

УДК 621.592

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР СЛАБОГО ЗВЕНА СРЕДИ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМ СПГ-ТЕХНОЛОГИЙ С АЗОТНЫМ КОНТУРОМ И ЦИКЛОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Санавбаров Р. И. (Университет ИТМО), **Зайцев А. В.** (Университет ИТМО)
Научный руководитель – доцент, к.т.н. Зайцев А. В. (Университет ИТМО)

В докладе проведен системный анализ технологий по производству СПГ с азотным контуром и циклом предварительного охлаждения. Определены наиболее энергоемкие элементы в технологической схеме. Полученные данные позволяют выбрать стратегию дальнейшего улучшения рассматриваемой технологии по производству СПГ.

Введение.

В настоящее время продолжается ежегодный рост интереса к сжиженному природному газу. По данным Международного Энергетического Агентства (IEA), человечество ежегодно потребляет свыше 3 трлн. м³ газа, и спрос на него может вырасти до 4,5 трлн. м³ к 2035 году. При этом ключевым регионом добычи природного газа в ближайшей перспективе станет Восточная Европа – Евразия (включая Россию и район Каспия). Природный газ (ПГ) транспортируется либо газопроводом, либо в сжиженном виде (СПГ) перевозчиками железнодорожным или автотранспортом, морским и речным транспортом. Очевидно, что самым простым и экономически выгодным способом является первый вариант – газопроводом, но в тех случаях, когда строительство трубопровода от поставщика к потребителю является экономически невыгодным, сжижение природного газа становится одним из путей достижения поставленной цели. Производство СПГ является также наиболее выгодным для небольших газовых месторождений и транспортировки на большие расстояния.

Сжижение природного газа является достаточно энергозатратным процессом. Поэтому любое улучшение производительности процесса производства СПГ за счет снижения энергетических затрат приводит к росту экономической эффективности.

Одним из таких улучшений является применение технологической схемы процесса сжижения природного газа с азотным контуром, где охлаждение и сжижение происходит за счет расширения азота в расширительных машинах (детандерах). В данной работе установка рассматривается как система взаимосвязанных элементов – машин, аппаратов и арматуры. Проводится анализ рассматриваемой технологии и ее модификаций и определение наиболее энергозатратных элементов системы.

Основная часть.

Процесс сжижения природного газа с азотным контуром рассматривается как наиболее подходящий для небольших заводов благодаря своей простоте, быстрому запуску и удобству эксплуатации. Основным способом увеличения энергоэффективности данного процесса является включение в него цикла предварительного охлаждения.

В анализе рассматриваются различные модификации процесса сжижения ПГ с азотным контуром. Это технологическая схема с включением цикла предварительного охлаждения (R410a), процесс с циклом предварительного охлаждения (пропаном) и две различные модификации этого процесса с использованием в цикле предварительного охлаждения CO₂.

Расчеты проводятся с применением метода эксергетического анализа, где имеется возможность определения энергозатрат в любой точке процесса. Это позволит определить элементы, обладающие наибольшим энергопотреблением, и проанализировать перспективы снижения в них энергетических затрат. Добавление цикла предварительного охлаждения в процесс ожижения природного газа позволяет существенно снизить энергетические расходы всего процесса. При добавлении цикла предварительного охлаждения с R410a

энергетические расходы снижаются более чем на 22%, при использовании пропанового цикла – более чем на 20%, при использовании цикла предварительного охлаждения с CO₂ – от 10 до 20% в зависимости от использования конкретной технологии, поскольку в некоторых процессах дополнительно используется эжектор для увеличения холодопроизводительности.

Эксергетический анализ показал, что основные потери установки сосредоточены в системах компримирования, включающих в себя компрессоры и водяные охладители. Это касается всех рассмотренных в данном анализе технологий. Потери в детандере также являются большими и составляют от 16 до 18%. Следует учитывать и достаточно большие потери в теплообменниках.

Результаты показывают, что цикл предварительного охлаждения с R410a больше подходит для улучшения производительности всего процесса сжижения природного газа, а цикл предварительного охлаждения с пропаном эффективен с точки зрения отдельных циклов.

Выводы.

Как показано выше основные расходы идут на компрессорную систему, детандерные машины и теплообменные аппараты. Для повышения общей энергоэффективности необходимо в компрессорной системе добиться повышения адиабатической эффективности компрессора, потери в детандерах можно уменьшить многоступенчатыми расширителями, а в теплообменниках – добиться лучшего соответствия между горячей и холодной композитными кривыми.