

УДК 621.565

¹⁾ В.Л. Бондаренко, докт. техн. наук; ²⁾ Ю.М. Симоненко докт. техн. наук; ³⁾ А.П. Чуклин аспирант¹⁾ Одесская национальная академия пищевых технологий, Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082^{1), 2)} Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Лефортовская наб., д. 1, факультет «Энергомашиностроение», г. Москва, РФ, 105005e-mail: ¹⁾ nadia@iceblick.com; ²⁾ ysim1@yandex.ru; ³⁾ aleksandr.chuklin@gmail.com

ВЛИЯНИЕ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ПЕРМЕАТНОГО ПОТОКА НА ПРОЦЕСС ОБОГАЩЕНИЯ НЕОНОГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ НА ПОЛИМЕРНОЙ МЕМБРАНЕ

Использование мембран в оборудовании воздухоразделительных установок для очистки неонгелиевой смеси от азота может позволить получать неонгелиевый концентрат на установках с ограниченной выдачей жидких криогенных продуктов. Важными показателями в таком процессе являются степень извлечения целевых компонентов (неона и гелия), а также концентрация примесного азота в продукционном потоке. Представлены варианты расчёты процесса обогащения неонгелиевой смеси на мембране в широком диапазоне режимов работы. Показана зависимость степени извлечения неонгелиевой смеси от исходной концентрации примесного азота при различных долях рецикла. Установлено, что рециркуляция пермеатного потока позволяет приблизить характеристики мембранной установки к характеристикам дефлегматора.

Ключевые слова: Неонгелиевая смесь. Воздухоразделительная установка. Полимерная мембрана. Пермеат. Рецикл. Степень извлечения.

1. ВВЕДЕНИЕ

Разделение газов с помощью непористых полимерных мембран является относительно новой технологией, нашедшей применение в промышленности.

Достоинства данного метода очевидны: низкая энерго- и материалоемкость, непрерывность процесса, простота применяемых аппаратов, экологичность. Процесс разделения происходит при температуре окружающей среды без фазовых превращений. Реализация процесса в одной мембранной ступени сопровождается низкой степенью извлечения. Частично этот недостаток может быть устранён за счёт применения каскадов и систем с рециркуляцией.

Задолго до начала коммерческого использования полимерных мембран нашёл промышленное применение метод разделения изотопов урана на многоступенчатых мембранных каскадах с промежуточным компримированием и рециркуляцией [1].

Многоступенчатые каскады с рециркуляцией применяются на общегородских станциях для подготовки технической и питьевой воды [2, 3], очистки биогаза [4]. Однако такие системы для обогащения газовых смесей не нашли широкого применения. Это связано с их значительной материалоемкостью, наличием большого количества контрольно-измерительных, регулирующих приборов и компрессоров, что в свою очередь приводит к существенному увеличению капитальных затрат.

Ранее [5] было показано, что единичный мембранный модуль при разделении трёхкомпонентной смеси Ne-He-N₂ является применимым в узком диа-

пазоне значений степеней отбора продукционного потока и концентраций примесного компонента N₂. Использование рециркуляции пермеатного потока — технологический прием для увеличения степени извлечения легкопроникающего компонента. Данная публикация является продолжением цикла исследований мембранных модулей в применении к многокомпонентным смесям на базе инертных газов.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В газовой смеси, прошедшей через мембрану, концентрация легкопроникающего компонента увеличивается [5, 6]. Если на вход мембранного элемента частично возвращать пермеатный поток, то концентрация легкопроникающего компонента в канале высокого давления возрастёт. Схема мембранного элемента с рециркуляцией приведена на рис. 1.

Мембранные элементы с рециркуляцией исследованы, например, в [7, 8]. В этих работах не было получено аналитических выражений для степени разделения мембранных аппаратов. Расчёты были выполнены с помощью численных методов и для случая разделения бинарной смеси. Рассматриваемые смеси редких газов содержат, как минимум, три компонента, причём, отличительной особенностью при рассмотрении процесса разделения смеси Ne-He-N₂ является то, что оба целевых компонента — неон и гелий, являются легкопроникающими. В связи с этим требуется определение соотношений между концентрациями продукционных компонентов в режимах с рециркуляцией пермеатного потока.