

УДК 621.565: 621.59, 661.939

¹В.Л. Бондаренко, доктор техн. наук; ²П.И. Далаков, канд. техн. наук; ³Д.П. Тишко, аспирант;⁴Ю.М. Симоненко, доктор техн. наук¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, ул. 2-ая Бауманская, 5, г. Москва, РФ, 107005²Institute of Air Handling and Refrigeration, Bertolt-Brecht-Allee, 20, Dresden, Germany, 01309³ООО «Криоин Инжиниринг», Таможенная площадь, 1 А, г. Одесса, Украина, 65026⁴Институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082e-mail: ¹vbondarenko@raregases.org; ²petar.dalakov@ilkdresden.de; ³tishdmitriy@gmail.com;⁴ysim1@yandex.ruORCID: ¹http://orcid.org/0000-0003-1562-7255; ²http://orcid.org/0000-0002-6845-2201;³http://orcid.org/0000-0002-9598-6292; ⁴http://orcid.org/0000-0002-7827-0591

ВИХРЕВЫЕ МАЛОМАСШТАБНЫЕ ТРУБЫ ДЛЯ КРИОГЕНИКИ

Вихревые охладители многие годы создаются для различных областей. Несмотря на ряд их достоинств, свойственных этому способу преобразования энергии, существует мало примеров эффективного его применения в криогенных системах. Рассмотрены проблемы использования вихревых охладителей в криогенике. Даны примеры применения безмашинных источников холода в технологиях получения редких газов. Например, в процессе очистки Ne-Ne-концентрата от азота понижение температуры фазового равновесия смеси позволяет вдвое уменьшить содержание побочного компонента (N_2) на выходе из фазового сепаратора. При этом указанный положительный эффект достигается за счет использования существующего перепада давлений и не требует дополнительных затрат. Перспективными сферами применения вихревых охладителей являются малорасходные ожижители гелия и центробежные сепараторы газовых смесей, способные работать в условиях качки и невесомости.

Ключевые слова: Криогенная техника. Охлаждение. Вихревая труба. Редкие газы. Очистка.

1. ВВЕДЕНИЕ

В газодинамических устройствах, к которым относятся вихревые аппараты, энергия сжатого газа трансформируется в тепловую. Она частично отводится во внешнюю среду через стенки или в виде истекающего газа. При этом происходит понижение температуры основного потока на выходе из устройства.

Вихревые трубы обладают совокупностью неоспоримых эксплуатационных и конструктивных преимуществ: высокой надежностью, малой инерционностью, компактностью и простотой изготовления. Эти особенности обусловили распространение вихревых труб в самых различных сферах: от вакуумной техники и медицины до криогеники [1].

Вихревые аппараты легко вписываются в схемы низкотемпературных установок, поскольку они многофункциональны и способны охлаждать и нагревать поток газа, выполнять функции эжектора, сепаратора и генератора колебаний. Использование располагаемого перепада давлений в вихревом охладителе позволяет снизить затраты хладагента на криогенное обеспечение процессов получения редких газов.

Серьезными препятствиями на пути использования

вихревой техники в криогенике являются относительно малые размеры аппаратов, которые обуславливаются физическими свойствами рабочего тела и эксплуатационными параметрами. Для создания маломасштабных вихревых устройств требуются новые конструктивные решения и высокоточное оборудование.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВИХРЕВЫХ АППАРАТОВ

При использовании безмашинных аппаратов в криогенике и, в частности, в технологиях получения редких газов проявляется неблагоприятное влияние масштабного фактора. Это — следствие относительно малых расходов перерабатываемых продуктов, низких температур и повышенных давлений. Каждый из этих параметров при указанных условиях ведет к сокращению сечения соплового ввода F_c . Этот показатель является базовым конструктивным параметром газодинамических устройств, так как с ним связаны основные размеры проточной части (рис. 1).

Для безмашинных криогенераторов, используемых в установках получения редких газов, характерны закритические режимы истечения. Они обусловлены