

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-5-472-484>

УДК 536.423.1

Солнечные коллекторы на основе медных двухфазных термосифонов

В. И. Мариненко¹⁾, В. С. Кулинич¹⁾

¹⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (Киев, Украина)

© Белорусский национальный технический университет, 2020
Belarusian National Technical University, 2020

Реферат. Термосифоны и тепловые трубы открывают широкие возможности при создании пассивных систем тепломассопереноса. Известны различные конструктивные решения с использованием тепловых труб (термосифонов) в солнечных энергетических системах. Солнечная энергия – один из перспективных источников энергии, шаг к уменьшению зависимости от других энергетических ресурсов. Сегодня уже существует промышленное производство солнечных коллекторов на основе термосифонов (тепловых труб). Использование термосифонов (тепловых труб) упрощает сборку конструкции, обеспечивает ее высокую модульность, ремонтпригодность и надежность. В процессе исследований авторами разработана и обоснована конструкция солнечного коллектора на основе термосифонов, закрепленных на панелях, поглощающих солнечные лучи. Для анализа эффективности работы солнечного коллектора на основе медных двухфазных термосифонов были изготовлены два макета – с плоской и цилиндрической поглощающими панелями. Площади поглощающих поверхностей одинаковые. Обе модели исследованы методом теплофизического эксперимента. Получены результаты эффективности предлагаемых конструкций солнечных коллекторов. Коэффициент полезного действия солнечного коллектора на основе медного двухфазного термосифона, закрепленного на цилиндрической поглощающей панели, на 2–5 % больше, чем на основе такого же термосифона, закрепленного на плоской поглощающей панели. Максимальное значение КПД, полученное при низких начальных температурах воды, для солнечных коллекторов с цилиндрической и плоской поглощающими поверхностями – 60 %.

Ключевые слова: солнечный коллектор, медный двухфазный термосифон, цилиндрическая и плоская поглощающие панели

Для цитирования: Мариненко, В. И. Солнечные коллекторы на основе медных двухфазных термосифонов / В. И. Мариненко, В. С. Кулинич // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2020. Т. 63, № 5. С. 472–484. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-5-472-484>

Solar Collectors Based on Copper Two-Phase Thermosyphons

V. I. Marynenko¹⁾, V. S. Kulynych¹⁾

¹⁾National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

Abstract. Thermosyphons and heat pipes offer great opportunities for creating passive heat and mass transfer systems. Various design solutions using heat pipes (thermosyphons) in solar energy

Адрес для переписки

Мариненко Владимир Иванович
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт
имени Игоря Сикорского»
просп. Победы, 56,
03056, г. Киев, Украина
Тел.: +380 44 204-80-87
v.marinenko@gmail.com

Address for correspondence

Marynenko Volodymyr I.
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute”
56, Peremogy Ave.,
03056, Kyiv, Ukraine
Tel.: +380 44 204-80-87
v.marinenko@gmail.com

systems are known. Solar energy is one of the promising energy sources, a step towards reducing dependence on other energy resources. To date, there is already an industrial production of solar collectors based on thermosyphons (heat pipes). In solar collectors, the use of thermosyphons (heat pipes) makes it possible to simplify the assembly of the structure, ensures its high modularity, maintainability and reliability. In the course of research, the authors have developed and justified the design of a solar collector based on thermosyphons fixed on panels that absorb solar rays. In order to analyze the efficiency of the solar collector based on two-phase copper thermosyphons, two models of solar collectors were created, viz. the one with a flat absorbing panel and the one with a cylindrical absorbing panel. The areas of the absorbing surfaces were the same. Both models were studied by the method of thermophysical experiment. The results of studies of the effectiveness of the above-mentioned solar collectors have been obtained. The efficiency of the solar collector based on a copper two-phase thermosyphon, which is fixed on a cylindrical absorbing panel is 2–5 % more than the efficiency of the solar collector based on a copper two-phase thermosyphon, which is fixed on a flat absorbing panel. The maximum efficiency value obtained at low initial water temperatures for solar collectors with a cylindrical and flat absorbing surface was 60 %.

Keywords: solar collector, copper two-phase thermosyphon, cylindrical and flat absorptive panels

For citation: Marynenko V. I., Kulynych V. S. (2020) Solar Collectors Based on Copper Two-Phase Thermosyphons. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 63 (5), 472–484. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-5-472-484> (in Russian)

Введение

Технологии строительства сооружений с низким энергопотреблением требуют использования методов и систем с минимальными энергозатратами. Если ставить задачу создания пассивных систем тепломассопереноса, то применение термосифонов (ТС) и тепловых труб (ТТ) открывает широкие возможности для решения проблем теплопередачи в солнечных энергетических системах [1–5].

Технологии использования ТС и ТТ известны давно [6, 7]. Термосифоны (тепловые трубы) обладают отличными возможностями для теплопередачи, высокой эффективностью и зачастую конструктивной простотой. Кроме того, это автономные системы, не имеющие механических движущихся частей. Известны различные конструктивные решения применения тепловых труб в установках энергосбережения [1, 7–9], а также как элементов систем, работающих на возобновляемых источниках энергии [10]. Термосифоны и тепловые трубы могут быть использованы в солнечных энергетических системах. Солнечная энергия – один из перспективных источников энергии [11, 12], шаг к уменьшению зависимости от других энергетических ресурсов. Применение ТС и ТТ в солнечных энергетических системах рассматривается с 80-х гг. XX в. [13]. Сегодня уже существует промышленное производство вакуумных солнечных коллекторов (СК) на основе термосифонов [14]. Использование термосифонов упрощает сборку конструкции, обеспечивает ее высокую модульность, ремонтпригодность и надежность.

Рациональным решением для высокоэффективных оболочек тепловых труб, предназначенных для СК, является профильная плавниковая конструкция, полученная методом экструзии. Оболочка ТТ вместе с плоской

поглощающей панелью производится сплошным элементом с нарезанными по внутренней стороне трубы продольными аксиальными капиллярными омегаобразными канавками [15].

Авторами [15] разработан и создан солнечный коллектор на основе алюминиевых профильных тепловых труб с аксиальными канавками омегаобразной формы, работающих в режиме двухфазного термосифона. Панель коллектора, поглощающая теплоту солнечных лучей, состоит из алюминиевых ТТ, изготовленных из плоского алюминиевого профиля. Теплота воспринимается плоской поверхностью зоны испарения ТТ и передается жидкостному теплообменнику, расположенному на зонах конденсации. Такая система теплопередачи обеспечивает низкое гидравлическое сопротивление теплообменника солнечного коллектора и соответственно малые энергозатраты на работу насоса.

В [16] рассмотрены СК на основе медного двухфазного термосифона (ДТС) с использованием медной плоской поглощающей панели, представлены исследования его тепловой эффективности, выполнено сравнение с СК на основе алюминиевых профильных ТТ, работающих в режиме двухфазного термосифона.

Недостатком вышеуказанных СК является то, что они имеют тепловые потери при передаче радиационного теплообмена в длинноволновом диапазоне между поглощающей плоской панелью и термосифоном.

Цель исследования авторов статьи – разработка конструкции элемента солнечного коллектора, на основе которого можно повысить его эффективность за счет реализации дополнительного радиационного теплообмена в длинноволновом диапазоне между поглощающей панелью и ДТС с теплоносителем. Поперечный разрез полномасштабного коллектора показан на рис. 1.

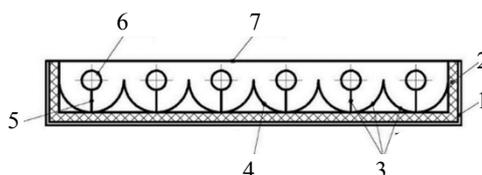


Рис. 1. Поперечный разрез полномасштабного солнечного коллектора:
1 – корпус; 2 – теплоизоляция; 3 – абсорбер; 4 – цилиндрический сегмент;
5 – ребро; 6 – двухфазный термосифон; 7 – стеклянная крышка

Fig. 1. A cross-section of a full-scale solar collector:
1 – case; 2 – heat insulation; 3 – absorber; 4 – cylindrical segment;
5 – edge; 6 – two-phase thermosyphon; 7 – glass cover

Техническая задача решается за счет создания панели, поглощающей солнечные лучи. Чтобы не изготавливать полномасштабный новый СК, был выполнен элемент специально профилированной поглощающей панели в виде цилиндрической поверхности. В ее внутренней части закреплено ребро, на свободном конце которого располагается ДТС. Цилиндрическая поверхность панели играет роль концентратора отраженной части излучения и собственного излучения панели в районе термосифона [17].

Для анализа эффективности работы солнечного коллектора на основе медных ДТС было изготовлено два макета – с плоской и цилиндрической поглощающими панелями.

В процессе экспериментов:

- определена эффективность созданных элементов СК на основе медных ДТС;
- получены значения КПД солнечных коллекторов с использованием апробированных методик исследований теплопередачи;
- проведена сравнительная оценка эффективности элементов СК на основе ДТС.

Экспериментальные исследования эффективности элементов солнечных коллекторов на основе двухфазных термосифонов

Для проведения исследований были созданы две экспериментальные установки в соответствии с [18]. На рис. 2 показана конструкция солнечного подогревателя воды, выполненного из элемента высокоэффективной теплопоглощающей медной панели и одного медного ДТС, закрепленного на панели зоной испарения, а зона конденсации размещена в жидком теплообменнике типа «труба в трубе», который подключен к баку-аккумулятору. В качестве теплоносителя для медных ДТС использовали низкокипящий этанол.

- Рис. 2. Солнечный подогреватель воды: 1 – герметичный корпус; 2 – стеклянная крышка; 3 – теплопоглощающая панель элемента солнечного коллектора; 4 – двухфазный термосифон; 5 – теплообменник типа «труба в трубе»; 6 – вход теплоносителя; 7 – выход теплоносителя; 8 – бак-аккумулятор; 9 – термометр; 10 – теплоизоляционная крышка; 11 – термопары медь–константан; 12 – модуль аналогового ввода; 13 – адаптер сигналов; 14 – персональный компьютер

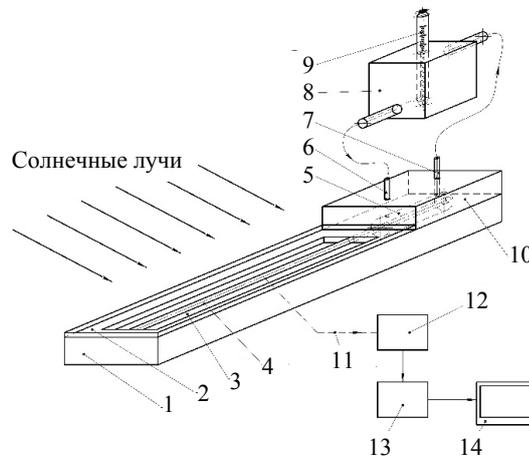


Fig. 2. A solar water heater: 1 – hermetic case; 2 – glass cover; 3 – heat-absorbing panel of the solar collector element; 4 – two-phase thermosyphon; 5 – pipe-in-pipe heat exchanger; 6 – heat carrier inlet; 7 – heat carrier outlet; 8 – tank-accumulator; 9 – thermometer; 10 – thermal insulation cover; 11 – copper-constantan thermocouples; 12 – analog input module; 13 – signal adapter; 14 – personal computer

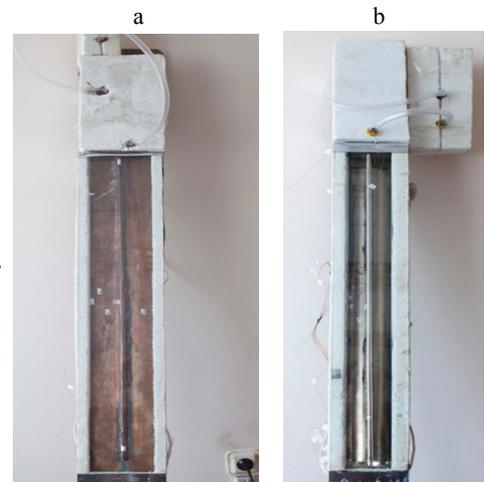
Исследование элементов СК на основе медных двухфазных термосифонов, закрепленных на плоской (рис. 3а) и цилиндрической (рис. 3б) поглощающих панелях, осуществлялось с использованием солнечных лучей в летний период времени. Мощность теплового потока солнечных лучей определялась пирометром ФЭП-4.

В состав экспериментальных установок солнечных подогревателей воды входили:

- ртутный термометр с ценой деления 0,1 °С для определения температуры воды в баке-аккумуляторе солнечного подогревателя воды;
- медь-константановые термопары с диаметром провода 0,15 мм для измерения температурного поля поглощающей панели, температуры внешней стенки двухфазного термосифона, температуры на входе и выходе из теплообменника;
- модуль аналогового ввода;
- адаптер сигналов;
- персональный компьютер;
- пирометр ФЭП-4 для измерения величины радиационного потока солнечного излучения, падающего на экспериментальные участки.

Рис. 3. Элемент солнечного коллектора на основе медного двухфазного термосифона, закрепленного на плоской (а) и цилиндрической (б) теплопоглощающих панелях

Fig. 3. A solar collector element based on a copper two-phase thermosyphon, which is mounted on a flat (a) and cylindrical (b) heat-absorbing panels



3D-модели установки солнечного подогревателя воды и конструкции созданных солнечных коллекторов показаны на рис. 4, 5 соответственно.

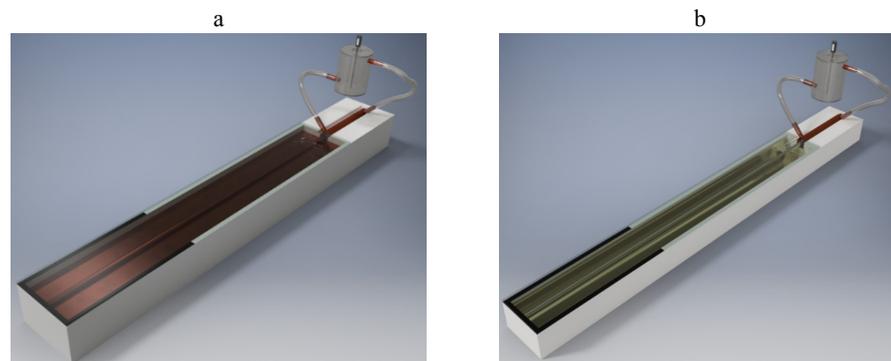


Рис. 4. 3D-модель установки солнечного подогревателя воды на основе медного двухфазного термосифона с плоской (а) и цилиндрической (б) поглощающими панелями

Fig. 4. A 3D-model of the structure of the solar water heater installation based on a copper two-phase thermosyphon with a flat (a) and cylindrical (b) absorbing panels

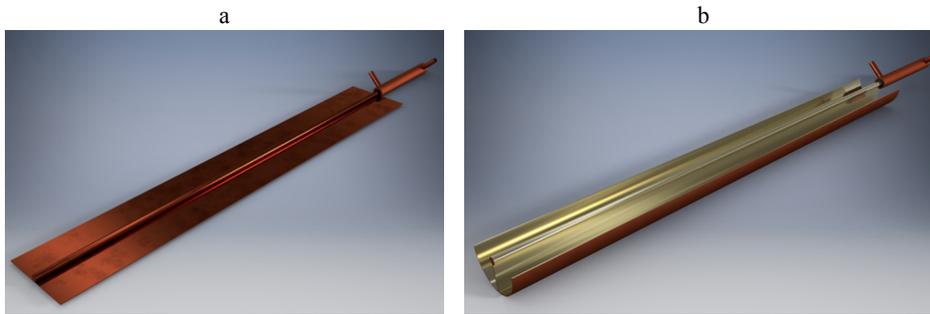


Рис. 5. 3D-модель конструкции солнечного коллектора на основе медного двухфазного термосифона с плоской (а) и цилиндрической (б) поглощающими панелями

Fig. 5. A 3D-model of the design of the solar collector based on a copper two-phase thermosiphon with a flat (a) and cylindrical (b) absorbing panels

Геометрические характеристики медных двухфазных термосифонов, плоской и цилиндрической поглощающих панелей из меди МОК приведены на рис. 6 и в табл. 1.

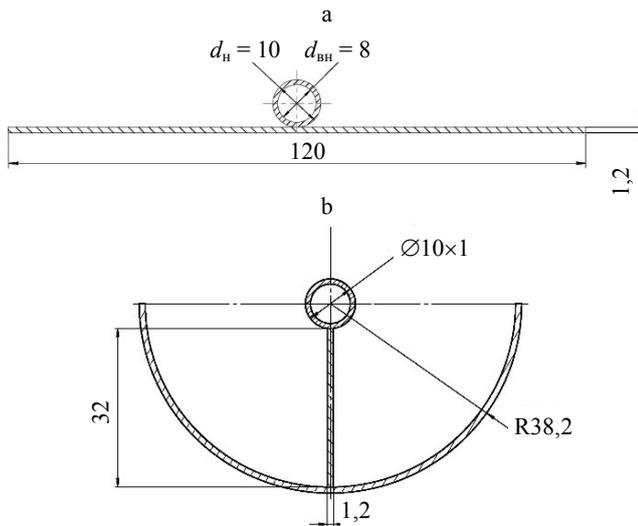


Рис. 6. Сечение экспериментального участка солнечного коллектора на основе медного двухфазного термосифона, закрепленного на медных плоской (а) и цилиндрической (б) поглощающих панелях

Fig. 6. Section of the experimental section of the solar collector based on a copper two-phase thermosiphon mounted on a flat (a) and cylindrical (b) absorbing panels

Количество тепловой энергии, поглощенной водой в солнечных подогревателях, определяли по формуле

$$Q = c_B M_B (t_{B1} - t_{B2}),$$

где c_B – теплоемкость воды, Дж/(кг·К); M_B – количество нагреваемой воды, кг; t_{B1} , t_{B2} – средняя температура воды в баке-аккумуляторе после и до нагревания, °С.

Удельный тепловой поток, воспринимаемый теплопоглощающей поверхностью солнечных коллекторов:

$$q = \frac{Q}{F\tau},$$

где F – площадь теплопоглощающей поверхности плоского или цилиндрического коллектора, м^2 ; τ – время работы солнечного подогревателя между замерами температуры воды в баке-аккумуляторе, мин.

Таблица 1

Геометрические характеристики элементов
Geometric characteristics of elements

Медный двухфазный термосифон		Поглощающая панель из меди МОК			
		плоская		цилиндрическая	
Наружный диаметр $d_{\text{н}}$, мм	10	Длина l , мм	810,0	Длина l , мм	810,0
Внутренний диаметр $d_{\text{вн}}$, мм	8	Ширина b , мм	120,0	Радиус цилиндрической поверхности R , мм	38,2
Общая длина l , мм	1000	Толщина S , мм	1,2	Толщина S , мм	1,2

Площади теплопоглощающих поверхностей плоского и цилиндрического СК принимались равными.

Коэффициент полезного действия солнечного подогревателя рассчитывали как отношение величины удельного теплового потока q к созданному солнцем потоку падающей солнечной радиации $E \approx 850 \text{ Вт/м}^2$

$$\eta = \frac{q}{E}.$$

Для сравнения КПД различных типов конструкций СК использовали характеристику их эффективности – термическое сопротивление $X = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{вз}}}{E}$, где $t_{\text{в}}$ – температура воды в баке-аккумуляторе, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{вз}}$ – температура окружающего воздуха; E – поток падающей солнечной радиации, Вт/м^2 .

Результаты исследований элементов солнечных коллекторов на основе медных ДТС, закрепленных на плоской и цилиндрической поглощающих панелях, приведены в табл. 2 и 3 соответственно. Условные обозначения в табл. 2, 3: t_1, t_2 – температура ДТС в зонах испарения и конденсации, $^{\circ}\text{C}$; t_3 – среднее значение температуры поглощающей панели, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{вз}}$ – температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$; t_5 – температура воды в баке-аккумуляторе, $^{\circ}\text{C}$; Δt – приращение температуры воды в баке-аккумуляторе между замерами, $^{\circ}\text{C}$; τ – время выполнения замеров, мин; Q – количество тепловой энергии, поглощенной водой через теплообменник за определенный промежуток времени, Дж; $Q_{\text{п}}$ – тепловой поток, воспринимаемый тепло-

поглощающей поверхностью солнечного коллектора, Вт; q – удельный тепловой поток, воспринимаемый теплопоглощающей поверхностью СК, Вт/м²; η – КПД солнечного коллектора; X – термическое сопротивление конструкции СК.

Таблица 2

Результаты исследований элемента солнечного коллектора на основе медного двухфазного термосифона с плоской медной поглощающей панелью

The results of the studies of the element of the solar collector based on a copper two-phase thermosyphon with a flat copper absorbing panel

Температура, °С						τ , мин	Q , кДж	$Q_{п}$, Вт	q , Вт/м ²	η	$X \cdot 10^3$, К·м ² /Вт
t_1	t_2	t_3	$t_{вз}$	t_6	Δt						
51,5	46,8	49,2	31,5	36,6	–	1	–	–	–	–	–
53,8	46,8	49,9	31,5	38,3	1,7	3	3198	26,6	271,9	0,320	9,4
56,1	48,0	50,7	31,1	40,0	1,0	5	1881	15,7	159,9	0,188	10,6
58,4	49,2	51,5	32,0	41,0	0,5	7	941	7,8	80,0	0,094	11,2
58,4	49,2	51,5	32,0	41,5	1,3	9	2445	20,4	207,9	0,245	12,7
58,4	49,2	53,8	32,0	42,8	0,8	11	1505	12,5	128,0	0,151	13,6
60,7	51,5	53,8	31,8	43,6	0,9	13	1693	14,1	144,0	0,169	14,7
60,7	51,5	53,8	32,0	44,5	0,8	15	1505	12,5	128,0	0,151	15,6
60,7	51,5	55,4	32,0	45,3	0,8	17	1505	12,5	128,0	0,151	16,6
63,0	52,7	56,1	32,0	46,1	0,9	19	1693	14,1	144,0	0,169	17,6
63,0	53,8	56,1	31,5	47,0	0,8	21	1505	12,5	128,0	0,151	18,6
60,7	51,5	54,6	32,0	47,8	0,5	23	941	7,8	80,0	0,094	19,2
60,7	53,8	56,1	31,3	48,3	0,8	25	1505	12,5	128,0	0,151	20,1
60,7	53,8	58,4	30,6	49,1	0,2	27	376	3,1	32,0	0,038	20,4
63,0	56,1	58,4	31,8	49,3	0,5	29	941	7,8	80,0	0,094	20,9
60,7	56,1	58,4	31,8	49,8	0,8	31	1505	12,5	128,0	0,151	21,9
58,4	56,1	58,8	31,8	51,7	1,1	35	2069	8,6	88,0	0,103	23,2
63,0	56,1	60,7	31,8	53,0	1,3	39	2445	10,2	104,0	0,122	24,7
63,0	58,4	60,7	32,5	54,0	1,0	43	1881	7,8	80,0	0,094	25,9
66,4	58,4	60,7	32,0	55,0	1,0	47	1881	7,8	80,0	0,094	27,1
67,5	58,4	63,0	31,5	56,0	1,0	51	1881	7,8	80,0	0,094	28,2
67,5	60,7	63,0	32,0	56,7	0,7	55	1317	5,5	56,0	0,066	29,1
67,5	60,7	63,0	32,5	57,5	0,8	59	1505	6,3	64,0	0,075	30,0
67,5	60,7	63,0	33,0	58,2	0,7	63	1317	5,5	56,0	0,066	30,8
67,5	60,7	63,0	33,5	59,0	0,8	71	1505	3,1	32,0	0,038	31,8
67,5	60,7	62,6	33,2	59,2	0,2	79	376	0,8	8,0	0,009	32,0
69,8	60,7	64,5	32,5	59,6	0,4	87	752	1,6	16,0	0,019	32,5
65,3	58,4	63,0	31,8	60,2	0,6	95	1129	2,4	24,0	0,028	33,2
65,3	58,4	60,7	32,5	61,3	1,1	103	2069	4,3	44,0	0,052	34,5
65,3	58,4	60,7	32,5	62,0	0,7	111	1317	2,7	28,0	0,033	35,3

Зависимости КПД от параметра X конструкции СК на основе ДТС, закрепленных на медных плоской и цилиндрической поглощающих панелях,

и приращения температуры воды в баке-аккумуляторе от времени приведены на рис. 7 и 8 соответственно.

Таблица 3

Результаты исследований элемента солнечного коллектора на основе медного двухфазного термосифона с цилиндрической медной поглощающей панелью
The results of studies of the element SC based on a copper two-phase thermosyphon with a cylindrical copper absorbing panel

Температура, °С						τ, мин	Q, кДж	Q _п , Вт	q, Вт/м ²	η	X · 10 ³ , К·м ² /Вт
t ₁	t ₂	t ₃	t _{вз}	t ₆	Δt						
51,5	41,9	47,3	31,5	37,3	—	1	—	—	—	—	—
53,6	42,8	49,2	31,5	37,5	0,2	3	376	3,1	32,0	0,038	5,3
55,4	43,5	50,9	31,1	39,0	1,5	5	2822	23,5	239,9	0,178	7,1
57,1	44,9	52,8	32,0	40,0	1,0	7	1881	15,7	159,9	0,188	8,2
58,7	46,1	54,3	32,0	40,5	0,5	9	941	7,8	80,0	0,094	8,8
60,5	46,6	55,4	32,0	41,5	1,0	11	1881	15,7	159,9	0,188	10,0
61,4	47,5	56,5	31,8	42,5	1,0	13	1881	15,7	159,9	0,188	11,2
62,6	48,5	57,8	32,0	43,2	0,7	15	1317	11,0	112,0	0,132	12,0
63,0	48,9	58,2	32,0	44,1	0,9	17	1693	14,1	144,0	0,169	13,1
64,2	50,1	59,2	32,0	45,0	0,9	19	1693	14,1	144,0	0,169	14,1
64,8	50,6	60,1	31,5	46,0	1,0	21	1881	15,7	159,9	0,188	15,3
64,8	51,0	60,5	32,0	46,7	0,7	23	1317	11,0	112,0	0,132	16,1
62,8	50,3	57,5	31,3	47,4	0,7	25	1317	11,0	112,0	0,132	16,9
64,4	51,7	60,1	30,6	47,9	0,5	27	941	7,8	80,0	0,094	17,5
65,5	52,4	61,1	31,8	48,4	0,5	29	941	7,8	80,0	0,094	18,1
66,4	52,9	61,9	31,8	49,0	0,6	31	1129	9,4	96,0	0,113	18,8
68,2	54,7	63,5	31,8	50,3	1,3	35	2445	10,2	104,0	0,122	20,4
69,1	55,9	64,7	31,8	51,5	1,2	39	2257	9,4	96,0	0,113	21,8
70,0	56,8	66,1	32,5	52,8	1,3	43	2445	10,2	104,0	0,122	23,3
70,5	57,7	65,8	32,0	54,0	1,2	47	2257	9,4	96,0	0,113	24,7
71,2	58,4	67,4	31,5	55,0	1,0	51	1881	7,8	80,0	0,094	25,9
72,5	59,4	68,3	32,0	56,0	1,0	55	1881	7,8	80,0	0,094	27,1
73,8	61,0	70,0	32,5	57,0	1,0	59	1881	7,8	80,0	0,094	28,2
75,6	62,8	71,2	33,0	57,5	0,5	63	941	3,9	40,0	0,047	28,8
65,5	63,7	70,1	33,5	60,5	3,0	71	5643	11,8	120,0	0,141	32,4
65,3	61,9	65,1	33,2	60,5	0	79	0	0	0	0,050	32,4
67,3	63,7	68,2	32,5	60,8	0,3	87	564	1,2	12,0	0,014	32,7
68,0	64,2	70,0	31,8	62,2	1,4	95	2633	5,5	56,0	0,066	34,4
68,7	65,7	71,6	32,5	64,0	1,8	103	3386	7,1	72,0	0,085	36,5
70,3	66,9	72,2	32,5	65,0	1,0	111	1881	5,2	53,3	0,063	37,6

На рис. 7 показано, что в начальный период нагрева воды КПД солнечного коллектора на основе медного ДТС, закрепленного на медной плоской

поглощающей панели, на 2 % меньше, чем у СК на основе медного ДТС, закрепленного на медной цилиндрической поглощающей панели, а в конце нагрева – меньше на 5 %.

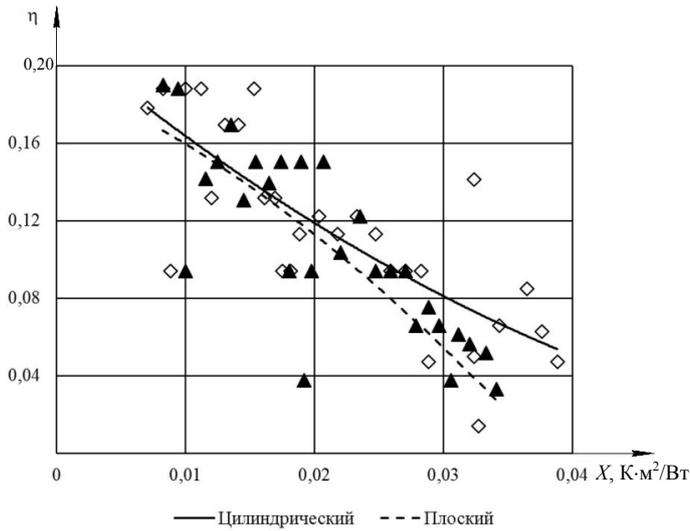


Рис. 7. Зависимость КПД от параметра X конструкции солнечного коллектора на основе двухфазных термосифонов, закрепленных на медных плоской и цилиндрической поглощающих панелях

Fig. 7. Dependences of current values of efficiency on the parameter X of a solar collector designs based on two-phase thermosyphons mounted on copper flat and cylindrical absorbing panels

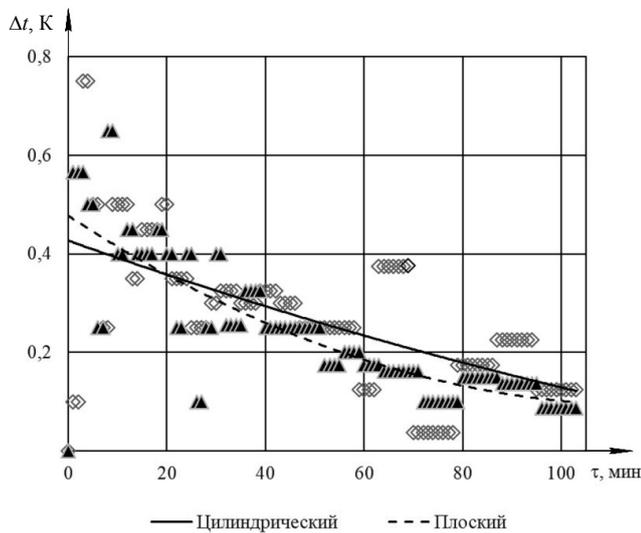


Рис. 8. Зависимость приращения температуры воды в баке-аккумуляторе от времени для солнечного коллектора на основе двухфазных термосифонов, закрепленных на медных плоской и цилиндрической поглощающих панелях

Fig. 8. Dependence of the increase in the temperature of the water in the accumulating tank on time for a solar collector based on two-phase thermosyphons mounted on copper flat and cylindrical absorbing panels

Максимальное значение КПД, полученное при низких начальных температурах воды, для СК с цилиндрической и плоской поглощающими поверхностями 60 %. При проведении исследований средняя температура окружающего воздуха $t_{вз} = 32$ °С; начальная температура воды в баках-аккумуляторах 37 °С; конечная температура воды в баке-аккумуляторе солнечного подогревателя воды для СК с плоской поглощающей поверхностью 62 °С и с цилиндрической 65 °С.

ВЫВОДЫ

1. Солнечный коллектор на основе медных двухфазных термосифонов целесообразно использовать в водонагревательных установках для самостоятельного горячего водоснабжения в сезонный период на территориях, где величина солнечной радиации может составлять 850 Вт/м², а также в установках круглогодичного применения с целью предварительного подогрева воды для традиционных систем горячего водоснабжения домов и нагрева воды в бассейнах.

2. Учитывая малое гидравлическое сопротивление разработанного солнечного коллектора (пассивный солнечный коллектор), его использование особенно экономично в случае, когда в одной водонагревательной установке содержится большое количество таких коллекторов.

3. КПД солнечного коллектора на основе медного двухфазного термосифона, закрепленного на медной плоской поглощающей панели, в среднем на 2–5 % меньше, чем на основе такого же термосифона, закрепленного на медной цилиндрической поглощающей панели.

4. Максимальное значение КПД для солнечного коллектора с цилиндрической и плоской поглощающими поверхностями 60 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bezrodny, M. K. Transfer Processes in Two-Phase Thermosyphone Systems. Theory and Practice / M. K. Bezrodny, I. L. Pioro, T. O. Kostyuk // Augmented and Revised Edition. Kiev: Fact, 2005. 704 p.
2. Peterson, G. P. An Introduction to Heat Pipes: Modelling, Testing and Application / G. P. Peterson. Wiley, 1994. 356 p.
3. Heat Transfer Device: US Patent No 2350348 / R. S. Gaugler; publ. 1944.
4. Evaporation – Condensation Heat Transfer Device: US Patent No 3229759 / R. S. Gaugler; publ. 1966.
5. Мехдизадех, М. А. Эколого-экономическая эффективность традиционных и альтернативных способов получения электрической энергии с учетом особенностей Исламской Республики Иран / М. А. Мехдизадех, А. С. Калининченко, С. А. Лаптежок // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 1. С. 60–69. DOI: 10.21122/1029-7448-2018-61-1-60-69.
6. Dunn, P. D. Heat Pipes / P. D. Dunn, D. A. Reay. Third Edition. Elsevier Ltd., 1982. 308 p.
7. Reay, D. A. Heat Pipes / D. A. Reay, P. A. Kew. Fifth Edition. Elsevier Ltd., 2006. 374 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6754-8.X5000-3>.

8. Pis'mennyi, E. Heat Transfer in The Evaporation Zone of Aluminum Grooved Heat Pipes / E. Pis'mennyi, S. Khayrnasov, B. Rassamakin // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2018. Vol. 127. P. 80–88. <http://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.07.154>.
9. Research on Two-Phase Heat Removal Devices for Power Electronics / Yu. Nikolaenko [et al.] // *Thermal Science and Engineering Progress*. 2018. No 8. P. 418–425. <http://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.09.012>.
10. Application of Heat Pipes in Energy Conservation and Renewable Energy-Based Systems / Randeep Singh [et al.] // *Frontiers in Heat Pipes*. 2011. Vol. 2, No 3. P. 1–13. <http://dx.doi.org/10.5098/fhp.v2.3.3003>.
11. Bouroussis, C. A. Optimization of Potential and Autonomy of a Photovoltaic System for Street Lighting / C. A. Bouroussis, F. V. Topalis // *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*. 2004. Vol. 3, No 5. P. 1392–1397.
12. Марончук, И. И. Солнечные элементы: современное состояние и перспективы развития / И. И. Марончук, Д. Д. Санникович, В. И. Мирончук // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2019. Т. 62, № 2. С. 105–123. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-2-105-123>.
13. Васильев, Л. Л. Тепловые трубы в системах с возобновляемыми источниками энергии / Л. Л. Васильев, Л. П. Гракович, Д. К. Хрусталева. Минск: Наука и техника, 1988. С. 7–35.
14. Walker, A. Evacuated-Tube Heat-Pipe Solar Collectors Applied to the Recirculation Loop in a Federal Building / A. Walker, F. Mahjouri, R. Stieler // *ASME 2004 International Solar Energy Conference*, July 11–14, 2004. Portland, Oregon, USA, 2004. P. 217–222. <https://doi.org/10.1115/ISEC2004-65132>.
15. Разработка и исследование тепловых труб нового профиля для солнечных коллекторов с использованием селективного покрытия поглощающей поверхности: отчет по НИР, КПИ имени Игоря Сикорского, 2434-п; № госрег. темы 0111U000567 / Б. Рассамакин, С. Хайрнасав, В. Зарипов, А. Баранник. Киев, 2012.
16. Мариненко, В. И. Солнечные коллекторы на основе медных и алюминиевых двухфазных термосифонов / В. И. Мариненко, Ю. В. Островский, В. С. Кулинич // *Возобновляемая энергетика и энергоэффективность в XXI веке: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф.* Киев, 2018. С. 335–341.
17. Элемент солнечного коллектора: пат. 124267 Украины, МПК F24D 12/00 (2018.01) / В. И. Мариненко, Ю. В. Островский, В. С. Кулинич; опубл. 26.03.2018.
18. Солнечный подогреватель воды: пат. 123808 Украины, МПК F24C 15/00 (2018.01) / В. И. Мариненко; опубл. 12.03.2018.

Поступила 11.09.2019 Подписана в печать 09.01.2020 Опубликована онлайн 30.09.2020

REFERENCES

1. Bezrodny M. K., Pioro I. L., Kostyuk T. O. (2005) *Transfer Processes in Two-Phase Thermosyphone Systems. Theory and Practice*. Kiev, Fact Publ. 704 (in Russian).
2. Peterson G. P. (1994) *An Introduction to Heat Pipes: Modelling, Testing and Application*. Wiley. 356.
3. Gaugler R. S. (1944) *Heat Transfer Device*. US Patent No 2350348.
4. Gaugler R. S. (1966) *Evaporation – Condensation Heat Transfer Device*. US Patent No 3229759.
5. Mehdizadeh M. A., Kalinichenko A. S., Lapyonok S. A. (2018) Ecological and Economic Efficiency of Traditional and Alternative Methods of Electrical Energy Production with the Features of the Islamic Republic of Iran. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 61 (1), 60–69. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-1-60-69> (in Russian).
6. Dunn P. D., Reay D. A. (1982) *Heat Pipes*. Third Edition. Elsevier Ltd. 308.
7. Reay D. A., Kew P. A. (2006) *Heat Pipes*. Fifth Edition. Elsevier Ltd. 374. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6754-8.X5000-3>.

8. Pis'mennyi E., Khayrnasov S., Rassamakin B. (2018) Heat Transfer in the Evaporation Zone of Aluminum Grooved Heat Pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 80–88. <http://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.07.154>.
9. Nikolaenko Yu., Alekseik E., Kozak D., Nikolaienko T. (2018) Research on Two-Phase Heat Removal Devices for Power Electronics. *Thermal Science and Engineering Progress*, 8, 418–425. <http://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.09.012>.
10. Singh Randeep, Mochizuki Masataka, Nguyen Thang, Akbarzadeh Aliakbar (2011) Applications of Heat Pipes in Thermal Management and Energy Conservation. *Frontiers in Heat Pipes*, 2 (3), 1–13. <http://dx.doi.org/10.5098/fhp.v2.3.3003>.
11. Bouroussis C. A., Topalis F. V. (2004) Optimization of Potential and Autonomy of a Photovoltaic System for Street Lighting. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 3 (5), 1392–1397.
12. Maronchuk I. I., Sanikovich D. D., Mironchuk V. I. (2019) Solar Cells: Current State and Development Prospects. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 62 (2), 105–123. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-2-105-123> (in Russian).
13. Vasiliev L. L., Grakovich L. P., Khrustalev D. K. (1988) *Heat Pipes in the Systems with Renewable Energy Sources*. Minsk, Nauka i Tekhnika Publ., 7–35 (in Russian).
14. Walker A., Mahjouri F., Stieler R. (2004) Evacuated-Tube Heat-Pipe Solar Collectors Applied to the Recirculation Loop in a Federal Building. *ASME 2004 International Solar Energy Conference, July 11–14, 2004*. Portland, Oregon, USA, 217–222. <https://doi.org/10.1115/ISEC2004-65132>.
15. Rassamakin B., Khairnasov S., Zaripov V., Barannik A. (2012) *Development and Research of Heat Pipes of a New Profile for Solar Collectors Using Selective Coating of an Absorbing Surface*. SRW Repor. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2434-p; the State Registration Number 0111U000567, Kyiv (in Russian).
16. Marynenko V., Ostrovsky Yu., Kulinich V. (2018) Solar Collectors Based on Copper and Aluminum Two-Phase Thermosiphons. *Vozobnovlyayemaya Energetika i Energoeffektivnost' v XXI veke: Materialy XIX Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf. [Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI Century: Materials of the XIX International Scientific and Practical Conference]*. Kyiv, 335–341 (in Russian).
17. Marynenko V., Ostrovsky Yu., Kulinich V. (2018) *Element of a Solar Collector*. Ukraine Patent No 124247 (in Ukrainian).
18. Marynenko V. (2018) *Solar Water Heater*. Ukraine Patent No 123808 (in Ukrainian).

Received: 11 September 2019 Accepted: 9 January 2020 Published online: 30 September 2020