

5-7-2021

## SOLAR THERMOELECTRIC GENERATOR: THERMAL AND MATHEMATICAL MODELS, TEST RESULTS

S. F. Ergashev

*Ferghana polytechnic institute*

D. T. Mamadieva

*Ferghana polytechnic institute*

A. Oripov

*Ferghana polytechnic institute*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

---

### Recommended Citation

Ergashev, S. F.; Mamadieva, D. T.; and Oripov, A. (2021) "SOLAR THERMOELECTRIC GENERATOR: THERMAL AND MATHEMATICAL MODELS, TEST RESULTS," *Scientific-technical journal*: Vol. 4 : Iss. 2 , Article 9.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol4/iss2/9>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND  
INFORMATION TECHNOLOGIES****SOLAR THERMOELECTRIC GENERATOR: THERMAL AND MATHEMATICAL  
MODELS, TEST RESULTS****Ergashev S.F., Mamadiyeva D.T., Oripov A.**

Ferghana polytechnic institute

**СОЛНЕЧНЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР:  
ТЕПЛОВЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ****Эргашев С.Ф., Мамадиева Д.Т., Орипов А.**

Ферганский политехнический институт

**ҚУЁШ ТЕРМОЭЛЕКТРИК ГЕНЕРАТОРИ: ИССИҚЛИК ВА МАТЕМАТИК  
МОДЕЛИ, ТАЖРИБА НАТИЖАЛАРИ****Эргашев С.Ф., Мамадиева Д.Т., Орипов А.**

Фарғона политехника институти

**Abstract:** The work considered thermal and mathematical models of calculation in the construction and description of household installations with solar parabolic-cylindrical concentrators. The results of experimental studies of parabolic-cylindrical installations for domestic use are also given. In this case, the efficiency of the installation was up to 4-5%.

**Key words:** thermal and mathematical models, solar parabolic cylindrical concentrators, household installations, heat receiver-accumulator

**Аннотация:** В работе были рассмотрены тепловые и математические модели расчета солнечного термоэлектрического генератора. Приведены также результаты экспериментальных исследований солнечного термоэлектрического генератора бытового назначения. При этом КПД установки при преобразовании солнечной энергии в электрическую составляло до 4-5%.

**Ключевые слова:** тепловые и математические модели, солнечный термоэлектрический генератор, параболоцилиндрический концентратор, установки бытового назначения, теплоприемник.

**Аннотация:** Мақолада қуёш термоэлектрик генераторини ҳисоблашнинг иссиқлик ва математик модели кўрилган. Рўзгорбон қуёш термоэлектрик генераторнинг тажриба натижалари келтирилган бўлиб, қурилманинг фойдали иш коэффициенти 4-5%, тенг чегарада бўлган.

**Таянч сўзлар:** иссиқлик ва математик моделлар, Қуёш термоэлектрик генератори, параболоцилиндр концентратор, маиший иншоотлар, иссиқлик қабул қилгич, установки бытового назначения, теплоприемник.

**Введение.** В последние годы во многих странах мира в том числе в Узбекистане расширяется сфера использования солнечной энергии. Использование солнечной энергии для обеспечения индивидуальных и промышленных потребителей горячей водой и электрической энергией позволяет сэкономить использование органического топлива, а также существенно сократить вредные выбросы в атмосферу [1-4,]. В настоящее время в Узбекистане планируется построить несколько десятков солнечных станций на фотоэлектрических батареях. Солнечные фотоэлектрические батареи, изготовленные из кристаллического или поликристаллического кремния, сегодня являются основной технологией коммерческого

## ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

рынка. Однако, стоимость таких батарей достаточно высока. Другим типом солнечных батарей являются термоэлектрические солнечные батареи. Несмотря на небольшой КПД термоэлектрическая технология обладает рядом преимуществ, таких как низкая стоимость материала, что приводит к сокращению затрат на производство, способность эффективно воспринимать рассеянное, прямое и концентрированное солнечное излучение и продолжительный срок службы до 25 лет [5]. Особенно эффективно термоэлектрические генераторы работающие совместно с концентраторами солнечной энергии [6].

Установлено, что среди различных способов концентрации солнечной энергии, наибольшие успехи достигнуто в области разработок параболоцилиндрических концентраторов. Параболоцилиндрические установки уже применяются, как конструктивно простых и экономически эффективных для получения электричества в тепловых электростанциях. В частности в мире построено более 10 крупных солнечных станций на параболоцилиндрических модулях [7, 8].

Следует отметить, что несмотря на многочисленные апробированные и рекомендованные варианты схем параболоцилиндрических установок, выбор эффективного варианта представляется достаточно сложной задачей, так как эффективность системы зависит от многочисленных факторов. Более простые и экономичные решения данного вопроса позволяют эффективно использовать солнечную энергию. В схемах солнечных установок бытового назначения чаще всего для повышения эффективности используются комбинированные схемы. Комбинированные гелиоустановки имеют лучшую эффективность работы.

На рис. 1. показана схема комбинированной солнечной установки состоящей из термоэлектрического генератора совмещенного с абсорбционным холодильником. Использование солнечной энергии в холодильных циклах абсорбционного типа может быть осуществлено с целью сохранения продуктов питания и медикаментов.

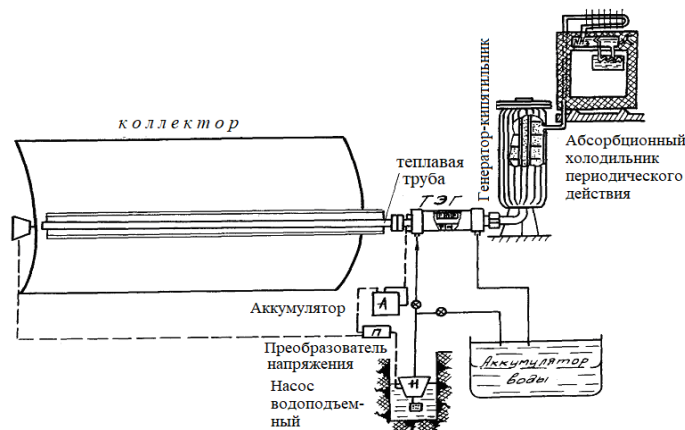


Рис.1. Схема солнечной параболоцилиндрической установки с термоэлектрическим генератором и абсорбционным холодильником.

Охлаждение с помощью солнечной энергии исследовалось немногими авторами, которые лишь подтвердили техническую осуществимость абсорбционных и абсорбционных холодильников и кондиционеров бытового назначения [2]. Для широкого внедрения эти системы требуют ещё существенных технико-экономических улучшений и оптимизацию.

**Солнечный термоэлектрический генератор (СТЭГ) с тепловой трубой и параболоцилиндрическим концентратором, действующий по**

принципу прямого, безмашинного преобразования тепловой энергии солнечного излучения в электрическую, может быть использовано быту для электропитания бытовых приборов в условиях сельской местности, значительно удаленных от центрального энергоснабжения.

При выборе геометрических параметров и конструктивных материалов для СТЭГ бытового назначения с параболоцилиндрическим концентратором необходимо учитывать те же требования, предъявляемые к обычным бытовым приборам, т.е. компактность, легкость, транспортабельность, надежность и удобность в эксплуатации.

Исходными данными для выбора геометрических параметров СТЭГ являются требуемая рабочая температура (100÷250°C) и количество получаемой электричества для средней семьи, состоящей из 3-х человек.

## ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Отражательная поверхность концентратора СТЭГ изготавливается из легких и надежных оптических материалов типа зеркальный алюминий или пластмассовой зеркальной пленки, легко приклеиваемой на листовую материал. Концентратор СТЭГ желательнее изготавливать под углом охвата не менее  $2\alpha = 180^\circ$ . Это позволяет разместить теплоприемник внутри концентратора, что обеспечивает равномерное облучение поверхности приемника концентрированным солнечным лучом и уменьшение его обдува поперечным ветром. Кроме того, СТЭГ получится компактным и удобным в эксплуатации.

Теплоприемник СТЭГ обычно изготавливают из коррозионностойких материалов, т.е. из алюминиевых, медных, оцинкованных или нержавеющей труб. Изготовление теплоприемника в виде тепловой трубы конструктивно удобно для подсоединения к трубчатому термогенератору. Это повышает эффективность термогенератора путем равномерного обогрева горячих спаев термоэлементов.

Конструктивно для параболоцилиндрических СТЭГ термоэлектрический генератор изготавливают из трубчатых термоэлементов на основе низкотемпературных материалов  $(BiSb)_2Te_3 - P$ -типа и  $(TeSe)Bi - n$ -типа, рассчитанные на рабочую температуру  $300^\circ C$ .

Применение селективного покрытия на поверхности теплоприемника и тепловой прозрачной изоляции существенно улучшают эффективность СТЭГ.

В качестве селективного покрытия часто используют черный хром, черный никель и различные лакокрасочные материалы. [6]

Прозрачную тепловую изоляцию СТЭГ обычно делают из стекла перикс. или из высокопрозрачной пленки. Стекло обладает превосходной стойкостью к атмосферным воздействиям и хорошими механическими свойствами

Для СТЭГ бытового назначения автоматическая система слежения за Солнцем экономически невыгодна, поэтому ориентация концентратора осуществляется вручную или, в крайнем случае, с простыми устройствами слежения типа часового или гиревого механизма.

Величины геометрической или энергетической концентрации, создаваемые зеркальным концентратором СТЭГ обратно пропорциональны площади поверхности нагрева приемника.

Для параболоцилиндрических установок облегченного типа, предназначенных для бытовых целей, увеличение концентрации с целью уменьшения поверхности нагрева приемника и связанные с этим усложнения и удорожание всей установки нецелесообразны по технико-экономическим соображениям, поэтому зеркала СТЭГ имеют сравнительно малые концентрации (от 3 до 30), а это существенно удешевляет установки, и определяет невысокую стоимость получаемого тепла.

**Энергетический баланс СТЭГ.** Из общей схемы баланса энергии СТЭГ видно, что часть падающей лучистой энергии поглощается приемником, прозрачной изоляцией и превращается в тепло, часть энергии теряется в виде оптических потерь, связанных с неполным пропусканием, отражением, поглощением, а также теплопроводностью конструктивных элементов СТЭГ. Баланс энергии СТЭГ в общем виде запишется так:

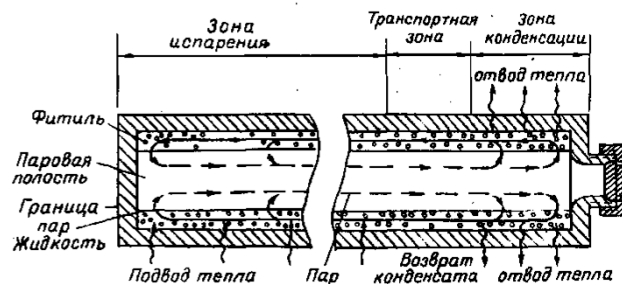


Рис.2. Принципиальная схема тепловой трубы.

$$Q_{под} = Q_{пог}^n + Q_{пог}^{n.из} + Q_{онт}^n \quad (1)$$

## ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

В свою очередь, количество теплоты, поглощенное приемником  $Q_{поз}^n$  и прозрачной изоляцией  $Q_{поз}^{n.из}$  СТЭГ, расходуется на нагревание конструктивных элементов  $Q_{поз}^э$  тепловые потери  $Q_{мен.n}$  и непосредственно на нагревание теплоносителя(воды) в теплоприемнике  $Q_{жс}$ . Если пренебречь нагреванием прозрачной изоляции от солнечных лучей (из-за малой толщины стекла или пленки), уравнение теплового баланса приемника запишется в виде:

$$Q_{поз}^n = Q_{поз}^э + Q_{мен.n} + Q_{жс} \quad (2)$$

При использовании тепловой трубы в качестве теплоприемника СТЭГ уравнение энергии имеет вид:

$$\frac{di}{d\tau} = i_{жс}^{II} - i_{жс}^I = \frac{Q_{поз}^э + Q_{мен.n} + Q_{жс}}{G_n} \quad (5)$$

где:  $i, M, G_{жс}, G_n$  - соответственно - энтальпия, масса, расход нагреваемой воды и расход пара.

Тепловой поток, идущий на нагревание конструктивных элементов теплоприемника, вычисляется так:

$$Q_{поз}^э = A(T_{кон}^э - T_0) \quad (6)$$

где:  $A$  - постоянная конструктивных элементов приемника;

$T_{кон}^э, T_0$  - температура конструктивных элементов и окружающей среды.

$A$  - постоянная величина, рассчитывается по формуле

$$A = m_1 Cp_1 + m_2 Cp_2 + m_3 Cp_3 + m_4 Cp_4, \quad (7)$$

где: индексы 1, 2, 3, 4 относятся к конструктивным элементам теплоприемника.

При оценочных расчетах  $Q_{поз}^э$  пренебрегают или выражают как долю от суммарных тепловых потерь.

Тепловые потери через изоляции СТЭГ, сводятся к передаче конвективного и лучистого потока тепла от поверхности нагрева через стекло в окружающую среду

$$Q_{t,c}^k + Q_{t,c}^l = Q_{c,0}^k + Q_{c,0}^l \quad (8)$$

Члены уравнения (8) являются функциями температуры поверхности нагрева, температуры стекла, температуры окружающей среды, скорости ветра и другие.

Тепло, идущее непосредственно на нагрев жидкости или так называемое полезно используемое тепло для нагрева горячих спаев термоэлектрического генератора СТЭГ, вычисляется по формулам:

$$Q_{жс} = \alpha_{жс} \cdot F_{конд} \cdot (T_T^K - \bar{T}_G). \quad (9)$$

где:  $F_{конд}$  - теплоотдающая площадь конденсатора;

$\alpha_{жс}$  - коэффициент теплоотдачи от наружной стенки конденсатора тепловой трубы к нагреваемой жидкости.

Мерой оценки эффективности СТЭГ с параболоцилиндрическим концентратором является его коэффициент полезного действия, определяемый как отношение количества полезного тепла, полученного за небольшой период времени, когда режим был стационарный,

## ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

к количеству энергии солнечного излучения, падающего на концентратор в течение того же периода времени

$$\eta_{мен} = \frac{1}{Q_{пад}} \cdot \frac{d \cdot Q_{пол}}{d\tau} \quad \text{или} \quad \eta_{мен} = \frac{1}{Q_{пад}} \cdot \frac{d \cdot Q_{пол}}{d\tau} \quad (10)$$

$$\eta_{СТЭГ} = \frac{Q_{пол}}{Q_{пад}} \quad (11)$$

$$N_{СТЭГ} = Q_{пол} \cdot \eta_{СТЭГ} \quad (12)$$

где:  $N_{СТЭГ}$  - электрическая мощность СТЭГ,  $\eta_{СТЭГ}$  - КПД тэг.

Таким образом, по вышеприведенным формулам по заданной рабочей температуре приемника  $T_T$ , плотности солнечной радиации  $E_0$ , скорости ветра  $V$ , температуре окружающей среды -  $T_0$ , а также заданным геометрическим, оптическим и теплофизическим параметрам конструктивных элементов может быть произведен численный расчет теплопередачи и энергетических характеристик параболоцилиндрического модуля с термоэлектрическим генератором для преобразования солнечной энергии в электрическую или другими преобразователями тепловой энергии

В Ферганском политехническом институте разработано ряда конструкций солнечных параболоцилиндрических установок бытового назначения для получения горячей воды, электричества и холода. Результаты натурных испытаний экспериментальной СТЭГ бытового назначения с теплоприёмником тепловой трубой, трубчатым модульным термоэлектрическим генератором (рис.2 и 3) получено электрическое КПД около 5% при тепловой КПД 45-55%. применен полированный алюминий с интегральным отражением солнечных лучей  $R_3=0,8$ .

Из рис. 3 видно, что распределение плотности лучистого потока в фокальной плоскости концентратора приблизительно следует по кривой Гаусса.

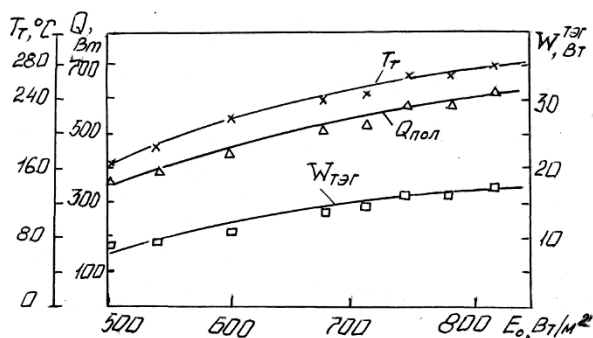


Рис. 3. Энергетические характеристики СТЭГ с тепловой трубой и параболоцилиндрическим концентратором в зависимости от радиации.

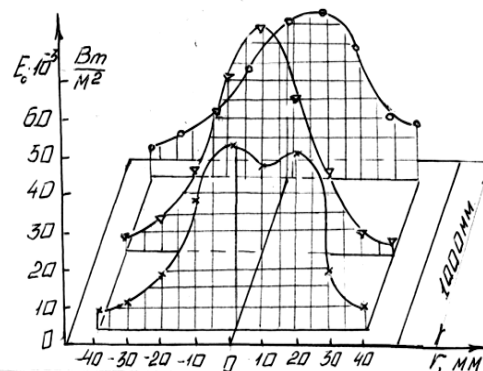


Рис. 4. Распределение энергии по фокальной плоскости концентратора СТЭГ.

Некоторое раздвоение фокуса по краям теплоприемника объясняется неточностями изготовления концентратора. Экспериментально определенная оптическая эффективность системы составляла  $\eta_{ОПТ}^{ЭК} = 0,8$ , что удовлетворительно совпадает с расчетным  $\eta_{ОПТ}^{РАС} = 0,85$

По кривой распределение энергии максимально определенная коэффициент энергетической концентрации составляло  $K_{энерг.} = 24$ . При этом полученная электрическая мощность СТЭГ составила  $W_{СТЭГ} = 21 \text{ Вт}$  (рис. 3).

В целом, результаты испытаний СТЭГ с параболоцилиндрическим концентратором в натурных условиях показали работоспособность и практическую целесообразность

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

использования его как автономного источника электрической энергии для бытовых целей, после некоторых доработок в конструкции, а также улучшение оптической эффективности

**References**

- [1]. Muxitdinov M.M., Ergashev S.F. «Solnechnie parabolotsilindricheskie ustanovki» Izd. «Fan», g.Tashkent, 1995 g., 230 s.
- [2]. Kolos Ya.G. Issledovanie teplovix xarakteristik parabolotsilindricheskix solnechnix ustanovok pri razlichnix temperaturax i davleniyax vodi v kotle //Trudi IV konferentsii molodix uchenix RAN .– M.: ENIN, 1957. –Вып.1. –S. 206-207.
- [3]. Veynberg V. B. Optika v ustanovkax dlya ispolzovaniya solnechnoy energii. – M.: OGIZ, 1959. – 226 s.
- [4]. Markman M.A. i dr. Eksperimentalnoe issledovanie parabolotsilindricheskogo solnechnogo kontsentratora s trubchaim teplopriemnikom // j. Geliotexnika, – Tashkent, 1980. – №6. – S. 66-68.
- [5]. Ramsey J.W., Gupta V.P., Knowles G.R. Experimental evaluation of a cylindrical parabolic solar collector //Transactions of the ASME.– per. S. May , NE. – 1977. –P. 163-168.
- [6]. EdenburnM, W. Performance analysis of a cylindrical parabolic focusing collector and comparision with experimental results // Solar Energy. –1976.– Vol. 18.– P. 437-444.
- [7]. Barra O., Conti M., Corraera L., Visentin R. Thermal regimes in a promary fluid heated by solar energy in a linear collector //JZ nuovocimento. –1978. – Vol. 1, 2.– P. 167-184.
- [8]. Huang J., Wund J.Y., Nich S. Thermal analysis of black liquid cylindrical parabolic collector //Solar Energy.– 1979. – Vol. 22. –P. 221-2245.
- [9]. Koxova I.I., Ergashev S.F. Sasin V.Ya., Borodkin A.A. Teplovaya truba dlya solnechnoy parabolotsilindricheskoy ustanovki //j.Geliotexnika .- Tashkent, 1982.-№4.-S.21-26.