

УДК 661.9

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ЦИКЛА С ОДНОКРАТНЫМ ДРОССЕЛИРОВАНИЕМ И РАСШИРЕНИЕМ РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА В ДЕТАНДЕРЕ. СЖИЖЕНИЕ АЗОТА

Шарипов Шерзод Акмалович

Московский Политехнический университет

E-mail: shsharshe@mail.ru

В настоящее время получение сжиженного азота является необходимым процессом, так как он имеет широкое применение. В данной статье отражен один из основных способов получения сжиженного азота и методика его расчёта.

Ключевые слова: азот, сжижение азота, сферы применения сжиженного азота, теоретический расчёт основных параметров цикла.

THEORETICAL CALCULATIONS OF THE CYCLE WITH SINGLE THROTTLING AND EXPANSION OF THE WORKING SUBSTANCE IN THE EXPANDER. NITROGEN LIQUEFACTION

Sharipov Sherzod Akmalovich

Currently, the widespread use of nitrogen is an effective process. This article reflects one of the main ways to produce liquefied nitrogen.

Keywords: nitrogen, liquefaction of nitrogen, scopes of liquefied nitrogen, theoretical calculation of the main parameters of the cycle.

Введение

Ввиду большого спроса на жидкий азот появилась задача создания установок, способных эффективно получать сжиженный продукт. Жидкий азот применяется: 1) В производстве используется для глубокой заморозки различных материалов; 2) В медицине реализуют криоконсервацию (хранение клеток, органов и тканей) и криодеструкцию (удаление пораженных участков тела). Для заморозки человеческих органов и живых организмов [4].

Азот - это бесцветный газ без вкуса и запаха. Плохо растворяется в воде. Образует аммиак, вступая в реакцию с водородом при высоких температурах и давлении. С металлами вступает в реакцию только при высоких температурах (исключением является литий, образует нитрид лития). Является жизненно важным элементом для жизни человека, так как все части клеток состоят из белковых молекул, состоящих отчасти из азота [2, с.206].

Методы исследования

Для того, чтобы перевести газ в жидкое состояние необходимо произвести несколько стадий охлаждения. Все газы при нормальном атмосферном давлении могут быть приведены в жидкое

состояние. Первыми были сжижены газы с критической температурой значительно выше комнатной (аммиак, сернистый газ, углекислый газ и пр.), при этом было достаточно одного повышения давления [5].

Принципиальная схема цикла с расширением в детандере в части предварительного охлаждения в теплообменнике рабочего газа

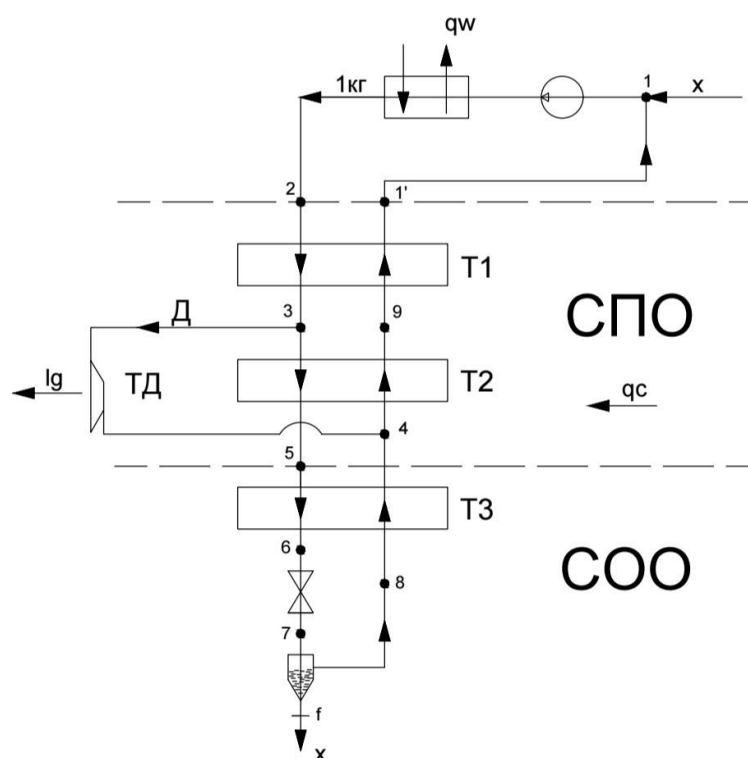
Холодопроизводительность цикла (количество сжиженного продукта) можно увеличить за счёт использования процесса расширения газа в детандере. Холодопроизводительность детандера эквивалентна внешней работе, совершенной газом.

Цикл состоит из двух ступеней:

1. СПО – ступень предварительного внутреннего охлаждения с использованием, в качестве источника холода, детандера.

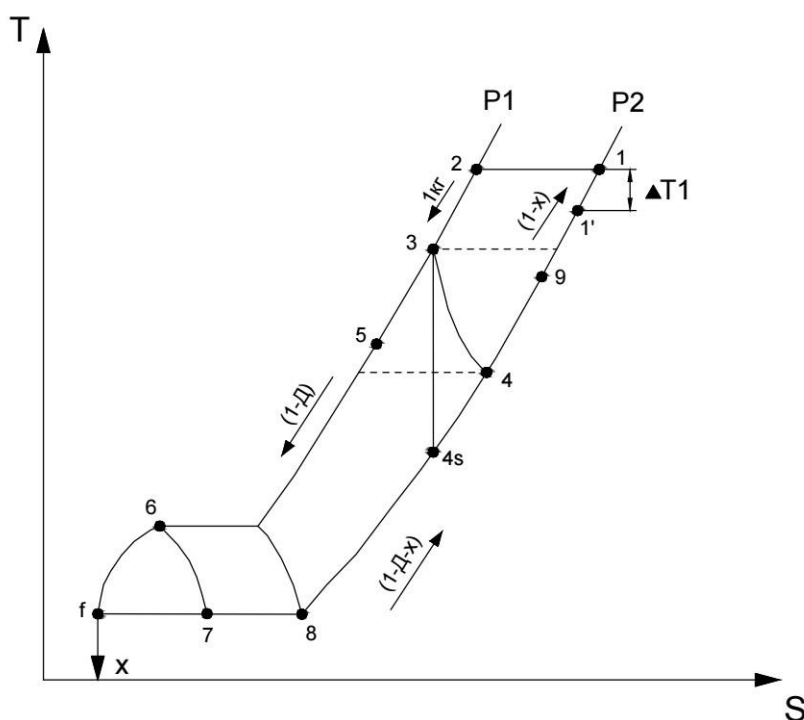
2. СОО – ступень окончательного охлаждения (дрессельная ступень).

Газ сжимается в компрессоре до давления P_2 (точка 2) поступает в теплообменник T_1 в ступень СПО, где охлаждается обратным потоком. В точке 3 часть прямого потока в количестве D при давлении P_2 поступает в детандер, где расширяется до давления обратного потока P_1 (точка 4). После направляется в теплообменник T_2 на охлаждение прямого потока. Из теплообменника T_3 обратный поток выходит с идентичными параметрами, что и поток выходящий из детандера. Оба потока на входе в теплообменник T_2 смешиваются. В ступени СОО происходит дресселирование и часть сжиженного азота сливается, а другая часть продолжает циркулировать [2, с.71].



Давление сжатия в компрессоре, то есть удельный расход энергии на получение жидкого азота, можно снизить за счёт поджатия прямого потока, используя для этого работу расширения газа в детандере. Также для увеличения коэффициента сжатия конструируют циклы с двумя каскадно-включенными детандерами.

Цикл в T-S диаграмме



Определим коэффициент сжижения x , удельный расход энергии l_f и термодинамический КПД η_t цикла среднего давления с расширением газа в детандере и дросселировании при $P_2 = 8$ МПа; $P_1 = 0,1$ МПа; $T_3 = 230$ К; $D = 0,6$ кг/кг; $n_{из} = 0,78$; $\Delta T_1 = 8$; $q_c = 6$ кДж/кг; $\Delta P_1 = 0,025$ МПа.

Составим таблицу основных параметров точек цикла. [3]

№ точки	P, МПа	T, К	i, кДж/кг	s, кДж/кг*К
1	0,1	300	296	6,9
1'	0,1	292	304	6,8
2	8	300	296	5,2
3	8	230	211	5,2
4	0,125	96	99,3	5,5
4 _s	0,125	80	68	5,2
f	0,125	80	-121	2,9

Коэффициент сжижения:

$$x = \frac{(i_{1'} - i_2) - D(i_3 - i_4) - q_c}{i_{1'} - i_f} = \frac{(304 - 296) + 0,6(211 - 99,3)}{304 + 121} = 0,162 \text{ кг/кг (отношение сжиженного азота к}$$

общему потоку) (1)

Удельный расход энергии:

$$l_f = \frac{RT_1 \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\eta_{\text{из}} \cdot x} = \frac{8,31 \cdot 300 \cdot \ln\left(\frac{8}{0,1}\right)}{28 \cdot 0,65 \cdot 0,162} = 3705 \text{ кДж/кг (2)}$$

Термодинамический КПД:

$$\eta_t = \frac{T_1(S_1 - S_f) - (i_1 - i_f)}{l_f} = \frac{300(6,9 - 2,9) - (296 + 121)}{3705} = 0,21 \text{ (3)}$$

Вывод

Таким образом, процесс сжижения азота данной установкой является перспективным и эффективным (по расчёту: из 1 кг газа получается примерно 0,2 кг жидкого продукта). Для сравнения, у цикла с простым дросселированием коэффициент сжижения равен 0,0543 кг/кг, с двойным дросселированием 0,045 кг/кг.

Список литературы

1. Ануров С.А. Криогенные технологии разделения газов. – М.: ООО «АР-Консалт», 2017 – С. 70-72.
2. Габриелян О.С. Химия. 9 класс: учебник О.С. Габриелян. 2-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2014 – С. 204-208.
3. Сычев В.В. Термодинамические свойства азота. Издательство стандартов, 1977 – С. 138-150.
4. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D1%82
5. [Электронный ресурс]. URL: http://chemistry-chemists.com/N3_2012/U1/ChemistryAndChemists_3_2012-U1-1b.html