

УДК 621.565:621.59

<sup>1</sup>Г.К. Лавренченко, доктор техн. наук; <sup>2</sup>М.Б. Кравченко, доктор техн. наук<sup>1</sup>Восточноевропейская ассоциация производителей технических газов «СИГМА», а/я 188, г. Одесса, Украина, 65026<sup>2</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082e-mail: <sup>1</sup>uasigma@mail.ru; <sup>2</sup>kravtchenko@i.uaORCID: <sup>1</sup>http://orcid.org/0000-0002-8239-7587; <sup>2</sup>http://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-