

УДК 621.565:621.59

¹**В.Л. Бондаренко**, доктор техн. наук; ²**Ю.М. Симоненко**, доктор техн. наук; ³**А.А. Чигрин**, аспирант; ⁴**Б.А. Пилипенко**, аспирант

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Лефортовская наб., д.1, факультет «Энергомашиностроение», Москва, РФ, 105005

²Одесская национальная академия пищевых технологий, Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, ул. Дворянская, 1/3, Одесса, Украина, 65082

^{3,4}ООО «Криоин Инжиниринг», Таможенная пл., 1А, Одесса, Украина, 65026

e-mail: ¹vbondarenko@cryoin.com; ²ysim1@yandex.ua; ³achigrin@cryoin.com;

⁴boris.pilipenko.92@gmail.com

ORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0003-1562-7255>; ²<http://orcid.org/0000-0002-7827-0591>;

³<http://orcid.org/0000-0001-9767-9846>; ⁴<http://orcid.org/0000-0001-6537-8133>

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АППАРАТОВ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ НЕ-НЕ-СМЕСИ НА УРОВНЕ ТЕМПЕРАТУР 68...78 К

Редкие газы являются широко востребованными продуктами, производимыми с использованием высоких технологий. В связи с этим большое внимание уделяется совершенствованию применяемого в этих технологиях оборудования. Рассмотрены методы охлаждения фазовых сепараторов, используемых для конденсационного обогащения неонгелиевой смеси. Наиболее распространенный вариант предусматривает разомкнутый холодильный цикл на основе жидкого азота. Однако температура кипения азота при атмосферном давлении не обеспечивает достижение требуемых концентраций неона и гелия. Предложены альтернативные приемы охлаждения сепараторов для понижения температуры до её значения $T \leq 68$ К. За счет этого получено дополнительное обогащение смеси целевыми продуктами на выходе из фазовых сепараторов.

Ключевые слова: Редкие газы. Газовые смеси. Фазовое равновесие. Жидкий азот. Дефлегматор. Водокольцевой вакуумный насос. Эжектор. Вихревой охладитель. Газовая криогенная машина.

1. ВВЕДЕНИЕ

Основными источниками сырых газовых смесей редких газов являются кислородные цехи металлургических предприятий. Сырая неонгелиевая смесь, получаемая на воздухоразделительных установках (ВРУ), содержит около 45...60 % азота [1].

Доставка бедных газовых концентратов на значительные расстояния связана с высокими транспортными издержками, поскольку около половины баллонов условно будут заполнены побочным компонентом (N_2).

Перед отправкой на участки дальнейшей переработки практикуют обогащение концентратов методом фазовой сепарации. Степень обогащения смеси целевыми продуктами во многом определяет экономические показатели всего комплекса получения редких газов [2]. Уменьшение количества примесей в продукте особенно актуально в случае удаленности источников сырья от участков окончательной его переработки. Помимо снижения транспортных затрат, обогащение Не-Не-смеси позволяет упростить глубокую адсорбционную очистку, практикуемую в технологии получения чистого неона [3].

2. КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ СМЕСИ МЕТОДОМ ФАЗОВОЙ СЕПАРАЦИИ

Как уже отмечалось выше, в составе первичной Не-Не- N_2 -смеси среди побочных продуктов преобладает азот. Поскольку по отношению к целевым продуктам N_2 является высококипящим компонентом, то для концентрирования смеси вполне оправдано применить метод конденсационной сепарации. В таком процессе концентрация N_2 в обогащенной смеси определяется условиями фазового равновесия. Требуемый уровень температуры, необходимый для эффективной конденсации N_2 в потоке, обычно обеспечивается путём вакуумирования паров хладагента (азота). В большинстве случаев для этих целей применяют надёжные и простые в эксплуатации водокольцевые вакуумные насосы (рис. 1).

P, y -диаграмма, показанная на рис. 2, иллюстрирует влияние условий фазового равновесия на концентрацию смеси. Точками *a* и *b* на ней показаны конечные параметры смеси на выходе из ступеней фазового сепаратора (дефлегматора) в зависимости от давления и температуры.

В простейшем случае рабочее давление в аппаратах