

УДК 621.564.27

¹**В.Л. Бондаренко**, доктор техн. наук; ²**Э.В. Матвеев**; ³**Ю.М. Симоненко**, доктор техн. наук;
⁴**В.Н. Пура**

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

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

⁴«Криоин Инжиниринг», Таможенная пл., 1-а, г. Одесса, Украина, 65026

e-mail: ¹nadia@iceblick.com; ²matveev.ed@mail.ru; ³ysim1@yandex.ua; ⁴1947rvn@gmail.com

ORCID: ¹http://orcid.org/0000-0003-1562-7255; ³http://orcid.org/0000-0002-7827-0591

КРИОГЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОНА И ЕГО СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ

Производство неона из атмосферного воздуха сопровождается большим удельным расходом энергии. На порядки выше являются энергозатраты на извлечение газовых изотопов. Накопление первичных концентратов ²⁰Ne и ²²Ne, последовательное обогащение и получение высококонцентрированных продуктов могут продолжаться неделями и месяцами. Усиление конкуренции и возрастание стоимости энергоресурсов диктуют необходимость повышения экономичности производства продуктов на основе неона. Для снижения эксплуатационных затрат на получение неона и его изотопных компонентов предложены нескольких вариантов холодильных циклов. Расчёты характеристик циклов приведены к одинаковому уровню температур. Поиск оптимального решения проведён с учётом технологических особенностей производства и имеющегося на рынке оборудования. Анализ контуров криогенного обеспечения позволил оценить отдельные статьи энергозатрат и выявить резервы их снижения.

Ключевые слова: Неон. Изотопы неона. Ректификационная колонна. Холодильный цикл. Компрессор. Вакуум-насос. Газовая криогенная машина.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для фазового разделения Ne-Ne-смеси и получения изотопов неона требуется поддерживать температуру сепарации на уровне примерно 28 К. Обеспечение такой температуры охлаждения возможно при использовании ряда криогенных циклов, нескольких способов отвода тепла, рабочих тел с различным химическим составом и соотношением изотопных компонентов. Ограниченный набор доступного оборудования предопределяет дискретные уровни холодопроизводительности, которые не всегда согласуются с технологическими запросами.

Анализ вариантов криогенного обеспечения, изложенный в настоящей статье, позволит упростить начальный этап проектных работ, направленных на создание новых видов неоновых сепараторов.

2. ИЗОЛИРОВАННЫЕ И ВСТРОЕННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ ЦИКЛЫ

Понижение давления в ректификационной колонне в большинстве случаев способствует росту эффективности процесса фазового разделения. Однако чтобы исключить попадание атмосферного воздуха ($P_0=0,1013$ МПа), в

холодильном цикле вынужденно поддерживают небольшое избыточное давление $P=0,115...0,12$ МПа, что соответствует температурам кипения неона-хладагента $T=27,4...27,7$ К. При отводе тепла через стенки конденсатора реальная температура фазового равновесия в верхней части колонны будет выше 28 К. Эту температуру можно понизить с помощью так называемого встроенного холодильного цикла, в котором неон как хладагент непосредственно дросселируется в верхнюю часть колонны. Вариант совмещения технологической и холодильной систем предусмотрен в ректификационной установке получения неона (рис. 1) [1, 2].

В данной установке холодильному контуру R отведена вспомогательная роль, так как часть холодопроизводительности обеспечивается дросселированием разделяемого потока неонгелиевой смеси в ДР1. Как следует из рис. 1, контур R основан на неоновом дроссельном цикле с предварительным охлаждением прямого потока в азотной ванне АВ2.

Парожидкостная смесь после дросселя ДР2 подается в колонну РК. При этом жидкая фаза, наряду с потоком разделяемой смеси из контура Т, формирует часть флегмы, участвующей в процессе ректификации. Газообразный неон отбирается над контактным пространством колонны и после рекуперации тепла