

5. Ермаков С.М. Статистическое моделирование – М., ФИЗМАТЛИТ, 1982.– 295 с.
 6. Кныш Л.И., Давыдов В.И. Применение метода статистических испытаний для расчёта облучённости приёмника тепла концентрированным потоком солнечной энергии // Вісник Дніпропетровського університету. Серія Механіка. – 2009. – №5. – Т.17. Випуск 13. – Т.1. – С. 51–59.
 7. Конохова И.И., Кабаков В.И., Эргашев С.Ф., Дробязгина О.С. Результаты испытаний солнечной параболической

установки // Гелиотехника. – 1991. – №2. – С. 14–16.
 8. Кныш Л.И. Оценка облученности теплоприемника солнечной энергетической установки с параболическим концентратором // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки.– 2010. – Т. X. – С. 17–22.
 9. Сильверн Д. Анализ требований к точности концентрирующих зеркал для солнечных энергетических установок.– В кн. Энергетические установки для космических аппаратов. – М.: Мир, 1964. – С. 85–94.

УДК 621.3

С.С.Коккошин, канд.физ.-мат.наук (Ин-т электродинамики НАН Украины, Киев),
 Д.П.Коломиец (Национальный университет пищевых технологий, Киев),
 В.П.Кучинский, А.Н.Суржик (Ин-т возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Определение геометрических и теплофизических параметров солнечного коллектора и фототермического модуля с теплоотводами из композита

В статье с использованием метода конечных элементов проведены расчетные исследования влияния на эффективность солнечного коллектора и фототермического модуля теплофизических и геометрических параметров теплоотводящей панели, выполненной из композитных материалов.

У статті з використанням методу скінченних елементів проведені розрахункові дослідження впливу на ефективність сонячного колектора і фототермічного модуля теплофізичних та геометричних параметрів тепловідвідної панелі, що виконана із композитних матеріалів.

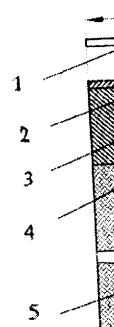
Одним из основных показателей технико-экономической эффективности солнечных энергетических установок является себестоимость тепловой и электрической энергии, получаемой как раздельно (солнечный коллектор (СК) или фотобатарея (ФБ)), так и совместно (фототермический модуль (ФТМ)).

Для достижения минимальных стоимостных показателей получаемой энергии рациональным и экономически оправданным является проектирование и изготовление СК и ФТМ не с технологически и теоретически возможным, а с меньшим КПД, если при этом себестоимость электрической и тепловой энергии, а, следовательно, срок окупаемости установки, существенно снижается. При этом следует отметить, что основными факторами, влияющими на себестоимость получаемой энергии, являются затраты на материалы и комплектующие, технологию изготовления, монтаж и

эксплуатацию. Стоимость известных СК, в конструкции которых используются дорогие цветные металлы (медь, алюминий), находится в диапазоне 60-150 у.е. за 1 м². Сроки окупаемости таких СК (особенно при их сезонном использовании) длительные и могут выходить за рамки штатной эксплуатации (более 10-15 лет). Основным путем удешевления СК является применение недорогих и технологичных композитных и полимерных материалов. Такой подход может обеспечить окупаемость затрат на создание и обслуживание СК и ФТМ в пределах одного-двух эксплуатационных сезонов.

Для фототермического модуля достаточно технологически сложной является организация отбора тепловой энергии. Это обусловлено тем, что материал теплоотводящей панели, с одной стороны, должен иметь высокий коэффициент теплопроводности, а с другой – обеспечивать

низкие значения температуры, что требует применения электрических нагревателей. Активные элементы солнечного коллектора, изготовленные из алюминия, имеют высокую стоимость. Для снижения стоимости конструкции необходимо использовать материалы с высокой теплопроводностью. При этом необходимо учитывать, что ФТМ-модуль имеет сложную конструкцию, которая требует изготовления из композитных материалов. В настоящее время существуют различные варианты изготовления ФТМ-модулей, но наиболее перспективным является вариант изготовления ФТМ-модуля из композитных материалов.



Получение энергии из солнечного излучения осуществляется с помощью фототермического модуля. При этом необходимо учитывать, что ФТМ-модуль имеет сложную конструкцию, которая требует изготовления из композитных материалов. В настоящее время существуют различные варианты изготовления ФТМ-модулей, но наиболее перспективным является вариант изготовления ФТМ-модуля из композитных материалов.

14-16.

приемника
ным кон-
арактери-
2.
концен-
устано-
ских ап-

низкие значения электропроводности. Последнее требование необходимо для исключения замыкания электрической цепи фотопреобразователей на активные поверхности ФТМ и элементы гидравлического контура охлаждения, которые, как правило, изготавливаются из металлических (медь, алюминий) материалов. Кроме того, для увеличения количества преобразованной электроэнергии и существенного снижения, таким образом, её стоимости целесообразно использовать концентрацию солнечного излучения [4]. Однако это возможно лишь при организации технологически простого и эффективного принудительного охлаждения ФТМ.

Принципиальная схема конструкции ФТ-модуля с теплоотводящей панелью из композиционного материала представлена на рис. 1, где изображен фрагмент его поперечного сечения с одностекольным покрытием.

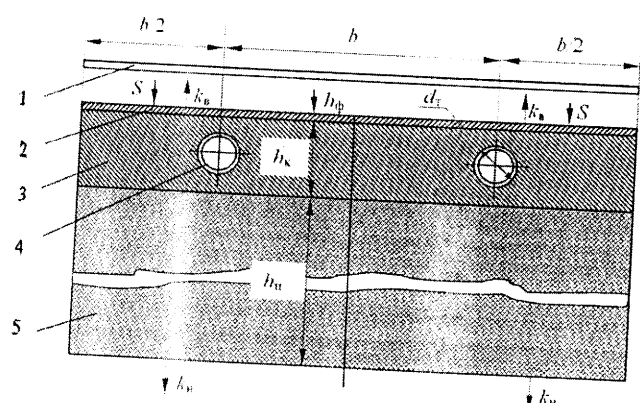


Рис. 1.

При этом: 1 – одностекольное прозрачное покрытие; 2 – пластины фотопреобразователя; 3 – теплоотводящая панель из композита; 4 – трубка для теплоносителя; 5 – теплоизоляция нижней стенки ($h_n = 50$ мм). Толщина пластины фотопреобразователя $h_\phi = 0,35$ мм, что существенно меньше толщины теплоотводящей панели из композита ($h_k = 8-20$ мм), а коэффициент теплопроводности материала фотопреобразователя (кремний ВЧ, $\lambda_\phi = 156$ Вт/(м·град)) может на два порядка превышать коэффициент теплопроводности композита. Исходя из этого, постановка задачи и расчет основных тепловых характеристик ФТМ может проводиться без учета параметров пластин фотопреобразователя и полностью совпадает с аналогичными расчетами традиционных СК горячего водоснабжения с теплоотводящей панелью из композита.

Для определения степени совершенства теплоотводящей панели в ФТМ и СК следует определить коэффициент эффективности $F' = Q_T / (Q_{п})_{\max} \leq 1$, который характеризует неравномерность температурного поля в поперечном сечении ФТМ (СК). Он зависит главным образом от материала и конструкции теплоотводящей панели и представляет собой отношение фактически поглощенной полезной энергии Q_T к полезной энергии $(Q_{п})_{\max}$, поглощенной в случае, когда температура тепловоспринимающей (теплоотводящей) панели равна локальной (базовой) температуре жидкости [1]. При этом выражение для максимальной полезной энергии $(Q_{п})_{\max}$ будет иметь вид:

$$(Q_{п})_{\max} = 2 \cdot b(S - k_n(T_T - T_A)), \quad (1)$$

где T_A – температура окружающей среды; T_T – локальная (базовая) температура жидкости в трубках; S – плотность потока солнечной энергии; k_n – полный коэффициент теплопередачи для верхней и нижней поверхности ФТМ. В работе [1], кроме теплоотводящей панели типа "лист-труба", рассмотрены 10 вариантов конструкций СК с жидким и газообразным теплоносителем, а также приведены полученные аналитическим путем выражения для коэффициентов эффективности F' . Анализ влияния теплофизических и конструктивных параметров на величину F' проводился на основе определения одномерного температурного поля в поперечном сечении теплоотводящей панели СК. Поскольку материалом панели служит лист металла с высокой теплопроводностью, то отношение расстояния между трубками с жидкостью b к толщине листа h_k , как правило, ≤ 50 .

В конструкции ФТМ, представленной на рис. 1, из-за относительно низкой теплопроводности композита для получения высоких значений $F' \geq 85$ это отношение необходимо выбирать в пределах $4 \leq b/h_k \leq 16$. При таких геометрических параметрах для получения достоверных значений коэффициента F' его определение необходимо проводить на основе двухмерного температурного поля в поперечном сечении теплоотводящей панели.

В установившемся режиме стационарное температурное поле с внутренними (поверхностными) источниками тепла описывается уравнением:

$$\operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) + S = 0. \quad (2)$$

В декартовой системе координат

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + S = 0, \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности композита, Вт/(м·°C); T – температура, °C; S – внутренний (поверхностный) источник тепла, Вт/м².

Для расчетной области (рис. 1) на верхней и нижней границах, а также в трубках, задаются граничные условия III-го рода, учитывающие теплообмен поверхности с окружающей средой по закону Ньютона-Рихмана:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = k [T - T_A], \quad (4)$$

где k – коэффициент теплопередачи для верхней k_B , нижней k_H поверхности панели и трубки k_T , Вт/(м²·°C); n – модуль вектора нормали к поверхности раздела сред. На боковых поверхностях выполняется условие тепловой симметрии: $dT/dn = 0$.

Решение дифференциального уравнения (3) с указанными граничными условиями выполняется численным методом конечных элементов (МКЭ). За основу методики приняты теоретические положения, изложенные в работе [6]. По МКЭ уравнение (3) решается, исходя из энергетической концепции.

При этом в двухмерной постановке для изотропной среды энергетический функционал имеет вид:

$$\chi^e = \iint \left\{ \frac{1}{2} \lambda \left[\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right] - S \cdot T \right\} dx dy + \int_l \left(\frac{T^2}{2} - T_A T \right) dl, \quad (5)$$

где l – длина границы, на которой заданы условия охлаждения; T_A – температура охлаждающей среды на границе.

Решение (3) по МКЭ эквивалентно нахождению функции T , удовлетворяющей условиям на границе и минимизирующей функционал (5). Каждый из элементов характеризуется координатами вершин i, j, m в декартовой системе координат, свойствами материала (коэффициентами теплопроводности, теплоемкости, теплоотдачи) и, кроме

того, тепловыделением в данном элементе. Предполагается, что в пределах элемента температура T является линейной функцией узловых температур T_i, T_j, T_m :

$$T = [N_i, N_j, N_m] \cdot \begin{Bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_m \end{Bmatrix} = [N]^e \cdot \{T\}^e, \quad (6)$$

где N_i, N_j, N_m – функции формы, определяемые через координаты узлов:

$$N_i = \frac{1}{2S_T} (a_i + b_i x + c_i y),$$

S_T – площадь конечного элемента; a_i, b_i, c_i – коэффициенты, связанные с координатами вершин; x, y – координаты интересующей точки внутри элемента;

$$S_T = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_m & y_m \end{vmatrix}$$

$a_i = x_j y_m - x_m y_j$; $b_i = y_j - y_m$; $c_i = x_m - x_j$, где $x_i, x_j, x_m, y_i, y_j, y_m$ – координаты узловых точек треугольника в декартовой системе координат; N_j, N_m определяются аналогично N_i при круговой замене индексов.

Подстановка (7) в (5) с последующим интегрированием по площади рассматриваемого треугольника дает выражение для энергетического функционала χ^e . Полная тепловая энергия совокупности элементов всей рассматриваемой области равна сумме вкладов отдельных функционалов:

$$\chi = \sum_e \chi^e. \quad (7)$$

Минимум χ достигается путем минимизации функционалов χ^e каждого элемента с учетом граничных и начальных условий. Для произвольного элемента:

$$\left\{ \frac{\partial \chi}{\partial T} \right\}^e = \begin{Bmatrix} \frac{\partial \chi^e}{\partial T_i} \\ \frac{\partial \chi^e}{\partial T_j} \\ \frac{\partial \chi^e}{\partial T_m} \end{Bmatrix}. \quad (8)$$

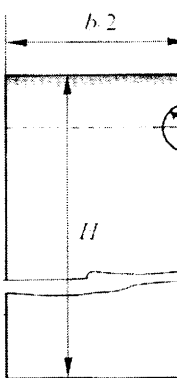
Процесс рбно рассм матричное у температуры

$$\left\{ \frac{\partial \chi}{\partial T} \right\} =$$

где $[H]$ – водности; { рассматрива

Решени ными грани лленно метод программно ладки и устр ошибок пр программ п

вая задача, Расчетная о ной задачи ческом мет раниченный вых, равном каналов (тр протекающе том теплопе ва задана т коэффициент



Для те сив заменя рис. 1, в ко гласно [8] сопротивле где L – дли кости, имее

Пред-
ратура
мпера-

Процесс минимизации функционала (5) подробно рассмотрен в [7]. В результате получается матричное уравнение для определения изменения температуры в рассматриваемой области:

$$(6) \quad \left\{ \frac{\partial \chi}{\partial T} \right\} = \sum_e \left\{ \frac{\partial \chi}{\partial T} \right\}^e = [H] \cdot \{T\} - \{R\} = 0, \quad (9)$$

где $[H]$ – матрица коэффициентов теплопроводности; $\{R\}$ – вектор тепловых источников рассматриваемой области.

Решение матричного уравнения (9) с заданными граничными условиями выполнялось численно методом конечных элементов с помощью программного пакета COMSOL 3.3 [5]. Для отладки и устранения возможных методологических ошибок при использовании указанного пакета программ предварительно рассматривалась тестовая задача, имеющая аналитическое решение [8]. Расчетная область и граничные условия указанной задачи представлены на рис. 2. При аналитическом методе решения рассматривался полуограниченный изотропный массив с рядом одинаковых, равномерно расположенных цилиндрических каналов (трубок) с одной и той же температурой протекающей в них жидкости T_T и коэффициентом теплопередачи k_T . На верхней границе массива задана температура окружающей среды T_A и коэффициент теплоотдачи k_B .

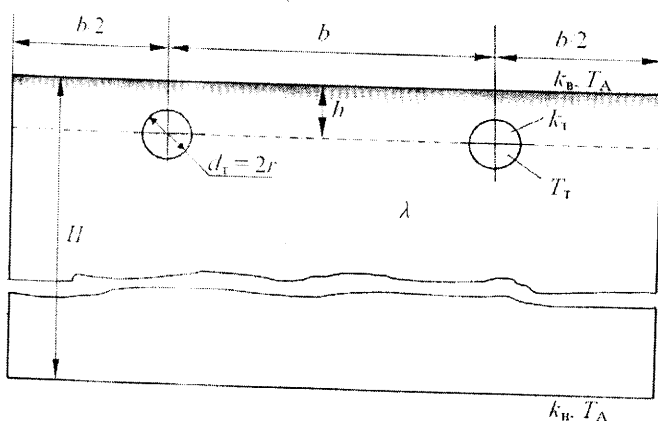


Рис. 2.

Для тестовой задачи полуограниченный массив заменяется расчетной областью, аналогичной рис. 1, в которой величина $H \gg h$, где $h = h_K/2$. Согласно [8] выражение для полного термического сопротивления R_a , отнесенного к площади $F = b \cdot L$, где L – длина канала в направлении потока жидкости, имеет вид:

$$R_a = \frac{1}{2\pi L} \left\{ \frac{1}{k_T r} + \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{b}{\pi r} \operatorname{sh} \left(2\pi \frac{h + \frac{\lambda}{k_B}}{b} \right) \right] \right\}. \quad (10)$$

Сравнение результатов расчета полного термического сопротивления R_a с использованием аналитического метода и R_a для тестовой задачи, решаемой численным методом МКЭ, проводилось для следующих геометрических и теплофизических параметров (таблица 1) расчетной области, представленной на рис. 2:

Таблица 1.

расстояние между каналами b , м	0,1
диаметр каналов $d_T = 2r$, м	0,02
расстояние между верхней границей расчетной области и осью каналов $h = h_K/2$, м	0,015
температура окружающей среды T_A , °C	10
температура жидкости в каналах T_T , °C	100
коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·град):	
– сверху k_B	30
– снизу k_n	8
– в каналах k_T	1500
коэффициент теплопроводности материала цементно-песчаной смеси λ , Вт/(м·град)	
	1,2

Подстановка вышеуказанных параметров в выражение (10) дает величину полного термического сопротивления $R_a = 5,63$ м²·град/Вт. При расчете тестовой задачи численным методом определялось распределение температуры на верхней границе (кривая 1) и на глубине $2h$ (кривая 2) на рис. 3, а

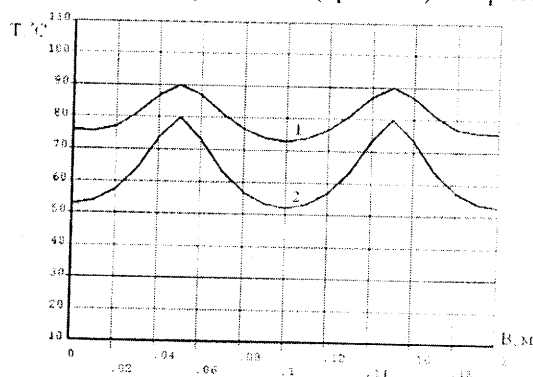


Рис. 3.

также тепловые потоки в каналах Q_T , на верхней Q_n и нижней Q_n границах расчетной области. Соотношение $H/h \geq 100$ выбиралось таким образом, чтобы величина Q_n составляла менее 1% от Q_B . При выполнении указанного условия значение полного термического сопротивления в тестовой задаче $R_a = 5,69$ м²·град/Вт практически совпадает (разница около 1%) с ранее полученной величиной R_a . Это позволяет на практике использовать принятую методику численного расчета теплофизических и гео-

метрических параметров СК и ФТМ с теплоотводящей панелью из композита.

Для сравнения результатов расчета коэффициента эффективности F' , полученных аналитическим методом с использованием одномерной модели [1] и численным (МКЭ), рассмотрим участок поперечного сечения ФТМ на рис. 1 со следующими геометрическими и теплофизическими параметрами (таблица 2):

Таблица 2.

толщина слоя композита $h_k = 2h$, мм	40
толщина слоя теплоизоляции $h_{ин}$, мм	50
коэффициент теплопроводности $\lambda_{ин}$ теплоизоляции, Вт/(м·град)	0,042
толщина стенок медных трубок, мм	2
коэффициент теплопроводности меди λ_m , Вт/(м·град)	390
коэффициент теплопередачи (потерь), Вт/(м ² ·град)	
– на верхней границе k_b	4
– на нижней границе k_n	8
– внутри трубок k_t	300
тепловой поток солнечной радиации S , Вт/м ²	740
локальная температура жидкости в трубках T_t , °C	30

Параметры b , d_t , λ равны соответствующим значениям, принятым для тестовой задачи.

Согласно данным работы [1], для СК с теплоотводящей панелью типа "лист-труба" при расстоянии между трубками $b = 0,1$ м, коэффициентом теплопередачи внутри трубок $k_t = 300$ Вт/(м²·град), полным коэффициентом теплопередачи $k_{пн} = 4$ Вт/(м²·град) и комплексом $\lambda \cdot h_k = 1,2 \cdot 0,04 = 0,048$ Вт/град коэффициент эффективности $F' = 0,95$, а для $k_{пн} = 8$ Вт/(м²·град) $F' = 0,9$.

На рис. 4 представлено температурное поле в

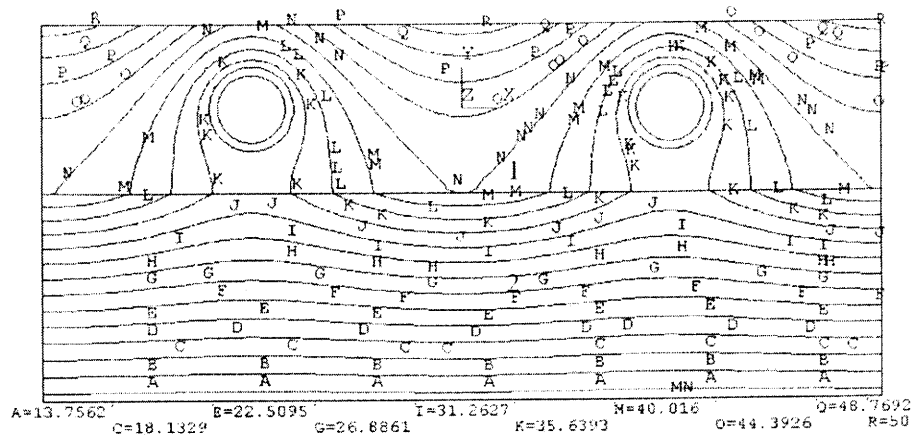


Рис. 4.

указанной расчетной области, полученное при численном решении задачи с использованием МКЭ. При проведении расчетов также определялось количество тепловой энергии, ушедшей на нагрев воды в трубках $Q_t = 113,5$ Вт/м (полезная энергия), а также потери тепла через верхнюю ($Q_b = 30,14$ Вт/м) и нижнюю ($Q_n = 4,4$ Вт/м) поверхности. Величина максимальной полезной энергии $(Q_{пн})_{\max} = 132$ Вт/м рассчитывалась согласно выражению (1), на основании чего определялась эффективность коллектора: $F' = Q_t / (Q_{пн})_{\max} = 113,5 / 132 = 0,86$. Для полного коэффициента теплопередачи $k_{пн} = 8$ Вт/(м²·град) эффективность снижается: $F' = 89,7 / 116 = 0,77$. Таким образом, погрешность в определении F' может составлять существенную величину (от 10 до 17% при $T_t = 30^\circ\text{C}$ и от 12 до 19% при $T_t = 40^\circ\text{C}$), что является основанием для применения численных методов при практических расчетах.

Анализ влияния различных технологических и конструктивных параметров на величину F' для СК и ФТМ с теплоотводящей панелью из композита проведем с использованием ряда параметров экспериментального образца ФТ-модуля с теплоотводящей металлической панелью типа "лист-труба" [9]. Основные конструктивные параметры указанного образца приведены в таблице 3:

Таблица 3.

геометрические размеры, мм	1212 × 530
толщина листа (медь), мм	0,8
внешний d_t и внутренний d_n диаметр медных трубок, мм	6; 4
расстояние между трубками b , мм	67
количество трубок n , шт.	8
эффективность F'	0,96

Коэф
измени
минарны
лялся по

где λ_b – к

Коэф
с метал
формы п
гласно вы

λ_k

где $\lambda_m =$

соответс

металлич

связующ

$v_m = 0,4$

наполнит

На р

щие зави

расстоян

ний λ_k к

(%) $\lambda_k =$

40% $\lambda_k =$

редачи к

равным

стекольн

теплоотв

ружающ

дачи на

$k_n = 8$ В

ной коне

построен

щих отн

отводящ

F'

0,9

0,8

0,7

0,6

0,5

0,4

$k_b = 6$ Вт/г

$k_t = 560$ Вт/г

0

Коэффициент теплоотдачи в трубках k_T при изменении скорости течения от 5 до 20 см/с (ламинарный режим, т.к. число $Re < 2300$) определялся по формуле:

$$k_T = 3,66 \cdot \lambda_w / d_w = 3,66 \cdot 0,612 / 0,004 = 560 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}, \quad (11)$$

где λ_w – коэффициент теплопроводности воды.

Коэффициент теплопроводности композита λ_k с металлическим наполнителем сферической формы при условии $\lambda_m / \lambda_c \gg 1$ определялся согласно выражению, полученному в работе [2]:

$$\lambda_k = \lambda_c (1 + 3 v_m) = 2,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}, \quad (12)$$

где $\lambda_m = 51,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$ и $\lambda_c = 1,15 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$ соответственно коэффициенты теплопроводности металлического наполнителя (стальная дробь) и связующего состава (цементно-песчаная смесь); $v_m = 0,4$ – относительная объемная концентрация наполнителя.

На рис. 5 представлены графики, определяющие зависимость величины F' от относительного расстояния между трубками b/d_T для двух значений λ_k композита: без наличия стальной дроби (0%) $\lambda_k = 1,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$ и при её содержании 40% $\lambda_k = 2,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$. Коэффициент теплопередачи на верхней поверхности k_b принимался равным $6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$, что соответствует одностекольному покрытию при средней температуре теплоотводящей панели 30°C и температуре окружающей среды 20°C . Коэффициент теплопередачи на нижней поверхности (теплоизоляции) $k_n = 8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$ отвечает условиям естественной конвекции в воздухе. Указанные зависимости построены для трех значений h_k/d_T , определяющих относительную толщину композита в теплоотводящей панели, равную 1,25; 2 и 3,5.

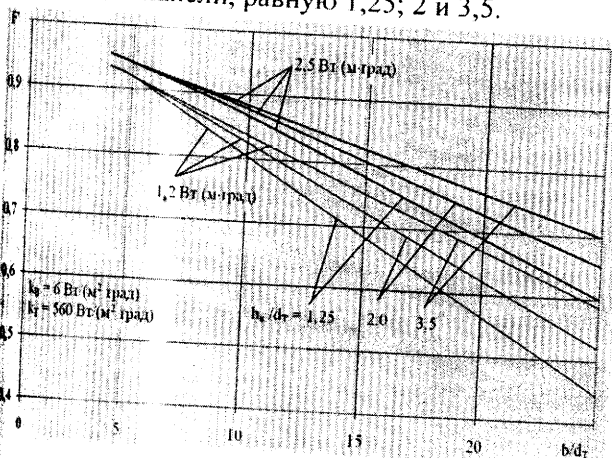


Рис. 5.

На рис. 6 построены графики при тех же основных параметрах ФТМ, принятых в расчете кривых на рис. 5. Отличие состоит в меньшей величине коэффициента теплопередачи на верхней поверхности $k_b = 2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$, что соответствует селективной поверхности теплоотводящей панели [1].

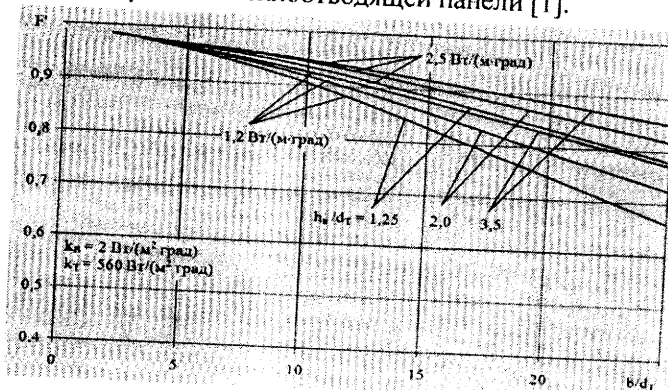


Рис. 6.

Выводы. 1. На основании проведенных расчетных исследований с использованием метода конечных элементов показано, что применение композитов в теплоотводящей панели позволяет добиться высоких значений коэффициента эффективности F' ($0,85 \div 0,94$) при технически достижимых на практике технологических и конструктивных характеристиках СК и ФТМ.

2. Наличие в структуре композита металлических включений (дроби) в количестве 40% существенно (более 25%) увеличивает величину F' для принятых в расчетах относительных толщин композита h_k/d_T (от 1,25 до 3,5) и при значениях величины $b/d_T > 8$.

3. Поскольку в проведенных расчетных исследованиях величина эффективной теплопроводности определялась в основном из теоретических предпосылок с ограниченной формой и относительным объемным содержанием металлических включений, необходимо дополнительно провести ряд экспериментальных исследований с различными составами композита, включая технологически возможные и перспективные слоистые структуры.

1. Даффи Дж.Ф., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
2. Кучинский В.П., Суржик О.М., Шевчук В.І. Характеристики композиционных теплопроводов фотобатарей та солячних колекторів // Відновлювана енергетика. – 2005. – № 3–4. – С. 16–19.

3. Кучинський В.П., Рєзцов В.Ф., Суржик О.М. Комбінований фототермічний модуль. Деклараційний патент України на корисну модель № 51073, Н01L31/058, 2010. (Бюл.№ 12 2010).

4. Сафонов В.А., Кувшинов В.В. Фотоелектрические модули с плоскими концентраторами // Відновлювана енергетика. – 2008. – № 4 (15). – С. 28–33.

5. www.comsol.com

6. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир. 1979. – 392 с.

7. Platabo N. Transient heat conduction problems in power cables solved by the finite element method // IEEE Trans. – 1973. – V. PAS-92. – N.1. – P. 56–63.

8. Теоретические основы теплотехники: Справочник / Под ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, книга 2, 1988. – 560 с.

9. Кучинский В.П., Сеницын Н.П., Суржик А.Н., Шевчук В.И. Методика определения тепловых характеристик фототермических модулей // Відновлювана енергетика. – 2006. – 4 (7). – С. 44–47.

УДК 697.329

О.И.Горбатов, В.В.Макаров, канд.техн.наук (Севастопольский национальный технический ун-т, Севастополь)

Расчёты КПД солнечных коллекторов в трёхкаскадных системах солнечного ГВС

В работе рассматриваются математические модели расчёта КПД солнечных коллекторов с прозрачной и тыльной изоляцией, которые составляют третий каскад трёхкаскадной системы солнечного ГВС. Представлена относительная погрешность математических моделей в сравнении с данными испытаний. Приведены среднесезонные КПД третьего каскада рассчитанных математических моделей для климатических условий г. Севастополя. Разработан уточнённый алгоритм расчёта КПД солнечных коллекторов третьего каскада.

У роботі розглядаються математичні моделі розрахунку ККД сонячних колекторів із прозорою та тыльною ізоляцією, котрі складають третій каскад трикаскадної системи сонячного ГВП. Наведена відносна похибка математичних моделей у порівнянні з даними випробувань. Наведено середньомісячні ККД третього каскаду розрахованих математичних моделей для кліматичних умов м. Севастополя. Розроблено уточнений алгоритм розрахунку ККД сонячних колекторів третього каскаду.

В работе [1] рассмотрена трёхкаскадная гелиоустановка системы ГВС в неотапливаемый период (рис. 1).

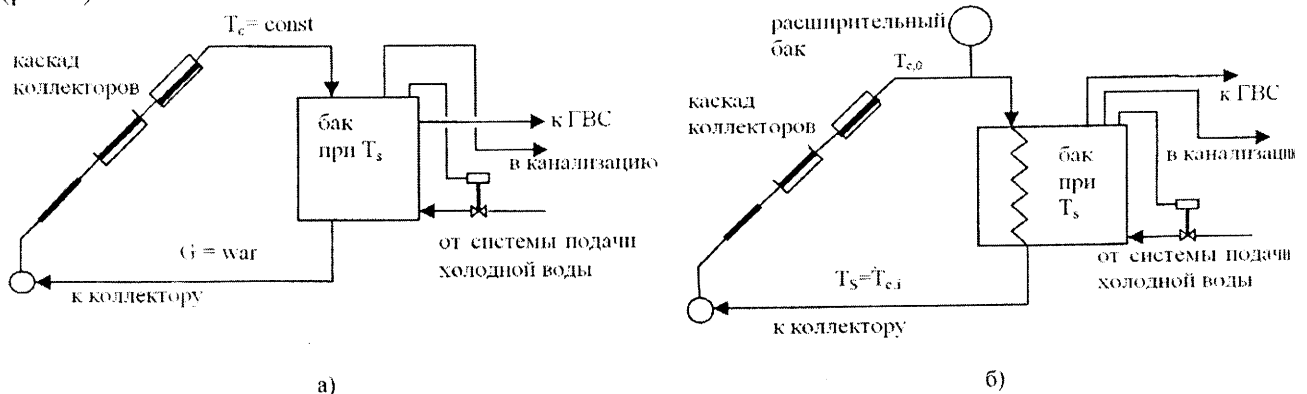


Рис. 1. Схема каскадной гелиоустановки системы ГВС: а) одноконтурная; б) двухконтурная.

Одной из основных задач при проектировании системы солнечного теплоснабжения является обеспечение минимальных капитальных затрат

при её строительстве и эксплуатации с учётом гарантированных (заданных заказчиком) тепловых характеристик. Основные затраты определя-