

РАСЧЕТ СРЕДНЕСУТОЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

О.М. Саламов

Институт радиационных проблем НАН Азербайджана
Азербайджан, AZ 1143, Баку, ул. Б.Вахабзаде, д. 9
Тел.: (99412) 539 32 24, доп. 125; факс: (99412) 539 83 19; e-mail: oktay_dae@mail.ru

Заключение совета рецензентов: 07.02.15 Заключение совета экспертов: 10.02.15 Принято к публикации: 13.02.15

В работе приводятся методика и результаты расчета энергетических параметров плоского солнечного коллектора (ПСК), в частности, часового и среднесуточного значений коэффициента полезного действия (КПД) ПСК, работающего в климатических условиях Апшеронского полуострова, в частности, г. Баку, расположенного в северной широте $40^{\circ}24'$. Расчеты проводились на примере 15 января 2014 г. для экспериментального ПСК, который в течение ряда лет прошел натурные испытания на гелиополигоне лаборатории «Преобразование возобновляемых видов энергии» Института радиационных проблем НАН Азербайджана. Определено, что для указанного дня среднесуточный КПД ПСК составляет $\eta_{\text{сут}}^{\text{cp}} = 22,1\%$.

Ключевые слова: плоский солнечный коллектор, прозрачное покрытие, плотность солнечной радиации, коэффициент наклона, эффективность коллектора, тепловые потери, поглощающая пластина.

CALCULATION OF AVERAGE DAILY EFFICIENCY OF THE FLAT SOLAR COLLECTORS

O.M. Salamov

Institute of Radiation Problems of ANAS
9 B.Vahabzadeh str., Baku, AZ1143, Azerbaijan
Tel.: (99412) 539 32 24 (125); fax: (99412) 539 83 19; e-mail: oktay_dae@mail.ru

Referred: 07.02.15 Expertise: 10.02.15 Accepted: 13.02.15

The paper presents the methodology and the results of calculation of the energy parameters of the flat solar collector (FSC), in particular, hourly and daily average efficiency (efficiencies) of FSC, working under the climatic conditions of the Absheron Peninsula, in particular Baku, located in the northern latitude $40^{\circ}24'$. Calculations were carried out in example 15 January 2014 for experimental FSC, which passed for several years full-scale tests in geliopoligone laboratory of "Transformation of renewable energy" of the Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences. It has been determined that for the specified day, average efficiency of FSC is $\eta_{\text{day}}^{\text{av}} = 22.1\%$.

Keywords: flat solar collector, transparent covering, the density of solar radiation, the slope, efficiency of collector, thermal losses, absorbing plate.



Октай
Мустафа оглы
Саламов

Сведения об авторе: канд. физ.-мат. наук, профессор, доктор наук Международной Энергетической Академии по развитию альтернативной энергетики, ведущий научный сотрудник Института Радиационных Проблем Национальной Академии наук Азербайджана, доцент Азербайджанского Технического Университета.

Образование: электротехнический факультет Азербайджанского технического ун-та (1973).

Область научных интересов: солнечная и ветровая энергетика, математическое моделирование альтернативных энергоустановок различного назначения, водородная энергетика и теплоэнергетика, в частности, горячее водоснабжение и теплоснабжение с применением комбинированных солнечно-ветровых энергоустановок, разработка следящих систем для автоматического наведения концентрирующих зеркал на солнце, антикоррозионных систем для катодной защиты металлических сооружений от электрохимической и электрической коррозии, а также оптимизирующих, дозирующих и защитных устройств различной модификации.

Публикации: 170 работ, в том числе 44 изобретения (получены а. с. СССР), а также патенты РФ и Азербайджанской Республики.

Oktay Mustafa
Salamov

Author data: PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor in the Speciality of Physics of Semiconductors and Dielectrics, and Professor-Doctor of Sciences of International Ecoenergy Academy in Alternative Energy Development, Leading researcher in Institute of Radiation Problems, Azerbaijan National Academy of Sciences, associate professor of Azerbaijan Technical University.

Education: Electrotechnical Faculty of Azerbaijan Technical University (1973).

Scientific-research fields: solar and wind power-engineering, mathematical simulation of alternative power plants of different use, hydrogen power-engineering and thermal power-engineering, in particular, heat and hot water supply applying combined solar-wind power plants, development of tracking systems for an automatic guidance of concentrating solar mirrors, anti-corrosion systems for cathode protection of metallic constructions from electrochemical and electrical corrosion, as well as optimizing, dozing and protection equipments with different modifications.

Publications: 170 works, including 44 Certificates of Authorship USSR and Patents in RF and Azerbaijan Republic.

Введение

Ранее нами были проведены расчеты для солнечной водоподогревательной системы (СВПС), предназначенной для горячего водоснабжения сельской семьи, в которой применялся ПСК с двухстекольным прозрачным покрытием, для которого суммарные тепловые потери составляют $U_{\text{сум}}^{\text{ТП}} = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ [1]. В этой работе был определен ряд параметров СВПС, в частности, ежемесячные значения тепловой нагрузки для двух режимов водопотребления (80 и 50 л/сут на одного человека), суточные количества суммарной солнечной радиации, поступающей на 1 м^2 наклонной поверхности ПСК, установленного под углом наклона β к горизонту, для чего предварительно были определены среднесуточные значения коэффициента наклона ($P_{\text{ф}}^{\text{м}}$) ПСК. Далее были определены среднесуточные и среднесуточные значения приведенных интенсивностей солнечной радиации, поглощенной посредством ПСК, а также оптимальные значения расходов теплоносителя и эффективности ПСК для разных месяцев года. В работе [1] были определены также ежемесячные значения оптимальной площади как поглощающей пластины, так и самого ПСК, ежемесячные значения КПД и полезной тепловой энергии, вырабатываемой посредством СВПС за счет ПСК с выбранной оптимальной площадью. При определении последнего параметра были рассмотрены два режима работы: без дублера и с дублером, в качестве которого предусмотрено использование как газового котла с КПД $\eta_{\text{Г}}^{\text{дуб}} = 0,6$, так и электрического нагревателя с КПД $\eta_{\text{Эл}}^{\text{дуб}} = 0,85$. В конечном итоге были определены ежемесячные и годовые значения коэффициента замещения и годовые значения экономии топлива за счет использования солнечной энергии, которые для случаев использования газового котла и электрического дублера составляют, соответственно, $B_{\text{Г}}^1 = 1,061 \text{ т у.т.}$, $B_{\text{Эл}}^1 = 0,749 \text{ т у.т.}$ (для первого режима водопотребления)

и $B_{\text{Г}}^{\text{II}} = 0,566 \text{ т у.т.}$, $B_{\text{Эл}}^{\text{II}} = 0,4 \text{ т у.т.}$ (для второго режима водопотребления). При этом коэффициент замещения дублера $f_{\text{дуб}}$ меняется в пределах от нуля (в периоды апреля-сентября) до своего максимального значения $f_{\text{дуб}}^{\text{макс}} = 0,87$, характерного для января.

Несмотря на то, что в работе [1] были определены основные энергетические параметры СВПС с ПСК, при определении этих параметров были учтены только лишь среднесуточные количества суммарной солнечной радиации для разных месяцев года и некоторые другие параметры, например, ежемесячные значения коэффициента наклона ПСК, тепловые нагрузки на горячее водоснабжение и т.д. А для определения более реальных эксплуатационных характеристик ПСК необходимо учитывать часовые значения плотности солнечной радиации (ПСР), наблюдаемые на широте местности, где проводятся натурные испытания экспериментального ПСК, что и является задачей данной работы. Ниже приводятся методика и результаты расчета суточного КПД ПСК с использованием часовых значений ПСР и температуры окружающей среды.

Расчет среднесуточного КПД ПСК

Исходные данные для проведения расчета

Расчеты проведены для 15 января. Экспериментальный ПСК ориентирован на юг с углом наклона $\beta = 55^\circ 24'$ (на 15° больше угла северной широты местности для Баку, который равен $\varphi = 40^\circ 24'$). Это значение угла наклона является оптимальным для января. В качестве ПСК использован экспериментальный коллектор с двойным остеклением, полный коэффициент тепловых потерь для которого составляет $U_L = 6,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$. Применяется конструкция в виде алюминиевой трубы с ребрами. Расстояние между трубами (расстояние, рассчитанное по центру) составляет $l = 12 \text{ см}$, толщина ребра $\delta = 0,05 \text{ см}$, диаметр трубы: внутренний $D_{\text{вн}} = 1,2 \text{ см}$; наружный $D_{\text{нар}} = 1,7 \text{ см}$. Коэффициент теплоотдачи от стенки



трубы к жидкости 1400 Вт/(м²·град), сопротивление сваи между трубой и ребром незначительно, чем можно пренебречь, пропускающая способность покрытия относительно солнечного излучения для двухстекольного ПСК равна $\tau = 0,8$ при среднем угле падения солнечных лучей 45°, поглощающая способность теплопоглощающей пластины по отношению к солнечному излучению равна $\alpha = 0,95$, независимо от направления поступления лучей, ширина ПСК составляет 1 м, а длина – 1,7 м, расход теплоносителя (в данном случае в качестве теплоносителя используется вода) принят постоянным, он составляет $G = 0,025$ кг/с, температура теплоносителя на входе в ПСК также постоянная и составляет $t_{вх} = 60^\circ$, толщина теплопоглощающей пластины $\mu = 0,0015$ м.

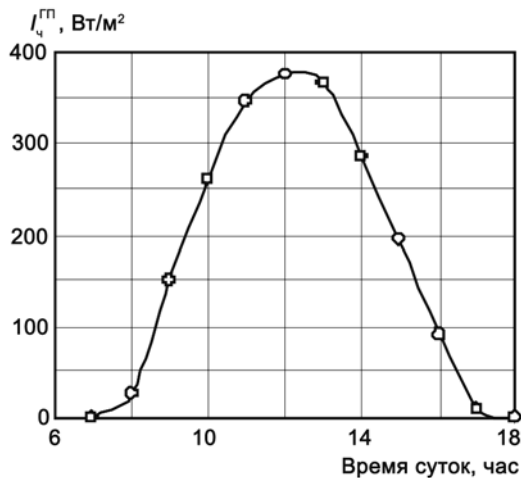


Рис. 1. Графический ход изменения ПСР в г. Баку на 1 м² горизонтальной поверхности в светлое время суток для 15 января 2014 г.

Fig. 1. Graphic variation of solar radiation density (SRD) in Baku on 1 m² horizontal surface in the daytime for the 15th January 2014

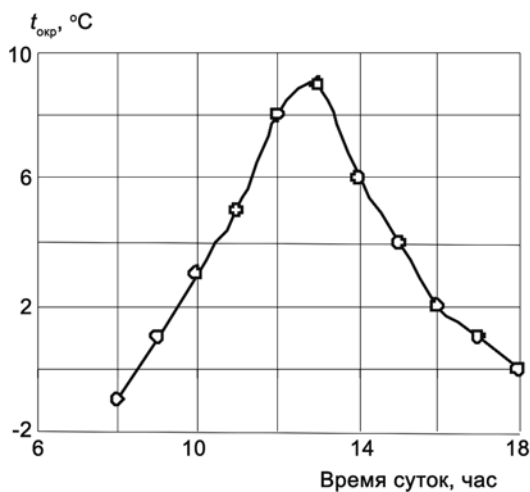


Рис. 2. Графическое изменение температуры окружающей среды в г. Баку в светлое время суток для 15 января 2014 г.

Fig. 2. Graphic change of the temperature of ambient in Baku in the daytime for the 15th January 2014

На рис. 1 приведен графический ход изменения часовых значений ПСР на 1 м² горизонтальной поверхности ПСК, а на рис. 2 – графический ход изменения часовых значений температуры окружающей среды, характерной для г. Баку, в светлое время суток 15 января.

Необходимо отметить, что при определении часовых значений температуры окружающей среды были использованы многолетние данные Государственного Комитета Гидрометеослужбы Министерства Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики [2], хотя в отдельные годы, особенно в 2013 и 2014 гг., в январе в ночные часы суток температура воздуха снижалась до -5 – -10 °С. Тем не менее, средние значения температуры окружающей среды за последние 10 лет изменились согласно графику, указанному на рис. 2.

Методика расчета

Расчеты проведены согласно методике, приведенной в работах [3-5]. Среднечасовые значения КПД ПСК находятся с использованием следующего уравнения:

$$\eta_{\text{ч}} = \frac{Q_U^{\text{ч}}}{A_{\text{к}} I_{\text{ч}}^{\text{гп}} R}, \quad (1)$$

где $I_{\text{ч}}^{\text{гп}} R = I_{\text{ч}}^{\text{гп}}$ – часовые значения ПСР на наклонной поверхности ПСК с углом наклона $\beta = 55^\circ 24'$; $Q_U^{\text{ч}}$ – часовое значение полезной энергии; $A_{\text{к}}$ – площадь ПСК, которая в данном случае $1 \cdot 1,7 = 1,7$ м².

Однако суточное значение КПД ПСК не равно среднему значению часовых КПД и определяется из уравнения

$$\eta_{\text{сут}} = \frac{\sum Q_U^{\text{ч}}}{A_{\text{к}} \sum I_{\text{ч}}^{\text{гп}}}, \quad (2)$$

где $\sum Q_U^{\text{ч}}$ – полная полезная энергия, полученная в ПСК на протяжении светлого времени суток; $\sum I_{\text{ч}}^{\text{гп}}$ – суммарные значения ПСР на наклонной плоскости.

Чтобы рассчитать численные значения $Q_U^{\text{ч}}$, необходимо определить эффективности ребра F , эффективности ПСК F^I и коэффициента отвода тепла из коллектора F_R , для чего применяются следующие уравнения:

$$F = \frac{\text{th } m(l - D_{\text{вн}})/2}{m(l - D_{\text{вн}})/2}; \quad (3)$$

$$F^I = \frac{1/U_L}{W \left\{ \frac{1}{U_L [D_{\text{вн}} + (l - D_{\text{вн}}) F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_{\text{вн}} h_{f,i}} \right\}}; \quad (4)$$

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} \left(1 - e^{-U_L F^I / GC_p} \right), \quad (5)$$

где $m = \sqrt{U_L / kv} = \sqrt{6 / (204 \cdot 0,0005)} = 7,67$ – для теплопоглощающей пластины, сделанной из алюминия; коэффициент теплопроводности пластины составляет $k = 204$ Вт/(м·град); $v = 0,05$ см; C_b – проводимость соединения листа с трубой, которая обратно пропорциональна сопротивлению (при хорошем контакте металлов сопротивление между трубой и ребром ниже 0,03 м·град/Вт, как было сказано выше, чем можно пренебречь); C_p – удельная теплоемкость теплоносителя, циркулирующего по трубам теплопоглощающей пластины (в данном случае, для воды $C_p = 4187$ Дж/(кг·°C)).

Половина расстояния между трубами, которая используется в (3), равна

$$l_{0,5} = \frac{l - D_{\text{вн}}}{2} = \frac{0,12 - 0,012}{2} = 0,054.$$

Тогда согласно (3) получим

$$F = \frac{\text{th}(7,67 \cdot 0,054)}{7,67 \cdot 0,054} = 0,95.$$

Теперь согласно (4) можно определить величину F^I , которая равна

$$F^I = \frac{1/6}{\frac{0,12 \cdot 1}{6[0,012 + (0,12 - 0,012) \cdot 0,95]} + \frac{0,12 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,012 \cdot 1400}} = 0,942.$$

Наконец, используя (5), находим величину коэффициента отвода тепла из коллектора F_R . При этом необходимо учитывать расход теплоносителя (в данном случае воды) на единицу площади ПСК, который составляет $g = G/A = 0,025/1,7 = 0,0147$ кг/с. Тогда получим

$$F_R = \frac{0,0147 \cdot 4,187 \cdot 10^3}{6} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{6 \cdot 0,942}{0,0147 \cdot 4,187 \cdot 10^3}\right) \right] = 0,9.$$

Определяем приведенную поглощающую способность θ системы, состоящей из двух прозрачных покрытий и поглощающей пластины, для чего применяется уравнение:

$$\theta = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) P_d}, \quad (6)$$

где P_d – диффузная отражательная способность поглощающей пластины (согласно [3] для двухстекольных покрытий $P_d \approx 0,24$); $\tau = 0,8$ – пропускающая спо-

собность прозрачного покрытия; $\alpha = 0,95$ – поглощающая способность теплопоглощающей пластины.

С учетом указанных значений P_d , τ и α определяем численное значение θ :

$$\theta = \frac{0,95 \cdot 0,8}{1 - (1 - 0,95) \cdot 0,24} = 0,77.$$

Для определения часовых значений $I_{\text{ч}}^{\text{полн}}$, поглощенной ПСР, прежде необходимо найти величины коэффициента наклона ПСК R для различных времен года, после чего, с учетом выбранного постоянного значения угла наклона $\beta = 55^\circ 24'$ найти часовые значения ПСР на наклонную поверхность ПСК.

Часовые значения R определяются из следующего уравнения:

$$R = \frac{\cos(\varphi - \beta \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta)}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta}, \quad (7)$$

где φ – угол северной широты местности (для г. Баку $\varphi = 40^\circ 24'$); β – угол наклона ПСК (как было указано выше, за оптимальное значение для 15 января принято $\beta = 55^\circ 24'$); δ – угол склонения Солнца, т.е. угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора, который имеет положительный знак для северного полушария и для г. Баку в январе меняется в пределах от -23° , характерного для 1-го января, до $-17^\circ 47'$, характерного для 31-го января (в данном случае для расчетного значения принято $\delta = -21^\circ$, которое соответствует 15-му января); ω – часовой угол Солнца, равный нулю в солнечный полдень (каждый час соответствует 15° долготы, причем значение часового угла до полудня считается положительным, а после полудня – отрицательным).

Суточные значения часового угла Солнца в указанное время года меняется в пределах от $+67,5^\circ$ до $-67,5^\circ$. Ежечасные значения часового угла Солнца приведены в табл. 1. В полдень (для г. Баку в 12 ч 30 мин) значение ω приравнивается нулю, а для определения других значений ω пересчет произведен сначала (в промежутке времени 12–13 ч) с учетом полчасовых интервалов от полудня по обе стороны, которым соответствуют значения $+7,5^\circ$ и $-7,5^\circ$. А далее численные значения ω меняются через каждый час с учетом $\pm 15^\circ$.

С учетом выбранных постоянных значений φ , β и δ был определен ход изменения часовых значений коэффициента наклона ПСК в зависимости от изменения часового угла Солнца ω . В качестве примера ниже приводим расчет численного значения R для 8 ч утра. Исходные данные для указанного времени дня следующие: $\omega = +67,5^\circ$; $\varphi = 40^\circ 24'$; $\beta = 55^\circ 24'$; $\delta = -21^\circ$. С учетом указанных исходных данных для R находим



$$R_{8-00} = \frac{\cos(40^\circ 24' - 55^\circ 24') \cos(-21^\circ) \cos 67^\circ 30'}{\cos 40^\circ 24' \cos(-21^\circ) \cos 67^\circ 30' + \sin 40^\circ 24' \sin(-21^\circ)} + \frac{\sin(40^\circ 24' - 55^\circ 24') \sin(-21^\circ)}{\cos 40^\circ 24' \cos(-21^\circ) \cos 67^\circ 30' + \sin 40^\circ 24' \sin(-21^\circ)} = 4,56.$$

Аналогичным образом были определены также и другие значения R , соответствующие другим временам суток по обе стороны от полудня. Используя численные значения R и $I_{\text{ч}}^{\text{ГП}}$, были найдены часовые значения ПСР на наклонной поверхности ПСК ($I_{\text{ч}}^{\text{НП}}$). Результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения угловых скоростей Солнца в зависимости от времени дня

Table 1

The values of the angular velocities of the Sun depending on day time

Время суток	8 ⁰⁰	9 ⁰⁰	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰
ω , °/час	+67,5	+52,5	+37,5	+22,5	+7,5	-7,5	-22,5	-37,5	-52,5	-67,5

Таблица 2

Результаты, полученные из расчета суточного КПД экспериментального ПСК, работающего 15 января в климатических условиях г. Баку

Table 2

The results obtained from the calculation of the daily efficiency of experimental FSC, working on January 15th in the climatic conditions in Baku

Параметр	Время суток									
	8 ⁰⁰	9 ⁰⁰	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰
$I_{\text{ч}}^{\text{ГП}}$, Вт/м ²	25	150	260	345	375	365	285	195	90	10
R	4,56	3,4	2,56	2,18	2,09	2,09	2,18	2,56	3,4	4,56
$I_{\text{ч}}^{\text{НП}}$, Вт/м ²	114	510	666	752	784	763	621	499	306	46
$I_{\text{ч}}^{\text{ПОГЛ}}$, Вт/м ²	88	393	513	579	604	588	478	384	236	35
$t_{\text{окр}}$, °C	-1	+1	+3	+5	+8	+9	+6	+4	+2	+1
ω , °/час	+67,5	+52,5	+37,5	+22,5	+7,5	-7,5	-22,5	-37,5	-52,5	-67,5
$U_{\text{ч}}^{\text{ТП}}$, Вт/м ²	366	354	342	330	312	306	324	336	348	354
$Q_{\text{У}}$, Вт/м ²	-	60	262	381	447	431	236	73	-	-
$\eta_{\text{ч}}$, %	0	6,9	23,1	29,8	33,5	33,0	22,4	8,6	0	0

Примечание. $\sum I_{\text{ч}}^{\text{НП}} = 5061$ Вт/м²; $\sum Q_{\text{У}} = 1900$ Вт/м²; $\eta_{\text{сут}} = 22,1$ %; $\eta_{\text{сут}}^{\text{сп}} = 22,5$ %.

Далее были определены часовые значения тепловых потерь $U_{\text{ч}}^{\text{ТП}}$ с учетом часовых значений температуры окружающей среды $t_{\text{окр}}$ (из рис. 2), коэффициента тепловых потерь U_L , а также температуры теплоносителя на входе в ПСК ($t_{\text{вх}} = 60$ °C).

Численные значения $U_{\text{ч}}^{\text{ТП}}$ были найдены из следующего уравнения:

$$U_{\text{ч}}^{\text{ТП}} = U_L (t_{\text{вх}} - t_{\text{окр}}). \quad (8)$$

Для примера ниже приводим расчет $U_{\text{ч}}^{\text{ТП}}$ для 8 часов утра:

$$U_{8-00}^{\text{ТП}} = 6[60 - (-1)] = 6 \cdot 61 = 366 \text{ Вт/м}^2.$$

Для остального времени суток также были определены соответствующие значения $U_{\text{ч}}^{\text{ТП}}$, которые приведены в табл. 2.

Используя эмпирическую формулу

$$I_{\text{ч}}^{\text{НП}} = I_{\text{ч}}^{\text{ГП}} R, \quad (9)$$

определяли часовые значения ПСР на наклонной плоскости ПСК с углом наклона $\beta = 55^\circ 24'$. Умножая полученные данные на численное значение приведенной поглощающей способности θ , вычисляли соответствующие часовые значения поглощенной солнечной радиации:

$$I_{\text{ч}}^{\text{ПОГЛ}} = I_{\text{ч}}^{\text{НП}} \theta. \quad (10)$$

Часовые значения полезно используемой части мощности солнечной радиации были найдены по формуле

$$Q_U^n = A_{\text{колл}} F_R (I_{\text{ч}}^{\text{полл}} - U_{\text{ч}}^{\text{ТП}}). \quad (11)$$

Далее, с учетом соответствующих часовых значений Q_U^n и $I_{\text{ч}}^{\text{НП}}$, были определены их суточные (суммарные) значения $\sum Q_U^n$ и $\sum I_{\text{ч}}^{\text{НП}}$, а используя (2), был найден суточный КПД ПСК:

$$\eta_{\text{сут}} = \frac{\sum Q_U^n}{A_{\text{к}} \sum I_{\text{ч}}^{\text{НП}}} = \frac{1900 \cdot 100}{1,7 \cdot 5061} = 22,1 \, \%.$$

Среднесуточное значение КПД ПСК было определено с применением следующей эмпирической формулы:

$$\eta_{\text{сут}}^{\text{ср}} = 100 \frac{\sum \eta_{\text{ч}}}{n}, \quad (12)$$

где $\eta_{\text{ч}}$ – часовые значения КПД ПСК, которые находятся из (1).

В качестве примера ниже приводим расчет часового КПД ПСК для 13 часов. Для этого из табл. 2 выбираем следующие исходные данные: $I_{13-00}^{\text{НП}} = 763$ Вт/м²; $Q_U^{13-00} = 431$ Вт/м²; $A_{\text{к}} = 1,7$ м²:

$$\eta_{13-00} = \frac{Q_U^{13-00}}{A_{\text{к}} I_{13-00}^{\text{НП}}} 100 = \frac{431}{1,7 \cdot 763} 100 = 33,0 \, \%.$$

Аналогичным образом определены численные значения КПД ПСК и для других часов суток, которые приведены в табл. 2. Далее, используя табличные данные из (12), определено среднесуточное значение КПД ПСК:

$$\eta_{\text{сут}}^{\text{ср}} = \frac{6,9 + 23,1 + 29,8 + 33,5 + 33,0 + 22,4 + 8,6}{7} 100 = 22,5 \, \%.$$

Как видно из сравнения полученных результатов расчета КПД ПСК, они довольно хорошо согласуются между собой, и разница между двумя значениями $\eta_{\text{сут}}$ составляет всего 0,4%, чем можно пренебречь.

Необходимо отметить, что в данном расчете нами были использованы коэффициенты наклона R , найденные только лишь с учетом прямой солнечной радиации. Это несколько повлияло на полученные результаты.

Ранее в работе [1] нами для г. Баку были определены среднемесячные значения общего коэффициен-

та наклона $R_{\text{общ}}$. Установлено, что для января среднее значение $R_{\text{общ}}^{\text{ср}}$ составляет 2,32, а часовые значения его в периоды суток меняются в пределах 1,8–4,0. Так как в условиях г. Баку даже в зимние периоды года в редких случаях наблюдается снежный покров, то можно пренебречь влиянием альбедо на численные значения $R_{\text{общ}}$. Несмотря на то, что за счет этого расчетные значения $I_{\text{ч}}^{\text{НП}}$ и $I_{\text{ч}}^{\text{полл}}$ несколько уменьшаются, в целом это мало влияет на суточные значения КПД ПСК, так как при этом параллельно с уменьшением суммарного значения $\sum I_{\text{ч}}^{\text{полл}}$ согласно уравнению (11) аналогично уменьшаются как часовые Q_U^n , так и суммарные (суточные) $\sum Q_U^n$ значения полезно используемой мощности ПСК. В конечном итоге величина суточного КПД ($\eta_{\text{сут}}$) ПСК меняется незначительно. Сказанное объясняется еще тем, что, как видно из (2), (8) и (9), наиболее сильно влияющими факторами на величины КПД ПСК являются температура окружающей среды, а также суммарные тепловые потери через прозрачную перегородку, днище и боковые стенки ПСК.

Выводы

1. Таким образом, проведенные расчеты показывают, что в условиях Баку 15 января среднесуточный КПД ПСК составляет $\eta_{\text{сут}} = 22,1 \, \%$, при этом часовые значения КПД меняются в широких пределах, достигая своего максимального значения в часы полудня (в 12 ч), а минимальное значение его наблюдается в 9 ч, оно составляет 6,9%.

2. Определено, что в указанное время года использование ПСК дает положительные результаты только лишь в периоды от 9 до 14 часов. А в остальное время суток необходимо использовать дублирующие источники энергии, в качестве которых могут быть использованы как традиционные, так и альтернативные источники энергии, например, фотоэлектрические или же ветроэлектрические источники тока.

3. Установлено, что при использовании двойного прозрачного покрытия, несмотря на то, что происходит некоторое снижение его пропускающей способности относительно солнечного излучения, вплоть до $\tau = 0,8$, параллельно с этим уменьшаются также и конвективные тепловые потери через поверхности верхнего прозрачного покрытия от 8 до 6 Вт/(м²·град), что в конечном итоге положительно влияет на часовые и суточные значения КПД ПСК.



Список литературы

1. Саламов О.М., Аббасова Ф.А, Рзаев П.Ф. Расчет солнечной водоподогревательной системы для горячего водоснабжения сельской семьи // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. 2006. № 10 (42). С. 30-36.
2. Национальное сообщение Азербайджанской Республики по Рамочной Конвенции ООН по изменению климата, 2011. Госкомитет по Гидрометеорологии Азербайджанской Республики. Баку, 2011.
3. Даффи Дж. А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. М.: Мир, 1977.
4. Байрамов Р.Б., Ушакова А.Д. Солнечные водонагревательные установки. Ашхабад: Ылым, 1987.
5. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. М: Энергоатомиздат, 1982.

References

1. Salamov O.M., Abbasova F.A, Rzaev P.F. Rasčet solnečnoj vodopodogrevatel'noj sistemy dlâ gorâčego vodosnabženiâ sel'skoj sem'i // Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ – ISJAEE. 2006. № 10 (42). S. 30-36.
2. Nacional'noe soobšenie Azerbajdžanskoj Respubliki po Ramočnoj Konvencii OON po izmeneniû klimata, 2011. Goskomitet po Gidrometeorologii Azerbajdžanskoj Respubliki. Baku, 2011.
3. Daffi Dž. A., Bekman U.A. Teplovyje processy s ispol'zovaniem solnečnoj ènergii. M.: Mir, 1977.
4. Bajramov R.B., Ušakova A.D. Solnečnye vodonagrevatel'nye ustanovki. Ašhabad: Ylym, 1987.
5. Bekman U., Klejn S., Daffi Dž. Rasčet sistem solnečnogo teplosnabženiâ. M: Ènergoatomizdat, 1982.

Транслитерация по ISO 9:1995

