

УДК 621.565:621.59

М.Б. Кравченко, канд. техн. наук

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039

e-mail: kravtchenko@i.uaORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9310-2166>**ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ИЗБЫТОЧНЫМ ОБРАТНЫМ ПОТОКОМ**

Повышение стоимости энергоресурсов делает актуальным поиск новых путей для снижения потребления энергии воздухоразделительными установками. Существующая практика регулирования холодопроизводительности воздухоразделительных установок среднего давления сводится к уменьшению доли воздуха, который расширяется в детандере, и увеличению потока воздуха, который проходит через расширительный вентиль. Это равноценно внесению дополнительных термодинамических потерь в цикл криогенной установки. В качестве альтернативы существующей практике предлагается эксплуатировать воздухоразделительную установку в режиме максимальной эксергетической эффективности с аккумулярованием эксергии в виде кубовой жидкости. После накопления кубовой жидкости установка переводится в режим пониженной потребляемой мощности, при котором накопленная кубовая жидкость расходуется для компенсации потерь холода в установке. Такой способ эксплуатации воздухоразделительной установки позволит сократить потребление энергии при производстве газообразного кислорода примерно на 40 % по сравнению с существующими установками среднего давления.

Ключевые слова: Кубовая жидкость. Криогенная техника. Воздухоразделительная установка. Воздух. Кислород. Азот. Жидкие криопродукты. Термодинамические потери. Теплообменник.

1. ВВЕДЕНИЕ

В результате всестороннего анализа работы гелиевых систем выяснилось, что даже незначительное увеличение расхода обратного потока по отношению к прямому потоку резко повышает эффективность гелиевых рефрижераторных циклов вследствие существенного снижения потерь от необратимости процессов теплообмена [1, 2].

Такой способ повышения термодинамической эффективности криостатирования может быть реализован только в крупных гелиевых системах, в которых сочетаются ожижительные и рефрижераторные нагрузки. В этом случае увеличение расхода обратного потока рефрижераторной системы может быть достигнуто, например, за счёт подлива жидкого гелия из системы, работающей в режиме ожижения.

В настоящее время схема криостатирования крупных сверхпроводящих магнитов на гелиевом уровне температур с использованием криорефрижераторов с избыточным обратным потоком получила широкое распространение. В качестве примера такой системы охлаждения можно привести ускорительные кольца на строящемся комплексе NICA [3], которые будут охлаждаться двумя рефрижераторами с избыточным обратным потоком, так называемыми сателлитами.

Сателлиты находятся в непосредственной близости

от криостатируемых сверхпроводящих магнитов и работают за счет жидкого гелия, получаемого от центральной криогенной станции. С центральным ожижителем гелия и компрессорным цехом сателлиты соединяются тремя трубопроводами: сжатого гелия, обратного потока гелия и жидкого гелия. Причём, только трубопровод жидкого гелия имеет вакуумную теплоизоляцию и теплозащитный экран. Такая схема позволяет в каждом из находящихся на значительном удалении сателлитных рефрижераторов обойтись минимумом оборудования. Эти рефрижераторы, состоящие по существу только из теплообменников и сборника жидкого гелия, обладают высокой надёжностью и не требуют обслуживания.

Воздухоразделительные установки (ВРУ) так же, как и гелиевые криогенные системы, могут работать в двух режимах: в режиме ожижения с выдачей жидких продуктов разделения воздуха, и в режиме с выдачей газообразных продуктов разделения воздуха. Как и в гелиевых ожижителях, в воздухоразделительных установках, производящих жидкие продукты разделения воздуха, обратный поток оказывается меньше прямого. В режиме работы ВРУ с выдачей газообразных продуктов разделения воздуха прямой поток воздуха равен сумме обратных потоков. Поэтому режим работы ВРУ с выдачей газообразных продуктов разделения воздуха полностью аналогичен рефрижераторному режиму работы гелиевых систем.