

УДК 621.565:621.59

¹Г.К. Лавренченко, доктор техн. наук; ²М.Б. Кравченко, доктор техн. наук¹Восточноевропейская ассоциация производителей технических газов «СИГМА», а/я 188, г. Одесса, Украина, 65026²Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082e-mail: ¹uasigma@mail.ru; ²kravtchenko@i.uaORCID: ¹http://orcid.org/0000-0002-8239-7587; ²http://orcid.org/0000-0002-9310-2166

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ СХЕМ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО КИСЛОРОДА ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Проведен термодинамический анализ воздухоразделительных установок (ВРУ) для получения газообразного кислорода под давлением. Выполнено сравнение показателей ВРУ, работающих по схеме со сжатием продукционного кислорода в компрессоре и со сжатием в насосе жидкого кислорода с последующим нагревом до температуры окружающей среды. В результате проведенного анализа выведен безразмерный критерий, физический смысл которого заключается в том, что он характеризует отношение работы, затрачиваемой в кислородном компрессоре, к дополнительной работе, которую необходимо затратить для компенсации термодинамических потерь, связанных с работой насоса жидкого кислорода. Рассмотрен пример использования полученных соотношений для анализа ВРУ, работающей по циклу среднего давления и предназначенной для получения газообразного кислорода под давлением 16 МПа. Из термодинамического анализа такой установки следует, что расход энергии на сжатие кислорода в схеме с насосом может быть примерно в 1,5 раза меньше расхода энергии при использовании кислородного компрессора. Анализ ВРУ низкого давления показал, что при давлении продукционного кислорода ниже 7–8 МПа схемы с насосом жидкого кислорода более эффективны, чем традиционные схемы со сжатием продукционного кислорода в компрессоре. При давлении продукционного кислорода выше 7–8 МПа энергетически выгоднее становится схема с кислородным компрессором.

Ключевые слова: Кислород. Воздухоразделительная установка. Криогенный цикл. Компрессор. Криогенный насос.

1. ВВЕДЕНИЕ

Газообразный кислород, который производится на воздухоразделительных установках (ВРУ), всегда приходится сжимать до давления, которое необходимо потребителям. Эти давления, могут быть, от 6 и 30 бар для кислорода, применяемого в металлургии, и 160 бар, необходимых для заправки кислородных баллонов. Кислород с указанным высоким давлением обычно производится в ВРУ средней производительности.

В настоящее время используются в основном два способа получения кислорода под давлением. По первому способу газообразный кислород выводится из ВРУ под давлением, близким к атмосферному, и дожимается до требуемого давления в кислородном компрессоре. Во втором способе кислород отводится из колонны низкого давления в жидком виде. После охлаждения его сжимают в насосе сжиженных газов (НСГ) и нагревают почти до температуры окружающей среды в основном теплообменнике ВРУ.

ВРУ, работающие по первому способу получения кислорода под давлением, называют установками с «внешним сжатием» кислорода, а ВРУ второго типа, соответственно, — с «внутренним сжатием» кислорода.

Возможен и третий способ получения газообразного кислорода под давлением, при котором жидкий кислород накапливается в отдельном резервуаре. Затем его при необходимости сжимают насосом и нагревают до температуры окружающей среды в атмосферном газификаторе. Так как при такой технологии получения кислорода под давлением он выводится из ВРУ в жидком виде, то расход энергии на получение кислорода в этом случае будет заведомо больше, чем в каждом из двух рассмотренных выше методов. Поэтому способ получения газообразного кислорода с использованием атмосферного газификатора обычно рассматривается как резервный на случай временной остановки ВРУ.

Термодинамическому анализу ВРУ для получения кислорода под давлением посвящено сравнительно мало работ. По-видимому это объясняется тем, что в наше время вопросы о предпочтительности той или иной схемы ВРУ обычно решаются путём прямого расчета с использованием специального программного обеспечения.

При всей кажущейся простоте и универсальности такого подхода он может давать неоднозначные результаты из-за необходимости задаваться большим количе-