

УДК 62-932.2

**ТЕХНОЛОГИИ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА  
NATURAL GAS LIQUEFACTION TECHNOLOGIES**

А.С. Игнатенко, Д.А. Ромейко, Д.В. Яковец

Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A.S. Ignatenko, D.A. Romeyko, D.V. Yakovets

Supervisor – P. Chramtsov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются технологии сжижения природного газа: цикл Клода, цикл Линде, цикл Капице. Рассматривается идеальный цикл сжижения газа.

**Abstract:** This article discusses natural gas liquefaction technologies: the Claude cycle, the Linde cycle, and the Kapitze cycle. The ideal gas liquefaction cycle is considered.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ, дросселирование, глубокое охлаждение, идеальный цикл сжижения газа.

**Keywords:** liquefied natural gas, throttling, deep cooling, ideal gas liquefaction cycle.

**Введение**

В мире растёт спрос на энергию, что приводит к использованию природного газа не только для получения энергии, а также для транспорта. У природного газа есть проблема, его находят в виде скоплений в местах, которые довольно часто находятся далеко от пункта, куда нужно доставить газ. Из-за этого возникает вопрос как доставить газ к пунктам газопотребления. Для решения проблемы можно использовать трубы, но это может быть экономически не выгодно если месторождения имеет малый запас газа и находится далеко.

Благодаря производствам сжиженного природного газа (СПГ) появляется ещё один вариант транспортировки газа, которых может быть выгоднее для отдалённых и малых объектов газопотребления. Также СПГ в 600 раз плотнее газа, что позволяет более компактно хранить газ при недостатке пространства.

**Основная часть**

В технике глубокого охлаждения при расширении сжатого реального газа происходит изменение (понижение либо повышение) его температуры. Расширение газа делают двумя методами: дросселированием. При этом поток газа при дросселировании не производит внешней работы; адиабатическим расширением газа в цилиндре поршневого двигателя (детандера) или в каналах направляющего аппарата и на лопатках рабочего колеса турбины (турбодетандера) с производством внешней работы (изоэнтропийное расширение) [1].

По способу охлаждения можно выделить следующие циклы:

- циклы с дросселированием (цикл Линде);
- циклы с адиабатическим расширением, в которых происходит отдача внешней работы газа в машинах для расширения (цикл Клода, цикл



С учётом уравнения (1) получаем:

$$S_{\Gamma} - S_{\text{ж}} = \frac{l_{\text{мин}} + q_2}{T_1};$$

Откуда

$$l_{\text{мин}} = T_1 \cdot (S_{\Gamma} - S_{\text{ж}}) - q_2 = T_1 \cdot (S_{\Gamma} - S_{\text{ж}}) - (I_{\Gamma} - I_{\text{ж}}); \quad (2)$$

где  $S_{\Gamma}, S_{\text{ж}}, I_{\Gamma}, I_{\text{ж}}$  – энтропия и энтальпия газа до начала процесса сжатия при начальной температуре  $T_1$ , и после сжижения до линии изобарного  $T_1$  и на пограничной кривой жидкость – пар. Чему равны эти параметры можно определить по диаграмме  $S - T$ .

Идеальный цикл является эталоном экономичности в расходе энергии на сжижение во всех реальных циклах глубокого охлаждения. Идеальный цикл невозможно создать на практике, так как для его проведения надо в точке 2 (рис. 1) создать давление  $\sim 45000$  МПа, для того чтобы при адиабатическом расширении газа (процесс 2 – 3) попасть на пограничную кривую жидкости. Главная причина в том, что давление в реальных циклах не превышает 22 МПа.

### **Заключение**

Следовательно, технологии сжижения природного газа сильно помогают в транспортировке и хранении природного газа. С их помощью получается наладить эффективное использование газа в различных отраслях промышленности. Для получения СПГ используют холодильные машины и выделяют 3 способа охлаждения: циклы с дросселированием; циклы адиабатического расширения с передачей внешней работы газа в механизмы для расширения; комбинированные циклы.

### **Литература**

1. Ануров С.А. Криогенные технологии разделения газов/С.А. Ануров//– М.: ООО «АР-Консалт». - 2017. – 233 с.