Section 5. Electrical engineering

https://doi.org/10.29013/EJTNS-23-2-46-52

Rustamov Nasim Tulegenovich,
Doctor of Technical Sciences, prof.
International Kazakh-Turkish University,
named after Khoja Ahmed Yasawi

Kibishov Adylkhan Talgatovich,
master, teacher of the International Kazakh-Turkish University
named after Khoja Ahmed Yasawi

Israilov Fahriddin Muradkasimovich,
Senior Lecturer, Jizzakh Polytechnic Institute

Ernazar Kamal Ernazaruly,
master's student of the International Kazakh-Turkish University
named after Khoja Ahmed Yasawi

EFFICIENCY OF THE EVACUATED FRACTAL SOLAR COLLECTOR

Abstract. The paper proposes a new type of solar collector and the principle of its operation. The calculation algorithm of the efficiency of the proposed vacuum fractal solar collector (EFSC) is shown. Estimates of the dimension of the fractal structure of toroidal absorbers are given. It is noted that the frontal arrangement of toroidal absorbers, at a given fractal dimension, on a parabolic concentrator increases the efficiency of using solar energy in collectors generating thermal energy.

Keywords: solar fractal collector, absorber made of polymer torpedo tubes, tests in non-stationary mode, absorber area, aperture area.

Рустамов Насим Тулегенович,
доктор технических наук, доцент
Международный казахско-турецкий университет
имени Х. А. Ясави
Кибишов Адылхан Талгатович,
преподаватель, Международный казахско-турецкий
университет имени Х. А. Ясави
Исроилов Фахриддин Мурадкасимович,
старший преподаватель
Джизакский политехнический институт
Ерназар Камал Ерназарулы,
магистрант, Международный казахско-турецкий
университет имени Х. А. Ясави,

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ВАКУУМИРОВАННОГО ФРАКТАЛЬНОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

Аннотация. В работе предлагается новый тип солнечного коллектора и принцип его работы. Показан расчетный алгоритм коэффициента полезного действия(КПД) предложенного вакуумного фрактального солнечного коллектора(ВФСК). Приведена, оценки размерности фрактальной расположенных тороидных абсорберов. Отмечается, что фрактальное расположение тороидных абсорберов, при заданном фрактальной размерности, на параболическом концентраторе повышает эффективность использования солнечной энергии в коллекторах вырабатывающие тепловой энергии.

Ключевые слова: солнечный фрактальный коллектор, абсорбер из полимерных тороидных труб, испытания в нестационарном режиме, площадь абсорбера, апертурная площадь.

Введение. Абсорберы и их расположения в солнечных коллекторах являются одним из основных элементов конструкции солнечных коллекторов, от которого зависят как энергетические, так и экономические показатели солнечных систем теплоснабжения. Применяемые в настоящее время конструкции абсорберов выполняются в большинстве коллекторов из металлов. При этом, как правило, применяются дорогие виды материалов – медь, нержавеющая сталь, реже – менее дорогие, например алюминиевые сплавы. Это удорожает коллекторы и увеличивает их вес. Возможности по снижению их стоимости практически исчерпаны. С другой стороны, они расположены в коллекторах в плоскостной проекции, такая конструкция намного уменьшает эффективность использования солнечной энергии. Создание конструкций, основанных на использовании полимерных материалов является перспективным направлением дальнейшего разви-

тия низкотемпературных солнечных технологий [1].

Если расположить абсорберы сконструировав их в виде тороидальных полимерных труб и расположить их фрактально на параболический концентратор, тогда получится фрактальный солнечный коллектор [2]. В таком коллекторе появится возможность более эффективно использовать солнечную энергию, чем на плоских коллекторах [3].

Апертурная площадь такого коллектора служит отражателем прошедших через и мимо абсорберов солнечных лучей. Отраженные лучи дополнительно нагревают коллекторные трубы, расположенные в виде фракталов. Отраженные солнечные лучи фокусируются на четвертом фрактале, тем самым на этом ФСК солнечные лучи используется дважды.

Недостатком такого коллектора является малая эффективность, когда окружающая температура ниже нуля.

Целью работы является разработка фрактального солнечного коллектора с большим коэффициентом полезного действия при низких температурах окружающей среды.

Метод решения. Как известно, климатическое оборудование, напрямую преобразующее энергию солнечного света в тепло, называется солнечным коллектором. Прибор не вырабатывает электричество, как классическая солнечная батарея, а только собирает, концентрирует и передает тепло в систему отопления. В качестве теплоносителя выступает вода, незамерзающая жидкость или воздух.

Главным достоинством агрегатов называют практически полное отсутствие теплопотерь в процессе эксплуатации. Такое достоинство обеспечивает вакуумная среда, являющаяся одним из самых качественных естественных изоляторов. Нулевая теплопроводность вакуума между внутренней и внешней трубкой обеспечивает сохранность тепла. Коэффициент полезного действия такой системы в теплое время года наиболее высокая. Если же морозы продержатся несколько дней, а солнце не сумеет пробиться через плотный слой облаков, вода в трубках превратится в лед, а это может привести к разрыву внутренней трубки и выходу из строя всего коллектора.

Предлагаемый вакуумированный фрактальный солнечный коллектор содержит вакуумированный параболический концентратор 14, специальный механизм с автоматическим управлением, следящий за траекторией движения солнца как по высоте, так и по углу азимута в течение всего светового дня от восхода до захода 7, контроллером 9 и тепло распределителем 13, обеспечивающий получение тепловой воды различной температуры 15 (рисунок 1).

Эффективность использования солнечной энергии ВФСК достигается тем, что прямые лучи солнца попадающих на параболическую апертурную площадь через вакуумированную поверхность от удара прочного бромосиликатного стекла 2, закрепленный силиконовым уплотнителем 1 к параболическому концентрату. Солнечные лучи на первом ториодальном фрактале 3, расположенный в вакуумированном параболоидном апертурном пространстве 14, изнутри обшитый алюминиевым абсорбером с высокоселективным покрытием 8, нагревают воду внутри тороидного абсорбера. При этом тепловые потери первого фрактала будет дополнительным источником тепловой энергии для второго фрактала 4 и т.д., а отраженные солнечные лучи из

апертурной площади будут фокусироваться на первом тороидном абсорбере 3 и будут служить очередной дополнительной тепловой энергией. Расположение тороидных фрактальных абсорберов обеспечивает получение тепловой воды различной температуры 16. При этом холодная вода с помощью насоса 11 подается на последний тороидальный фрактальный абсорбер 6. Вода, нагревая, поднимется через тороидальные фрактальные трубы 5,4 доходит до фрактала, находящегося на фокусе апертурной площади коллектора 3 и из этой фрактального абсорбера снимается теплая вода. Температура вода в каждом фрактальном абсорбере будет различной. Температура воды контролируется с помощью контроллера и подается в теплообменник 12, который контролируется датчиком 10.

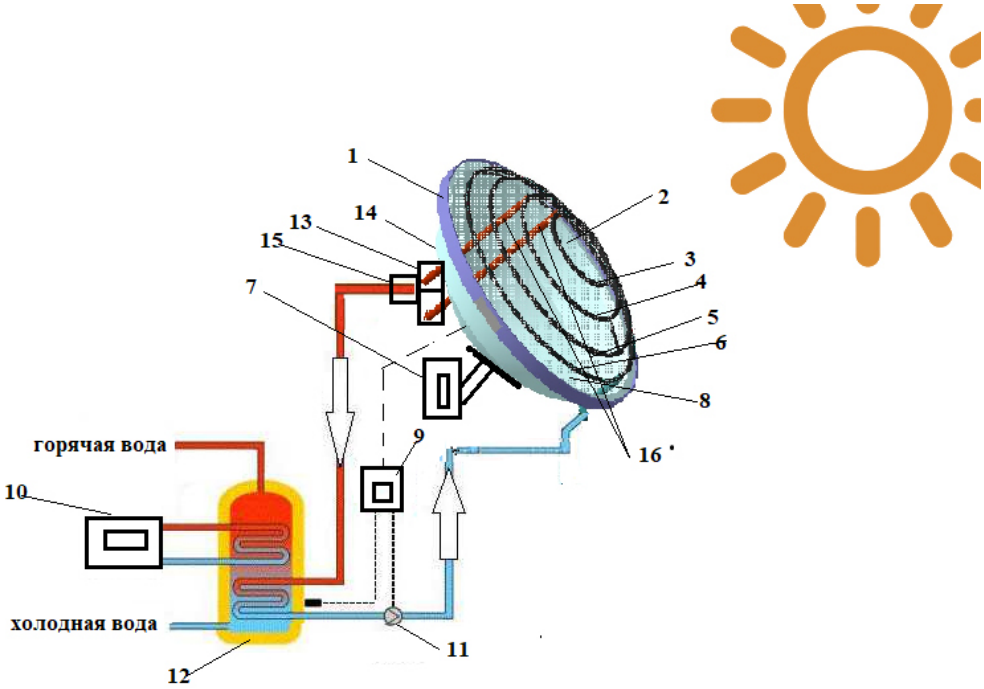

Рисунок 1. Общий вид вакуумированного фрактального солнечного коллектора

Этот вид гелиоустановки представляет собой батарею иерархически расположенных тороидных фракталов на параболическом концентрате, на котором фокусирует солнечную энергию на тороид, расположенный на фокусной точке концентрата. Конструкция такой установки проектируется при заданной фрактальной размерности *D*.

Для оценки этого коэффициента для ВФСК вводим фрактальную размерность D [2].

Так, в общем случае если КПД для первого фрактала η произвольного тора степенным образом зависит от масштаба измерения δ:

$$\eta_1 = P \cdot \lambda \delta^{1-D} \qquad (1)$$

где, *P* – размерный множитель, свой для каждого фрактального тороида, *D* – фрактальная размерность. При этом очевидно, что как вся абсорберная площадь, так и любая общая площадь ФСК обладают одной и той же фрактальной размерностью. Такое свойство приписывает свойство так называемое самоподобие (скейлинг, масштабная инвариантность) [3; 6]. Самоподобие означает, что как все абсорберная площадь, так и любой ее участок (общая площадь абсорбера) обладают одной и той же фрактальной размерностью. Если

η увеличить в λ раз, то для измерения новой длины $\lambda\eta$ достаточно использовать масштаб, равный $\lambda\,\delta$, т.е.

$$\lambda\eta = P\cdot(\lambda\delta)^{1-D}. \qquad (2)$$

Исходя из этих соображений, если посмотреть на конструкцию ФСК (рисунок 1), то видно, что абсорберы расположены иерархически само подобными торами. Если мы берем масштабом размеры первого фрактала откуда вводится холодная жидкость, то при заданном D и P_i, i- число фракталов, КПД второго фрактала определяется по формуле (2). Тогда η для второго фрактала $\eta_2 = P_i\cdot\eta^{1-D}$, для третьего фрактала $\eta_3 = P_i\cdot\left(\eta^{1-D}\right)^{1-D}$. Для ФСК коэффициент полезного действия или тепловая эффективность будет равным $\eta = \eta_1+\eta_2+\eta_3+\eta_4$.

Тепловая эффективность или коэффициент полезного действия (КПД) ВФСК, как и для других солнечных тепловых установок, определяется из отношения полезно полученной энергии ($Q_{пол}$) падающего на фронтальную поверхность суммарного солнечного излучения ($Q_{под}$) [4], т.е.

$$\eta = \frac{Q_{пол}}{Q_{под}} \qquad (3)$$

В свою очередь значение ($Q_{пол}$) определяется расходом (G) и разностью температур, нагреваемой в данном коллекторе воды $\left(\Delta t = t_{вых} - t_{вч}\right)$, т.е.

$$Q_{пол} = GC_p\left(t_{вых} - t_{вч}\right) \qquad (4)$$

где, C_p – удельная теплоемкость теплоносителя (например для воды) C_p=4,1868 кДж/ (кг°С); $t_{вых}$ и $t_{вх}$ – соответственно температуры горячего теплоносителя на выходе из коллектора и исходного холодного теплоносителя на входе в коллектор;

$$G = G_{уд}\cdot A \qquad (5)$$

где, $G_{уд}$ – удельный (т.е. отнесенный к единице площади фронтальной поверхности коллектора) расход нагреваемой воды через данный коллектор; $A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$ – площадь абсорбера ВФСК.

Значение $Q_{под}$ в отношении (1) определяется из выражения

$$Q_{под} = q_{под}\cdot A \qquad (6)$$

$$q_{под} = q_{под}^{пр} + q_{под}^{диф} \qquad (7)$$

где, $q_{под}$ – поверхностная плотность потока суммарного излучения, падающего на фронтальную поверхность коллектора; $q_{под}^{пр} + q_{под}^{диф}$ – соответственно поверхностные плотности прямого (пр) и диффузного солнечного излучения, падающего на фронтальную поверхность коллектора.

Подставляя (4), (5) и (6) в отношении (3) получим

$$\eta = \frac{G_{уд}C_p\left(t_{вых} - t_{вх}\right)}{q_{под}} \qquad (8)$$

где, $G_{уд}$ – удельный (т.е. отнесенный к единице площади фронтальной поверхности коллектора) расход нагреваемой воды через данный коллектор;

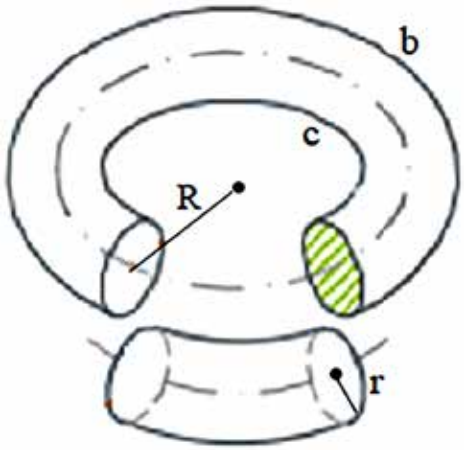

Рисунок 2. Полимерная тороидальная абсорберная труба

где, R – расстояние от центра образующей окружности до оси вращения абсорбера; r – радиус образующей окружности абсорбера;

c, b – окружность; *V* – объем тороидального абсорбера; *A* – площадь абсорбера.

Формула площади поверхности абсоробера по радиусам

$$A=4\pi^2 R r$$

Зная окружности тора, можно вывести формулы для большего и меньшего радиусов абсорбера, составив систему уравнений и преобразовав ее для нахождения радиусов.

$$c=2\pi(R+r);\ b=2\pi(R-r);\ R=\frac{c+b}{4\pi};\ r=\frac{b-c}{4\pi}$$

Вычислив радиусы через окружности абсорбера, можно рассчитать площадь поверхности абсорбера и объем, подставив в стандартные формулы выражения, полученные для радиусов.

$$A=4\pi^2 Rr=\frac{b^2-c^2}{4};$$

$$V=2\pi^2 Rr^2=\frac{(b-c)(b^2-c^2)}{32\pi};$$

На рисунке 1 абсорберы представлены номерами 6- a_1,5- a_2,4- a_3,3- a_4,. Первый абсорбер 6- a_1, второй абсорбер 5- a_2, третий абсорбер 4- a_3, четвертый абсорбер 3- a_4. Нам известны радиусы R_1, R_2, R_3, R_4

R_1 = 0.35 м; R_2 = 0.30 м; R_3 = 0.25 м; R_4 = 0.20 м; r = 0.032 м;

Далее вычисляем площадь A_1, A_2, A_3, A_4 каждого абсорбера.

вычисляем площадь A_{a_1} первого абсорбера

$$A_{a_1}=4\pi^2 R_1 r=4*3.14^2*0.35*0.032=0.22\,м^2$$

вычисляем площадь A_{a_2} второго абсорбера

$$A_{a_2}=4\pi^2 R_2 r=4*3.14^2*0.30*0.032=0.19\,м^2$$

вычисляем площадь A_{a_3} третьего абсорбера

$$A_{a_3}=4\pi^2 R_3 r=4*3.14^2*0.25*0.032=0.16\,м^2$$

вычисляем площадь A_{a_4} четвертого абсорбера

$$A_{a_4}=4\pi^2 R_4 r=4*3.14^2*0.20*0.032=0.13\,м^2$$

$$\eta=\frac{G_{уд}C_p(t_{вых}-t_{вх})}{q_{под}} \qquad (9)$$

$G_{уд}$ – удельный (т.е. отнесенный к единице площади фронтальной поверхности коллектора) расход нагреваемой воды через данный коллектор; расход нагреваемой воды первого абсорбера равен $G_{a_1 уд}=0{,}36\,кг/с$

расход нагреваемой воды между первым и вторым абсорберами равен

$$G_{a_2 уд}=0{,}33\,кг/с$$

расход нагреваемой воды между вторым и третьим абсорберами равен

$$G_{a_3 уд}=0{,}30\,кг/с$$

расход нагреваемой воды между третьим и четвертым абсорберами равен

$$G_{a_4 уд}=0{,}27\,кг/с$$

C_p – удельная теплоемкость теплоносителя (например, для воды) C_p = 4,1868 кДж/ (кг°С);

$q_{под}$ – поверхностная плотность потока суммарного излучения, падающего на фронтальную поверхность коллектора, 7.5кВт/час

$t_{вых}$ и $t_{вх}$ – соответственно температуры горячего теплоносителя на выходе из коллектора и исходного холодного теплоносителя на входе в коллекторе;

$$t_{вых}=25°C;\ t_{вх}=20°C;$$

Далее вычисляем КПД $\eta_{a_1}, \eta_{a_2}, \eta_{a_3}, \eta_{a_4}$ каждого абсорбера

$$\eta_{a_1}=\frac{G_{a_2 уд}C_p(t_{вых}-t_{вх})}{q_{под}}=\frac{0{,}36*4200(25-20)}{7500}=1.008$$

$$\eta_{a_2}=\frac{G_{a_2 уд}C_p(t_{вых}-t_{вх})}{q_{под}}=\frac{0{,}33*4200(25-20)}{7500}=0.924$$

$$\eta_{a_3}=\frac{G_{a_3 уд}C_p(t_{вых}-t_{вх})}{q_{под}}=\frac{0{,}30*4200(25-20)}{7500}=0.84$$

$$\eta_{a_4}=\frac{G_{a_4 уд}C_p(t_{вых}-t_{вх})}{q_{под}}=\frac{0{,}27*4200(25-20)}{7500}=0.756$$

Далее вычисляем КПД $\eta_{ВФСК}$ вакуумированного фрактального солнечного коллектора

$$\eta_{ВФСК} = \frac{\eta_{a_1} + \eta_{a_2} + \eta_{a_3} + \eta_{a_4}}{4} =$$

$$= \frac{1{,}008 + 0{,}924 + 0{,}84 + 0{,}756}{4} = 0{,}882$$

Выводы. В работе рассмотрен принцип работы нового типа солнечного коллектора и алгоритмические основы определения его коэффициента полезного действия. При этом гелиоустановка имеет абсорберы из полимерных тороидальных труб расположенные фрактальным образом на параболическом концентрате.

Такая конструкция гелиоустановки обеспечивает эффективно использовать солнечную инсоляцию.

По результатам испытаний в вынужденном режиме нагрева солнечным излучением при нулевом расходе воды, КПД предложенного ВФСК был высоким. Испытания проводились при подходящих внешних условиях по стабильности солнечного излучения и температуре окружающей среды. Важным является также то, что с целью показания большого полезного действия ВФСК проводились эксперименты в условиях низкой температуры окружающей среды. Результаты были удовлетворительными.

Основными величинами, влияющими на точность определения КПД являются: данные о теплофизических свойствах материала тороидальных труб абсорбера, продолжительность интервала нагрева, стабильность внешних условий (интенсивность облучения коллектора, направление и сила ветра, температура окружающей среды). Поэтому при планировании эксперимента важно иметь достаточно точный прогноз погоды и правильно его использовать. В дальнейшем представляется необходимым условием провести сравнение результатов определения пропускательно – поглощательной способности ВФСК с плоскими солнечными коллекторами.

Список литературы:

1. Ермуратский В. В., Постолатий В. М., Коптюк Э. П. Перспективы применения в Республике Молдова солнечных нагревателей воды санитарно-бытового назначения. //Проблемы региональной энергетики. 2009. – № 2. URL: http://ieasm.webart.md/data/m71_2_107.doc.
2. Рустамов Н. Т., Мейрбеков А. Т., Корганбаев Б. Н. Фрактальный солнечный коллектор. РК, Патент № 2639 на полезную модель.
3. Суханов М. Я., Рустамов Н. Т. Фрактальный солнечный коллектор // Молодой ученый.– № 13(303).2020. – С. 40–44.
4. Балханов В. К. Введение в теорию фрактальных исчислений. – Улан-Удэ.: Изд. Бурятского гос. ун-та, 2001. – 58 с.
5. Avezova N. R., Avezov R. R., Rustamov N. T., Vakhidov A., Suleymanov Sh. I. Resource indexes of flat solar water-heating collectors in hot-water supply systems: 4 Specific collector thermal yield and efficiency. Journal Applied Solar Energy, 2013. – Vol. 49. – Issue 4. – P. 202–210.
6. Рустамов Н. Т., Кибишов А. Т., Шертайлаков Г. М. Коэффициент полезного действия фрактальных солнечных коллекторов // Инновационные решения технических, инженерных

и технологических проблем производства сборник материалов международной научно-технической конференции на тему. – Часть 3. (28–29 октября 2022 г.). – С. 699–702.