



Лобунец Ю.Н.

Лобунец Ю.Н.

Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВА В ЭНЕРГЕТИКЕ

Рассмотрена возможность использования термоэлектрических генераторов для преобразования транзитных тепловых потоков в промышленном и энергетическом оборудовании. Показано, что коэффициент полезного действия такой схемы равняется 100 %. Показаны перспективы применения подобных ТЭГ.

Ключевые слова: термоэлектрический генератор, низкопотенциальный источник теплоты.

The possibilities of using thermoelectric generators for conversion of transit heat flows in the industrial and power equipment are considered. The efficiency of such a scheme is shown to be 100 %. The application potential of such TEG is outlined.

Key words: thermoelectric generator, low-grade heat source.

Введение

Использование энергии низкопотенциальных источников теплоты – одна из центральных проблем развития современной энергетики. Тепловые отходы промышленных предприятий, а также естественные аккумуляторы теплоты (атмосферный воздух, вода) рассматриваются как значительный дополнительный источник энергии, сохраняющий традиционные топлива, ресурсы которых ограничены. Среди возможных технологий, использующих низкопотенциальные источники теплоты, рассматриваются и технологии термоэлектрического преобразования энергии. Следует отметить, что термоэлектрический метод преобразования энергии имеет особенности, которые позволяют ставить вопрос повышения энергоэффективности в принципиально другой плоскости по сравнению с традиционными технологиями. Имеются в виду возможности применения ТЭГ для преобразования транзитных тепловых потоков в электрическую энергию. Термин «транзитный тепловой поток» в нашем случае касается потоков в теплообменных аппаратах, имеющих в большинстве промышленных и энергетических технологий. Предложенная нами конструкция ТЭГ теплообменного типа [1] дает возможность использовать термоэлектрический преобразователь как элемент теплообменного оборудования без нарушения основных функций последнего. Часть теплоты, протекающая в теплообменнике, превращается в электрическую энергию. Учитывая то, что из основного технологического процесса при этом удаляется лишь эта часть теплоты, а остальная используется полезно, по назначению, можно считать, что коэффициент полезного действия преобразования тепловой энергии в электрическую для подобной схемы равняется 100 %.

В данной работе рассматриваются примеры возможного использования таких схем, приводится оценка технико-экономических ограничений и перспектив применения ТЭГ теплообменного типа.

Конструкция ТЭГ теплообменного типа

Схема упомянутого выше ТЭГ подобна схеме пластинчатого теплообменника, в котором потоки теплоносителей, обменивающихся теплотой, разделены металлическими пластинами, между которыми с помощью специальных прокладок образованы каналы прохода жидкости. Необходимое количество пластин составляет в компактный пакет, который обеспечивает заданную мощность теплообменника (рис. 1). В случае ТЭГ роль пластин выполняют составленные из термоэлектрических модулей термобатареи. Таким образом, ТЭГ может выполнять функцию теплообменника, в котором часть теплового потока, проходящего между теплоносителями, превращается в электрическую энергию.

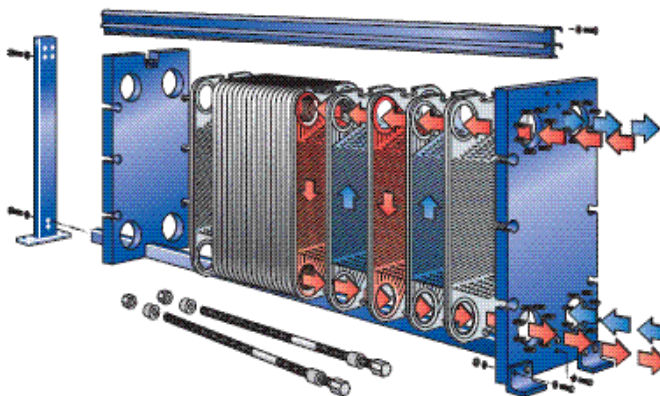


Рис. 1 Пластинчатый теплообменник [2].

Конечно, дополнительное термическое сопротивление в виде термоэлементов ухудшает теплообменные характеристики аппарата, вследствие чего его необходимый размер увеличивается. Но устройство приобретает новые качества, преимущества которых могут компенсировать потери. Для выявления условий, при которых анализируемая схема позволяет достичь эффективных решений, необходимо рассмотреть технико-экономические показатели ТЭГ как с точки зрения генератора электроэнергии, так и с точки зрения теплообменного оборудования.

Сравнение характеристик теплообменника и эквивалентного ему ТЭГ

Для сравнения возьмем простейший и распространенный пример – подогрев воды в системе горячего водоснабжения. Стандартный теплообменник теплового пункта Aquaflow производства компании Alfa Laval имеет такие характеристики [2]:

Таблица 1

Характеристики теплообменника теплового пункта

Тепловая мощность, кВт	Расход горячей воды, кг/сек	Расход холодной воды, кг/сек	Температура горячей воды, вход/выход, °С	Температура хол. воды, вход/выход, °С	Площадь поверхности, м ²	Коэфф. тепло-передачи, Вт/ м ² °С
1200	5.5	6.5	110/57	10/55	2.1	5376

Главная функция такого аппарата – подогрев воды от температуры 10°С до температуры 55 °С в количестве 23.4 м³ в час. С этой целью расходуется приблизительно 1200 кВт-часов тепловой энергии, проходящей транзитом сквозь пластины теплообменника от греющей воду к холодной. Характеристики ТЭГ теплообменного типа, выполняющего эту функцию,

рассчитаем с помощью методики, изложенной в [3], взяв как входные параметры, приведенные в табл. 1, а также следующие свойства термоэлектрических модулей:

- термоэлектрическая добротность материала термоэлементов – 0.0029 K^{-1} ;
- высота термоэлементов – 0.05 см;
- размер термобатареи – 50×100 см;
- высота каналов между термобатареями – 0.5 см;

Количество батарей в ТЭГ будем подбирать, исходя из необходимости нагрева заданного объема воды от $10 \text{ }^\circ\text{C}$ до $55 \text{ }^\circ\text{C}$, имея ввиду, что каналы генератора-теплообменника соединены последовательно. Результаты расчета приведены на рис. 2, из которого видно, что в рассмотренном случае заданной температуры теплоноситель достигает при использовании 30 термобатарей. Мощность ТЭГ при этом равняется 33 кВт, то есть в электроэнергию превращается приблизительно 2.75 % теплового потока.

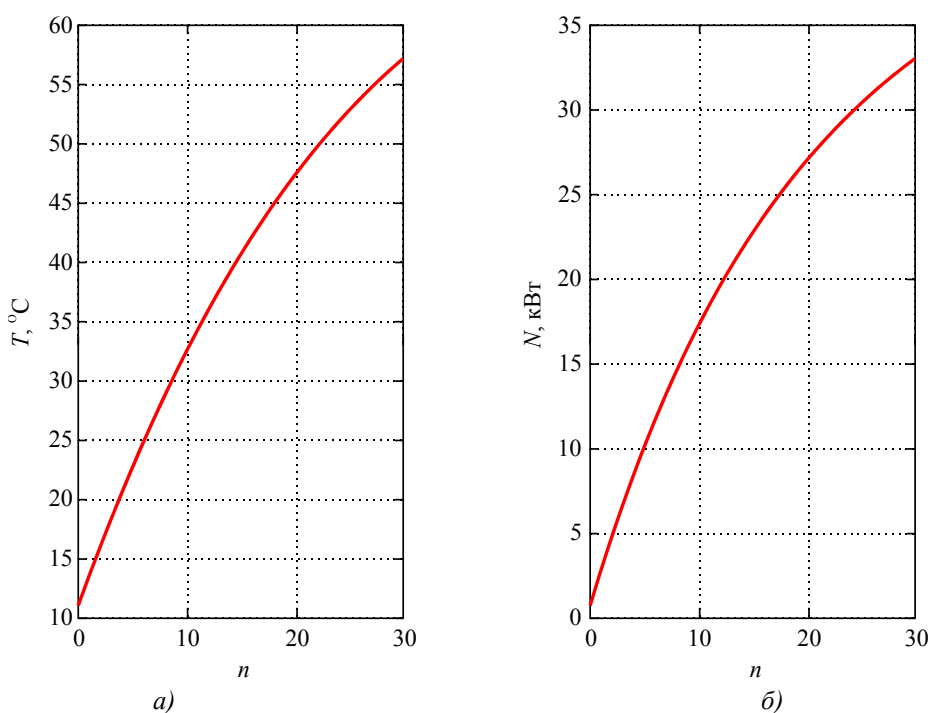


Рис. 2. Зависимости температуры холодной воды T (а) и мощности ТЭГ N (б) от количества термобатарей в ТЭГ, n .

Соответствующие таблице 1 характеристики ТЭГ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики ТЭГ

Электрическая мощность ТЭГ, кВт	Расход горячей воды, кг/сек	Расход холодной воды, кг/сек	Температура горячей воды, вход/выход, $^\circ\text{C}$	Температура холодной воды, вход/выход, $^\circ\text{C}$	Площадь поверхности, m^2	Коэфф. теплопередачи, $\text{Вт}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$
33	5.5	6.5	110/64	10/57	15	979

Как следует из сравнения данных таблицы 1 и таблицы 2, из-за существенного уменьшения коэффициента теплопередачи поверхность теплообмена в ТЭГ возросла приблизительно в 7 раз. Но реально такой ТЭГ будет иметь размеры приблизительно

50 × 100 × 35 см, что незначительно отличается от габаритов теплообменника, который он заменяет. Главным же вопросом, определяющим целесообразность применения подобных ТЭГ, является себестоимость вырабатываемой электроэнергии. Предварительное представление относительно экономической целесообразности схемы можно получить на основе оценки стоимости единицы установленной мощности ТЭГ по сравнению с другими источниками электроэнергии. В качестве базы сравнения возьмем данные, приведенные в [4], рис. 4.

Для оценки стоимости ТЭГ рассмотрим стоимость его компонентов и ориентировочную стоимость работ. Несмотря на некоторую приблизительность такой оценки, она может дать некоторое представление о порядке стоимости кВт установленной мощности ТЭГ. Итак, основными компонентами ТЭГ являются:

Таблица 3

Основные компоненты ТЭГ

Название	Стоимость	Количество в ТЭГ	Сумма
термоэлектрический материал	300 \$US/кг	50 кг	15000 \$US
керамические теплопереходы	0.03 \$US/см ²	30 м ²	9000 \$US
коммутационные пластины (медь)	12 \$US/кг	120 кг	1440 \$US
металлические пластины (титан)	50 \$US/кг	27 кг	1350 \$US
прокладки теплообменника	5 \$US/шт	32 шт	160 \$US

Всего: 27 450 \$US

Приблизительно в такую же сумму можно оценить стоимость работ по изготовлению ТЭГ, что в итоге дает ~1700 \$US/кВт. Эта цифра хорошо коррелирует с данными для основных источников электроэнергии, приведенными на рис. 3. Даже если в действительности она возрастет вдвое (что возможно, хотя и приведенная оценка есть довольно завышенной), все равно капитальные вложения в ТЭГ целиком укладываются в интервал цен существующих источников электроэнергии (следует заметить также, что еще имеется значительный резерв повышения экономической эффективности ТЭГ за счет оптимизации его режимов и параметров).

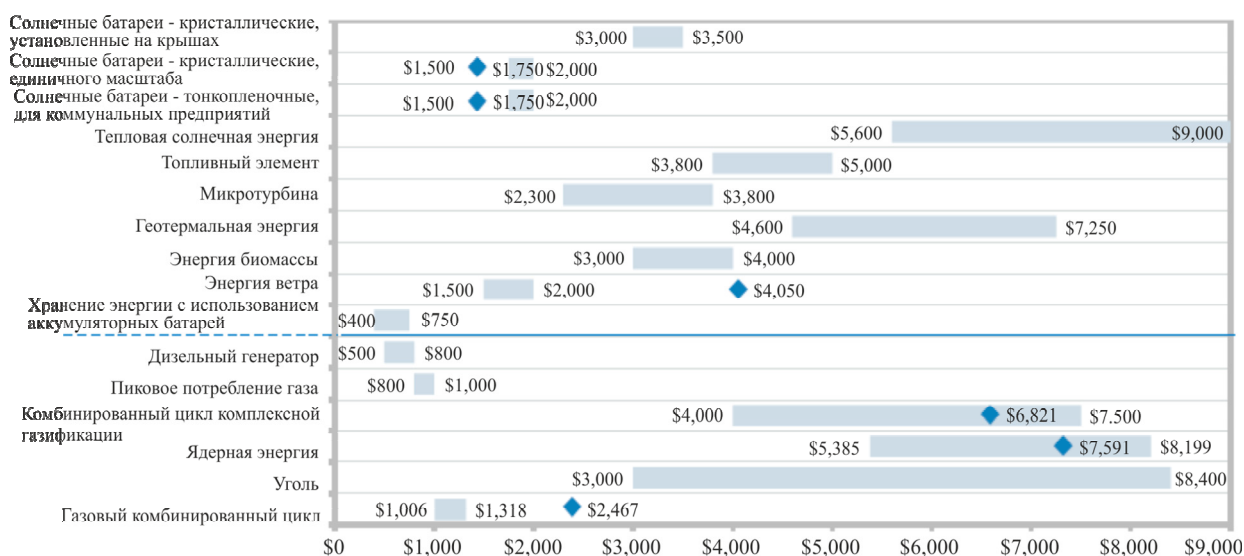


Рис. 3. Капитальные затраты на единицу установленной мощности, \$US/кВт [4].

Что касается прогнозируемой стоимости электроэнергии, то здесь схема рассматриваемого ТЭГ, имеет неоспоримые преимущества, обусловленные высокой эффективностью использования тепловой энергии. Она может оцениваться не выше уровня стоимости электроэнергии наиболее эффективных традиционных источников, использующих подобное топливо (в данном случае – газ), таких как парогазовые электростанции. Согласно [4], интервал стоимости электроэнергии для таких источников составляет 0.052...0.096 \$US/ кВт-час.

Конечно, перспективы использования ТЭГ в энергетике не ограничиваются рассмотренным примером. Есть множество возможностей их применения в различных технологических процессах. Одним из наиболее масштабных может быть использование ТЭГ теплообменного типа в технологическом цикле тепловых электростанций. Например, в водонагревателях низкого давления [5], которые обеспечивают подогрев воды в паросиловом цикле от 35 °С до 150 °С. Внедрение таких ТЭГ может обеспечить дополнительное производство 3...5% электроэнергии, то есть ККД электростанции повысится практически на 10%. Такие перспективы кажутся фантастическими, но для этого есть все технические и экономические предпосылки.

Выводы

Проведенный анализ открывает широкие возможности применения ТЭГ теплообменного типа для использования транзитных тепловых потоков в промышленности и энергетике. Для развития этого направления, прежде всего, необходимо создать унифицированное со стандартными теплообменными аппаратами оборудование ТЭГ, что откроет возможности широкого внедрения этой технологии.

Литература

1. Лобунец Ю.Н. Термоэлектрический генератор // Патент Украины №8357 от 27.08.2013 г.
2. <http://www.alfalaval.com/>
3. Лобунец Ю.Н. Анализ характеристик термоэлектрического генератора теплообменного типа / Ю.Н. Лобунец // Термоэлектричество. – 2014. – № 1. – С. 56 – 63.
4. Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis – Version 7.0, August 2013. – http://gallery.mailchimp.com/ce17780900c3d223633ecfa59/files/Lazard_Levelized_Cost_of_Energy_v7.0.1.pdf
5. <http://energoworld.ru/library/poverhnostnyie-podogrevateli-nizkogo-davleniya-tiporazmeryi-i-harakteristiki/>

Поступила в редакцию 11.09.14.