теплоносителя до  $T_{\text{ср}} = T_{\text{вых}}$  определяется соотношением

$$t = \frac{\sum_{n=1}^N Q_n}{P},$$

где  $P = P_{\text{п}} - P_{\text{конв}} - P_{\text{рад}}$ ,

$P_{\text{п}}$  - поглощенный приемником поток  $P_{\text{п}} = \eta_{\text{опт}} E_{\text{с}} F_{\text{пп}} K_{\text{г}}$ ,

где теплотери в окружающую среду конвективные  $P_{\text{конв}}$ , радиационные  $P_{\text{рад}}$ ;

$K_{\text{г}}$  - геометрическая концентрация;

$\eta_{\text{опт}}$  - оптический КПД;

$E_{\text{с}}$  - удельная мощность солнечного излучения;

$F_{\text{пп}}$  - площадь миделя концентратора,

нагрев массы теплоносителя в единицу времени  $m^*$  (расход) до  $T_{\text{ср}} = T_{\text{вых}}$  определяется соотношением:

$m^* = m/t$ , ( $m = \rho V$ ),

где  $m$  - масса теплоносителя;

$\rho$  - плотность теплоносителя;

$V$  - объем нагреваемого теплоносителя в фотоприемнике, тепловая мощность теплоносителя определяется соотношением:

$$P_T = m * c (T_{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВХ}}),$$

5

где  $c$  - теплоемкость теплоносителя;

$T_{\text{ВХ}}, T_{\text{ВЫХ}}$  температуры на входе и выходе фотоприемника,

тепловой КПД модуля (коэффициент полезного использования мощности солнечного излучения) определяется соотношением:

10

$$\eta_{(T)} = P_T / E_c F_{\text{ПП}}.$$

15

20

25

30

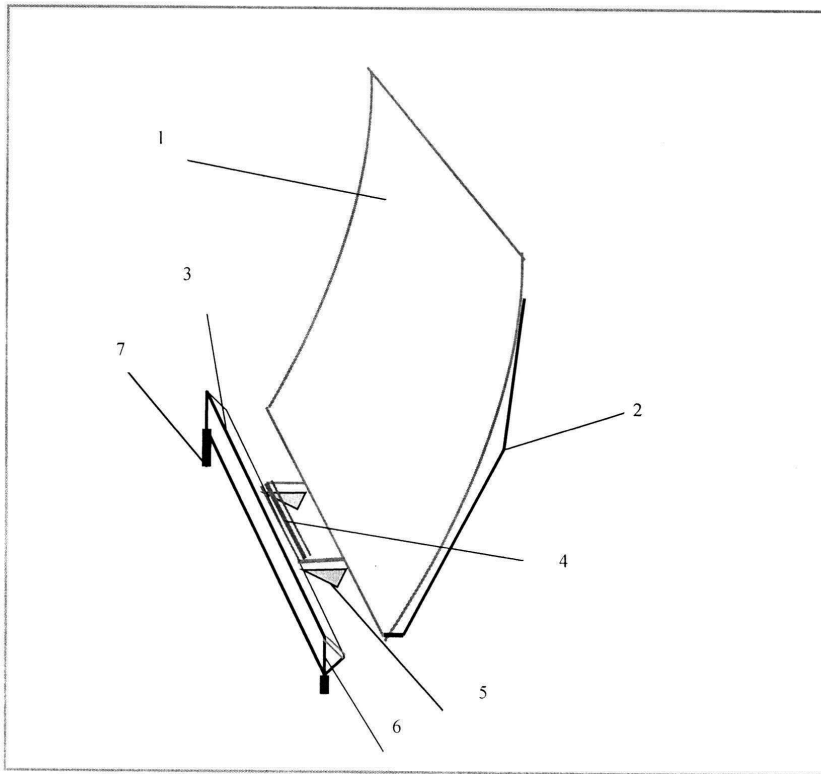
35

40

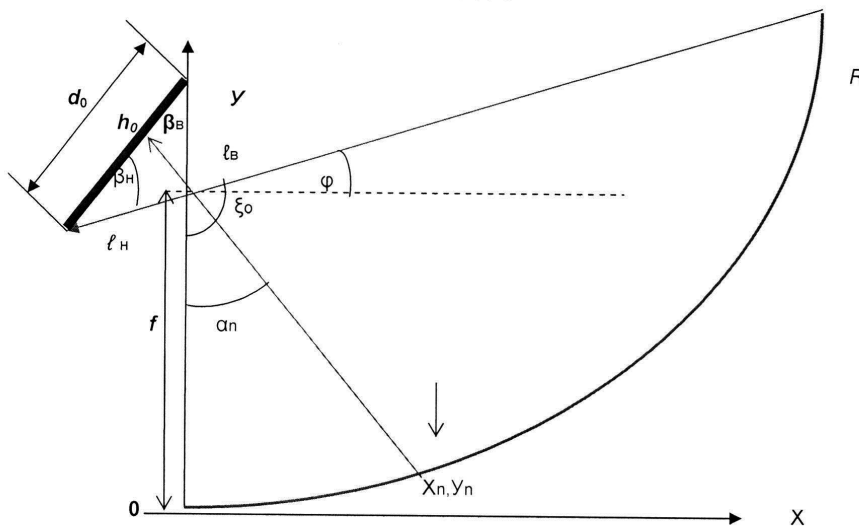
45

1

СОЛНЕЧНЫЙ МОДУЛЬ С АСИММЕТРИЧНЫМ ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМ  
 КОНЦЕНТРАТОРОМ И ФОТОПРИЕМНИКОМ С ТРЕУГОЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ



Фиг. 1



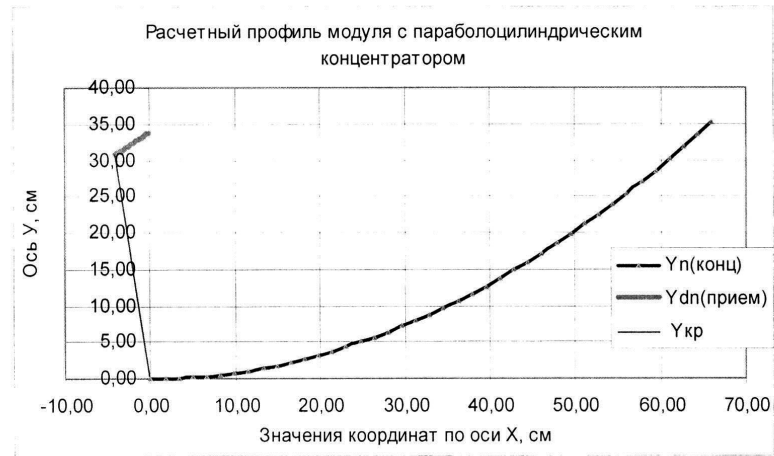
Фиг. 2

2

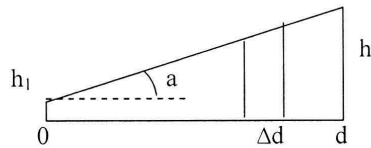




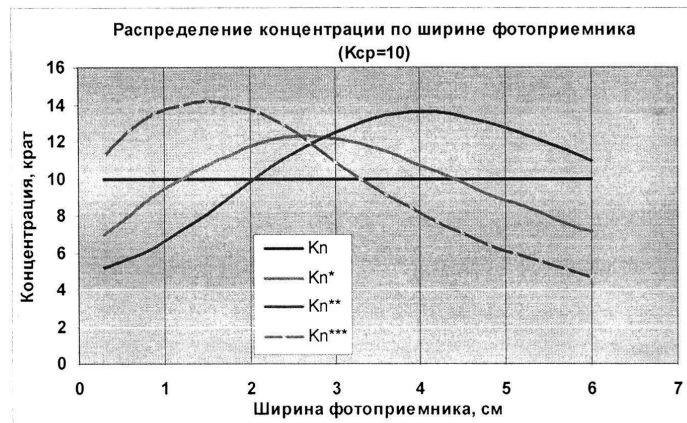
СОЛНЕЧНЫЙ МОДУЛЬ С АСИММЕТРИЧНЫМ ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМ  
 КОНЦЕНТРАТОРОМ И ФОТОПРИЕМНИКОМ С ТРЕУГОЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ



Фиг. 3

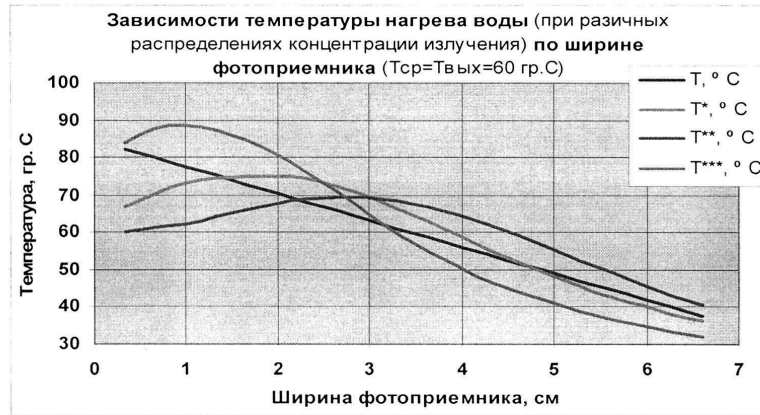


Фиг. 4

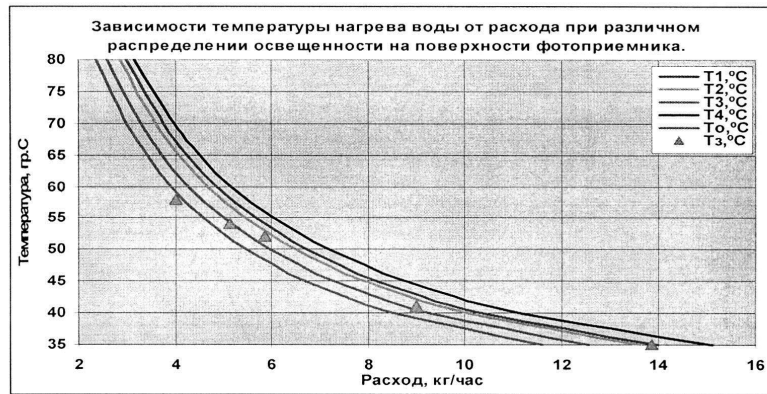


Фиг. 5

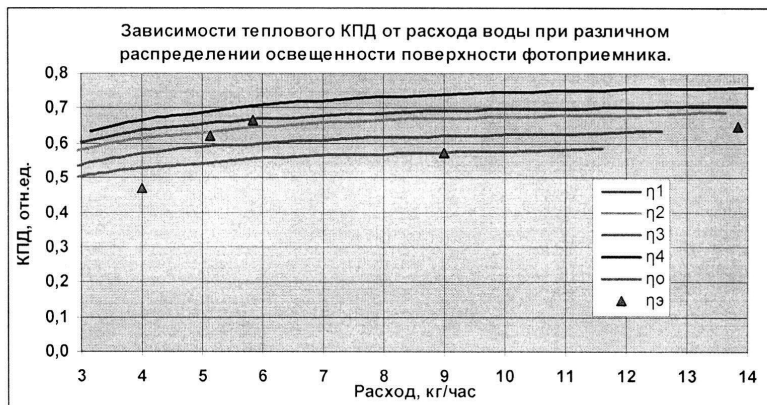
СОЛНЕЧНЫЙ МОДУЛЬ С АСИММЕТРИЧНЫМ ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМ  
 КОНЦЕНТРАТОРОМ И ФОТОПРИЕМНИКОМ С ТРЕУГОЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8