

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ В РЕГАЗИФИКАТОРАХ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Новиков А.В., Угланов Д.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)
Самара, Российская Федерация

Сжиженный природный газ (СПГ) предлагается использовать в различных системах аэрокосмической техники. В настоящее время он применяется в энергетических комплексах различного назначения, на транспорте и в газоснабжении населённых пунктов и отдельных предприятий. На одном из этапов его использования производится его регазификация – перевод из жидкого состояния в газообразное за счёт подвода внешнего тепла. В настоящее время газификация СПГ в основном происходит за счёт тепла окружающей среды. При этом считается, что использование тепла окружающей среды не является энергозатратным процессом. Однако стоит учитывать, что для ожижения СПГ ранее была затрачена значительная энергия (около 0,4-0,5 кВт*ч электроэнергии на 1кг СПГ [1]), которая при данном способе газификации просто сбрасывается в окружающую среду. Таким образом, сжиженный природный газ содержит в себе энергетический потенциал, который можно было бы использовать при его возвращении в исходное газообразное состояние, и, следовательно, сам процесс регазификации СПГ обладает значительным потенциалом для энергосбережения.

Одним из способов использования этого потенциала является применение термоэлектрических генераторов для выработки электроэнергии за счёт разности температур между СПГ и окружающей средой.

В данной работе дается оценка располагаемого «отрицательного» тепла СПГ при использовании термоэлектрических генераторов.

Важнейшими характеристиками термоэлектрических генераторов являются коэффициент преобразования энергии (КПД) η и мощность P , [2]:

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{m} + \frac{1}{Z \cdot T_2} \cdot \frac{(m+1)^2}{m} - \frac{1}{2} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2} \cdot \frac{1}{m}}$$

$$P = I \cdot U = \frac{\alpha^2 \cdot (T_2 - T_1)^2}{R} \cdot \frac{m}{(m+1)^2}$$

где T_2 – температура на горячей стороне модуля; T_1 – температура на холодной стороне модуля; $m = \frac{R_x}{R}$ – отношение сопротивления нагрузки к внутреннему

сопротивлению генератора; $Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda}$ – термоэлектрическая эффективность (добротность) материала модуля [2]; α – коэффициент Зеебека; λ – коэффициент теплопроводности материала; σ – электропроводность материала; I , U – сила и напряжение в модуле соответственно.

В работе [5] в результате расчёта модулей из перспективных материалов при температурах от 130 К до 290 К был получен КПД $\eta = 9 \dots 9,6\%$, что является вполне приемлемым показателем при данной разнице температур.

Таким образом, уже в настоящее время возможность эффективного применения термоэлектрических генераторов на низких температурных уровнях определяется не свойствами полупроводниковых материалов, а экономической целесообразностью и технологическими возможностями.

В данной работе для расчёта была выбрана схема, наиболее часто встречающаяся в промышленных установках: сжиженный природный газ подаётся под давлением $P=0,3671$ МПа из резервуара с температурой $T_1=130\text{K}$ [6]. На первом участке рис. 4 он подогревается до температуры кипения, равной $T_2=150\text{K}$. На участке 2 происходит газификация (кипение) жидкого метана при постоянных температуре и давлении. После того, как весь метан перешёл в газообразную фазу, происходит его изобарный подогрев до $T_3=285\text{K}$, которая определяется по температуре окружающей среды (300К) с учётом недорекупации в 15 градусов.

Теплоёмкость метана на каждом участке принималась постоянной и рассчитывалась по средней температуре участка.

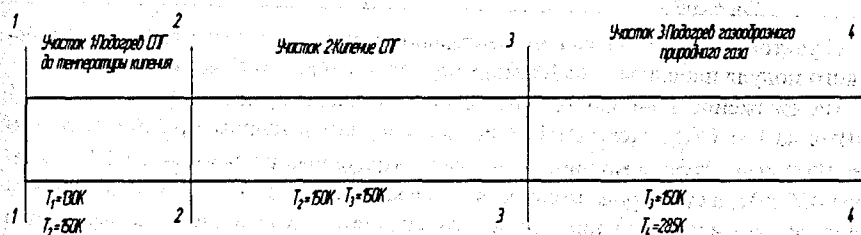
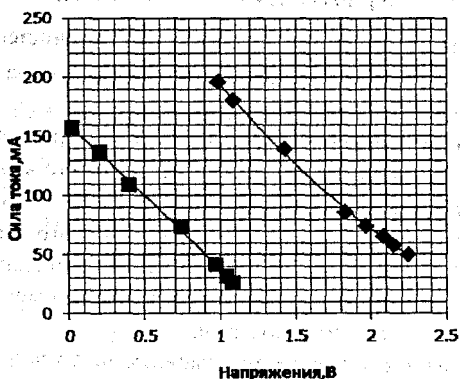


Рисунок 2 – Схема испарителя

В процессе работы использована теория теплопередачи цилиндрической тонкой стенки с односторонним ребрением.

Далее производился теоретический и экспериментальный расчет основных параметров ТЭГ, где оценивалась потенциальная мощность на участках. Определялась сила тока, вырабатываемая одним модулем на участках испарителя.

В результате теоретического расчета и экспериментальной проверки получены значения параметров для каждого участка испарителя, например, мощность, рассчитанная теоретическим и полученная экспериментальным путем, а также количество ТЭГ, необходимых для получения напряжения в 220В, представлены в табл.2. Вольтамперная характеристика подогрева жидкого азота до температуры кипения с обдувом ТЭГ показана на рис. 2.



- ◆ Вольтамперная характеристика на участке подогрева жидкого азота до температуры кипения с обдувом ТЭГ
- Вольтамперная характеристика на участке подогрева жидкого азота до температуры кипения без обдува ТЭГ

Рисунок 2 – Сравнение полученных результатов

Таблица 1 – Результаты теоретического расчета и экспериментальной проверки

Параметр	Участок		
	1	2	3
$P_{расч}, ШТ$	1305	1162	2116
$P_{эксп}, ШТ$	262	253	248
$P_{расчмодуля}, Вт$	0,0115	0,0118	0,003
$P_{расчблока}, Вт$	15	13,7	6,3
$P_{экспмодуля}, Вт$	0,29	0,27	0,25
$P_{экспблока}, Вт$	76	68,3	61,75

С учётом полученной экспериментальной мощности одного термоэлектрического модуля площадью 30х30мм потребуется около 18000 модулей.

На ожижение природного газа затрачена значительная энергия – около 1 кВт·ч на 1 кг СПГ. Расход СПГ в испарителе, рассчитанном в работе, составляет 1000 кг/ч. Отсюда мощность энергии, затраченная на сжижение СПГ, составит 400 кВт, а суммарная мощность, вырабатываемая ТЭГ, – около 4,8 кВт. Отсюда за счет использования ТЭГ в промышленных газификаторах возвращается около 1,2% энергии, затраченной ранее на сжижение природного газа.

Таким образом, проведённое предварительное исследование показало перспективность использования термоэлектрических генераторов для утилизации низкопотенциального тепла в регазификаторах энергетических комплексов, работающих на сжиженном природном газе.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Промышленные газификационные системы СПГ «ОАО Криогенмаш». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cryogenmash.ru/production/gaz.php>
2. Duck-Young Chung, Tim Hogan et al. $CsBi_4Te_6$: A High-Performance Thermoelectric Material for Low-Temperature Applications. Science, 2000. – Vol. 287. – P. 1024-1027.
3. Загорученко, В.А. Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана [Текст] / В.А. Загорученко [и др.]. – М.: издательство комитета стандартов, 1969. УДК 621.57