

УДК 621.565: 621.59, 661.939

**<sup>1</sup>В.Л. Бондаренко, доктор техн. наук, <sup>2</sup>Ю.М. Симоненко, доктор техн. наук, <sup>3</sup>А.А. Чигрин, аспирант**<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Лефортовская наб., д. 1, факультет «Энергомашиностроение», г. Москва, РФ, 105005<sup>2</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082<sup>3</sup>ООО «Айсблик», ул. Пастера, 29, г. Одесса, Украина, 65026e-mail: <sup>1</sup>nadia@iceblick.com; <sup>2</sup>ysim1@yandex.ru; <sup>3</sup>artemon\_2006@mail.ruORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0003-1562-7255>, <sup>2</sup><http://orcid.org/0000-0002-7827-0591>,<sup>3</sup><http://orcid.org/0000-0001-9767-9846>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ АДСОРБЕРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕОНОГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ

*Для получения гелия высокой чистоты из неоногелиевой смеси на заключительной стадии производят его очистку в криогенных адсорберах. В них длина слоя сорбента может превышать его диаметр в десятки раз. Поэтому адсорбер создаётся из нескольких секций, размещаемых в общей азотной ванне. Анализируются варианты компоновки адсорбера, составленного из нескольких секций. Получены формулы для расчёта геометрических параметров отдельных элементов адсорбера при заданном диаметре охлаждающей азотной ванны. Для нескольких конструктивных вариантов определены затраты жидкого азота и энергии, требуемой для регенерации сорбента. Рассчитаны эксплуатационные затраты на обеспечение одного цикла работы адсорбера. Выявлены оптимальные значения температуры регенерации, при которых величина затрат на очистку смеси имеет минимальное значение.*

**Ключевые слова:** Инертные газы. Гелий высокой чистоты. Криогенный адсорбер. Азотная ванна. Регенерация. Затраты.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие ряда современных технологий связано с использованием семейства инертных газов высокой чистоты. Особое место среди них занимает гелий спектральной чистоты ( $y_{\text{He}} = 99,9999\%$ ). На окончательных стадиях получения его из воздуха предусматривают разделение в криогенных адсорберах неоногелиевой смеси, практически лишенной других примесей [1]. На протяжении рабочей фазы адсорбера поглощается неон, а гелий выдаётся из аппарата в чистом виде. При этом длина слоя сорбента может в десятки раз превышать диаметр канала.

Для повышения компактности адсорбера предложено формировать его из нескольких последовательных секций, размещаемых в общей азотной ванне [2]. Разделение инертных газов в криогенных адсорберах проводят циклично, периодически нагревая сорбент для регенерации и затем охлаждая его до рабочей температуры.

Основная часть эксплуатационных затрат для таких установок приходится на жидкий азот, который используется для охлаждения адсорбера. Снизить непродуктивный расход этого хладагента можно за счёт уменьшения массы корпуса адсорбера и выбора оптимальной температуры регенерации.

Решению указанной актуальной задачи посвящается настоящая статья.

### 2. ВАРИАНТЫ КОМПОНОВКИ СЕКЦИОННЫХ АДСОРБЕРОВ

Секционный адсорбер обычно создаётся из нескольких цилиндрических патронов, размещаемых в единой азотной ванне [3]. При этом низ предыдущего и верх последующего патронов соединены коммутирующими трубками, которые образуют единый канал. За счёт использования таких конструкций на участках, заполненных сорбентом, разделяемый поток движется сверху вниз (рис. 1). Это способствует уплотнению слоя сорбента, препятствует его износу и обеспечивает стабильные показатели на протяжении длительного периода эксплуатации.

Варианты размещения отдельных патронов в азотной ванне показаны на её поперечных сечениях (рис. 2). Как видно, помимо центрального патрона  $D_{\text{ц}}$ , соосного азотной ванне, секционный адсорбер может состоять из нескольких групп основных и периферийных патронов ( $D_{\text{о}}$  и  $D_{\text{п}}$ ). В каждую из групп входят нескольких одинаковых секций, установленных на равном расстоянии от оси ванны. Определим диаметры патронов при заданных диаметре азотной ванны  $D_{\text{в}}$ , величине зазора между патронами  $a$  и числе основных патронов  $n$  из следующих выражений:

$$D_{\text{о}} = \frac{L \sin(180^\circ/n) - a}{\sin(180^\circ/n) + 1}; \quad (1)$$