

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ, КАСАЮЩИЕСЯ КПД СТЭУ

Р.С.Бабаян, В.З.Арутюнян, С.А.Григорян

Статья посвящена использованию нетрадиционных видов энергии, для преобразования в электрическую с термодинамическим циклом. В работе приводится метод выбора рабочего тела солнечной энергетической установки, головных нагревателей и возможные пути повышения КПД солнечной термодинамической энергетической установки (СТЭУ), работающей по циклу Ренкина. Анализируется работа СТЭУ с различными концентрирующими солнечными коллекторами и их совместной работы с термодинамическим циклом Ренкина.

Результаты расчетов совместной работы СТЭУ с линзами Френеля, двугранными фокусными и параболическими концентраторами, при различных температурах головного нагревателя и конденсатора, с учетом климатических условий представлены в графиках. Даются формулы для расчета КПД соответствующих коллекторов, полученные на основе экспериментального исследования.

Анализ позволяет выбирать параметры работы СТЭУ при различных температурах первого контура для получения максимальных значений КПД установки.

В последние годы все больший интерес представляют солнечные термодинамические энергетические установки (СТЭУ), способные решить проблему энергообеспечения прибрежных аральных и горных районов.

Сдерживающим фактором развития работ в этом направлении является низкий коэффициент полезного действия этих установок /2,4,5/, ибо в качестве коллекторов первого контура СТЭУ, как правило, использовались плоские коллекторы солнечной энергии (КСЭ), работающие в диапазоне температур до 90°C. Соответственно этому, в качестве рабочего тела второго контура, оптимального с термодинамической точки зрения, использовались жидкости фреоновой ряда R-111, R-113, R-114.

Низкое значение эффективности СТЭУ с плоскими коллекторами и дефицит охлаждающей воды в аридных районах ограничивают применение СТЭУ.

Повышение КПД солнечных энергетических установок возможно, путем понижения температуры конденсации (T_2) рабочего тела второго контура установки, работающей по циклу Ренкина при заданном предельном уровне температуры, достигаемом в головных нагревателях (T_1), а с другой стороны, за счет повышения эффективности составных элементов системы.

Наиболее целесообразным способом повышения эффективности СТЭУ является повышение температуры головного нагревателя и теплоносителя второго контура (T_1).

С целью увеличения КПД СТЭУ нами анализируется влияние различных типов концентрирующих систем, используемых в качестве коллекторов солнечной энергии первого контура, таких, как: линзы Френеля, двугранные фокусники, параболические концентраторы.

При анализе работы линз Френеля, мы сосредоточили свое внимание на линзах Френеля Чехословацкого производства. Основные конструктивные параметры указанных линз следующие: фокусное расстояние $f=500$ мм, ширина зубов $V_0=5$ мм, апертура $D=370$ мм, число зубцов $n=19$.

Максимально достижимая концентрация $1/K=8$ размер рабочего пятна $d=5$ см.

Таким образом, становится понятным, что по уровням концентраций можно проводить прямое сопоставление двугранных фокусников с линзами Френеля. Как известно из публикации рабочее температуры жидкости, нагреваемой в этих коллекторах, изменяются в интервале $100^{\circ}\text{C} \leq T \leq 200^{\circ}\text{C}$.

Переход в другой температурный диапазон требует соответствующего подбора рабочего тела, имеющего оптимальную термодинамическую эффективность для цикла Ренкина. По аналогии с работой /8/, в которой проводится анализ выбора рабочего тела, мы остановились на бензоле C_6H_6 .

Более подходящим с термодинамической точки зрения является толуол, эффективно работающий в температурном диапазоне до 400°С. Однако /8/, ввиду взрывоопасности и, соответственно этому из эксплуатационной безопасности, данное рабочее тело нами не рассматривалось.

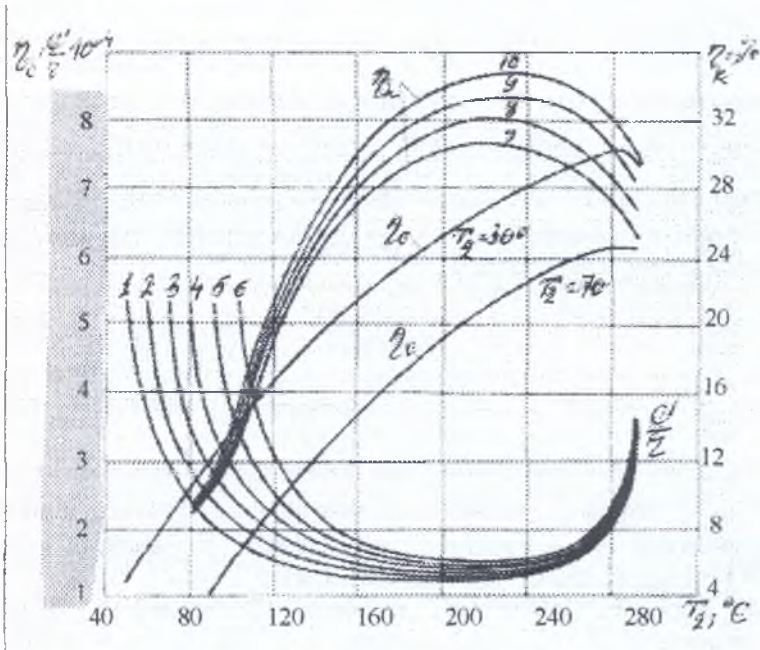


Рис.1. Зависимость параметра c'/t (кривых 1,2,3,4,5,6) от температуры T_1 , при $T_2=30,40,50,60,70,80^{\circ}\text{C}$; зависимость КПД системы, работающей по циклу Ренкина, от температуры T_1 и $T_2=30,40,50,60^{\circ}\text{C}$ (кривые 7,8,9,10) и $T_2=70^{\circ}\text{C}$; зависимость термического КПД цикла от температуры T_1 , при $T_2=30$ и 70°C .

Для выявления термического КПД установки, работающей по циклу Ренкина необходимо определить параметры c'/t , используя данные теплофизического справочника /3/. Значение c'/t рассчитывалось для дискретного набора значений нижней температуры цикла T_2 , как функции T_1 . На рис. 1 представлены графики зависимости эффективности цикла при $T_2=70^{\circ}\text{C}$ и наборе значений температуры окружающего воздуха $T_0=10, 20, 30, 40^{\circ}\text{C}$. Максимальное значение термического КПД достигается при $T_2=30^{\circ}\text{C}$ и $T_1=280^{\circ}\text{C}$, $\eta_T = 30,5\%$. Следует заметить, что в заданном температурном интервале лучшим рабочим телом с теоретической точки зрения является насыщенный водяной пар. С повышением начальной температуры насыщенного пара термический КПД цикла возрастает, однако, уже после 180-190°С /8/ дальнейшее повышение начальной температуры вызывает резкое увеличение давления пара и его конечной влажности, что приводит к серьезным трудностям при эксплуатации турбин.

Так проведенные в /7/ расчеты для температурного интервала 40-268°С дают величину термического КПД цикла Ренкина 36,5%, давление же при этом достигает значения 5,3МПа. В то время как предельный КПД, достигаемый в цикле Карно, в этом интервале температур равен приблизительно 42%.

Далее рассматривается эффективность выше указанных концентрирующих систем.

Для двугранных фокусирующих линз Френеля основное соотношение, определяющее их эффективность, определяется выражением:

$$\eta_K = \eta_0 = \frac{U_L(T_C - T_{ОКР})}{I_0} - \frac{\varepsilon \delta (T_C^4 - T_{ОКР}^4)}{< K > I_0}, \tag{1}$$

где η_0 - оптический КПД;

$$T_c = \frac{T_{RX} + T_B}{2}$$

U_c - средний коэффициент тепловых потерь;

$\langle K \rangle$ - средний коэффициент концентрации.

Для линзы Френеля, согласно [4] $\eta_0 = 0,51$, $U_L = 3,5$ Вт/м²·К, $\langle K \rangle = 4,5$, в то время как для двутранных фоклинов $\eta_0 = 0,61$, $U_L = 2,7$ Вт/м²·К, $\langle K \rangle = 3$.

Отражающая часть параболических концентраторов, представляет из себя непрерывную поверхность и facets из стекла с зеркальным слоем, или электрополированный алюминий. Как показано в работе [10], предельно достижимая концентрация параболическом концентраторе в случае, если источник излучения представляется явно ярким диском определяется выражением

$$B = \frac{I_0}{\pi \omega_m} x(\omega - \omega_m)$$

$$K_{max} = \frac{4 \sin U_m}{\pi \omega_m} \text{ и равна } K_{max} = 273.$$

Данная концентрация определена для точки фокуса. Однако, в реальных условиях K_{max} значительно меньше. Теперь становится понятным многообразие типов параболических концентраторов по уровню максимально достижимых в них концентраций. Мы остановились на характеристиках приведенных в [8].

Основные оптико-геометрические параметры концентратора следующие: $\langle K \rangle = 40,5$, коэффициент отражения $R = 0,78$, длина концентратора $L = 15$ м, площадь $S = 25,5$ м².

Эффективность данного параболического концентратора с хорошей степенью приближения определяется формулой:

$$\eta = 0,65 - 1,18 \frac{(T_c - T_{окр})}{I_0} \quad (2)$$

Зависимости $\eta_0 = f(T_1)$, рассчитанные по формулам (1), (2) совместно с КПД термодинамического цикла представлены на рис.2.

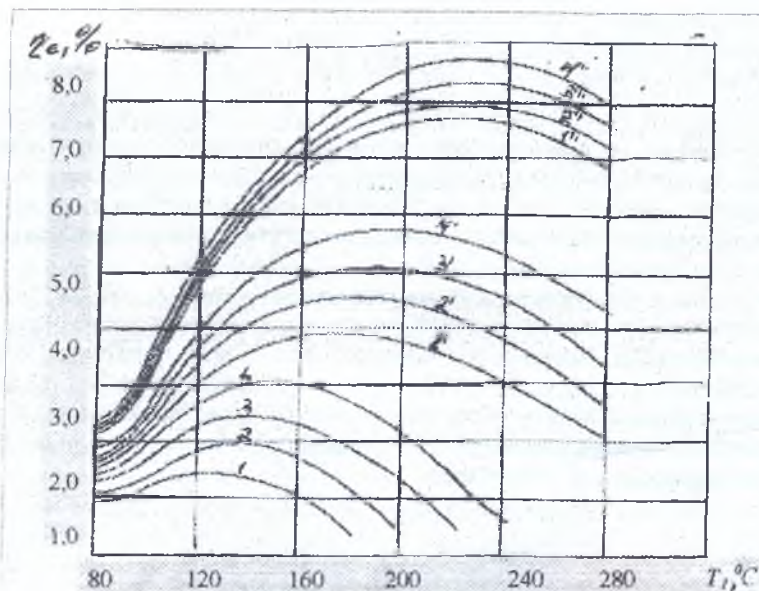


рис.2. Зависимость КПД системы, работающей по циклу Ренкина с различными КСЭ от температуры T_1 ; при $T_0 = 10, 20, 30, 40^\circ \text{C}$; (1-4 - линзы Френеля; 1'-4' - параболический концентратор.)

Как следует из рис. 2, КПД системы растет от линзы Френеля к параболоцилиндрическому концентратору. Минимальное значение КПД наблюдается для установок с линзами Френеля и составляет 1,46%, максимальное значение при использовании линз Френеля, $T_0=40^\circ\text{C}$, $\eta_k = 3,02\%$ при $T_2=70^\circ\text{C}$, для двугранных фоклинов минимум 3,91%, максимум - 5,68%, а для параболоцилиндрических концентраторов минимум - 6,74% и максимум - 8,6%.

Сопоставляя расчетные значения КПД энергоустановок с различными гелиоприемниками видно, что наилучший показатель имеет энергоустановка с параболоцилиндрическим концентратором. Кроме того, заметим, что каждый гелиоколлектор, работающий в составе энергоустановки с циклом Ренкина, имеет свой оптимальный температурный диапазон: для линз Френеля при $T_2=70^\circ\text{C}$ оптимальный интервал для T_1 лежит в пределах $120-140^\circ\text{C}$; для двугранных фоклинов $160-185^\circ\text{C}$; для параболоцилиндрических концентраторов - $210-240^\circ\text{C}$. Данные интервалы температуры соответствуют максимально достижимым КПД системы.

Для определения возможных границ максимального и минимального значений КПД СТЭУ, работающей по циклу Ренкина, с воздушным охлаждением при низкой температуре окружающего воздуха и водяным охлаждением в летнее время, проведены расчеты. Результаты расчетов представлены на рис. 3. Температура конденсаций во всех случаях равна 20°C . Это соответствует температуре окружающего воздуха 10°C (среднегодовая температура) /6/ и 14°C - температуре охлаждающей воды.

При этих условиях для линз Френеля минимальный КПД -3,3%, максимальный -5,39%; для двугранных фоклинов минимальный КПД-6,08%, максимальный-9,19%; для параболоцилиндрических концентраторов минимальный КПД-10,61%, максимальный- 11,75%.

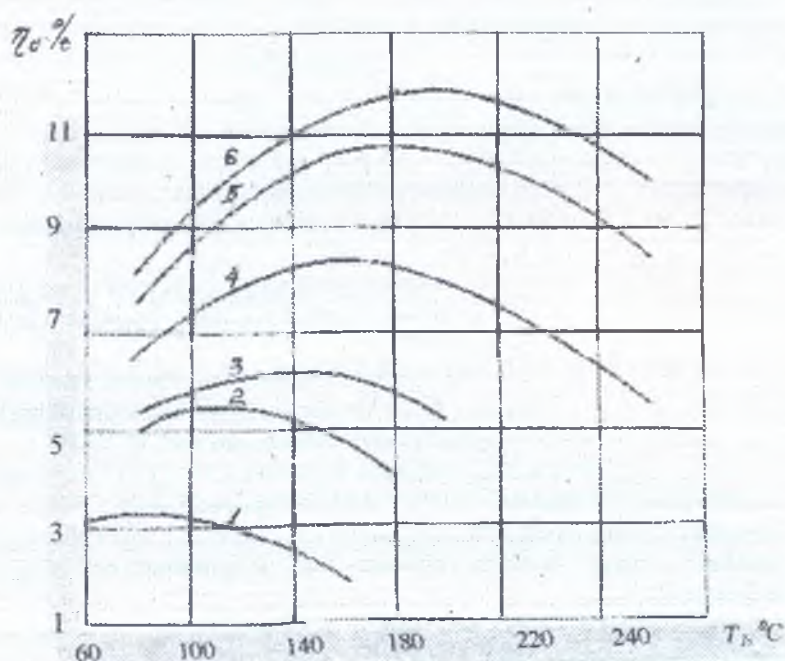


Рис. 3. Зависимость КПД системы, работающей по циклу Ренкина от T_1 ; при $T_0=10^\circ\text{C}$; $T_0=20^\circ\text{C}$ (1-линзы Френеля; 3-д-фокулы; 5-параболоцилиндры) при $T_0=40^\circ\text{C}$, $T_0=10^\circ\text{C}$ (2-линзы Френеля; 4-д-фокулы; 6-параболоцилиндры)

Таким образом, в рассматриваемом случае солнечная энергетическая установка компонованная солнечными коллекторами (линзами Френеля, фоклинями параболоцилиндрическими концентраторами), работающая по циклу Ренкина с рабочим телом восточнее без учета влияния КПД турбогенератора ($\eta_{ГГ}=1$), обеспечивает КПД от 1,46% до 11,75%.

Ամփոփում

Հոդվածը վերագրվում է ոչ ավանդական տիպի էներգիայի օգտագործմանը՝ վերափոխված էլեկտրականի թերմոդինամիկական ցիկլով, որտեղ բերվում է աշխատանքային մարմնի և արևային էներգետիկական սարքավորման գլխավոր տարացուցչի ընտրման մեթոդը, Ռենկինի թերմոդինամիկական ցիկլով աշատող արևային էներգետիկական սարքավորման (ԱԹԷՍ-ի) ՕԳԳ-ի ավելացման հնարավոր եղանակները: Վերլուծվում է տարբեր խտացնող արևային կոլեկտորների բնութագրերը և նրանց համատեղ աշխատանքը՝ Ռենկինի թերմոդինամիկական ցիկլի հետ՝ ԱԹԷՍ-ում: Յրենելի լինգաներով, երկնիստ Ֆոկլիններով և պարաբոլացանային կոնցենտրատորներով գլխավոր տարացուցչի և տարբեր ջերմաստիճաններով կոնդենսատորների համատեղ աշխատանքի հաշվարկային արդյունքները ԱԹԷՍ-ի համար ներկայացված են գրաֆիկներով:

Բերված են փորձնական հետազոտություններից ստացված ՕԳԳ-ի հաշվարկային քանակները՝ համապատասխան կոլեկտորների համար: Վերլուծությունը հնարավորություն է տալիս ընտրել ԱԹԷՍ-ի աշխատանքի օպտիմալ ջերմային պարամետրերը՝ ՕԳԳ-ի մարմնի արժեքների համար:

Литература

1. Аванесов Э.С., Баум Н.В., Расчет энергетических характеристик параболоцилиндрического концентратора гелиотехника, 3, с.18-23, 1986.
2. Аванесов Э.С., Бабалян Р.С., Анализ солнечной паратурбинной установки. Изв.АН СССР сер. физ.-тех.хим. и геол. Наук, N 1, 1987.
3. Варгафтик Н.Б., Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, М., 1963.
4. Пирка В., Разработка и исследование линейных линз Френеля для солнечных установок: Автореф. канд. дис., Ашхабад, 1987.
5. Мартинес Ж.Пез Ж., Система термодинамического преобразования солнечной энергии // солнечная энергетика/под.ред. Ю.Н. Малевского, Н.М. Колпуна, Мир, М., 1979.
6. Справочник по климату СССР.Л1.; Гидрометеоиздат. вып.30, 1973.
7. Acharya U.S. K., Obermeir E., and Schaber A. Use of R-114 as the working fluid in a flat-plate collector system for electric power generation//Applied Energy.-1983-13.-P.54
8. O.Galagher I., And Winston R. Applications of maximally concentrating optics for solar energy collection// energy Sources concern and Renewables, conf. Washington, D.C. Apr., 1985 New York.
9. Ghari M.A., Kharifa A.M. and Gahin S. Potentialities of the solar-operated Rankine engine//Energy sources, 1985, Vol.25, N 2, p.187-190.
10. Speidel K.A. Simple water pump, powered by solar energy//Sol. Energy int.progr.proc. int. Symp.workshop//Solar Energy.-Cairo.-1978-Vol.4-11.