

УДК 661.939

**В.Л. Бондаренко**

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Лефортовская наб., 1, г. Москва, РФ, 105005

e-mail: work-ira@yandex.ru

**Ю.М. Симоненко, О.В. Дьяченко**

ООО «Айсблик», ул. Пастера, 29 Б, г. Одесса, Украина, 65082

e-mail: office@iceblick.com

**С.В. Комаровский**

ОАО «МКК Азовсталь», ул. Лепорского, 1, г. Мариуполь, Украина, 87500

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРОССЕЛЬНЫХ ЦИКЛОВ В УСТАНОВКАХ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТОГО НЕОНА И ЕГО ИЗОТОПОВ

*Показана перспективность хранения и перевозки неона в жидком виде. Проведено сопоставление характеристик нескольких ожижителей: классического дроссельного и двух давлений с двукратным дросселированием. Рассчитаны рабочие параметры установок высокого давления на базе мембранных компрессоров с предварительным охлаждением жидким азотом.*

**Ключевые слова:** Неон. Ожижитель. Дроссельный цикл. Коэффициент ожижения. Энергопотребление.

**V.L. Bondarenko, Yu.M. Simonenko, O.V. Diachenko, S.V. Komarovskiy**

## USING OF THROTTLE CYCLES IN THE INSTALLATIONS OF PURE NEON AND ITS ISOTOPES PRODUCTION

*Prospects of neon storage and transportation in liquid phase are shown. The characteristics of few liquifiers as traditional throttle and two pressure with double throttle are compared. We has calculated the operation parameters of the high pressure installations on the base of diaphragm type compressors with preliminary cooling by liquid nitrogen.*

**Keywords:** Neon. Liquifier. Throttle cycle. Factor of liquefaction. Energy consumption.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Неон широко используется во многих современных технологиях. Хранение и доставка продукта в жидком виде способствует снижению транспортных и складских издержек [1].

Скрытая теплота испарения неона в четыре раза выше, чем у гелия. Потери продукта в современных транспортных ёмкостях с вакуумной изоляцией не превышают 0,005-0,03 % в сутки. Переход от баллонного варианта к перевозкам криогенной жидкости позволяет на порядок уменьшить объём продукта. При этом удельная металлоёмкость тары снижается с 15-20 до 0,3-1,2 кг/(кг Ne).

Для перевода неона в жидкое состояние практикуют два способа:

- непосредственный отбор продукта из куба неонгелиевой ректификационной колонны [2];
- ожижение неона в отдельной установке [3].

Второй вариант предпочтительней, поскольку позволяет оперативно получать заданные количества жидкого Ne, не нарушая работу установки разделения

неонгелиевой смеси.

### 2. ДРОССЕЛЬНЫЕ ОЖИЖИТЕЛИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Схема классического цикла Линде с предварительным охлаждением в азотной ванне показана на рис. 1. Коэффициент ожижения такой установки определяется параметрами цикла на входе в дроссельный теплообменник ТО2 (контур А):

$$x = \frac{g_0}{G} = \frac{\Delta i_T - q_3}{i_8 - i_0}, \quad (1)$$

где  $\Delta i_T = i_8 - i_4$  — изотермический дроссель-эффект на температурном уровне кипящего азота, кДж/кг;  $g_0$  и  $G$  — массовые расходы жидкого неона и рабочего тела в цикле, кг/с;  $q_3$  — удельный теплоприток к дроссельной ступени, кДж/кг.

Удельный расход жидкого азота устанавливается из баланса контура Б: