

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В КОМПЛЕКСАХ НА СПГ

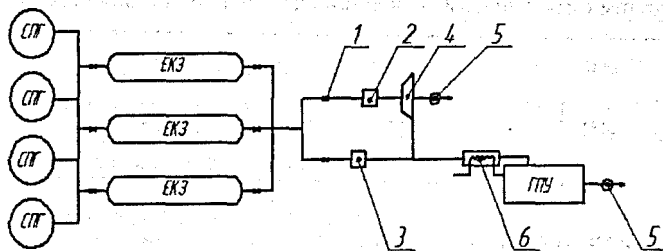
Крюкова Д.Е.¹, Благин Е.В.², Угланов Д.А.²

1) РКЦ «Прогресс», Самара, Российская Федерация;

2) Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева (Научно-исследовательский университет), Самара, Российская Федерация

В настоящее время природный газ в энергетике используется в сжиженном состоянии (СПГ). Для накопления, хранения и выдачи криогенной жидкости в составе заправочных систем используют криогенные резервуары. Правильный подбор резервуара будет определять долговечность, надежность и экономичность всей системы. Основным преимуществом использования газов в криогенно-сжиженном состоянии является удобство их хранения, а также транспортировки и потребления [1].

В данной работе предлагается использовать установку по регазификации сжиженного природного газа в емкости с криогенной заправкой [2], в результате чего получается газ высокого давления и температурой окружающей среды, которая предназначена для приведения в действие газопоршневой установки. Так как давление внутри емкости существенно выше необходимого давления топлива на входе в газопоршневую установку, то присутствует возможность установки каскада турбин, которые позволяют получать дополнительную энергию получать дополнительную работу.



1 – задвижка; 2 – редуктор; 3 – редуктор на 0,1 МПа;
4 – комплекс турбин; 5 – эл. генератор; 6 – теплообменник

Рисунок 1 – Комплекс СПГ на основе EK3 с возможностью утилизации низкотемпературной энергии

Принцип работы данной установки состоит в следующем. В емкость EK3 заправляется сжиженный природный газ при температуре 112 К. Далее он газифицируется за счет естественных теплопритоков до температуры окружающей среды 300 К и давления 30 МПа. После чего, при определенной температуре и давлении, газ поступает в магистраль с комплексом расширительных турбин, на которых вырабатывается электрическая энергия. Далее газ сжигается в газопоршневой установке (ГПУ).

Для оценки использования дополнительной энергии удобно применять безразмерный показатель – коэффициент использования, который будет представлять собой отношение дополнительной энергии, полученной с турбины, к максимально возможной:

$$k_{\text{исп}} = \frac{L_{\text{конт}}}{L_{\text{max}}} \quad (1)$$

где максимально возможная работа будет определяться следующим образом:

$$L_T = G \cdot \tau \cdot c_{pT} T_r^* \left(1 - \frac{1}{\pi_T^{k_T} k_T} \right) \eta_T^*$$

где c_{pT} – средняя изобарная теплоёмкость газа на входе в турбину, Дж/(кг·К);

T_r^* – температура газа в емкости, °К;

π_T^* – степень понижения давления в турбине;

k_T – показатель изэнтропии для газа;

η_T^* – коэффициент полезного действия турбины.

G – расход газа, поступающего из емкости (0,06 кг/с);

τ – время работы турбины (определяется как время от начала истечения до времени, когда давление газа в емкости достигнет величины, до которой редуцируется давление перед турбиной).

Соответственно, чем больше π_T^* , тем больше удельная работа, совершаемая турбиной, но тем меньше время её работы, и наоборот. Можно предположить наличие максимального значения выработанной дополнительной энергии с соответствующим оптимальным значением оптимальной степени расширения π_T^* .

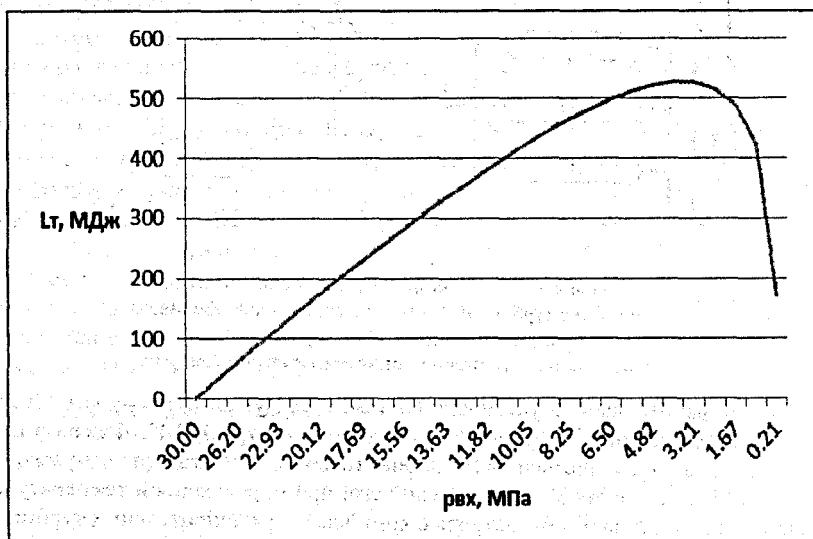


Рисунок 4 – Изменение работы от давления

Итак, для определения величины дополнительной энергии, которая может быть получена во время регазификации сжиженного природного газа за счет использования нескольких контуров турбин, необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$L_{\text{конт}} = G \cdot \left[L_{T1} \cdot \tau_1 + \sum_{i=2}^n L_{Ti} \cdot (\tau_i - \tau_{i-1}) \right],$$

где n – число контуров;

τ_i – время, за которое давление в емкости упадет до давления газового редуктора перед i -м контуром;

L_{Ti} – удельная работа каскада турбин в i -м контуре.

Расчет был проведен для установок с числом контуров от 1 до 5 (табл. 1) с поиском оптимальных значений степени расширения для каждого контура.

Использование большего количества контуров нецелесообразно, так как суммарная степень расширения $\pi_{\Sigma}=300$ может быть реализована за счет каскада из 4-5 турбин, а дальнейшее увеличение их количества не окупает появляющийся прирост энергии.

Таблица 1 – Результаты расчета дополнительной энергии для различного числа контуров

Число контуров	Дополнительная энергия, МДж	Коэффициент использования
1	249	0,64
2	303,5	0,78
3	328,9	0,84
4	342,9	0,88
5	350,4	0,90

На основании выполненного расчёта можно сделать вывод, что оптимальной будет установка с пятью контурами, которая позволит при расходе газа 0,06 кг/с получить 350,4 МДж энергии за 7 часов работы.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бармин, И.В. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра [Текст] / И.В. Бармин, И.Д. Кунис; под ред. А.М. Архарова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с.
2. Топливный баллон [Текст]: пат. 2163690 Российская Федерация, МПК⁷F17C9/02, F17T10/06 / А.И. Довгялло, С.В. Лукачев [и др.]; заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет. – № 99114577/06; заявл. 02.07.1977; опубл. 27.02.2001 // Бюл. №6. – 6 с.