

P.A. Nesterenkov, L.A. Nesterenkova

(al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan,

E-mail: nesnerenkova@gmail.com)

CONVERSION OF SOLAR ENERGY BY Λ - SHAPED PHOTOVOLTAIC MODULES

Abstract. Methods for improving the efficiency of converting solar radiation into linear photovoltaic modules of a new type with concentrators are considered. Cooled silicon solar cells on the front walls generate electrical energy for the charge system of chemical batteries, and thermal energy transmitted through the channel walls to the coolant. An analytical expression is obtained for determining the optical concentration of the system when placing flat mirrors on a supporting structure along a virtual parabolic surface. A method for calculating heat losses by radiation in cooled Λ - shaped photovoltaic modules is presented. It is shown that the total heat loss is $\approx 37\%$ less than the heat loss in the known V-shaped photovoltaic modules.

Keywords: photocells, optical concentrator, sun tracking system, photovoltaic modules, heat exchanger, circulation system, cogeneration unit.

П.А. Нестеренков, Л.А. Нестеренкова

(Казахский Национальный университет имени аль-Фараби; Республика Казахстан, Алматы

e-mail: nesnerenkova@gmail.com)

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ Λ - ОБРАЗНЫМИ ФОТОМОДУЛЯМИ

Аннотация. Рассмотрены способы улучшения эффективности преобразования солнечного излучения линейными фотомодулями нового типа с концентраторами. Охлаждаемые кремниевые фотоэлементы на фронтальных стенках вырабатывают электрическую энергию, поступающую в систему заряда химических аккумуляторов, и тепловую энергию, передаваемую через стенки каналов теплоносителю. Получено аналитическое выражение для определения оптической концентрации системы при размещении плоских зеркал на несущей конструкции вдоль виртуальной параболической поверхности. Представлена методика расчета тепловых потерь излучением в охлаждаемых Λ - образных фотомодулях. Показано, что суммарные тепловые потери меньше на $\approx 37\%$ по сравнению с тепловыми потерями в известных V - образных фотомодулях.

Ключевые слова: фотоэлементы, оптический концентратор, система слежения за солнцем, фотомодуль, теплообменник, циркуляционная система, когенерационная установка

ВВЕДЕНИЕ Когенерационные установки на основе трехпереходных фотоэлементов InGaAs с концентрацией солнца более 400 крат, вырабатывающие одновременно электрическую и тепловую энергию, не получили широкого распространения из-за дефицита редкоземельных элементов и высокой стоимости концентраторов с системой слежения за солнцем [1]. Более перспективными для распределенной солнечной энергетики являются установки с малой концентрацией солнца и кремниевыми фотоэлементами с небольшим внутренним последовательным сопротивлением. Coventry в 2005 при 30 кратной концентрации солнечного излучения получил электрическую и тепловую мощность с соотношением $\approx 11/57$ при температуре теплоносителя $\approx 65^\circ\text{C}$ [2]. В установке Cogenra Solar (США) с десятикратной концентрацией излучения на линейных фотомодулях (ФМ) получена удельная мощность по электричеству $\approx 99 \text{ Вт/м}^2$ и теплу $\approx 498 \text{ Вт/м}^2$ [3]. Кремниевые фотоэлементы, работающие в режиме интенсивной когенерации, преобразуют в электричество $\approx 18\%$ солнечной энергии, а остальная часть превращается в тепловую энергию теплоносителя.

В данной работе представлены способы повышения эффективности преобразования солнечной энергии с применением относительно дешевых рыночных фотоэлементов типа Махеоп и снижения тепловых потерь излучением и конвекцией с фронтальных стенок линейных ФМ.

МЕТОДЫ

Оптическая система. Солнечные концентраторы оцениваются с помощью трех технических параметров: зеркального отражения K_r , пропускания K_d , характеризующего оптические потери при прохождении света через стекла зеркал и защитных ограждений, и геометрического коэффициента концентрации K_g . Производство концентраторов постоянно совершенствуется за счет использования новых материалов и технологий. Для разработчиков когенерационных установок сегодня рынок

предлагает зеркала с коэффициентом отражения $\approx 0,95$ [4,5]. В промышленных установках используются параболические зеркала и термические стекла для фотоэлементов толщиной более ≈ 4 мм, из-за чего теряется до $\approx 8\%$ солнечной энергии [6]. Концентраторы из плоских зеркал создают более равномерную фокусировку отраженного солнечного излучения на массиве фотоэлементов, проще в изготовлении и монтаже [7]. В Λ -образных ФМ необходимость в защитных термических стеклах на фронтальных стенках отпадает. С переходом на тонкие зеркала и устранением защитных толстых ограждений на фотоэлементах мы значительно увеличили коэффициент пропускания солнечного излучения в оптической системе до $\approx 0,96$. С целью создания модели расчета оптической концентрации совместим проекции центров фронтальных стенок с фокусами параболических поверхностей, вдоль которых размещены зеркала. Направим ось X через их вершины, ось Y через центры фронтальных стенок, а ось Z вдоль оси вращения несущей конструкции. На Рис. 1. представлена оптическая схема отражения лучей и фотография одного из вариантов солнечного концентратора.

По определению типа математической кривой координаты точек параболы удовлетворяют уравнению: $x^2 = 4 \cdot f \cdot y$, где f – величина фокуса, т.е. расстояние от вершины параболы до центра фронтальной стенки – точки F [8].

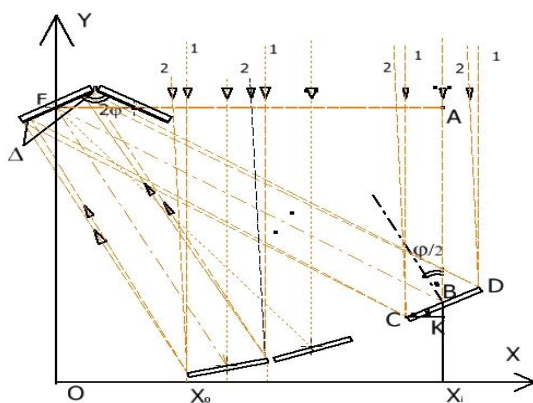


Рис. 1. Оптическая схема и лабораторная установка с фотомодулями

Обозначим смещение солнечных лучей в период останова следящей за солнцем несущей конструкции δ_0 , ширину зеркал b_Z , расстояние между ними δ , а координаты их центров X_i и Y_i . Соединим линию фокуса F с центрами зеркал. В соответствии с законами геометрической оптики угол падения лучей $\frac{\varphi_i}{2}$ равен углу отражения, и проекции фронтальных стенок и зеркал на ось X равны: $X_0 = \frac{3 \cdot b}{2} \cdot \sin \varphi + \delta_0$ и $\Delta X_i = b_Z \cdot \cos \frac{\varphi_i}{2}$.

По определению парабола является геометрическим местом точек, равноудаленных от ее фокуса, откуда имеем уравнение: $FB = f + Y_i$. Второе уравнение получаем из треугольника ABF : $f - Y_i = FB \cdot \cos \varphi_i$. Из системы двух уравнений получаем координаты центра i -того зеркала: $X_i = 2 \cdot f \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$, $Y_i = f \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2}$. Координаты последних зеркал находим из условия параллельности отраженных лучей и фронтальных стенок при $\varphi_N = \varphi$: $X_N = 2 \cdot f \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$ и $Y_N = f \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2}$, а геометрическая концентрация определяется из выражения:

$$Kg = \frac{b_Z \cdot \sum \cos \frac{\varphi_i}{2}}{b} = 2 \cdot \frac{f}{b} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \frac{b_Z}{2 \cdot b} \cdot \cos \frac{\varphi}{2} - \frac{3}{2} \cdot \sin \varphi - \frac{\delta \cdot (N-1)}{b} \quad (1)$$

Количество зеркал N зависит от угла φ и определяется из выражения $N \approx \frac{X_N}{b_Z \cdot \cos_{cp} \frac{\varphi_i}{2}}$. Из подобия треугольников ABM и BCK получаем соотношение: $\frac{\Delta X_i}{b_Z} = \frac{AB}{FB}$ и находим $\Delta X_i = b_Z \cdot \frac{f - Y_i}{f + Y_i} = b_Z \cdot \frac{4 \cdot f^2 - X_i^2}{4 \cdot f^2 + X_i^2}$. Расстояние центра первого зеркала от оси Y равно: $X_1 = X_0 + \frac{b_Z}{2} \cdot \cos \frac{\varphi_1}{2}$, второго зеркала:

$X_2 = X_0 + b_z \cdot \cos \frac{\varphi_1}{2} + \delta + \frac{b_z}{2} \cdot \cos \frac{\varphi_2}{2}$, и так далее. В итоге получаем уравнение для расчета координат центров зеркал оптического концентратора вдоль оси X:

$$X_i = X_0 + (i - 1) \cdot \delta + b_z \cdot \sum \cos \frac{\varphi_{i-1}}{2} + \frac{b_z}{2} \cdot \cos \frac{\varphi_i}{2} \quad (2)$$

Последовательно вычисляя координаты X_i и проекции зеркал ΔX_i , находим среднюю величину косинуса: $k_g = \cos_{cp} \frac{\varphi_i}{2} = \frac{\sum \cos \frac{\varphi_i}{2}}{N}$. В таблице 1 представлены результаты расчета количества зеркал концентратора и координат периферийного зеркала, а на Рис. 2 показаны графики геометрической концентрации для разных углов φ и фокусных расстояний f при $b = 0,150$ м, $b_z = 0,155$ м, $\delta = 0,006$ м.

Таблица 1. Результаты расчета количества зеркал и координат периферийного зеркала

φ , градусы	45	50	55	60
X_N , м	1,038	1,165	1,303	1,443
N, при $f = 1,25$ м	7	8	9	10
X_N , м	1,45	1,63	1,82	2,02
N, при $f = 1,85$ м	11	12	13	14

Из таблицы и графиков видно, что при $f \approx 1,85$ м и $\varphi \approx 50^\circ$ число зеркал $N = 12$, а геометрическая концентрация достигает $K_g \approx 10,5$. Соответственно, оптическая концентрация равна: $C_{ок} \approx K_r \cdot K_d \cdot K_g \approx 0,94 \cdot 0,97 \cdot 10,5 \approx 9,6$. Меньшее число зеркал, чем в ближайшем аналоге - концентраторе установки Cogenra Solar, уменьшает парусность, повышает устойчивость при турбулентных ветрах, а также снижает удельную стоимость.

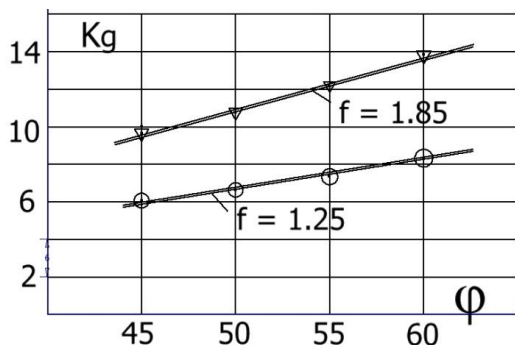


Рис. 2. Графики геометрической концентрации

Координаты зеркал, полученные с применением данной математической модели расчета, хорошо совпадают с координатами зеркал, полученными при разработке конструкции солнечного концентратора с помощью компьютерной программы Inventor 10 фирмы Autodesk. Выражения (1)-(2) являются простыми и удобными и использованы в инженерных расчетах при проектировании прототипа когенерационной установки [9]. Зеркала солнечного качества на рынке комплектующих сегодня можно приобрести за ≈ 17 \$/м² [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Новый тип линейных фотомодулей. В известных аналогах фронтальные стенки с кремниевыми фотоэлементами обращены наружу в виде буквы V, поэтому ФМ теряют тепловую энергию излучением в интервале углов $(0 - \pi)$. В наших ФМ фронтальные стенки обращены встречно друг другу и взаимно экранируют часть тепловой энергии [12]. При этом фотоэлементы всегда защищены от града стенками противоположного канала. Определим величину взаимного экранирования теплового излучения фронтальными стенками. В соответствии с законом Стефана – Больцмана тепловая энергия, излучаемая по нормали к поверхности тела равна $E_n = \frac{\varepsilon}{\pi} \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4$, где T - температура поверхности, $^\circ K$; ε - коэффициент черноты излучения поверхности, $C_0 = 5,67 \frac{Вт}{м^2 \cdot K^4}$. На Рис. 3 показан Λ - образный ФМ в изометрии и по нормали к внешней стенке.

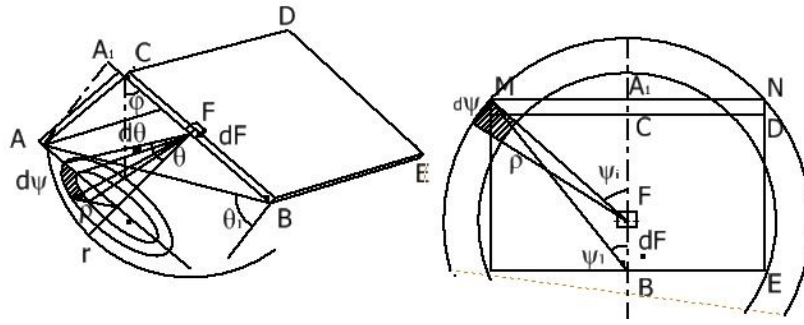


Рис. 3. Схема расчета тепловых потерь с фронтальных стенок ФМ

Для создания математической модели выделим в его сечении площадку dF , из которой направим конус теплового излучения, проходящего через точки M и N противоположной стенки. Площадка dF в соответствии с законом Ламберта излучает в направлении телесного угла $d\Omega$ тепловую энергию [13]:

$$d^2Q = E_n \cdot d\Omega \cdot \cos \vartheta \cdot dF \quad (3)$$

В сферической системе координат поток излучения вырезает в сфере площадь четырехугольника dF_1 , стороны которого равны: $r \cdot d\vartheta$ и $\rho \cdot d\psi = r \cdot \sin \vartheta \cdot d\psi$, где r – радиус сферы; ψ – угол долготы, а ϑ – полярный угол. Следовательно, телесный угол равен: $d\Omega = \frac{dF_1}{r^2} = \sin \vartheta \cdot d\varphi \cdot d\vartheta$. Подставляя его в (4), получим:

$$d^3Q = E_n \cdot dF \cdot \sin \vartheta \cdot \cos \vartheta \cdot d\psi \cdot d\vartheta \quad (4)$$

Проинтегрируем последнее выражение с учетом того, что экранирование теплового излучения фронтальными стенками начинается с угла $\vartheta = \vartheta_1$, а угол ψ изменяется от $-\psi_1$ до $+\psi_1$. В результате получим искомую величину экранируемого теплового излучения:

$$dQ_{\vartheta} = \varepsilon \cdot E_n \cdot dF_1 \cdot \int_{-\psi_1}^{+\psi_1} d\psi \cdot \int_{\vartheta_1}^{\frac{\pi}{2}} \sin \vartheta \cdot \cos \vartheta \cdot d\vartheta = E_n \cdot dF \cdot \psi_1 \cdot \cos^2 \vartheta_1 \quad (5)$$

Расстояние между периферийными точками противоположных фронтальных стенок равно $AB = 2 \cdot b \cdot \sin \varphi$, а $\vartheta_1 = \varphi$. Проекцию кромки AC на плоскость, которая является продолжением противоположной фронтальной стенки, находим из треугольника AA_1C : $x = -b \cdot \cos 2\varphi$. Из треугольника BA_1M имеем $\psi_1 = \arctg \frac{L}{2 \cdot (b+x)} = \arctg \frac{L}{2 \cdot b(1 - \cos 2\varphi)}$. В известных V – образных ФМ тепловое излучение площадки в полупространство определяется выражением: $dQ_V = \pi \cdot dF \cdot E_n$ [14]. Вычтя из него величину экранированного излучения (5) и проинтегрировав полученное выражение по dF , получим:

$$Q_{\Lambda} = \pi \cdot E_n \cdot b \cdot L \cdot \left(1 - \frac{1}{b \cdot L} \int \frac{\psi_i}{\pi} \cdot \cos 2\varphi \cdot dF\right) \quad (6)$$

Поскольку распределение излучения вдоль длины стенок изменяется незначительно, то приближенно интегрирование по площади можно заменить на интегрирование только по одной координате. Разделим ширину стенки на равные площадки $\Delta F_i = \frac{b}{n} \cdot L$ с текущими координатами $b_i = BF = n_i \cdot \frac{b}{n}$, где $n = 10$, n_i меняется от 1 до 10. Согласно Рис. 2, угол $\psi_i = \arctg \frac{L}{2 \cdot b(1 - \cos 2\varphi - \frac{n_i}{n})}$. Проведем следующие обозначения: AB – c , AF – d , сторона треугольника с текущей координатой BF – p , а углы при вершинах треугольника – соответственно A , B и $F = (\frac{\pi}{2} - A + \varphi)$. По теореме косинусов имеем: $d^2 = p^2 + c^2 - 2 \cdot p \cdot c \cdot \cos(\frac{\pi}{2} - \varphi)$. По теореме синусов имеем: $\sin A = \frac{p \cdot \sin(\frac{\pi}{2} - \varphi)}{d}$, откуда находим значение угла ϑ_i в радианах: $\vartheta_i = \varphi - \arcsin \frac{\frac{n_i}{n} \cdot \cos \varphi}{\sqrt{(\frac{n_i}{n})^2 + (\sin \varphi)^2 \cdot (1 + 2 \cdot \frac{n_i}{n})}}$. Заменяя интегрирование (6) суммированием, получим аналитическое выражение для определения теплового излучения с фронтальных стенок:

$$Q_{\Lambda} = \sum_1^n \Delta Q_i = \pi \cdot E_n \cdot 2 \cdot b \cdot L \cdot (1 - \sum_1^{10} \frac{\psi_i}{\pi \cdot n} \cdot \cos^2 \vartheta_i) \quad (7)$$

Произведение перед скобкой равно величине теплового излучения в известных аналогах с площадью стенки $b \cdot L$. Например, установленные последовательно ФМ с $b \cdot L \approx 0,15 \cdot 2,26 \text{ м}^2$ при средней температуре фотоэлементов в них 25°C , 50°C и 70°C , теряют тепловую энергию соответственно: $Q_V \approx 496$; 1048 и 1334 Вт. Величина в скобках учитывает степень взаимного экранирования фронтальных стенок в Λ - образных ФМ, и для $\varphi = 55^\circ$ составляет $0,73$. Поэтому Λ - образные ФМ теряют значительно меньшую тепловую энергию: $Q_{\Lambda} \approx 0,73 \cdot Q_V \approx 362$, 765 и 974 Вт. На Рис.4 показаны кривые теплового излучения прототипа Λ - образного ФМ с разным углом раскрытия фронтальных стенок.

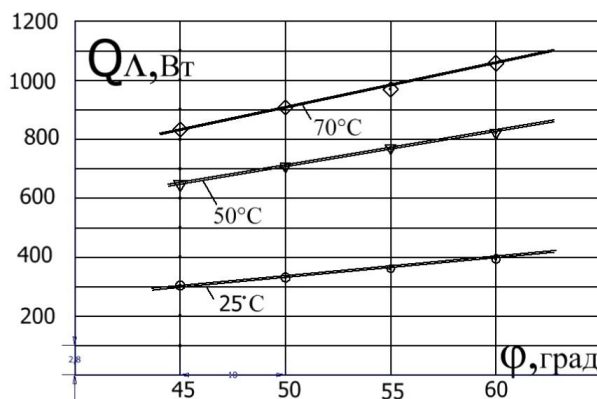


Рис. 4. Тепловое излучение Λ - образных ФМ

Из соотношения $\zeta_1 = \frac{Q_{\Lambda}}{Q_V} \approx (1 - \sum_1^{10} \frac{\psi_i}{\pi \cdot n} \cdot \cos^2 \vartheta_i)$ получаем фундаментальный вывод, что тепловые потери излучением в Λ - образных ФМ с углом раскрытия фронтальных стенок $2\varphi \approx 110^\circ$ меньше чем в известных V - образных на $\approx 27\%$.

Установленные под углом к горизонту горячие фронтальные стенки представляют собой желоб, вдоль которого поднимается и нагревается воздух, формируя защитный тепловой слой. Это второй физический фактор, снижающий конвективные тепловые потери примерно на $\approx 7\%$ [15].

Фронтальные стенки и поверхность теплообменников, расположенных в непосредственной близости от них, обмениваются тепловым излучением. Откуда получаем третий физический фактор,

снижающий тепловые потери: $\zeta_3 \approx \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \cdot \frac{(\frac{T_f}{100})^4 - (\frac{T_T}{100})^4}{(\frac{T_f}{100})^4 - (\frac{T_0}{100})^4}$, где φ_1 и φ_2 – угловые коэффициенты излучения,

T_f , T_0 и T_T – температура фронтальных стенок, окружающей среды и поверхности теплообменников. Например, для $\varphi_1 \approx \varphi_2 \approx 0,7$, $T_f \approx 343 \text{ К}$ и $T_T \approx 310 \text{ К}$ тепловые потери снижаются в среднем на $\approx 3\%$. Теплообменники также нагревают зеркала, поэтому существует четвертый фактор снижения тепловых потерь $\zeta_4 \approx 2\%$. Итак, за счет новых технических решений удалось снизить суммарную величину тепловых потерь в Λ - образных ФМ по сравнению с известными конструкциями на $\sum \zeta \approx 37\%$.

Напряжение в точке максимальной мощности на фотоэлементах Махеоп размером $0,125 \times 0,041 \text{ м}$ равно $\approx 0,57 \text{ В}$ [16]. Откуда получаем количество фотоэлементов на стенках $n \approx 28/0,57$ и габаритную длину канала ФМ: $L \approx n \cdot 0,043 \approx 2,16 \text{ м}$. С ростом температуры напряжение на фотоэлементах снижается на величину $\Delta U_j \approx k_U \cdot \Delta t_j$, где $k_U \approx 1,8 \text{ мВ/}^\circ\text{C}$ – температурный коэффициент напряжения. Для компенсации потерь напряжения $U_T = \sum k_U \cdot \Delta t_j$ вводятся дополнительные фотоэлементы. Фотоэлементы последовательно соединяются с помощью медных проводников с увеличенным сечением. Эксперименты показывают, что температура теплоносителей повышается в каналах линейно на $\Delta t \approx 20^\circ\text{C}$, при этом разность температуры вдоль пластин фотоэлементов не превышает $\approx \frac{\Delta t}{50}$. В каждый последующий канал добавляются по два и три фотоэлемента, а габаритная длина остается небольшой: $\approx (n+2) \cdot 0,043$ и $(n+3) \cdot 0,43$. Малые габариты ФМ упрощают технологию инкапсуляцию фотоэлементов, исчезает необходимость в применении вакуумных термических печей, что обеспечивает снижение себестоимости (know – how).

Контроллер трекера следит за тем, чтобы солнечное отражение всегда перекрывало массив фотоэлементов. Использование малой концентрации солнечного излучения позволило перейти на пошаговое слежение концентратора за солнцем, что значительно снизило стоимость системы. За каждый период останова сфокусированное зеркалами отражение в виде линейной световой полосы смещается вдоль ширины фронтальных стенок на величину $\Delta \approx \tau \cdot R \cdot \omega = (2\pi/24 \cdot 60)$, где τ время останова трекера, R – радиус вращения несущей конструкции ($R > f$), ω – скорость вращения земли. Например, если τ составляет одну минуту, то величина смещения достигает $\Delta \approx 1,9 \cdot 6,28/1440 \approx 0,008$ м.

На основе полученных результатов разработаны лабораторные когенерационные установки с удельной производительностью по электроэнергии ≈ 170 кВт·ч/м² и тепловой энергии ≈ 610 кВт·ч/м² [17].

ВЫВОДЫ

- Разработан солнечный концентратор с оптической эффективностью $\approx 0,85$ для нового типа Λ -образных ФМ с кремниевыми фотоэлементами, работающими при малой концентрации солнца на фронтальных стенках охлаждаемых каналов.
- Получено аналитическое выражение для определения максимальной геометрической концентрации солнечного излучения на массивах фотоэлементов в зависимости от параметров плоских зеркал, размещаемых симметрично относительно центральной плоскости вдоль виртуальной параболической поверхности.
- Кремниевые фотоэлементы работают в режиме интенсивной когенерации, т.е. с высокой температурой эксплуатации, при этом реализуется линейный рост температуры теплоносителей в каналах ФМ, а компенсация температурных потерь напряжения осуществляется за счет добавления дополнительных фотоэлементов.
- Встречное размещение фронтальных стенок с фотоэлементами обеспечивает взаимную экранировку теплового излучения и снижение тепловых потерь излучением на $\approx 27\%$ по сравнению с известными аналогами и самозащиту от града. Кроме того, выполненные в виде желоба каналы ФМ формируют защитный тепловой слой вдоль стенок, снижающий тепловые потери конвекцией на $\approx 7\%$, а размещение линейных теплообменников вдоль оси вращения оптического концентратора вблизи зеркал и каналов ФМ дополнительно снижает тепловые потери излучением на $\approx 3\%$. В итоге суммарное снижение тепловых потерь достигает $\approx 37\%$.
- В построении математической модели расчета концентратора использованы экспериментальные материалы исследований лабораторной установки и разработанные алгоритмы и программы.
- Способы повышения эффективности инновационных Λ -образных ФМ с концентратором создают научную основу для проектирования прототипа когенерационных установок с удельной производительностью по электроэнергии ≈ 170 кВт·ч/м² и тепловой энергии ≈ 610 кВт·ч/м² и низкой себестоимостью изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Richard M. Swanson. The Promise of Concentrators // Progress in Photovoltaics: Research and Application. – 2000. – №8. – P.93-111.
- [2] S. Zimmermann, H. Helmers, M. Tiwari, et al. A high-efficiency hybrid high-concentration photovoltaic system // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. – №89. – P.514-521.
- [3] J.S.Coventry. Performance of a Concentrating photovoltaic/thermal Solar Collector // Solar Energy. – 2005. – Vol.78. – P.211–222.
- [4] Cogenra Solar. <https://us.sunpower.com/blog/2015/11/12/sunpower-introduces-performance-series-solar-panel> (доступна 19.01.2020).
- [5] M.Brogren. Optical Efficiency of Low-Concentrating Solar Energy Systems with Parabolic Reflectors. - 1st ed. – Uppsala, Sweden:Uppsala University Library. - 144pp.
- [6] H. Price, E. Lufert, D. Kearney et al. Advances in Parabolic Trough Solar Power Technology // J. Sol. Energy Eng. – 2002. №124(2). –P.109-125.
- [7] Смирнов А.В. Повышение эффективности концентраторов солнечных энергетических установок с высоковольтными фотопреобразователями. Диссертация. // Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. -2010. -Москва. 144с.
- [8] L. C. Chea, H. Håkansson, B. Karlsson. Performance evaluation of new two axes tracking pv-thermal concentrator // Journal of Civil Engineering and Architecture. – 2013. – Vol. 7. - № 12. – P.1485-1493.
- [9] И.Н. Бронштейн, К.А.Семендяев. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. 2-е изд. М.: Наука. 1981. – 544с.

[10] A.G. Nesterenkov, P.A. Nesterenkov, L.A. Nesterenkova. Fundamentals Of Designing Hybrid Concentrator Solar Systems // Proceeding of The 12th International Conference on Concentrator Photovoltaics (CPV-12). - Freiburg, Germany, 2016.

[11] Y. Goswami. Advances in Solar Energy: Volume 16: An Annual Review of Research and Development. London:Routledge. 2017. – 532p.

[12] Нестеренков П.А., Нестеренков А.Г., Нестеренкова Л.А. Патент Республики Казахстан на изобретение №33513 от 17.09.2018. Способ преобразования солнечного излучения и когенерационная установка для реализации способа.

[13] Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. - 434с.

[14] Блох А.Г. и др. Теплообмен излучением: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. - 432с.

[15] Татарчук Г.Т. Сравнительная оценка воздушно-тепловых завес по материалам исследований // Материалы семинара «Воздушные струи и завесы». - Москва, 1971. – с.82-87.

[16] C7 Tracker. <https://us.sunpower.com/solar-resources/sunpower@c7-tracker> (доступна 19.01.2020).

[17] P.A. Nesterenkov, A.G. Nesterenkov/Cogeneration Solar Systems With Concentrators of Solar Radiation // Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. CIIA:IGI-Global, 2018. - P. 230-254.

Нестеренков П.А., Нестеренкова Л.А.

Күн энергиясын Λ пішінді фотоэлектрлік модульдермен түрлендіру.

Түйіндеме. Концентраторлармен жаңа типтегі сызықтық фотомодульдер арқылы күн радиациясының конверсиялық тиімділігін арттыру әдістері қарастырылған. Салқындатылған Λ пішінді фотомодульдердегі сәулелену арқылы жылу шығынын есептеу әдісі ұсынылған. Жалпы жылу шығыны белгілі V-тәрізді фотомодульдердегі жылу жоғалтуға қарағанда 37% аз екендігі көрсетілген.

Түйін сөздер: фотокеллер, оптикалық концентратор, күн бақылау жүйесі, фотомодуль, жылу алмастырғыш, айналым жүйесі, когенерация қондырғысы.

ӘОЖ: 004.4'2

¹G.A. Alkhanova, ²S.S. Zhuzbayev

(¹ Kazakh Humanitarian-Law Innovative University, Semey, Kazakhstan

² L.N.Gumilyov Eurasian University, Nur - Sultan, Kazakhstan

E-mai: gulnur_alhanova@mail.ru)

INTELLIGENT MODELS IN THE LEARNING PROCESS

Abstract. It provides for the presentation of the logical structure of the educational material, as well as the learning process in the form of semantic models. A hierarchical structure in the form of a semantic line, which is the area of the discipline, and the walls of which are represented by a directed graph indicating the relationship between them is understood under the semantic model of educational material. The advantages of semantic networks are the educational model and the direct learning process.

Key words: educational process, semantic network, intellectual model, quality of education, educational material

¹Г.А. Алханова, ²С.С. Жузбаев

(¹Қазақ инновациялық гуманитарлық-заң университеті, Қазақстан, Семей

² Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, Нұр -Сұлтан

E-mai: gulnur_alhanova@mail.ru)

ОҚУ ҮРДІСІНДЕГІ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ МОДЕЛЬДЕР

Аңдатпа. Оқу материалының логикалық құрылымын, сондай-ақ семантикалық модельдер түрінде оқыту үрдісінің өзін ұсыну қарастырылады. Оқу материалының семантикалық моделі деп оқылатын пән саласы ұғымдары бар, ал қабырғалары олардың арасындағы қарым-қатынасты білдіретін бағытталған графпен ұсынылған семантикалық желі түріндегі иерархиялық құрылым түсініледі. Семантикалық желілердің артықшылықтары білім беру моделі және тікелей оқыту үрдісінің өзі пән саласын сипаттау көрнекілігі, икемділік, білім алушының мақсатына бейімделуі болып табылады.

Түйін сөздер: оқу үрдісі, семантикалық желі, интеллектуалды модель, білім сапасы, оқу материалы