

УДК 621.565:621.59

**<sup>1</sup>В.Л. Бондаренко; <sup>2</sup>Ю.М. Симоненко; <sup>3</sup>Л.Н. Цветковская; <sup>4</sup>Э.В. Матвеев**<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Лефортовская наб., д.1, факультет «Энергомашиностроение», г. Москва, РФ, 105005<sup>2,3</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>4</sup>ООО «Криоин Инжиниринг», Таможенная пл., 1А, г. Одесса, Украина, 65026**e-mail:** <sup>1</sup>[vbondarenko@cryoin.com](mailto:vbondarenko@cryoin.com); <sup>2</sup>[ysim1@yandex.ua](mailto:ysim1@yandex.ua); <sup>3</sup>[cvlara@mail.ru](mailto:cvlara@mail.ru); <sup>4</sup>[matveev.ed@mail.ru](mailto:matveev.ed@mail.ru)ORCID: <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/0000-0002-3956-583X>

## РАЗДЕЛЕНИЕ НЕОНА НА ИЗОТОПНЫЕ КОМПОНЕНТЫ МЕТОДОМ РЕКТИФИКАЦИИ В ОДИНОЧНОЙ КОЛОННЕ

*Изотопы неона являются очень ценными газами, используемыми в высоких технологиях. Производство их нуждается в существенном совершенствовании. Изучена зависимость степени извлечения изотопов в виде целевых продуктов от состава фракций, получаемых в ректификационной колонне. Экспериментальным путем определена высота контактного пространства, эквивалентная одной теоретической тарелке. Представлены схемные решения, обеспечивающие многостадийное разделение неона на изотопы  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$  в одиночной колонне. Даны примеры технологической последовательности извлечения продуктов с изотопной концентрацией более 99,99 %. Рассчитано время, требуемое для получения заданного количества изотопных компонентов при различных флегмовых числах и нагрузках колонны от 20 до 80 %.*

**Ключевые слова:** Неон. Изотопы. Ректификационная колонна. Теоретическая тарелка. Коэффициент извлечения.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Дистилляционный метод разделения веществ на изотопные компоненты обычно применяют при молекулярных массах менее 20 [1]. Получение изотопов неона методом ректификации весьма трудоемко и малопродуктивно [2]. Несмотря на это, дистилляцию всё же используют в технологиях получения изотопов  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$  наряду с применением метода термодиффузии [3].

Из-за малых отличий упругостей насыщенных паров изотопов Ne при температурах 28...30 К необходимо создавать колонны со значительным числом теоретических тарелок. Криостатирование таких аппаратов связано с существенными сложностями из-за их большой высоты и относительно малого сечения контактного пространства. Например, в колоннах для получения в кубе  $^{22}\text{Ne}$  с концентрацией  $x_r=99,99\%$  и отдувочного потока с содержанием в нём  $^{22}\text{Ne}$   $x_d=1,5\%$  ( $98,5\%$   $^{20}\text{Ne}$ ) отношение высоты колонны к диаметру  $L/d$  составляет 600...700! Обеспечить эффективное охлаждение конденсатора на уровне 28 К на высоте  $L=18$  м при диаметре колонны около 30 мм проблематично даже при наличии высоковакуумной изоляции и охлаждаемых экранов. По этой причине высоту контактного пространства колонны сокращают до  $L=3\text{...}6$  м. Одновременно с этим практикуют последо-

вательное разделение неона в каскаде изотопных колонн [4] либо организуют повторную переработку получаемой фракции в одной и той же колонне [5].

### 2. СТЕПЕНИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ В КОЛОННЕ

#### 2.1. Доля высококипящего целевого продукта в кубовой фракции

Ориентировочно затраты энергии на получение  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$  составляют 50...500 МДж/дм<sup>3</sup>, соответственно. По этой причине при построении технологических последовательностей следует стремиться к минимальным потерям, т. е. к максимуму коэффициента извлечения. При этом понятие потери здесь условно. Действительно, отсутствие ожидаемого количества целевого компонента в потоке колонны не всегда означает его необратимую потерю. Значительная часть искомого продукта, утраченного на стадии перегонки в отдельной ступени, затем возвращается в технологический контур за счёт повторного использования полученных фракций в предшествующих каскадах [6, 7].

С учётом малого содержания  $^{21}\text{Ne}$  в природном неоне для упрощения анализа будем считать неон бинарной смесью. Схема одиночной колонны и обозначения расходно-концентрационных параметров потоков приведены на рис. 1. Примем, что целевым