

УДК 621.59

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КОМПЛЕКСАХ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

© 2013 А. И. Довгялло, Д. В. Сармин, Д. А. Угланов, А. А. Шиманов

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Представлен анализ возможности использования теплоотрицательной энергии сжиженного природного газа применительно к процессу регазификации в испарителе на газораспределительных станциях.

Природный газ, баллон с криогенной заправкой, насос, газовая турбина, испаритель.

В различных системах аэрокосмической техники, транспорта, энергетических комплексов различного назначения в настоящее время широко используются криогенные жидкости. Основным преимуществом использования газов в криогенно-сжиженном состоянии является удобство их хранения, а также транспортировки и потребления (в том числе и как компонента моторного топлива для транспортных средств). При этом на одном из этапов использования сжиженных газов, которые хранятся обычно в специальных резервуарах, происходит их газификация. Газификация происходит либо за счёт тепла окружающей среды, либо за счёт специально подводимого тепла. Необходимо отметить, что на получение сжиженного газа затрачивается достаточно большое количество энергии (например, на 1 кг сжиженного природного газа затрачивается около 1 кВт·ч электроэнергии [1]).

Анализ использования сжиженного природного газа (СПГ) показывает, что в случае его подачи в газораспределительный пункт (ГРП) и далее по магистралям к потребителям или для заправки транспортных средств на газонаполнительных станциях (АЗС), как правило, осуществляется процесс регазификации в испарителе (ИП) обычно атмосферного типа. При этом считается, что использование тепла

окружающей среды является неэнергозатратным процессом. Однако, как указывалось выше, при этом не учитывается тот факт, что для ожижения СПГ ранее была затрачена энергия, которая затем в видоизменённом состоянии сбрасывается в окружающую среду.

В данной работе предлагается ряд решений, которые позволяют использовать низкотемпературный потенциал СПГ для получения энергии. Далее будем называть это теплоотрицательным способом получения энергии [2].

Рассмотрим термодинамические аспекты использования теплоотрицательной энергии в составе комплексов СПГ. Выходящий из криогенного резервуара СПГ имеет температуру $T_2=120-150$ К, а температура окружающей среды $T_1=250-300$ К.

Таким образом, два различных температурных уровня позволяют создавать энергетическую машину. Если оценивать КПД такой системы по циклу Карно (рис. 2), то в летнее время:

$$\eta_k = 1 - T_2/T_1 = 1 - 150/300 = 0,50.$$

В зимнее время при температуре окружающей среды $T_1 = -20^\circ\text{C} = 253$ К η_k для теплоотрицательной машины (ТМ) составит меньшую величину:

$$\eta_k = 1 - T_2/T_1 = 1 - 150/253 = 0,41.$$

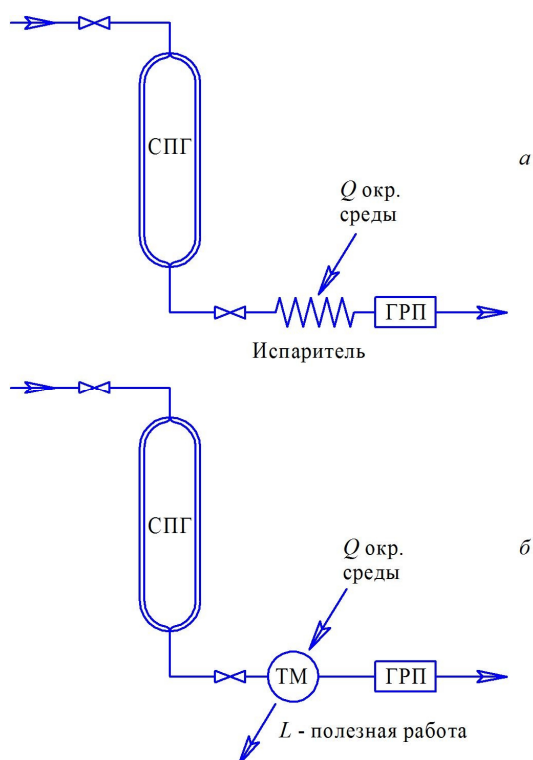


Рис. 1. Схема установки для регазификации СПГ: а – стандартная система газификации СПГ; б – включение в схему теплоотрицательного энергопроизводящего преобразователя

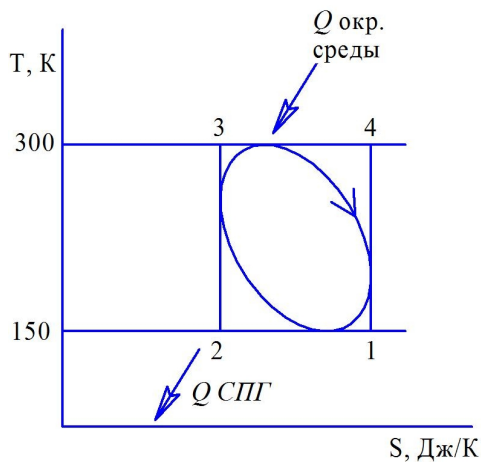


Рис. 2. Термодинамический цикл ТМ

Очевидно, что для реальной теплоотрицательной машины эффективный КПД будет ниже, чем у цикла Карно (например, $\eta_e = 0,2 - 0,3$).

Если рассчитывать на производительность комплекса по использованию СПГ с его регазификацией, равной $G = 1000$ кг/ч, и принять среднее значение

теплоты парообразования метана $r = 510$ кДж/кг (при температуре $T_2 = 150$ К), то количество тепла в единицу времени, снимаемого с цикла теплоотрицательного энергопроизводящего устройства, составит:

$$Q_2 = G \cdot r = 510000 \text{ кДж/ч} = 142 \text{ кВт.}$$

Воспользовавшись соотношением для определения эффективного КПД:

$$\eta_e = N/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = 0,2,$$

можно оценить мощность N , которую возможно получить в теплоотрицательной энергетической машине.

Выполнив простейшие вычисления, получим, что при всех представленных выше параметрах мощность такой установки даже при принятом эффективном КПД в 20 % составит величину $N = 28$ кВт.

Примером такой установки, которая может быть использована для решения описываемых задач, является термокомпрессор [3], схема которого представлена на рис. 3.

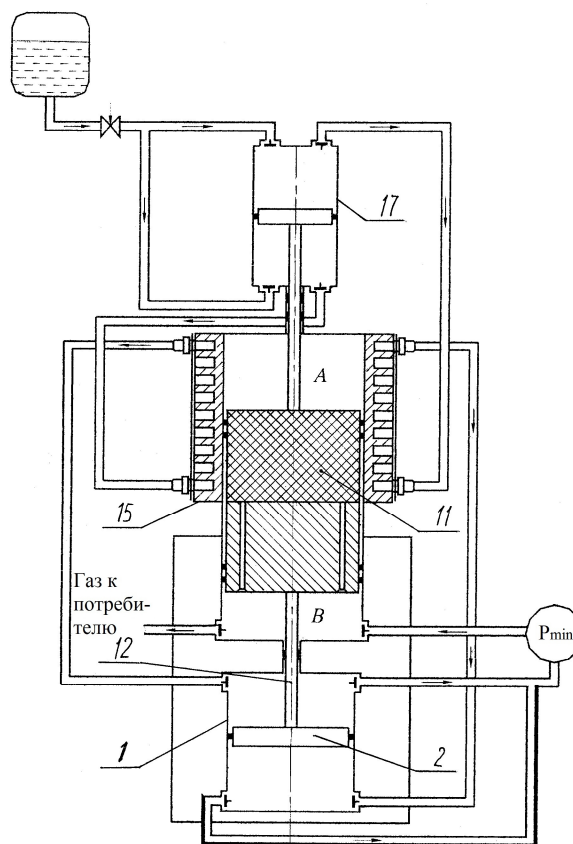


Рис. 3. Термокомпрессор

Термокомпрессор содержит цилиндр, внутри которого находится подвижный регенератор 11, соединенный через шток 12 с приводом 2 и делящий внутреннюю полость цилиндра на холодную А и горячую В части. Цилиндр имеет рубашку охлаждения 15, установленную на холодную его часть. Криоагент из цилиндра 17 проходит через рубашку охлаждения, нагревается и попадает в цилиндр привода 1, где, имея повышенное давление, расширяется и совершает работу.

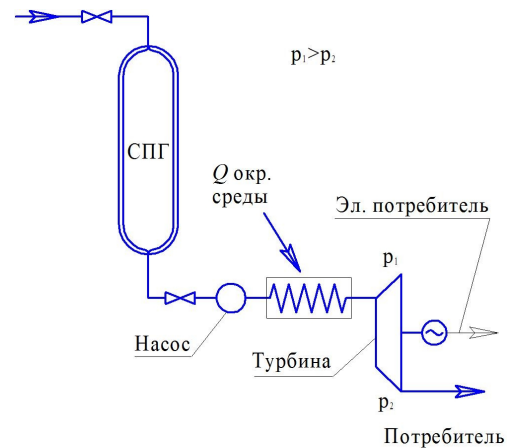
На рис. 4–6 представлены схемы энергетических установок, в которых можно реализовать низкотемпературный потенциал СПГ.

Например, в комплекс СПГ (рис. 4) можно установить турбину за испарителем, с помощью которой можно получить работу и затем преобразовать её в электрическую энергию. При расходе СПГ $G = 1000$ кг/ч можно получить мощность работы расширения около 10 кВт. При этом здесь реализуется разомкнутый цикл Ренкина, где криогенный насос небольшой мощности (около 500 Вт) выполняет свою обычную функцию, обеспечивая давление цикла.

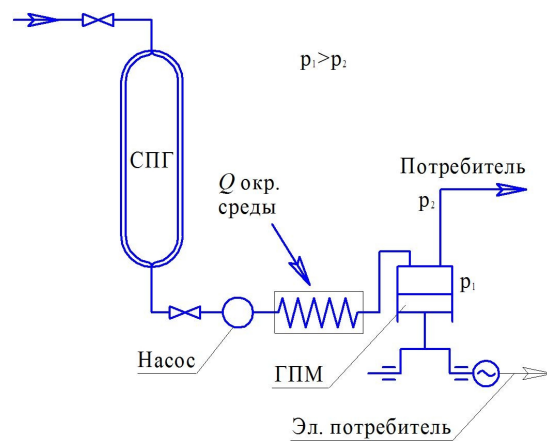
Использование в составе комплекса СПГ двигателя Стирлинга также даёт возможность реализации теплоотрицательного потенциала сжиженного природного газа (рис. 5). Учитывая, что КПД двигателя Стирлинга достигает 50 %, то при расходе СПГ $G = 1000$ кг/ч можно получить мощность такой тепловой машины около 142 кВт. Мощность насоса, который необходим для компенсации потерь давления при проходе СПГ по гидравлическому тракту комплекса, составит величину около 500 Вт.

Кроме приведённых выше преобразователей, можно предложить использование термоэлектрических генераторных модулей (ТГМ), которые в настоящее время нашли широкое применение. Мощность, вырабатываемая такими генераторами, составляет от единиц милливатт до нескольких киловатт и определяется в конечном итоге экономической целесооб-

разностью выбора этого способа преобразования энергии.



а



б

Рис. 4. Комплекс СПГ:
а – с расширительной турбиной;
б – с поршневым турбодетандером

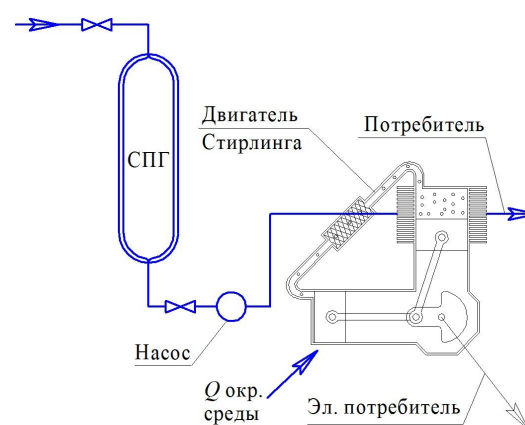


Рис. 5. Комплекс СПГ с двигателем Стирлинга

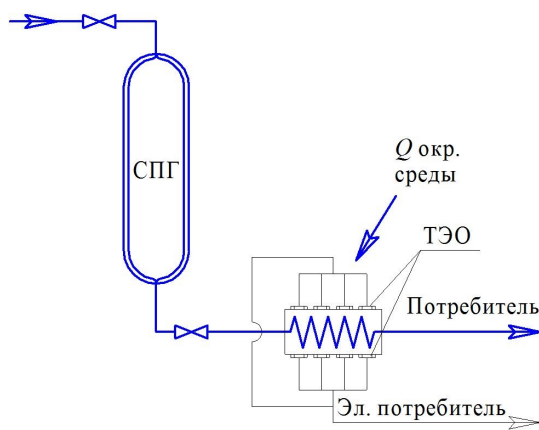


Рис. 6. Комплекс СПГ с термоэлектрическими преобразователями

В настоящее время линейка современных термоэлектрических генераторов обеспечивает возможность получения электрической мощности с КПД до 15 %.

В рассматриваемом комплексе предлагается установить элементы Пельтье на поверхность испарителя таким образом, чтобы холодный спай соприкасался с поверхностью ИП, а горячий – контактировал с окружающей средой (рис. 6).

При расходе СПГ $G = 1000$ кг/ч и заданном КПД мощность теплового потока Q_h составит величину около 32 кВт. Получаемая полезная электрическая мощность $P = 4,2$ кВт, а количество модулей мощностью 40 Вт составит величину около 104 шт. [5].

Проведённые расчёты показывают перспективность исследования в данной области развития энергетических установок, а также позволяют реализовывать по-

тенциал энергосбережения при использовании сжиженного природного газа и других криогенных жидкостей.

Библиографический список

1. Промышленные газификационные системы СПГ [Электронный ресурс] // ОАО «Криогенмаш»: сайт. – URL: <http://cryogenmash.ru/production/gaz.php> (дата обращения: 12.10.2012).

2. Алексеев, Г.Н. Прогнозное ориентирование развития энергоустановок [Текст]/ Г. Н. Алексеев. – М.: Наука, 1978. – 200 с.

3. Пат. 2230222 Российская Федерация, МПК7F07B19/24, F04B019/24. Термокомпрессор [Текст]/ А.И. Довгялло, Д.А. Угланов, заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет. – № 2002111489/06; заявл. 29.04.2002; опубл. 10.06.2004, Бюл. №7. – 8 с.

4. Александров, Н.А. Современные технологии для производства сжиженного природного газа [Текст]/ Н.А. Александров, В.А. Васютин, И.М. Калнинь//Труды кафедры «Холодильная и криогенная техника». Сб. научных статей; под ред. проф. И.М. Калниня. – М., 2006.

5. Производство термоэлектрических модулей и комплексных систем охлаждения [Электронный ресурс] // «Криотерм»: сайт. – URL: <http://www.kryotherm.ru/ru/index.phtml> (дата обращения: 16.11.2012).

EVALUATING THE POSSIBILITY OF USING LOW-TEMPERATURE THERMAL ENERGY IN LIQUEFIED NATURAL GAS COMPLEXES

© 2013 A. I. Dovgjallo, D. V. Sarmin, D. A. Ugjanov, A. A. Shimanov

Samara State Aerospace University
named after academician S. P. Korolyov (National Research University)

This paper presents an analysis of the possibility of using the low-temperature thermal energy of liquefied natural gas as applied to the regasification process in an evaporator at a gas distribution station.

Natural gas, tank with cryogenic fill, pump, evaporator, gas turbine.

Информация об авторах

Довгялло Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: d.a.i@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

Сармин Дмитрий Викторович, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: sarmin.d.v@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

Угланов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: dmitry.uglanov@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

Шиманов Артём Андреевич, инженер кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: tema444st@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

Dovgjallo Aleksander Ivanovich, doctor of technical science, professor of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: d.a.i@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power supplies, energy saving.

Sarmin Dmitry Viktorovich, post-graduate student of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: sarmin.d.v@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power supplies, energy saving.

Uglanov Dmitry Aleksandrovich, candidate of technical science, associate professor of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: dmitry.uglanov@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power supplies, energy saving.

Shimanov Artem Andreevich, engineer of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: tema444st@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power supplies, energy saving.