

ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА НА БАЗЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДРОССЕЛЬНОГО ЦИКЛА С ВИХРЕВЫМИ ТРУБАМИ

Пиралишвили Ш.А., Сергеев М.Н., Жуканова Н.С.

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия

Перед газовой промышленностью поставлены задачи совершенствования техники и технологии транспортировки газа, разработки новых технологических процессов обеспечения природным газом отраслей промышленности и населения, имеющих более высокие технико-экономические показатели по сравнению с существующим. Анализ современного состояния мирового производства сжиженного природного газа (СПГ) и перспектив его применения показал, что, начиная с 1970 года, объем производства СПГ увеличивается в среднем на 20% в год.

Сжиженный природный газ в силу своих физико-химических свойств (плотность жидкости примерно в 640 раз больше плотности газа при нормальных условиях) более предпочтителен, чем сжатый природный газ из-за значительного уменьшения объема и массы резервуаров для хранения, накопления и перевозки. Для решения поставленной задачи часто применяют циклы, использующие эффект дросселирования, работающие по регенеративному принципу, суть которого состоит в непрерывном использовании понижения температуры при дросселировании для последующего охлаждения новой порции газа. Цикл с дросселированием и промежуточным охлаждением газа основан на свойстве реальных газов увеличивать изотермический эффект дросселирования с повышением температуры. Использование двойного дросселирования в цикле позволяет увеличить его эффективность. Сравнительная характеристика схем сжижения приведена в таблице 1 (рабочее тело – воздух, параметры на входе в систему $T_1 = 300$ К, $P_1 = 101,3$ кПа.)

Таблица 1

Тип схемы	Доля входа конденсата, y	Термический КПД, η_t
Идеальная схема	1	1
Схема дросселирования $P_2 = 20,27$ МПа	0,079	0,129
Схема дросселирования с предварительным охлаждением $P_2 = 20,27$ МПа, $T = 238$ К	0,158	0,251
Схема двойного дросселирования $P_2 = 20,27$ МПа, $P = 6,08$ МПа	0,057	0,242

В промышленности также нашли применение циклы, в которых энергия отводится от газового потока за счет производства им работы в расширительной машине или детандере. В крупных холодильных установках глубокого охлаждения для увеличения холодопроизводительности применяют комбинированные и каскадные циклы. [1] Для увеличения доли выхода конденсата предлагается использовать потенциальную энергию сжатого газа. В этом случае установка по сжижению не требует никакой дополнительной энергетики и внешних технических ресурсов. В качестве основного элемента, производящего холод, предлагается использовать вихревые трубы, основными достоинствами которых являются простота, надежность конструкции и отсутствие движущихся частей.

Расчетная схема сжижения представлена на рисунке 1.

При расчете схемы приняты следующие допущения: пренебрегаем потерями давления в теплообменниках и тепловыми потоками за счет неадиабатности схемы; расчет параметров газа в ВТ производим на основе использования величины внутреннего адиабатного к.п.д.; значение которого берется согласно экспериментальным данным [2].

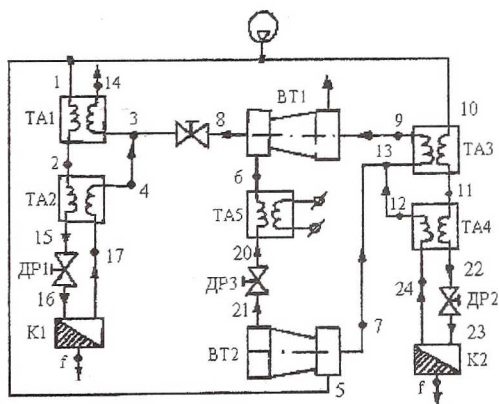


Рис. 1. Расчетная схема установки

Для расчета предложенной схемы используется система уравнений: Определение доли выхода конденсата $y_1 = (i_3 - i_2)/(i_3 - i\phi)$, $y_2 = (i_{12} - i_{11})/(i_{12} - i\phi)$.
Баланс энергии для теплообменников ТА 1, ТА 3 :

$$i_1 - i_2 = (\mu\gamma + I - y_1) \cdot (i_{14} - i_4) ,$$

$$\beta(i_{10} - i_{11}) = (i_9 - i_{13}) \cdot [(I - y_2)\beta + \mu\gamma] ,$$

где β, γ относительные расходы через магистрали; i – удельная энтальпия; $\gamma = G_3/G_1$; $\beta = G_2/G_1$.

Условия газодинамической связи между трубами $\mu = \mu'/(1 + \mu')$.

Материальный баланс схемы $I + \gamma + \beta = G_0/G_1$, где G_0 совокупный расход газа через схему.

Результаты расчетов приведены на рисунках 2 и 3.

Из графика (рис.2) следует, что максимально возможная доля выхода конденсата равна 13%, при давлении на входе $P_1 = 50$ атм, температура на входе $T_1 = 250$ К, давлении жидкой фазы $P = 5$ атм, причем относительная доля холодного потока ВТ1 равна $\mu = 0,5$, а соответствующее значение для ВТ2 $\mu' = 1$. Соответствующая доля выхода СПГ в классическом цикле Линде при тех же входных параметрах равна 9%, таким обра-

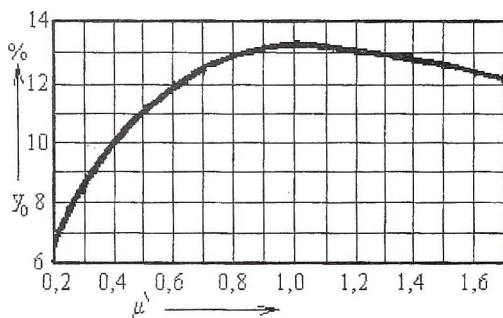
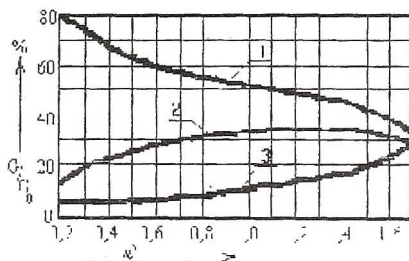


Рис.2. Зависимость доли выхода конденсата y_0 от μ' ВТ1

зом предлагаемая схема позволяет увеличить эффективность сжижения в 1,6 раз. На рис.3 изображены графики зависимости относительных значений расходов газа через три магистрали схемы. С увеличением μ' возникает газодинамически связанное с ним увеличение μ , что приводит к

Рис.3. Зависимость относительных расходов в магистралях схемы от μ' ВТ1:

- 1 - отношение расходов G_2/G_0 ;
 2 - отношение расходов G_1/G_0 ;
 3 - отношение расходов G_3/G_0



увеличению эффектов охлаждения на вихревых трубах и увеличению соответственно расходов охлаждаемых в магистралях 1 и 3 газов, из которых в конечном счете получается СПГ. В дальнейшем с ростом μ' увеличение эффективности схемы связано с увеличением совместной холодопроизводительности вихревых труб. При $\mu' > 1$ влияние величины температурного уровня охлаждения начинает сказываться сильнее, увеличивается расход паровой фазы идущей из конденсаторов K_1 и K_2 в регенеративных теплообменниках и совместная холодопроизводительность вихревых труб уменьшается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Техника низких температур/ Под ред. М и к у л и н а Е.И., М а р ф е н и н о й И.В., А р х а р о в а А.М. -М.: Энергия, -1975. -512с.
2. П и р а л и ш в и л и Ш.А. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н., МГУ имени Н.Баумана, 1991.