

Section 5. Electrical engineering

<https://doi.org/10.29013/EJTNS-23-3-38-47>

*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
Kalimbetova Zhansaya Seydahanovna,
master, teacher of the International Kazakh-Turkish University
named after Khoja Ahmed Yasawi*

MATHEMATICAL MODEL OF A VACUUM FRACTAL SOLAR COLLECTOR

Abstract. The paper proposes a mathematical model of a new type of solar collector called vacuum fractal solar collector (VFSK). The mathematical model of the VFSK describes the process of converting solar energy into thermal energy. It is shown how a mathematical model of the VFSK is constructed on the basis of an electrothermal analog. Construction of the transfer function of this electrical circuit, a mathematical model of the VFSK is being built. At the same time, the mathematical model very simply takes into account the fractal arrangement of toroidal absorbers on a vacuumed parabolic concentrator. It is noted that according to the test results in the forced mode of heating by solar radiation with zero water consumption, the helio device and the mathematical model turned out to be the same.

Keywords: mathematical model, vacuumed space, polymer tube absorber, electrical circuit, parabolic concentrator.

*Рустамов Насим Тулегенович,
доктор технических наук, доцент,
Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави,
Кибिशов Адылхан Талгатович,
старший преподаватель,
Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави,
Калимбетова Жансая Сейдахановна,
Преподаватель,
Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави,*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВАКУУМНОГО ФРАКТАЛЬНОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

Аннотация. В работе предлагается математическая модель нового типа солнечного коллектора названный вакуумный фрактальный солнечный коллектор (ВФСК). Математическая модель ВФСК описывает процесс превращения солнечной энергии в тепловую. Показан как на базе электротеплового аналога построение математическая модель ВФСК. Построением передаточной функции этой электрической схемы строится математическая модель ВФСК. При этом в математической модели очень, просто учитывается фрактальное расположение тороидальных абсорберов на вакуумированном параболическом концентраторе. Отмечается, что по результатам испытаний в вынужденном режиме нагрева солнечным излучением при нулевом расходе воды гелио устройство и на математической модели оказалось одинаковыми.

Ключевые слова: математическая модель, вакуумированное пространство, абсорбер из полимерных труб, электрическая схема, параболический концентратор.

Введение. В наше время вопросам использования возобновляемых источников энергии уделяется серьезное внимание. Эти источники энергии рассматриваются как существенное дополнение к традиционным. Среди возобновляемых источников энергии солнечная радиация по масштабам ресурсов, экологической чистоте и повсеместной распространенности наиболее перспективна. Применение солнечных установок замещает дорогое топливо и предотвращает загрязнение окружающей среды вредными выбросами топлива использующих установок. Повышение интереса к альтернативной энергетике, что связано

с ограниченными запасами традиционного топлива, как следствие – постоянными повышениями тарифов на электрическую и тепловую энергию, так и постоянными снижениями стоимости оборудования нетрадиционной и возобновляемой энергетики [1]. Перспективным направлением на сегодняшний день является получение тепло из солнечной инсоляции [2; 3; 4; 5; 6]. Для повышения коэффициента полезного действия и повышения эффективности использования солнечной инсоляции в работах предложены новый тип солнечного коллектора, названный фрактальный солнечный коллектор [7; 8; 9; 10]. А, в работах описан ва-

куумный фрактальный солнечный коллектор (ВФСК) работающий в низких температурах окружающей среды [11; 12].

Таким образом, желаемый результат от использования предлагаемого устройства состоит в увеличении эффективности использования солнечных лучей и коэффициента полезного действия (КПД), за счет

вакуумирования пространства параболического концентратора где фрактальной расположены тороидные абсорберы, а также за счет оптимизации расположения фрактальных тороидных абсорберов для получения теплой воды различной температуры. В этом случае апертурная площадь ВФСК будет площадью параболического концентратора (рис. 1).

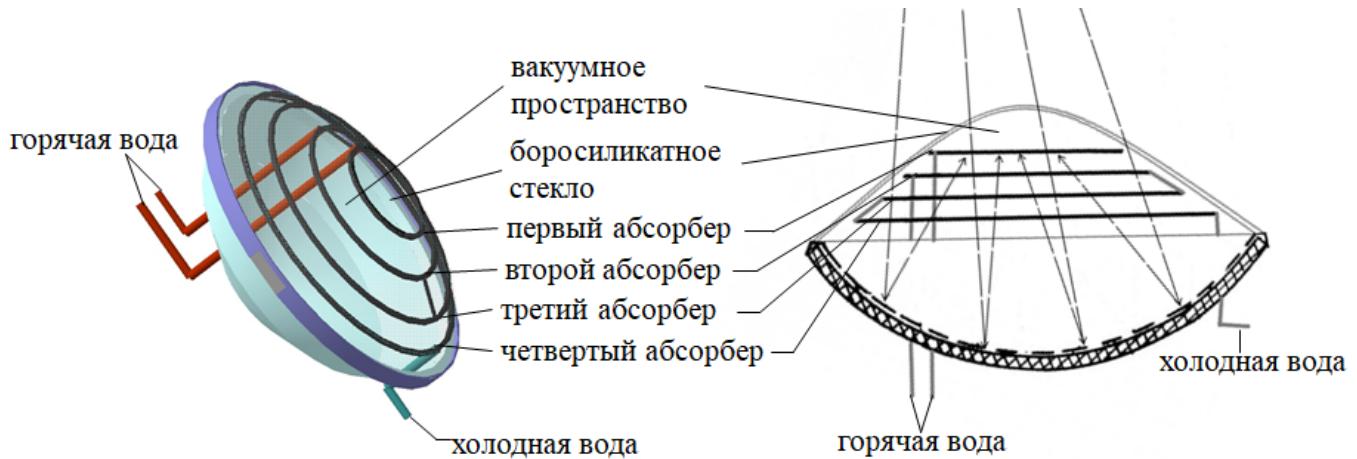


Рисунок 1. Общий вид ВФСК

Главными достоинствами вакуумных коллекторов солнечного тепла являются: высокая эффективность процесса даже в условиях минусовой температуры; легкость установки всей конструкции; противоветровая устойчивость коллектора; продолжительность работы. В ВФСК апертурная площадь находится в вакуумированном пространстве параболического концентратора. Тем самым апертурная площадь служит как вторичный источник энергии для абсорберов находящиеся на другом фрактальном расположении, т.е. солнечные лучи прошедших фрактально расположенных абсорберов отражаясь от апертурной площади, вторично нагревает фрактально расположенных тороидальных абсорберов.

Целью работы является разработка математической модели вакуумного фрактального солнечного коллектора.

Метод решение. Существуют довольно большие возможности применения солнечных установок не только для индивидуальных потребителей. Эти установки можно применить в системе региональной генерации энергии (РГЭ). Расширение масштабов применения солнечных установок не только даст значительную экономию энергоресурсов, но и позволит смягчить экологическую ситуацию. Наиболее просты в конструктивном отношении солнечные водонагревательные системы, имеющие фрактально расположенным абсорберами на параболическом концентрате, т.е. ВФСК.

Оценку работоспособности ВФСК проведем, используя один из наиболее актуальных и универсальных исследовательских методов – математическое моделирование. Для реализации данного вида исследования не-

обходимо сначала разработать модель ВФСК, которая должна учитывать выработки тепловой энергии получаемой из солнечной инсоляции. При создании математической модели, в отличие от методики определения коэффициента тепловых потерь солнечного коллектора U_L , основанной на использовании свободного переходного теплового процесса, должен быть применён вынужденный переходный тепловой процесс при нулевом расходе воды. Сходя из этих допущений, можно представить электротепловой аналог ВФСК в таком режиме изображён на Рис. 2.

Таким образом, рассматривается зарядка конденсатора C от источника тока I при наличии проводимости U_L . При этом полагаем, что регулярный тепловой режим в системе наступает сразу после начала процесса облучения солнечного коллектора. Основанием для этого допущения может служить то, что внешнее термическое сопротивление (сопротивление теплопередачи в окружающую среду) существенно больше внутреннего термического сопротивления, обусловленного конечной теплопроводностью стенки трубы и её теплообменом с водой.

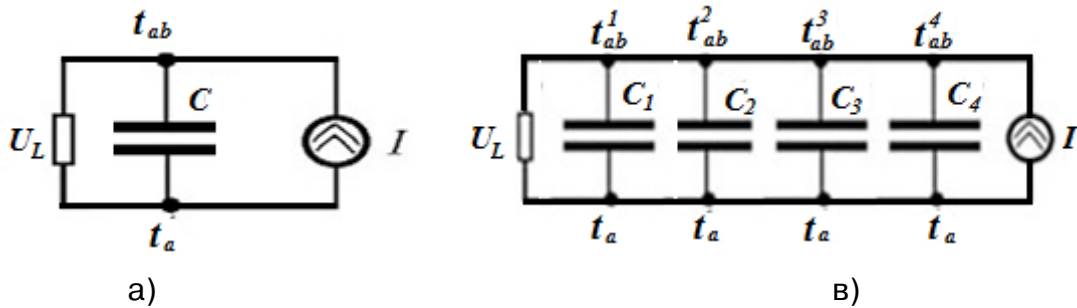


Рисунок 2. Упрощённая электротепловая модель солнечного коллектора, а – для плоского солнечного коллектора; в – для ВФСК,

где $R-U_L$ – полный коэффициент тепловых потерь ВФСК, Вт/К, эквивалентное термическое сопротивление теплопередачи от абсорбера к окружающей среде, К/Вт

Передаточная функция для вакуумного фрактального солнечного коллектора строится на основе эквивалентной схеме

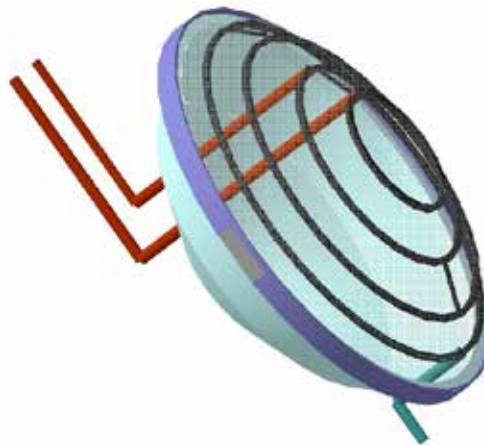





Рисунок 3. ВФСК

Передаточный функция для солнечного коллектора

Таблица 1. – Связь мгновенных значений напряжений и токов на элементах

<p>Резистор</p>  <p>i_R</p>	$u_R = Ri_R$	$i_R = \frac{u_R}{R}$
<p>Катушка индуктивности</p>  <p>i_L</p>	$u_L = L \frac{di_L}{dt}$	$i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt$
<p>Конденсатор</p>  <p>i_C</p>	$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$	$i_C = C \frac{du_C}{dt}$

Записать уравнения математической модели, определить передаточную функцию для солнеч-

ного коллектора, приведенного на (рисунке 2.1), при $r_g = r_c = 1$ кОм; $C_1 = C_2 = C_3 = 1$ мкФ.

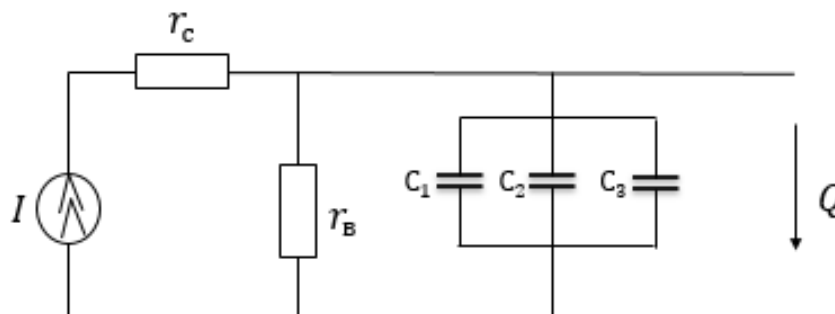


Рисунок 3. Эквивалентная схема солнечного коллектора

I – солнечная инсоляция; Q – полезная энергия; r_c – сопротивление стекла; r_b – внутреннее сопротивление полимерных труб; C_1, C_2, C_3 – сопротивление воды

1. Выходной величиной будет энергия солнечной инсоляции Q попадающие на апертурную площадь концентратора ВСФК. Входным воздействием буде солнечная инсоляция I . Это будет источником тока для схемы показанной на (рис. 3).

2. Запишем дифференциальные уравнения, характеризующие процессы, протекающие в цепи, выразив сопротивления с помощью

оператора дифференцирования, согласно таблице 1, заменяя операцию дифференцирования на p .

3. Запишем сопротивление Z_1 при параллельном соединении элементов:

$$Z_1 = p(C_1 + C_2 + C_3) \quad (1)$$

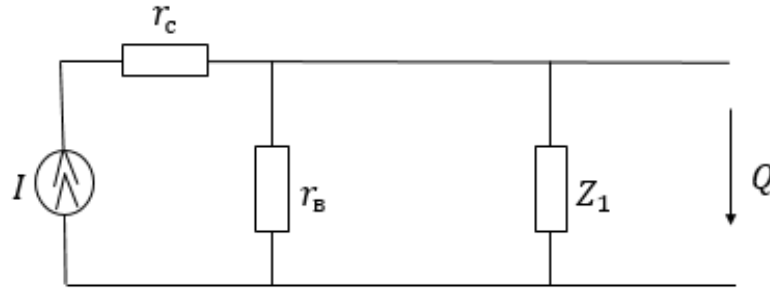


Рисунок 4. Эквивалентная схема солнечного коллектора

Запишем сопротивление Z_2 в контуре:

$$\begin{aligned} \frac{1}{Z_2} &= \frac{1}{r_b} + \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{r_b} + \frac{1}{p(C_1 + C_2 + C_3)} = \\ &= \frac{p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b}{r_b p(C_1 + C_2 + C_3)} \quad (2) \\ Z_2 &= \frac{r_b p(C_1 + C_2 + C_3)}{p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b} \end{aligned}$$

Запишем $Z_{общ}$ сопротивление в контуре:

$$\begin{aligned} Z_{общ} &= Z_2 + r_c = r_c + \frac{r_b p(C_1 + C_2 + C_3)}{p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b} = \\ &= \frac{r_c (p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b) + r_b p(C_1 + C_2 + C_3)}{p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b} \quad (3) \end{aligned}$$

Находим поглощающую способность, действующую на солнечного коллектора:

$$\begin{aligned} \Omega &= \frac{I}{Z_{общ}} = I^* \\ &= \frac{I^* p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b}{r_c (p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b) + r_b p(C_1 + C_2 + C_3)} \quad (4) \end{aligned}$$

Находим поглощающую солнечный инсоляция, действующую на солнечного коллектора:

$$\begin{aligned} I^{ногл} &= \odot * Z_2 = \\ &= I^* \frac{p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b}{r_c (p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b) + r_b p(C_1 + C_2 + C_3)} * \\ &= \frac{r_b p(C_1 + C_2 + C_3)}{p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b} = \\ &= \frac{I^* r_b p(C_1 + C_2 + C_3)}{r_c (p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b) + r_b p(C_1 + C_2 + C_3)} \quad (5) \end{aligned}$$

Находим тепловых потерь, действующую на солнечного коллектора:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{I^{ногл}}{Z_1} = \\ &= \frac{I^* r_b p(C_1 + C_2 + C_3)}{r_c (p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b) + r_b p(C_1 + C_2 + C_3)} * \\ &= \frac{1}{p(C_1 + C_2 + C_3)} = \\ &= \frac{I^* r_b}{r_c (p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b) + r_b p(C_1 + C_2 + C_3)} \quad (6) \end{aligned}$$

Запишем полезную энергию:

$$\begin{aligned} Q &= \gamma * Z_1 = \\ &= \frac{I^* r_b}{r_c (p(C_1 + C_2 + C_3) + r_b) + r_b p(C_1 + C_2 + C_3)} * \\ &= \frac{I^* r_b p(C_1 + C_2 + C_3)}{p(C_1 + C_2 + C_3) (r_c + r_b) + r_c r_b} \quad (7) \end{aligned}$$

4. Запишем окончательную передаточную функцию, как отношение входа к выходу и раскроем скобки в знаменателе:

$$\frac{Q}{I} = \frac{r_b p(C_1 + C_2 + C_3)}{p(C_1 + C_2 + C_3) (r_c + r_b) + r_c r_b} \quad (8)$$

5. Подставив численные значения, получим:

$$\begin{aligned} W(p) &= \frac{Q}{I} = \\ &= \frac{r_b p(C_1 + C_2 + C_3)}{p(C_1 + C_2 + C_3) (r_c + r_b) + r_c r_b} = \frac{3p}{6p + 10^6} \quad (9) \end{aligned}$$

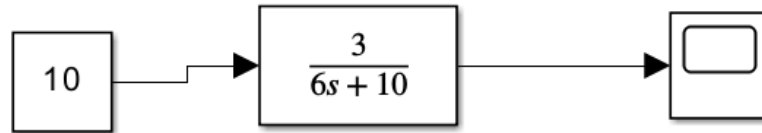


Рисунок 5. Модель ВФСК в приложении Simulink программы Matlab

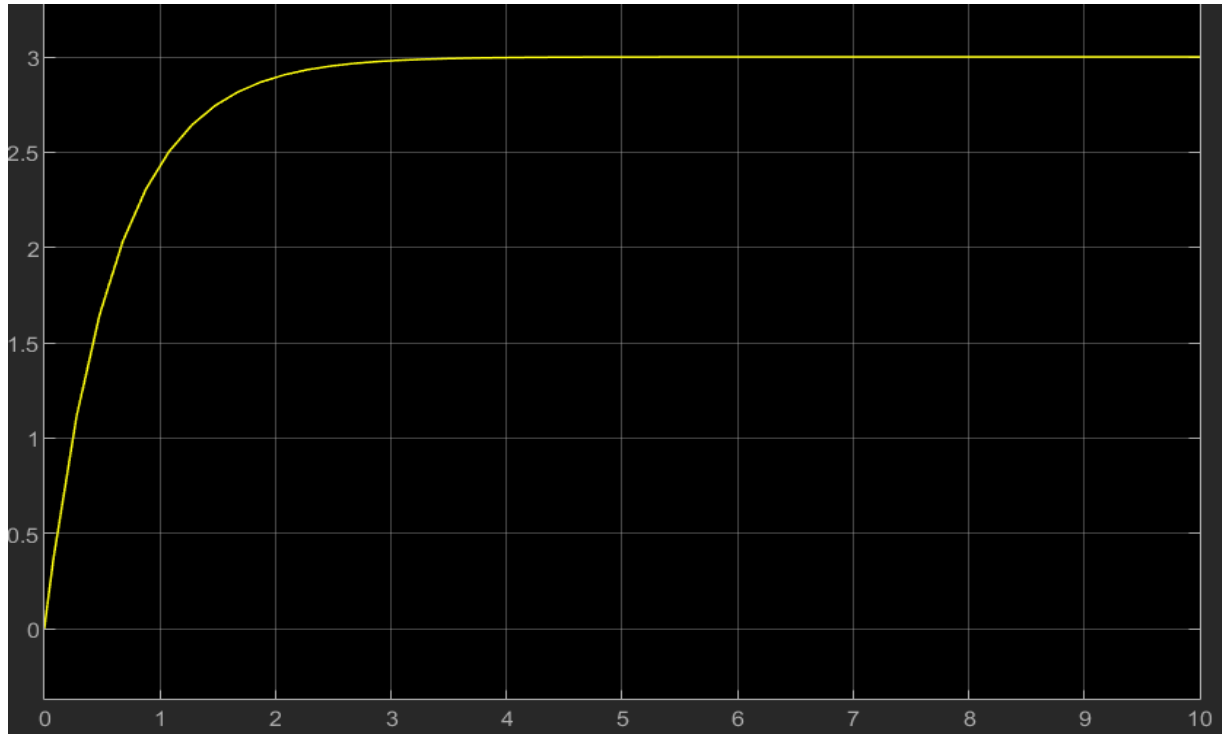


Рисунок 6. График получение полезной тепловой энергии на ВФСК

С помощью данной модели оценены энергетические характеристики ВФСК имеющая три фрактально расположенных абсорберов.

Расчеты проводились для солнечной инсоляции показанной на (рис. 7)

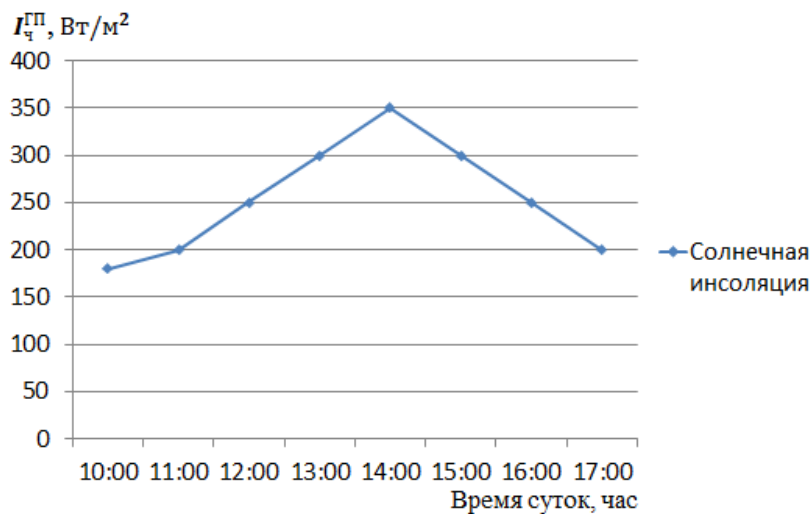


Рисунок 7. Суточная солнечная инсоляция для г. Туркестан(1.03.2023)

Таблица 1. – Энергетические характеристики ВФСК с тремя абсорберами

Энергетические характеристики ВФСК	Время суток							
	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰
$I_{\text{ч}}^{\text{III}}, \text{Вт} / \text{м}^2$	180	200	250	300	350	300	250	200
R	2,56	2,18	2,09	2	2	2,09	2,18	2,56
$t_{\text{окр}}, ^\circ\text{C}$	8	9	10	11	12	13	14	13
$I_{\text{ч}}^{\text{HII}}, \text{Вт} / \text{м}^2$	460,8	436	522,5	600	700	627	549,4	512
$I_{\text{ч}}^{\text{нозл}}, \text{Вт} / \text{м}^2$	354,8	335,7	402,3	462	539	482,8	423	394,2
$\gamma_{\text{ч}}^{\text{mn}}, \text{Вт} / \text{м}^2$	312	306	300	294	288	282	276	282
$Q_{I_{a1}}^{\text{ч}}, \text{Вт} / \text{м}^2$	5	3,5	11,9	19,6	29,4	23,5	17,2	13,1
$Q_{I_{a2}}^{\text{ч}}, \text{Вт} / \text{м}^2$	6,2	4,3	14,7	24,2	36,1	28,9	21,2	16,2
$Q_{I_{a3}}^{\text{ч}}, \text{Вт} / \text{м}^2$	7,3	5	17,5	28,7	42,9	34,3	25,1	19,2
$Q_{I_{\text{отр}}}^{\text{ч}}, \text{Вт} / \text{м}^2$	27,7	19,2	66,3	108,8	162,6	130,1	95,2	72,7
$Q_{\text{общ}}^{\text{ч}}, \text{Вт} / \text{м}^2$	46,2	31,7	110,4	181,3	271	216,8	158,7	121,2
$\eta_{\text{ч}}^{a1}, \%$	8,3	6,1	17,5	25,1	32,3	28,8	24	19,6
$\eta_{\text{ч}}^{a2}, \%$	8,3	6,1	17,5	25,1	32,3	28,8	24	19,6
$\eta_{\text{ч}}^{a3}, \%$	8,3	6,1	17,5	25,1	32,3	28,8	24	19,6
$\eta_{\text{ч}}^{\text{omp}}, \%$	12,5	9,1	26,4	37,7	48,3	43,2	36	29,6
$\eta_{\text{общ}}, \%$	20,8	15,2	43,9	62,8	70,6	72	60	49,2

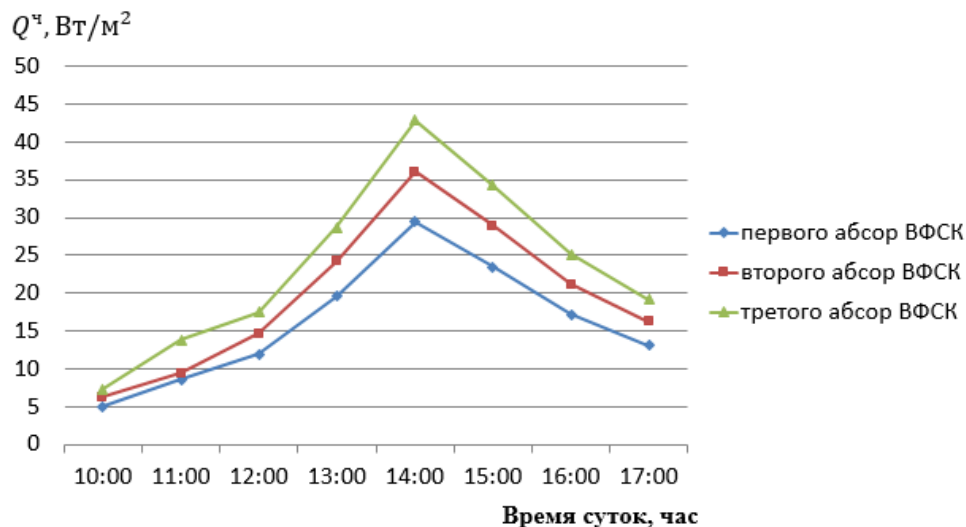


Рисунок 8. Полезная мощность каждого абсорбера с течением суточного времени

Выводы. Резюмируя можем сказать, что математическая модель нового типа солнечного коллектора отражает физическую суть принципа его работы. Если проанализировать конструкцию ВФСК, который имеет абсорберы из полимерных ториодальных труб расположенные фрактальным образом на параболическом концентрате, можно понять эффективность этой гелиоустановки. Принцип построения математической модели ВФСК основан аналоговом представлении гелиоустановки параллельному соединению конденсаторов. Такое представление ВФСК дает возможность построению передаточной функции предложенной гелиоустановки. Полученные экспериментальные данные подтвердили объективность результатов вычисленной созданной математической моделью. По результатам испытаний

ВФСК в вынужденном режиме нагрева солнечным излучением при нулевом расходе воды, т.е. при подходящих внешних условиях по стабильности солнечного излучения и температуре окружающей среды. Изменения внешних условий отражается на сопротивлениях r_c и r_b . Графика выработки полезной энергии фрактальных абсорберов очень хорошо показывает динамику работы ВФСК.

В дальнейшем представляется необходимым усовершенствовать предложенную математическую модель. Так как, математическая модель помогает, точно представить физическую суть моделируемого объекта или явления, то имеет смысл усовершенствовать математическую модель. В свою очередь это помогает исследователю сэкономить финансовые расходы.

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. – № 2. 2009. URL: http://ieasm.webart.md/data/m71_2_107.doc
2. Даффи Дж. А., Бекман У. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977.
3. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоатомиздат.
4. 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*, – Vol. 49. – Issue 4. 2013. – P. 202–210.
5. Саламов О. М. Расчет среднесуточного коэффициента полезного действия плоского солнечного коллектора. *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» – ISJAEE*, – № 06 (170). 2015. – С. 17–23.
6. Рустамов Н. Т., Мустафаев К. М. Тепловая эффективность солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя. *Вестник МКТУ им. А. Ясауи*, – № 3. 2014. – С. 23–27.
7. Рустамов Н. Т., Кибишов А. Т., Суханов М. Я. Некоторые особенности фрактального солнечного коллектора. – Киев, *Научный Журнал «Архивариус»* – Том 7. – № 1 (55). 2021 г. – С. 36–42.
8. Рустамов Н. Т., Мейрбеков А. Т., Корганбаев Б. Н. Фрактальный солнечный коллектор. Патент № 2639 на полезную модель от 22.01.2018.

9. Суханов М. Я., Рустамов Н. Т. Фрактальный солнечный коллектор // Молодой ученый. – № 13(303). 2020. – С. 40–44.
10. Рустамов Н. Т., Мейрбеков А. Т., Корганбаев Б. Н. Фрактальный солнечный коллектор. РК Патент № 2639 на полезную модель.
11. Рустамов Н. Т., Кибиров А. Т., Исроилов Ф. М., Ерназар К. Е. Коэффициент полезного действия вакуумированного фрактального солнечного коллектора. European Journal of Technical and Natural Sciences – 2. 2023. – Р. 46–53.
12. Рустамов Н. Т., Мейрбеков А. Т., Кибиров А. Т. Вакуумный фрактальный солнечный коллектор. Патент РК на изобретение № 36213 от 30.06.2023.